

KURAS-Leitfaden

Zielorientierte Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung



Verbundpartner



gefördert durch



KURAS-LEITFADEN

ZIELORIENTIERTE PLANUNG VON MAßNAHMEN DER REGENWASSERBEWIRTSCHAFTUNG

ERGEBNISSE DES PROJEKTES KURAS

**A. Matzinger, M. Riechel, C. Remy, H. Schwarzmüller, P. Rouault, M. Schmidt, M. Offermann,
C. Strehl, D. Nickel, M. Pallasch, H. Sieker, 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, M. Rehfeld-Klein, B. Reichmann**

30.04.2017

Diese Publikation ist online verfügbar. Sie kann unter der folgenden Internet-Adresse bezogen werden:
<http://kuras-projekt.de/downloads/erzeugnisse-regenwasserbewirtschaftung/>

Autoren und beteiligte Institutionen

A. Matzinger, M. Riechel, C. Remy, H. Schwarzmüller, P. Rouault	Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH, Berlin (KWB)
M. Schmidt	Technische Universität Berlin, Institut für Architektur, Berlin
M. Offermann, C. Strehl	IWW Zentrum Wasser, Mülheim an der Ruhr
D. Nickel	Deutsches Institut für Urbanistik, Berlin
H. Sieker, M. Pallasch	Ingenieurgesellschaft Prof. Dr. Sieker, Hoppegarten (IPS)
M. Köhler, D. Kaiser	Hochschule Neubrandenburg, Neubrandenburg (HS NB)
C. Möller	Ramboll Studio Dreiseitl, Überlingen (Dreiseitl)
B. Büter, D. Leßmann	GEO-NET Umweltconsulting, Hannover (GEO-NET)
R. von Tils	Leibniz Universität Hannover, Institut für Meteorologie und Klimatologie, Hannover
I. Säumel, L. Pille	Technische Universität Berlin, Institut für Ökologie, Berlin (TUB Öko)
A. Winkler	Freie Universität Berlin, Arbeitsbereich Hydrogeologie, Berlin
H. Bartel, S. Heise	Umweltbundesamt, Berlin
Dr. B. Heinzmann, K. Joswig	Berliner Wasserbetriebe, Berlin (BWB)
M. Rehfeld-Klein	Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, Land Berlin
B. Reichmann	Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen, Land Berlin

Förderung

Die enthaltenen Arbeiten wurden im Rahmen des Verbundprojektes KURAS durchgeführt. KURAS wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Fördermaßnahme Intelligente und nachhaltige Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung (INIS) gefördert. Die involvierten Unternehmen beteiligten sich zudem durch Eigenanteile. Die Fördermaßnahme ist ein Teil des BMBF Förderschwerpunkts „Nachhaltiges Wassermanagement“.

Verwendung

Die enthaltenen Informationen und Daten sind unter Angabe der Quelle frei verfügbar. Bitte zitieren als:

Matzinger, A., Riechel, M., Remy, C., Schwarzmüller, H., Rouault, P., Schmidt, M., Offermann, M., Strehl, C., Nickel, D., Sieker, H., Pallasch, M., Köhler, M., Kaiser, D., Möller, C., Büter, B., Leßmann, D., von Tils, R., Säumel, I., Pille, L., Winkler, A., Bartel, H., Heise, S., Heinzmann, B., Joswig, K., Rehfeld-Klein, M., Reichmann, B. (2017) Zielorientierte Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS. Berlin.

Berlin, April 2017

Expose

Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung können Probleme der versiegelten Stadt wie die Belastung urbaner Oberflächengewässer und städtische Hitzeinseln vermindern und gleichzeitig die biologische Vielfalt und die Freiraumqualität verbessern. Um dieses Potenzial gezielt einsetzen zu können, wurden im vorliegenden Leitfaden die Vorteile und der Aufwand dieser Maßnahmen konsequent quantitativ bewertet.

Ausgehend von dieser Bewertung wurde im Rahmen von KURAS eine Methode entwickelt, die eine integrierte Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung für konkrete Stadtquartiere unterstützen kann. Sie verknüpft lokale Anforderungen mit der Maßnahmenbewertung, um geeignete und machbare Maßnahmen auszuwählen und im Stadtquartier zu platzieren.

Neben Einzelmaßnahmen wurden in einem Planspiel auch durch die KURAS-Methode erstellte Maßnahmenkombinationen für zwei Berliner Stadtquartiere hinsichtlich ihrer Effekte quantitativ bewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass eine gezielte Kombination von Maßnahmen über die Ebenen der Stadt hinweg - vom Gebäude über das Quartier bis zum Kanaleinzugsgebiet - die angestrebten Effekte für Umwelt und Bewohner deutlich erreicht.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	4
2. Verwendung des Leitfadens	5
3. Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung	6
3.1 Ebene Gebäude/Grundstück	7
3.1.1 Gebäudebegrünung	7
3.1.2 Regenwassernutzung	9
3.2 Ebene Quartier	11
3.2.1 Entsiegelung	11
3.2.2 Versickerungsmaßnahmen	11
3.2.3 Künstliche Wasserflächen	14
3.3 Ebene Kanaleinzugsgebiet	15
3.3.1 Reinigung	15
3.3.2 Stauraum im Kanal	17
4 Bewertung der Maßnahmeneffekte	18
4.1 Effekte auf Bewohner	19
4.1.1 Vorteile auf Gebäudeebene	19
4.1.2 Freiraumqualität	22
4.1.3 Stadtklima	25
4.2 Effekte auf die Umwelt	27
4.2.1 Biodiversität	27
4.2.2 Oberflächengewässer	29
4.2.3 Grundwasser	31
4.3 Ökonomische Effekte	34
4.3.1 Direkte Kosten	34
4.3.2 Ressourcennutzung (Ökobilanz)	36

5 Integrierte Planung der Regenwasserbewirtschaftung am Beispiel.....	39
5.1 Vorstellung der KURAS-Methode	39
5.2 Gebietsanalyse	41
5.2.1 Vorstellung der Beispielquartiere	41
5.2.2 Problemanalyse.....	42
5.2.3 Analyse der Machbarkeit der Maßnahmen	44
5.3 Stakeholder-Einbindung.....	46
5.3.1 Notwendigkeit der Einbindung von Stakeholdern	46
5.3.2 Zieldefinition	47
5.3.3 Partizipativer Planungsprozess	48
5.4 Erstellte Maßnahmenkombinationen	49
6 Potenzial integrierter Maßnahmenkombinationen.....	52
6.1 Auswirkung auf die Wasserbilanz.....	52
6.2 Effekte auf Bewohner.....	54
6.2.1 Vorteile auf Gebäudeebene	54
6.2.2 Freiraumqualität	56
6.2.3 Stadtklima.....	57
6.3 Effekte auf die Umwelt	59
6.3.1 Biodiversität.....	59
6.3.2 Oberflächengewässer	60
6.3.3 Grundwasser	60
6.3 Ökonomische Effekte.....	62
6.3.1 Direkte Kosten.....	62
6.3.2 Ressourcennutzung (Ökobilanz).....	63
7 Empfehlungen.....	65
7.1 Verwendung der KURAS-Ergebnisse	65
7.2 Einbindung in Planungsprozesse.....	66
7.2.1 Zielvorgaben.....	66
7.2.2 Erweiterung der Planungsgrundlagen und Planungshilfen	67
7.2.3 Anpassung des rechtlichen Rahmens.....	67
7.2.4 Wissen vermitteln und Kapazitäten aufbauen.....	68
7.2.5 Regenwasserbewirtschaftung auf öffentlichen Flächen.....	68
7.3 Biozidhaltige Dachmaterialien.....	69
Danksagung.....	70
Literaturverzeichnis.....	71
Glossar	74

Anhang	77
A1 Bewertungsmatrix	78
A2 Maßnahmensteckbriefe	81
Steckbrief 1: Dachbegrünung	82
Steckbrief 2: Fassaden- und Wandbegrünung	86
Steckbrief 3: Regenwassernutzung als Betriebswasser	90
Steckbrief 4: Regenwassernutzung zur Gebäudekühlung	94
Steckbrief 5: Teilversiegelte Oberflächenbefestigungen	98
Steckbrief 6: Mulden- und Flächenversickerung	102
Steckbrief 7: Schacht- und Rigolenversickerung	106
Steckbrief 8: kombinierte Versickerungssysteme	110
Steckbrief 9: Künstliche Wasserflächen	115
Steckbrief 10: Dezentrale Regenwasserbehandlung	119
Steckbrief 11: Regenklärbecken und Schrägkläreranlagen	122
Steckbrief 12: Retentionsbodenfilter	126
Steckbrief 13: Regenrückhaltebecken	130
Steckbrief 14: Rückhalt und Reinigung im Mischsystem	133

1. Einleitung

Zahlreiche Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung werden in europäischen Städten tagtäglich umgesetzt und speichern, nutzen, verdunsten, versickern oder reinigen urbanes Regenwasser. Die Maßnahmen werden auf unterschiedlichen Ebenen, vom Gebäude über das Quartier bis zum Kanaleinzugsgebiet, eingesetzt. Sie verringern negative Auswirkungen auf die urbane Hydrologie und können durch zusätzliche positive Effekte, etwa auf das Stadtklima oder die biologische Vielfalt, die Lebensqualität in der Stadt erhöhen.

Städtische Planungen zur Reduktion von Hitzeinseln (z.B. Stadtentwicklungsplan Klima des Landes Berlin: (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011b)) oder zur Erfüllung der EG Wasserrahmenrichtlinie (z.B. Senatsverwaltung für Gesundheit Umwelt und Verbraucherschutz 2009) gehen von einem wichtigen Beitrag der Regenwasserbewirtschaftung bei der zukünftigen Lösung der Hitze- und Gewässerproblematik aus. Allerdings fehlt für die standortspezifische Auswahl von geeigneten Maßnahmen eine konsequente Effektbewertung für alle Einzelmaßnahmen. Zudem gibt es einen Bedarf an Methoden die eine integrierte Maßnahmenplanung für städtische Quartiere ermöglichen.

Entsprechend wurden im BMBF-geförderten Vorhaben KURAS (Konzepte für urbane Abwassersysteme und Regenwasserbewirtschaftung) existierende Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung umfassend bewertet. Die Bewertung berücksichtigt die Verbesserung für Bewohner (auf Gebäudeebene, Freiraumqualität, Stadtklima) und Umwelt (Biodiversität, Grund- und Oberflächenwasser) sowie den Aufwand an Kosten und Ressourcen. Ausgangspunkt der Bewertung bildete eine Datenrecherche zu Berliner Projekten und internationalen Studien. Wissenslücken wurden durch zusätzliche Untersuchungen geschlossen.

Innerhalb von KURAS wurde eine Methode entwickelt die eine integrierte Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung für konkrete Stadtquartiere anstrebt. Sie verknüpft lokale Anforderungen/Probleme (u.a. über Befragung der Interessensvertreter) mit der Maßnahmen-Bewertung in einem partizipativen Prozess, um geeignete und machbare Maßnahmen auszuwählen und im Stadtquartier zu platzieren. Die „KURAS-Methode“ wurde in einem Planspiel für zwei Berliner Stadtquartiere (in den Bezirken Pankow und Tempelhof-Schöneberg) angewendet.

Die Erkenntnisse zu der Einzelwirkung der unterschiedlichen Maßnahmen, sowie die Anwendung und das Potenzial einer integrierten Planungsmethode werden hier detailliert vorgestellt. Der vorliegende Leitfaden baut damit auf existierende Leitfäden und Planungshilfen auf, insbesondere den Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur Bewertung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung des Landes Berlin (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011a), erweitert aber die Betrachtung um zentrale und semizentrale Maßnahmen, sowie um mehrere nicht-monetäre Effekte.

2. Verwendung des Leitfadens

Das wichtigste Ziel des vorliegenden Leitfadens liegt in der Bewertung des Potenzials von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung für die Verbesserung der städtischen Umwelt- und Lebensqualität. Dabei wird zum einen die Wirkung einzelner Maßnahmen detailliert beschrieben (Kapitel 4). Zum zweiten wird anhand von beispielhaften, skalenübergreifenden Maßnahmenkombinationen das Potenzial einer integriert geplanten Regenwasserbewirtschaftung aufgezeigt (Kapitel 6).

Daneben bietet der Leitfaden verschiedene Planungshilfen an. Die Ergebnisse der Maßnahmenbewertung wurden für alle betrachteten Effekte in grafische Symbole übertragen, um eine Auswahl geeigneter Maßnahmen zu erleichtern. Zusammenfassend entstand dadurch eine Matrix, die alle Effekte für alle Maßnahmen bewertet und neben einer quantitativen Bewertung, die Eignung einer Maßnahme durch ein Symbol ausweist (Bewertungsmatrix im Anhang). Wenn man einen bestimmten Effekt verbessern möchte, beispielsweise die Reduktion der Hitzebelastung in der Nacht, kann man der Matrix besonders geeignete Maßnahmen (in diesem Fall beispielsweise Fassadenbegrünung) entnehmen.

Informationen zu den Maßnahmen selbst (z.B. Kennzahlen, Richtlinien, Bewertung aller Effekte auf Bewohner und Umwelt, Kosten, CO₂-Fußabdruck) sind in den Maßnahmensteckbriefen im Anhang zusammengefasst. Die Maßnahmensteckbriefe sind so aufgebaut, dass sie auch alleinstehend verständlich sind und separat genutzt werden können.

Schließlich wird eine integrierte Planung der Regenwasserbewirtschaftung vorgeschlagen, die - ausgehend von der Problemlage, den Zielen von Interessensvertretern und der Machbarkeit unterschiedlicher Maßnahmen - in einem konkreten Stadtquartier geeignete Maßnahmenkombinationen erstellt (Abbildung 1). Für die Auswahl von Maßnahmen wird dabei die oben beschriebene Bewertungsmatrix verwendet. Das Vorgehen wird hier an zwei Beispielen erläutert. Die Maßnahmenkombinationen wurden in der beispielhaften Anwendung im Rahmen eines partizipativen Prozesses erstellt. Dieselbe Methode kann aber natürlich auch unter Einbindung von Software-Hilfsmitteln angewendet werden.

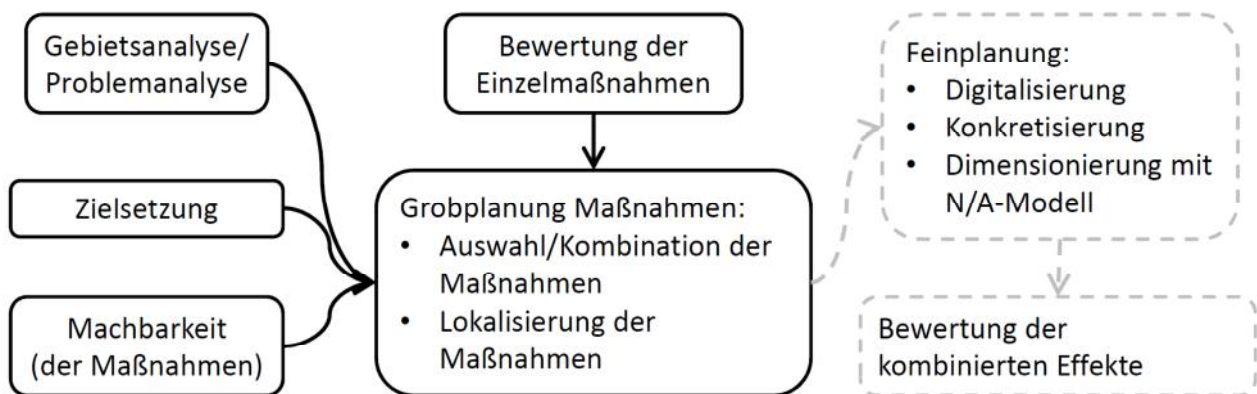


Abbildung 1: Schematischer Überblick der getesteten Methodik der integrierten Planung der Regenwasserbewirtschaftung. Die grau gestrichelten Teile zeigen eine erweiterte Anwendung, wie sie in KURAS erfolgt ist und in den Kapiteln 5.4 und 6 vorgestellt wird (Abbildung: KWB).

3. Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung

In KURAS wurde der Begriff der Regenwasserbewirtschaftung weit gefasst und beinhaltet Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung auf allen Ebenen der Stadt, vom Gebäude bis zum Kanaleinzugsgebiet (siehe Abbildung 2). Die hier betrachteten Maßnahmen lassen sich grob den in Abbildung 2 gezeigten Kategorien zuordnen. Innerhalb dieser sieben Kategorien wurden in KURAS 27 existierende Einzelmaßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung untersucht.

Im folgenden Kapitel werden diese Maßnahmen kurz anhand von Beispielen erläutert. Eine genauere Beschreibung, inklusive wichtiger Regelwerke, Kennzahlen und Wirksamkeit wird in Maßnahmensteckbriefen im Anhang zur Verfügung gestellt.



Abbildung 2: Überblick über die betrachteten Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung (Abbildung: KWB)

3.1 Ebene Gebäude/Grundstück

Regenwasser kann durch Maßnahmen der Gebäudebegrünung und der Regenwassernutzung direkt am Gebäude bewirtschaftet werden. Maßnahmen der Gebäudebegrünung fangen das direkt anfallende Regenwasser auf und führen es dem Pflanzenwachstum, bzw. der Verdunstung zu (Abbildung 3). Im Falle der Regenwassernutzung wird das Regenwasser in Zisternen für die spätere Nutzung zwischengespeichert. Diese Nutzung kann auch die Bewässerung von Gebäudebegrünung beinhalten (insbesondere systemgebundene Fassadenbegrünung und intensive Dachbegrünung), wodurch die beiden Maßnahmenkategorien verknüpft werden. Auf der Grundstücksfläche ist ebenfalls eine Verknüpfung mit den eher quartiersbezogenen Maßnahmen (Entsiegelung, Versickerung, künstliche Wasserflächen, siehe Kapitel 3.2) möglich.



Abbildung 3: Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung auf Gebäude-/ Grundstücksebene (Milosovicova 2010)

3.1.1 Gebäudebegrünung

Dachbegrünung extensiv und intensiv

Die Begrünung von Dächern und Tiefgaragen ist eine dem Stand der Technik entsprechende, vergleichsweise einfache Maßnahme der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung, um den Niederschlagswasserabfluss wirkungsvoll zu reduzieren und den natürlichen Wasserkreislauf über Verdunstungsprozesse zu schließen. Die Dachbegrünung gliedert sich in die extensive Dachbegrünung, die ohne nennenswerte gärtnerische Pflege wie Düngung oder Bewässerung auskommt, und in die intensive Dachbegrünung, die in der Nutzung und Pflege einer konventionellen Grünfläche entspricht. Je nach Ausformung der Dachbegrünung kann zwischen 50% und 100% des Jahresniederschlags zurückgehalten werden. Durch die Verdunstungsleistung von Substrat und der Pflanze hat diese Maßnahme Auswirkung auf das Mikroklima; zudem fördert sie die Biodiversität, wirkt staubbindernd, reduziert Lärm und kann bei entsprechender Ausformung auch die Freiraumqualität verbessern (siehe Steckbrief 1).

Gründächer können auf nahezu allen Dächern bis ca. 45° Dachneigung und im Einzelfall sogar darüber hinaus realisiert werden, wenn die statischen Verhältnisse dies zulassen. Nach Fertigstellung der Dachdichtung ist die Dichtigkeitskontrolle des Daches und der darauf liegenden Dichtungsbahnen erforderlich (Steckbrief 1). Bituminöse Abdichtungsmaterialien sollten vermieden werden, da hier als Durchwurzelungsschutz Biozide eingesetzt werden die negative Auswirkungen bei der Nachnutzung (z.B. für Bewässerung) und eine erhebliche Umweltgefährdung mit sich bringen (SenStadtUm & LaGeSo 2013). Es sind umweltfreundliche Alternativen wie Dichtungsbahnen aus Kautschuk oder aus flexiblem Polyolefin verfügbar.

Kiesrandstreifen erfüllen grundsätzlich nicht die Funktion von begrüntem Dächern und sind daher wenn möglich zu vermeiden.

Extensive Dachbegrünung



Die Dachauflast (je nach Substratdicke) liegt zwischen 90-180 kg/m².

Eine Unterhaltung der extensiven Dachbegrünung ist bei richtiger standardort- und substratgerechter Auswahl der Pflanzen nicht erforderlich (keine zusätzliche Bewässerung, keine Düngung, zwei Kontrollgänge pro Jahr).

Aus der Vielzahl von Varianten der extensiven Dachbegrünung kann hinsichtlich der angestrebten Umweltentlastungseffekte differenziert werden. Sollen Spitzenabflüsse reduziert werden liegt der temporäre Überstau in Substrat und Dränschicht im Vordergrund, z.B. durch eine Einschichtbegrünung oder eine Zweischichtbegrünung mit gezielter Drosselfunktion. Für eine gezielte Reduktion des Austrages von Nähr- und Schadstoffen, sollte auf eine Düngergabe verzichtet, Substrate mit geringem organischen Anteil im Substrat eingesetzt sowie die Verwendung biozidhaltiger Abdichtungsmaterialien vermieden werden.

Eine Synergie ergibt sich in der Kombination von extensiver Dachbegrünung mit Photovoltaikmodulen. Die Auflast der Dachbegrünung ist in der Lage, Photovoltaikmodule durchdringungsfrei auf der Dachdichtung zu plazieren. Die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung bleibt in Ihrer Funktion unterhalb der Module erhalten.

Für weitere Details siehe Steckbrief 1.



Extensive Dachbegrünung (Fotos: Marco Schmidt)

Intensive Dachbegrünung



Die Dachauflast liegt für die intensive Begrünung oberhalb von 180 kg/m². Die intensive Begrünung ist von einem „normalen“ Garten kaum zu unterscheiden.

Intensive Dachbegrünung ist je nach Vegetation regelmäßig zu bewässern und zu düngen im Rahmen einer üblichen gärtnerischen Pflege.

Für weitere Details siehe Steckbrief 1.

Tiefgaragenbegrünung (Foto: Andreas Süß)

Fassadenbegrünung


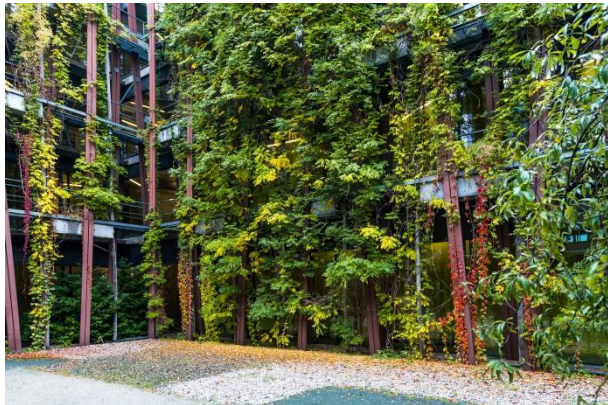
Fassadenbegrünung als Maßnahme der Regenwasserbewirtschaftung gliedert sich in erdgebundene Systeme (klassische Begrünung mit Kletterpflanzen, ggf. auch mit Rankhilfen) und in systemgebundene Fassadenbegrünung, sogenannte „Living Walls“, bei denen die Fassaden direkt bepflanzt werden. Die Begrünung einer Glasfassade über Pflanzkübel mit Anstaubbewässerung wie am Beispiel des Physikgebäudes in Berlin-

Adlershof stellt eine Sonderform einer Fassadenbegrünung dar. Die Vorteile dieser Maßnahmen liegen in der Verbesserung des Mikroklimas und der visuellen Aufwertung des Gebäudes/Freiraumes.

Der Pflegeaufwand ist bei der klassischen Kletterpflanzenbegrünung als relativ gering anzusehen (ca. 1-2 Pflegegänge im Jahr). Die aufwändigere Begrünung mit den sogenannten „Living Walls“ ist pflegeintensiv (5-10 Pflegegänge im Jahr), bietet aber die Möglichkeit, Fassadenflächen ohne Zeitverzögerung zu begrünen, einhergehend mit einer hohen Verdunstungsleistung von Beginn an. Bei dieser Variante ist zu beachten, dass eine zuverlässige Bewässerung und Düngung nötig ist die über das gesammelte Regenwasser (Zisterne) erfolgen kann. Es ist unbedingt darauf zu achten, dass keine Herbizide als Durchwurzelungsschutz in den Dachabdichtungsmaterialien verbaut wurden, da diese über das Regenwasser kontinuierlich ausgetragen werden und den Pflanzenwuchs beeinträchtigen können (SenStadtUm & LaGeSo 2013).

Eine an Kletterseilen geführte Begrünung vor Glasfassaden stellt eine preisgünstige Methode im Vergleich zu einem konventionellen Sonnenschutz dar. An einem untersuchten Beispiel, dem Physikgebäude in Berlin-Adlershof, betragen die Betriebskosten für Bewässerung, Düngung und weitere Pflege etwa 10% der Kosten im Vergleich zum sonst dort installierten konventionellen Sonnenschutz (TU Berlin 2014).

Für Details siehe Maßnahmensteckbrief 2 im Anhang.

Erdgebundenes Fassadenbegrünung	Begrünung vor Glasfassade
 <p data-bbox="140 1258 719 1290">UFA Fabrik Berlin-Tempelhof (Foto: Andreas Süß)</p>	 <p data-bbox="807 1258 1378 1290">Institut für Physik, HU Berlin (Foto: Andreas Süß)</p>

3.1.2 Regenwassernutzung

Regenwassernutzung als Betriebswasser bzw. zur Bewässerung

Eine weitere Möglichkeit der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung auf Gebäudeebene ist die Nutzung als Betriebswasser bzw. zur Bewässerung. Im Fokus liegt hier die Sammlung und ggf. Aufbereitung des Regenwasserabflusses, bevorzugt von Dachflächen. Bei der Verwendung weiterer Niederschlagswasserquellen, z.B. von Verkehrsflächen, ist eine Aufbereitung des Wassers, je nach Grad der Verschmutzung nötig. Die Nutzung als Betriebswasser zur Toilettenspülung, zu Reinigungszwecken und zur Bewässerung kann den Trinkwasserbedarf für diese Nutzungsformen substituieren, ein getrenntes/ zweites Leitungsnetz ist erforderlich und zu kennzeichnen (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2007). Die Pflege und Wartung sämtlicher Anlagenteile muss regelmäßig durchgeführt werden. Dazu gehört eine Überprüfung der Pumpenanlage und Rohrleitungen, bei Bedarf eine Entschlammung des Sammelbehälters und eine Säuberung des Filters. Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung ist in der DIN 1989 (DIN 2002) geregelt.

Für die Dimensionierung der Speicher sollte eine Langzeitsimulation erfolgen, wenn der Nachweis des Rückhalts von Starkregenereignissen Grundlage der Maßnahme ist. Dies gilt insbesondere bei der Kombination mehrerer Maßnahmen wie Regenwassernutzung von einem Gründach oder der nachgeschalteten Versickerung. Bei der Langzeitsimulation sind lokale Niederschlagsdaten zu verwenden (DWA 2005).

Für Details siehe Maßnahmensteckbrief 3 im Anhang.

Regenwassernutzung als Betriebswasser



Regenwassernutzungsanlage Weiberwirtschaft, Zisternen (Foto: Andreas Süß)



Zisterne Zisterne der UFA Fabrik Berlin Tempelhof (Foto: Andreas Süß)

Regenwassernutzung zur Gebäudekühlung

Die adiabate Gebäudekühlung wird als indirekte Verdunstungskühlung zur Klimatisierung von Gebäuden eingesetzt. Niederschlagswasser wird gesammelt, aufbereitet und beispielsweise in der Abluft des Gebäudes versprüht. Die Abluft wird durch die Verdunstung deutlich gekühlt, diese Kühlung wird über einen Wärmetauscher auf die Zuluft übertragen. Der Energiebedarf zur Gebäudeklimatisierung kann hierbei deutlich reduziert werden. Bei der Verdunstung von einem Kubikmeter Wasser entsteht eine Verdunstungskälte von etwa 700 kWh. Die Nutzung von Niederschlagswasser im Vergleich zu Leitungswasser ist besonders sinnvoll, da es keinen Kalk enthält und somit eine für diese Anwendung notwendige Entsalzung des Wassers entfällt. Die adiabate Abluftkühlung ist für große Klimaanlage aller namhaften Hersteller im Markt verfügbar, kann aber auch in kleinen Gebäuden realisiert werden. Die Verdunstung von Regenwasser innerhalb eines Wärmetauschers ist sinnvoll, da über die kontinuierliche Wiederbefeuchtung der Abluft eine höhere Effizienz der Befeuchtung erreicht wird.

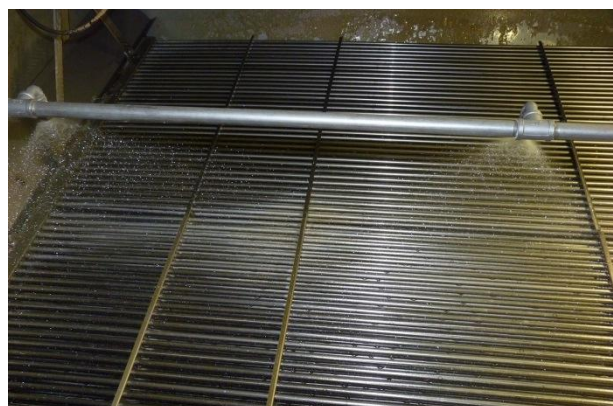
Eine weitere Variante stellt die Verdunstung von Wasser auf ein geschlossenes Rohrleitungssystem dar (s. Foto). Das gekühlte Wasser wird beispielsweise im Gebäude der Böll-Stiftung in Berlin zur Kühlung von Serverracks sowie zur Gebäudekühlung genutzt.

Für Details siehe Maßnahmensteckbrief 4 im Anhang.

Regenwassernutzung zur Gebäudekühlung



Adiabate Abluftkühlung mit Regenwasser (Foto Marco Schmidt)



Befeuchtung eines geschlossenen Wasserkreislaufs zur Kühlung von Serverracks und des Gebäudes der Böll-Stiftung in Berlin (Foto: Marco Schmidt)

3.2 Ebene Quartier

Die Maßnahmen auf der Ebene des Quartiers beginnen von der räumlichen Verortung unmittelbar an der Schnittstelle zu den Gebäuden und können über die Grenzen dieser Ebenen hinaus auch kombiniert werden. Als Maßnahmen auf Quartiersebene gelten alle Maßnahmen, die jenseits der Gebäude und innerhalb der Flächen des Siedlungsgebiets Niederschlagswasser zurückhalten, bzw. zur Verdunstung und Versickerung bringen. In diesem Sinne werden klassische Versickerungsmaßnahmen wie Mulden sowie kombinierte Systeme wie Mulden-Rigolen oder Baum-Rigolen gezählt. Hinzu kommen Maßnahmen wie künstliche Wasserflächen (Teiche, Gräben) und teilversiegelte Oberflächen bis zur kompletten Entsiegelung.

3.2.1 Entsiegelung

Maßnahmen zur Entsiegelung wirken unmittelbar auf die Abflussbildung bei Niederschlägen. Wird versiegelte Fläche in Grünfläche oder eine andere (teil-) durchlässige Oberfläche umgewandelt, reduziert sich der Niederschlagsabfluss der sukzessive noch bewirtschaftet werden muss.

Die Maßnahme ist auf allen versiegelten Flächen durchführbar. Unterliegen die Flächen einer verkehrlichen oder anderweitigen Nutzung werden häufig teildurchlässige Bodenbeläge verwendet. Zu der sehr umfangreichen Produktliste gehören zum einen zahlreiche Pflasterbeläge, wie z.B. Rasengittersteine oder Porenpflaster, aber auch Beläge wie wassergebundene Deckschichten und Schotterrasen.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über einige verwendete Entsiegelungsmaßnahmen. Für weitere Details siehe Steckbrief 5.

Rasengittersteine	Haufwerksporiger Beton mit Rasenfuge	Pflaster
		
Foto: KWB	Foto: Marco Schmidt	Foto: Andreas Süß

3.2.2 Versickerungsmaßnahmen

Maßnahmen zur Versickerung werden seit gut 30 Jahren gebaut, um Niederschlagswasser in Siedlungsgebieten zu bewirtschaften, d.h. temporär zwischenzuspeichern und dem Boden zuzuführen. Sowohl Anforderungen an Versickerungsmaßnahmen, als auch deren technische Auslegung sind in Gesetzestexten (z.B. §55 WHG, Abs.2) und Regelwerken (z.B. DWA-A 138 (DWA 2005)) manifestiert.

Die Auslegung von Versickerungsanlagen gemäß DWA-A 138 (DWA 2005) wird maßgeblich durch die klimatischen Bedingungen (Niederschlag), die örtlichen Bodenverhältnisse (Versickerungsfähigkeit der Böden) und die angeschlossenen Flächen (Größe und Versiegelungsgrad) beeinflusst. Maßnahmen zur Versickerung

werden so dimensioniert, dass ihr Retentions- und Versickerungspotenzial ausreicht, Abflüsse von vordefinierten Niederschlagsereignissen ohne Versagen (Überlauf) zu bewirtschaften. Diese zulässige Versagenshäufigkeit bezieht sich in der Regel auf fünfjährige Regenereignisse. Bundesweit werden jedoch verschiedene Versagenshäufigkeiten zur Dimensionierung angesetzt, was auf landesspezifische Genehmigungspraktiken zurückzuführen ist.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über verwendete Versickerungsmaßnahmen.

Flächenversickerung



Foto: IPS

Die einfachste Ausführungsform von Versickerungsanlagen ist die Flächenversickerung. Hierbei wird das auf versiegelten Flächen anfallende Regenwasser über Grünflächen ohne besonderen Einstau versickert.

Für weitere Details siehe Steckbrief 6.

Muldenversickerung



Straßen- und Gehwegentwässerung (Foto: IPS)

Muldenversickerung wird bei gut durchlässigen Böden angewendet. Das anfallende Regenwasser wird in einer 20 – 30 cm tiefen Einmuldung zwischengespeichert. Die Versickerung erfolgt entweder über den gewachsenen Boden, oder über eine vorher eingebrachte Schicht humosen Oberbodens (10-30 cm). Mulden finden sowohl zur Entwässerung von Wegen und Straßen, als auch von privaten und gewerblich Dach- und Hofflächen vielfältigen Gebrauch.

Für weitere Details siehe Steckbrief 6.

Rigolenversickerung



Kunststoffkörper beim Bau einer Rigole (Foto: IPS)

Rigolen sind unterirdische Versickerungsanlagen. Im Unterschied zu Mulden findet keine Reinigung des Niederschlagswassers durch eine vorherige Bodenpassage statt. Je nach Verschmutzungsgrad müssen daher zusätzliche Vorreinigungsstufen mit vorgesehen werden. Das unterirdische Stauvolumen von Rigolen wird entweder durch Kiesschüttungen (Porenvolumen ca. 35%) oder durch Kunststoffkörper (Porenvolumen ca. 90%) aktiviert.

Für weitere Details siehe Steckbrief:7.

Mulden-Rigolen/Mulden-Rigolen-Systeme



Mulden-Rigolensystem mit Überlauf (Foto: IPS)

Mulden-Rigolen vereinen den überirdischen Einstau mit der Bodenpassage sowie der unterirdischen Speicherung und Versickerung. Sie finden häufig bei schlecht versickerungsfähigen Böden Anwendung.

Werden Mulden-Rigolen durch Drainageleitungen mit einander verbunden und die zusätzliche Ableitung von Dränwasser über Drosseln reguliert, spricht man von Mulden-Rigolen-Systemen. In der Regel wird ein Notüberlauf von der Mulde in die Rigole gebaut.

Für weitere Details siehe Steckbrief 8.

Mulden-Rigolen-Tiefbeet



Foto: IPS

Mulden-Rigolen-Tiefbeete sind eine platzsparende Sonderform von Mulden-Rigolen-Systemen. Durch eine Betonwand entfällt der Böschungsbereich einer Mulde; das Wasser wird dem Mulden-Rigolen-Tiefbeet unterirdisch zugeleitet. Somit eignet sich dieses System vor allem für Straßenräume.

Analog zu einer Mulde-Rigole zeichnet sich das Mulden-Rigolen-Tiefbeet durch einen überirdischen Einstaubereich, einen humosen Oberboden, sowie einen Rigolenkörper aus. Neben der reinen Verdunstung und Versickerung kann auch eine gedrosselte Ableitung aus der Rigole vorgenommen werden.

Für weitere Details siehe Steckbrief 8.

Baum-Rigolen



Schematisches Bild einer Baumrigole (Abbildung: IPS)

Baum-Rigolen stellen ein weiteres kombiniertes System dar, welches stärker als alle anderen Versickerungsanlagen auf die Verdunstungsleistung fokussiert. Das zur temporären Speicherung genutzte Stauvolumen wird überwiegend durch die Poren des Wurzelsubstrats aktiviert. Der oberflächige Einstau dient eher der gleichmäßigen Beschickung des Bodensubstrats, als der oberirdischen Retention. Zur optimierten Wasserversorgung des Baums wird überschüssiges Sickerwasser gesammelt und verzögert an den Baum bzw. das umgebende Erdreich abgegeben. Eine Drosselung des Abflusses ist möglich.

Für weitere Details siehe Steckbrief 8.

3.2.3 Künstliche Wasserflächen

Künstliche Wasserflächen können Regenwasser kurz- oder langfristig speichern und zur Verdunstung bringen. Man kann sie grob in wasserführende Gräben, die oft nur bei Regen Wasser führen, und Teiche, die das Wasser einstauen, unterscheiden. Ein wesentliches Element dieser Maßnahmen liegt in der Sichtbarkeit des Wassers. Insbesondere bei Teichen wird das Regenwasser in Abhängigkeit der angeschlossenen Flächen und der angestrebten Nutzung vor der Einleitung natürlich oder technisch gereinigt. Um eine Abkopplung vom Kanal sicherzustellen werden die Maßnahmen teilweise mit nachgeschalteten Maßnahmen der Versickerung kombiniert.

Regenwassergespeiste Teiche und Gräben können sowohl nahe am Gebäude (z.B. in einem Garten/Hinterhof) oder quartierübergreifend angelegt werden. Wichtig ist ein ausreichendes Platzangebot. Die Ausgestaltung hängt stark von der angestrebten Nutzung ab. Bei hohen Anforderungen an die Wasserqualität kann ein Umwälzsystem notwendig sein.

Für weitere Details siehe Steckbrief 9.

Künstliche Teiche



Mit Regenwasser gespeister Freizeitteich
(Foto: Andreas Süß)



Mit Regenwasser gespeister künstlicher Teich
(Foto: Andreas Süß)

Wasserführende Gräben



Foto: Dreiseitl

Wasserführende Gräben dienen der Drosselung des Niederschlagswassers und bieten die Möglichkeit, oberirdisch abgeleitetes Niederschlagswasser erlebbar zu machen. Wasserführende Gräben können mit anderen Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung gekoppelt werden und das Niederschlagswasser beispielsweise Teichen oder Versickerungssystemen zuleiten.

3.3 Ebene Kanaleinzugsgebiet


Wenn Regenwasser von versiegelten Flächen dem Kanal zufließt, kann es innerhalb des Kanalsystems bewirtschaftet werden. Der Fokus dieser Bewirtschaftung liegt insbesondere auf einer reduzierten Belastung der urbanen Oberflächengewässer. Im Kanalmischsystem sollen dadurch die Auswirkungen von Mischwasserüberläufen bei Starkregen verhindert werden. Im Trennsystem wird das „reine“ Regenwasser bewirtschaftet. Zum einen kommen dabei Maßnahmen zum Einsatz die das Regen- oder Mischwasser vor der Einleitung in das Gewässer reinigen. Zum zweiten kann Regen- oder Mischwasser temporär gespeichert werden.

3.3.1 Reinigung

Regenwasserabfluss im Trennsystem kann hohe Konzentrationen an Nährstoffen (z.B. aus Blättern/Pollen), an hygienischen Indikatororganismen (z.B. aus Hundekot) sowie an anorganischen (z.B. Schwermetalle aus Baumaterialien) und organischen Spurenstoffen (z.B. Biozide aus Baumaterialien oder PAKs von Verkehrsflächen) enthalten (Heinzmann 1994; Wicke et al. 2015). Maßnahmen der Reinigung reduzieren diese Belastung durch Sedimentation, Filtration, Adsorption oder Abbauprozesse. Sie setzen entweder kurz vor der Einleitung in das Gewässer oder dezentral bereits am Gully an.

Mischwasserüberläufe enthalten neben Regenwasser auch ungereinigtes Schmutzwasser, welches hohe Konzentrationen an schnell abbaubaren Stoffen (z.B. biologischer Sauerstoffbedarf oder Ammonium) enthält die im Gewässer zu akut toxischen Belastungen führen können (Riechel et al. 2016). Daneben führen Hygieneartikel zu ästhetischen Beeinträchtigungen des Gewässers. Auch im Mischsystem können Maßnahmen der Reinigung zur Anwendung kommen. Diese reichen von einfachen Abscheidern und Rechen bis zu komplexeren Systemen (siehe Steckbrief 14).

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über mögliche Reinigungsmaßnahmen im Trennsystem.

Reinigung am Straßenabfluss	
 <p>Reinigungskartusche zum Einsatz im Gully (Foto: KWB)</p>	<p>Die dezentrale Reinigung am Straßenabfluss zielt in erster Linie auf einen Rückhalt der partikulären Stoffe ab. Dabei kommen meist physikalische Verfahren wie Sedimentation oder Filtration zum Einsatz. Die Maßnahmen können direkt im Gully, an Sammelschächten oder in Regenrinnen angewendet werden. Eine Anwendung macht nur in Trennsystemen Sinn.</p> <p>Für weitere Details siehe Steckbrief 10.</p>

Regenklärbecken



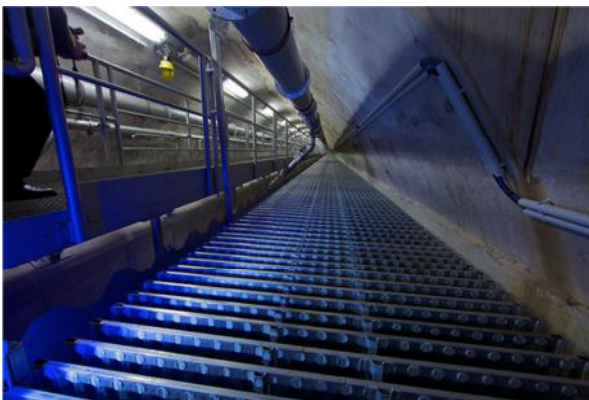
Leeres Regenklärbecken (Foto: BWB)

Regenklärbecken kommen im Trennsystem kurz vor der Einleitung in das Gewässer zum Einsatz. Sie reduzieren die stoffliche Belastung durch Sedimentation.

In städtischen Bereichen sind Regenklärbecken in der Regel unterirdisch angelegt. Die angesammelten Sedimente werden regelmäßig entnommen, bzw. dem Schmutzkanal zugeführt.

Für weitere Details siehe Steckbrief 11.

Schräglärer



Mit einem Schräglärer ausgestattetes Regenklärbecken (Foto: BWB)

Zur Erhöhung der Sedimentationsleistung können Regenklärbecken mit Schrägläreranlagen kombiniert werden. Durch schräge Lamellen wird dabei die Sedimentationsstrecke deutlich verkürzt.

Für weitere Details siehe Steckbrief 11.

Retentionsbodenfilter



Retentionsbodenfilter (Foto: Andreas Süß)

Retentionsbodenfilter kommen analog zum Regenklärbecken als Reinigungsmaßnahme kurz vor der Einleitung in das Gewässer zum Einsatz. Sie bestehen aus einem vertikalen, mit Schilf bewachsenen Filter.

Die Reinigung wird über Filtration, Adsorption (je nach Filtersubstrat) und biologischen Abbau erzielt. Das Schilf dient vorrangig der Erhaltung der Durchlässigkeit des Filters.

Für weitere Details siehe Steckbrief 12.

3.3.2 Stauraum im Kanal

Bei Starkregen können die Kapazitätsgrenzen des Mischkanals erreicht werden, was zu Mischwasserüberläufen in das Gewässer führt. Durch eine Erhöhung des Stauraums im Kanal kann die Aufnahmekapazität bei Regenwetter erhöht und die Menge des überlaufenden Mischwassers reduziert werden. Zusätzlich kann zusätzlicher Stauraum zur Verhinderung einer Überlastung des Kanals oder des Klärwerks eingesetzt werden.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über mögliche stauraumschaffende Maßnahmen.

Regenüberlaufbecken/Stauraumkanäle	
	<p>Regenüberlaufbecken (RÜB) bilden unterirdische Stauräume die bei Starkregen gefüllt werden, um Mischwasserüberläufe zu verhindern oder das Überlaufvolumen zu reduzieren. Nach dem Regenereignis wird das zwischengespeicherte Wasser zum Klärwerk gefördert.</p> <p>Analog zu RÜB können Stauraumkanäle angelegt werden. Hierbei können für den Bau oft vorgefertigte Elemente verwendet werden.</p> <p>Für weitere Details siehe Steckbrief 14.</p>
<p>Regenüberlaufbecken (Foto: BWB)</p>	
Stauraumaktivierung	
	<p>Bei Einzugsgebieten mit geringem Gefälle und hydraulisch ausreichend dimensionierten Querschnitten kann durch Erhöhung der Wehrschwellen in den Regenüberlaufbauwerken oder variable Wehre, Drosseln oder Schütze zusätzliches Speichervolumen im Kanal aktiviert werden.</p> <p>Die Aktivierung von Stauraum ist in der Regel deutlich einfacher und kostengünstiger umsetzbar als RÜB und Stauraumkanäle.</p> <p>Für weitere Details siehe Steckbrief 14.</p>
<p>Stauwehr beim Einbau (Foto: KWB)</p>	
Regenrückhaltebecken	
	<p>Regenrückhaltebecken (RRB) werden eingesetzt, um eine hydraulische Überlastung des Kanals, des Klärwerks oder des Gewässers zu verhindern. Sie werden bei Starkregen gefüllt und reduzieren die Abflussspitze über einen offenen Drosselabfluss.</p> <p>RRB können ober- oder unterirdisch gebaut werden. Im Gegensatz zu den anderen stauraumschaffenden Maßnahmen werden RRB neben Mischsystemen auch in Trennsystemen eingesetzt.</p> <p>Für weitere Details siehe Steckbrief 13.</p>
<p>Gefülltes Regenrückhaltebecken (Foto: BWB)</p>	

4 Bewertung der Maßnahmeneffekte

In KURAS wurden existierende Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung in den in Kapitel 3 beschriebenen Kategorien (siehe auch Abbildung 2) umfassend bewertet. Dabei wurde einerseits deren Wirksamkeit für die Verbesserung der Umwelt und Lebensqualität in der Stadt, andererseits ihr Aufwand an Kosten und Ressourcen betrachtet. Insgesamt werden in den folgenden Unterkapiteln acht Effekte der Maßnahmen im Detail beschrieben (siehe Abbildung 4). Ziel der Bewertung ist eine klare Aussage über die Wirksamkeit der Maßnahmen, die wiederum für die standortspezifische Auswahl von geeigneten Maßnahmen dienen soll.



Abbildung 4: Betrachtete Effekte auf Bewohner, Umwelt und Ökonomie (Abbildung: KWB).

Die durchgeführte Untersuchung basiert für alle acht Effekte auf quantitativen Indikatoren. Diese wurden für alle Maßnahmen - vom Gebäude bis zum Kanaleinzugsgebiet - bewertet. Dadurch ergibt sich eine Vergleichbarkeit der Bewertung zwischen den sehr unterschiedlichen Maßnahmen. Um die Nutzung der Bewertung für die Maßnahmenauswahl zu vereinfachen, wurde aufgrund der quantitativen Bewertung zusätzlich eine graphische Bewertung vorgenommen (siehe Abbildung 5).

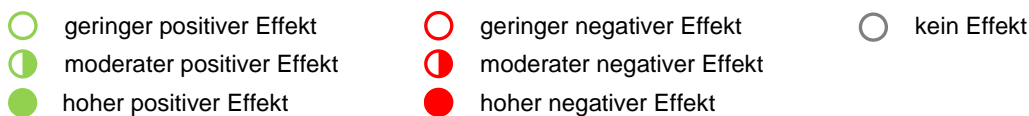


Abbildung 5: Graphische Bewertung der Maßnahmeneffekte

Ausgangspunkt der Bewertung bildeten Daten zu Berliner Projekten. Diese wurden durch nationale und internationale Veröffentlichungen ergänzt. Verbleibende Wissenslücken wurden schließlich nach Möglichkeit durch zusätzliche Untersuchungen - Monitoringprogramme, Feldbegehungen, Umfragen, Aktenstudium oder Simulation - geschlossen.

Die quantitativen und graphischen Bewertungen aller betrachteten Maßnahmen und Effekte werden in der Bewertungsmatrix im Anhang zusammengefasst. Zudem finden sich alle Bewertungen pro Maßnahme in den Maßnahmensteckbriefen.

4.1 Effekte auf Bewohner

4.1.1 Vorteile auf Gebäudeebene

Maßnahmen der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung auf Gebäudeebene können den Trinkwasserverbrauch sowie den Abwasseranfall von der Menge und der zeitlichen Verteilung her reduzieren. Zudem können sie den Komfort der Bewohner steigern, beispielsweise durch die Senkung der sommerlichen Temperaturen in den Innenräumen. Alternativ zur Steigerung des Innenraumkomforts kann bei vorhandener Klimatisierung des Gebäudes in den Sommermonaten die Energieeinsparung für eine Gebäudekühlung bilanziert werden. Als Indikatoren dieser direkten Vorteile auf der Gebäudeebene für Bewohner wurden gewählt:

- A1) Wassersparpotenzial Trink-/ Betriebswasser in %
- A2) Einsparpotenzial Abwasser/ Regenwasserableitung in %
- B) Energieeinsparung für Gebäudekühlung in %

Grundüberlegung der Bewertung bildet das Bundesnaturschutzgesetz, hier insbesondere in Kapitel 3 die Vermeidung und Ausgleich der negativen Auswirkungen auf den Naturhaushalt im Rahmen der Bauleitplanung bzw. vorbeugend-planerisch dafür zu sorgen, dass Eingriffe (durch Gebäude) möglichst gering gehalten oder ausgeglichen werden (BNatG 2010). Als Indikator erfolgt die Bewertung in Prozent in Bezug zum Eingriff, beispielsweise die Reduzierung des Betriebswasserbedarfs, der Regenwasserableitung oder des Energieaufwandes bei der Gebäudekühlung. Darüber hinaus wird der Einfluss des Gebäudes auf den natürlichen Wasserhaushalt beurteilt.

Zusätzlich können Maßnahmen auf Gebäudeebene, analog zu (dezentralen) Maßnahmen auf Quartiers- und Kanaleinzugsgebietsebene, positive Effekte auf die Freiraumqualität, das Stadtklima, die Biodiversität, das Grundwasser und die Oberflächengewässer bewirken. Diese Vorteile, sowie der Aufwand der gebäudebezogenen Maßnahmen an Kosten (unter Berücksichtigung der Einsparung von Regenwasserentgelt) und Ressourcen wird in den folgenden Kapiteln 4.1.2, 4.1.3, 4.2 und 4.3, gemeinsam mit allen anderen Maßnahmen, behandelt.

A) Einsparung Trinkwasser/ Abwasser - Die Nutzung von Regenwasser für Zwecke des Betriebswasserbedarfs wie WC-Spülung, für die Waschmaschine, für Reinigungszwecke, zur Bewässerung und zur Gebäudekühlung reduziert von der Menge und der Ablaufintensität den Abwasseranfall sowie den Trinkwasserbedarf. Da Regenwasserspeicher wirtschaftlich sinnvoll nur ca. 3-8% an Speichervolumen in Relation zum jährlichen Niederschlagsablauf haben, sind die Speicher in Trockenperioden im Sommer oder bei längeren Frostperioden im Winter leer. In diesen Phasen findet eine Nachspeisung aus dem öffentlichen Trinkwassernetz statt. Zielsetzung bei der Speicherauslegung in Abhängigkeit von Betriebswasserbedarf und Regenwasserablauf ist ein Nutzungsgrad von etwa 70% Regenwasser und 30% Trinkwassernachspeisung. Eine Erhöhung, beispielsweise auf 80/ 20%, würde in der Regel eine Verdopplung des Speichervolumens erfordern, was wirtschaftlich meist nicht sinnvoll ist.

Eine maximale Nutzung des ablaufenden Regenwassers ist ebenso von der Speicherdimensionierung abhängig. Auch hier ergibt sich bei der Berechnung einer optimalen Speichergröße aus wirtschaftlichen Gründen ein Verhältnis von etwa 70% genutztem Regenwasserablauf zu etwa 30% nicht nutzbarem Überlauf. Auch hier würde eine Verdopplung des Speichervolumens den Nutzungsgrad des Regenwassers nur um wenige Prozent erhöhen.

Zur Vereinfachung können die Indikatoren Trinkwasser- und Abwassereinsparung zusammengeführt werden. Im Normalfall ergibt sich eine Bewertung von 70/70 % für Trink/ Abwassereinsparung für die Regenwassernutzung als Betriebswasser (s. Bewertungsmatrix - Gebäudeebene im Anhang). Eine vergleichsweise kontinuierliche Nutzung bildet beispielsweise die Toilettenspülung. Bei Nutzungen wie Bewässerung in den Sommermonaten oder Betriebswassernutzung für die Gebäudekühlung verschlechtert sich der Wirkungsgrad und damit die Bewertung, da kein ganzjähriger Verbrauch stattfindet. Maßnahmen der Gebäudebegrünung reduzieren dagegen lediglich die Ableitung von Regenwasser (z.B. 70% werden über ein extensives Gründach verdunstet) ohne Trinkwassereinsparung.

B) Energieeinsparung für Gebäudekühlung - Die Nutzung von Regenwasser für die Gebäudekühlung ist eine sehr energieeffiziente Technologie. Gegenüber konventionellen Systemen der Kälteerzeugung, die pri-

mär auf der Nutzung von Strom beruhen, wird zudem keine Abwärme erzeugt. Die Verdunstung des Regenwassers erzeugt lokal Verdunstungskälte und unterstützt eine Annäherung an den natürlichen Wasserkreislauf.

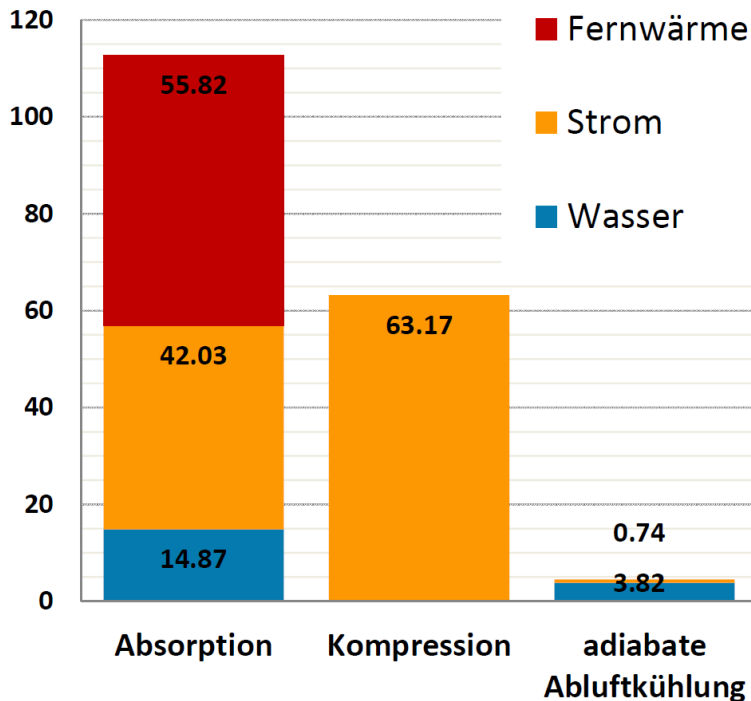


Abbildung 6: Betriebskosten für 700 kWh Kälteproduktion für zwei konventionelle Systeme im Vergleich zur adiabaten Abluftkühlung, gemessen und bilanziert am Institut für Physik der HU Berlin in Berlin-Adlershof (Abbildung: TU Berlin)

Vergleicht man die Betriebskosten, die bei konventionellen Systemen der Gebäudekühlung für beispielhaft 700 kWh entstehen, so ist die Verdunstung pro Kubikmeter Regenwasser mit 0,74 Euro an Stromkosten für mehrfaches Pumpen extrem günstig. Würde in diesem Fall Trinkwasser Verwendung finden, fielen zusätzlich 3,82 €/m³ für Wasser und Abwasser an. Bei der Kompressionskälteanlage entstehen Kosten für Strom in Höhe von 63,17 €/m³. Die dritte Variante der Kälteerzeugung, die Absorptionskälteanlage, kostet mit 112,72 Euro für 700 kWh Kälte am meisten (Abbildung 6) (TU Berlin 2014).

Bei der Bewertung der adiabaten Kühlung wird die Effizienz des Systems im Vergleich zu einem voll klimatisierten Gebäude mit konventioneller Kältetechnik herangezogen. Am Beispielprojekt des Instituts für Physik der HU Berlin konnte bei Außentemperaturen bis 30°C auf eine konventionelle Kälteversorgung vollständig verzichtet werden. Am heißesten gemessenen Tag mit 38°C Außentemperatur

betrug die Energieeinsparung noch 70%. Im Jahresverlauf waren etwa 90% der konventionellen Kälteproduktion eingespart worden (vgl. Bewertungsmatrix - Gebäudeebene im Anhang). Das entspricht in der Bewertung einem hohen positiven Effekt.

Ein weiterer Anwendungsfall der Energieeinsparung für Gebäudekühlung ist die Fassadenbegrünung vor einer transluzenten Wärmedämmung oder einer Glasfassade wie am Institut für Physik in Berlin-Adlershof. Das Einsparpotenzial an Primärenergie für Heizen und Kühlung betrug im konkreten Fall ca. 25 % für ein Büro mit Südausrichtung (Abbildung 7). Die Fassadenbegrünung verhindert in den Sommermonaten einen erhöhten Wärmeeintrag im Vergleich zum konventionellen Sonnenschutz (TU Berlin 2014). Geringere solare Einträge sowie erhöhter Aufwand für Beleuchtung erhöhten leicht den Energiebedarf im Winter und in der Übergangsphase. In Bezug auf die Gebäudekühlung betrug die Energieeinsparung mit 21 statt 38 kWh/m²a etwa 45%, das entspricht einem moderaten positiven Effekt. Gegenüber einem Gebäude ohne konventionellem Sonnenschutz mit 64 kWh/m²a Kältebedarf beträgt die Energieeinsparung für Gebäudekühlung 67%, im gesamten Primärenergiebedarf mit 41 statt 80 kWh/m²a beträgt die Einsparung etwa 50%.

Durch Wärmedämmung hat auch die Dachbegrünung ein moderates Energieeinsparungspotenzial (Pfoser & Jenner 2013).

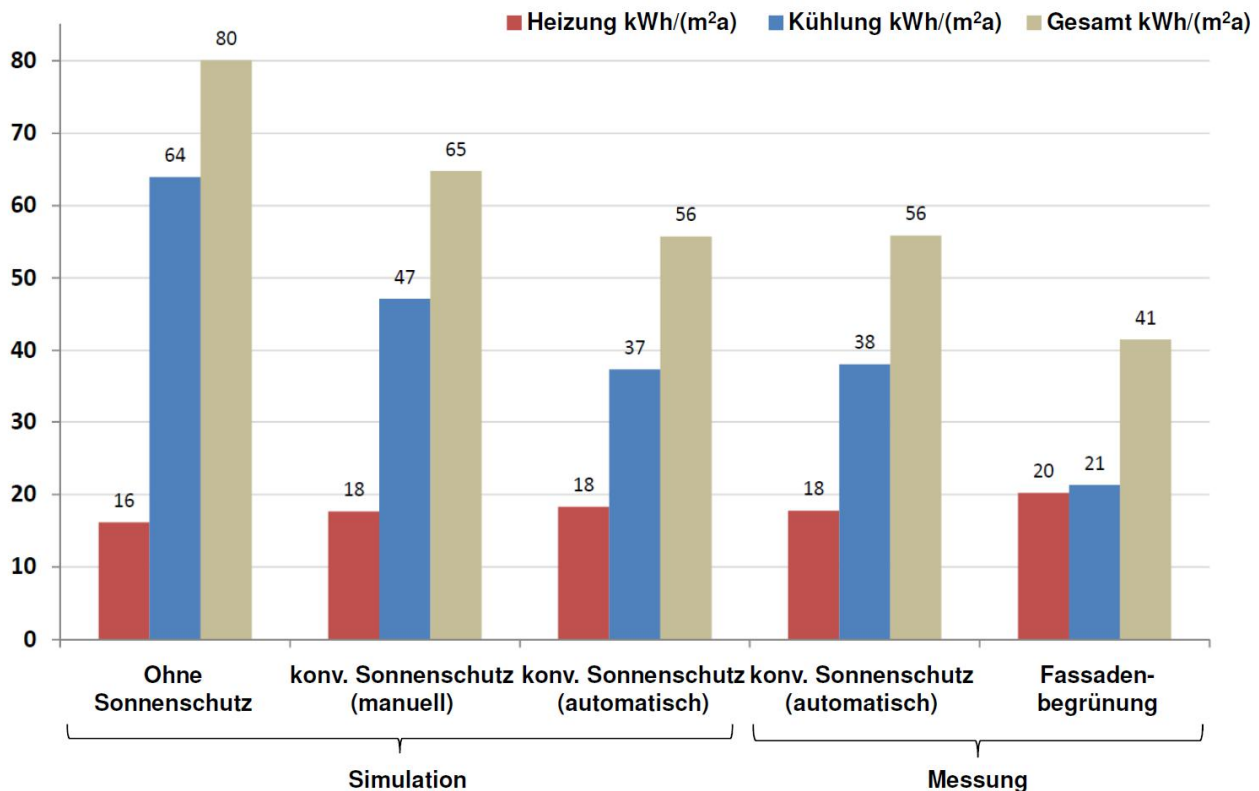


Abbildung 7: Einfluss des Sonnenschutzsystems auf den Primärenergiebedarf für Heizen und Kühlen einer Büroraumgruppe (IBP:18599) in kWh pro Quadratmeter pro Jahr (TU Berlin 2014), gemessen und bilanziert am Institut für Physik der HU Berlin (Abbildung TU Berlin)

C) Naturnaher Wasserhaushalt - Die natürliche Wasserbilanz im Raum Berlin wird dominiert durch die Verdunstung (ca. 84 % des Gesamtniederschlags für Waldgebiete, ca. 75 % für Grünflächen), gefolgt von Grundwasserneubildung (ca. 16 % bzw. 24 %) (Wasserhaushalt 2012, Umweltatlas Berlin, Basis: Glugla et al. (1999)). Gebäude und angrenzende versiegelte Flächen reduzieren den Anteil der Verdunstung deutlich und erhöhen den normalerweise zu vernachlässigenden Anteil Oberflächenabfluss. Der Anteil der Grundwasserneubildung ändert sich bei genauer Bilanzierung nur unwesentlich oder gar nicht. Dies ist bedingt durch einen Anteil von teilversiegelten Oberflächenbefestigungen wie beispielsweise Mosaikpflaster oder Betonverbundstein, die kaum Verdunstung zulassen, aber einen nicht zu unterschätzenden Anteil an Infiltration aufweisen, der die vollversiegelten Flächen von Gebäuden und Straßen kompensiert.

Maßnahmen auf Gebäudeebene können eine Annäherung an den natürlichen Wasserhaushalt für Gebäude/Grundstückseinheiten erzielen. So erzielt eine extensive Dachbegrünung mit 70% Verdunstungsanteil im Jahr und einer nachgeschalteten Versickerung von 30% Dachablauf nahezu einen natürlichen Wasserhaushalt. Eine Steigerung der Verdunstung wäre durch intensive Dachbegrünung oder die Nutzung von Regenwasser für Bewässerungszwecke oder adiabate Gebäudekühlung möglich. Die reine Versickerung des Dachablaufs in einer Mulde führt dagegen nur zu einer geringen Verdunstung (ca. + 5 %) und einer Grundwasserneubildung die deutlich höher liegt als beim natürlichen Wasserhaushalt. Hier ist eine Erhöhung der Verdunstung möglich durch sog. Baumrigolen oder die Integration von erdgebundener Fassadenbegrünung, zwei Systemen, die den Versickerungsanteil teilweise in Verdunstung umsetzen können.

4.1.2 Freiraumqualität

Die Akzeptanz von dezentralen und zentralen Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung im urbanen Raum ist entscheidend für deren Erfolg auf einem Grundstück, in einem Quartier und in dem Einzugsgebiet.

Faktoren, wie das Umfeld, der Ortsbezug, die sozialen Strukturen und die Entwicklungsziele bestimmen die Wahrnehmung des Freiraumes auf den einzelnen Nutzer. Freiräume, wie wir sie heute kennen, existieren erst seit dem 16. Jahrhundert. Wohlhabende Bürger verwandelten vor den Toren der Städte ihre Grünfläche in Gärten. Ab dem 18. Jahrhundert wurden diese auch explizit für die „normalen“ Bewohner geplant und errichtet. Früh wurde erkannt, dass diese Anlagen nicht nur dem Vergnügen dienen, sondern auch zu einer Verbesserung der Gesundheit beitragen (Kellner 2014).

Freiräume unterliegen Ansprüchen mit vielfältigsten Anforderungen. Diese Anforderungen können sich ergänzen oder sogar im Konflikt zueinander stehen. Neben der Funktion als Begegnungsstätte, Wohlfühl- und Aneignungsraum, Bewegungsraum und als Ort des kulturellen Erbes unterliegt der Freiraum weiteren Anforderungen, wie der klimatischen Verbesserung des Stadtraumes und einer gesteigerten Biodiversität in Verbindung mit der Regenwasserbewirtschaftung. Die dezentrale Regenwasserbewirtschaftung in ihren vielfältigen Ausformungen (siehe Abbildung 2) greift in unterschiedlicher Intensität in den vorhandenen Freiraum ein (z.B. Abbildung 8) oder schafft neue Freiräume (z.B. Abbildung 9).



Abbildung 8: Fassadenbegrünung eines Wohngebäudes in Berlin-Schöneberg (Foto: HS NB)



Abbildung 9: Multifunktionalität des Freiraums um den Teich am Potsdamer Platz (Foto: HS NB)

Ziel der Untersuchung ist die Einschätzung der ästhetischen und strukturellen Qualität für den Nutzer bzw. Betrachter der Anlage. Da das Empfinden von Landschaft und Freiraum eine subjektive Wahrnehmung ist und somit nicht von der Persönlichkeit und dem situativen Kontext des Betrachters zu trennen ist, wurde eine Mischung aus subjekt- und objektbezogenem Bewertungsverfahren gewählt. Es unterscheidet strukturelle Merkmale des Freiraumes und deren wahrnehmungspsychologische Wirkung auf den Betrachter.

Anhand einer Präferenzmatrix (Abbildung 11), erstmals beschrieben durch Kaplan & Kaplan (1989), kann die Wahrnehmung des Freiraumes bewertet werden. Nach Schneider (1996) ist das ästhetische Gefallen funktional in Form einer umgedrehten Pyramide (Abbildung 10) vom Erregungspotenzial abhängig. Dabei wird ein mittleres Erregungsniveau am angenehmsten empfunden, bei dem beruhigende Faktoren - Kohärenz und Lesbarkeit - mit spannungssteigernden Faktoren - Komplexität und Mysteriosität/Involution - im Gleichgewicht sind.

Die Bewertung der Freiraumqualität fragte die vier Prädiktoren - Komplexität, Kohärenz, Lesbarkeit und Mysteriosität/Involution - mit Hilfe von jeweils drei beschreibenden Parametern nach Kaplan & Kaplan (1989) ab.

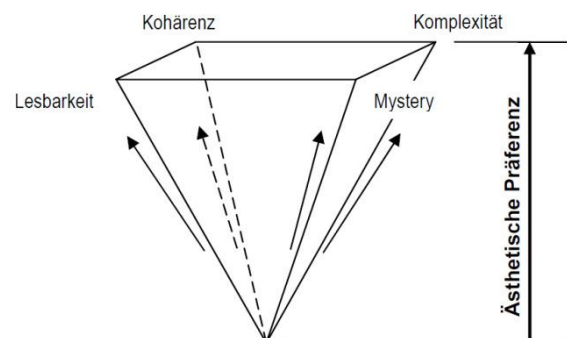


Abbildung 10: Ästhetische Präferenzpyramide nach Augstein (2002)

Prädiktor	Parameter	Skala										Erläuterung	
Komplexität	I Höhenkontrast/Relief	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	-5=ebenerdig; 0=ausgewogen; 5= hoher Höhenkontrast
	II Flächenform	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	-5= einfach 0= ausgewogen/organisch 5= extrem wild
	III Diversität der Bodenbedeckung	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	-5= „Monokultur“ 0= divergent/abwechslungsreich 5= extrem wild
Kohärenz	IV Gleichmäßigkeit (Organisation durch wiederkehrende Elemente)	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	-5= gleichmäßig/langweilig 0= ausgewogen gleichmäßig 5= extrem wild
	V Landnutzungscompatibilität – keine starken visuellen Brüche	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	-5= keine visuellen Brüche 0= ausgewogen/harmonisch 5= starke visuelle Brüche
	VI Freiraumanteil	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	-5= 0% Freiraumanteil 0= 50% Freiraumanteil 5= 100% Freiraumanteil
Lesbarkeit	VII Natürlichkeitsgrad	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	-5= nicht vergeben -4= natürlich -3= naturnah -2= bedingt naturnah -1= halbnatürlich -0= bedingt naturfern 1= naturfern 2= sehr naturfern 3= bedingt naturfern 4= naturfremd 5= künstlich
	VIII Leitstrukturen	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	-5= keine Leitstrukturen vorhanden 0= ausgewogen/ harmonisch 5= dominante Strukturen
	IX Überblick	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	-5= Maßnahme kann ohne Einschränkung überblickt werden 0= ausgewogen/ harmonisch 5= Maßnahme kann nicht überblickt werden
Involution/Mysterie	X Kammerung durch totale Sichtbeschränkung	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	-5= keine Kammerung vorhanden 0= ausgewogen/ harmonisch 5= extreme Kammerung
	XI Kammerung durch teiltransparente Sichtbeschränkung	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	-5= keine Kammerung vorhanden 0= ausgewogen/ harmonisch 5= extreme Kammerung
	XII Zugänglichkeit	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	-5= Maßnahme komplett zugänglich 0= Maßnahme zugänglich, mit Einschränkungen 5= Maßnahme nicht zugänglich

Abbildung 11: Fragebogen zur Bewertung der einzelnen Parameter. Die Skala reicht von -5 bis +5, wobei 0 eine angenehme und die Extreme -5 und +5 eine unangenehme Landschaft beschreiben. (Abbildung: HS NB)

Komplexität - Der Prädiktor lässt sich mit den drei Parametern - Höhenkontrast/Relief, Flächenform und Diversität der Bodenbedeckung - beschreiben. Hier geht es um die Vielzahl bzw. den Reichtum von Elementen im Freiraum, die den Betrachter/Nutzer auffordern, die gegebenen Informationen zu nutzen und zu erkunden. Ein zu komplexer Freiraum kann den Betrachter/Nutzer auch überfordern und sich negativ auf die Wahrnehmung ausüben.

Kohärenz - Die Kohärenz eines Freiraumes setzt sich aus Gleichmäßigkeit (Organisation durch wiederkehrende Elemente), Landnutzungscompatibilität und dem Freiraumanteil zusammen. Es wird damit der innere Zusammenhang des Raumes bewertet, der durch klare Strukturen und durch wiederkehrende Elemente gegliedert wird und bietet ein unmittelbares Verständnis der Umgebung. Ein Übermaß an Kohärenz kann den Freiraum allerdings auch langweilig erscheinen lassen.

Lesbarkeit - Die drei Parameter Natürlichkeitsgrad, Leitstrukturen und Überblick bilden die Lesbarkeit eines Raumes ab. Die unterschiedlichen Strukturen erleichtern die Orientierung und der Freiraum prägt sich besser ein.

Involution/Mysterie - Die Bewertung des Prädiktors erfolgt über die drei Parameter: „Kammerung durch totale Sichtbeschränkung“, „Kammerung durch teiltransparente Sichtbeschränkung“ und Zugänglichkeit. Der Freiraum ist nicht vollständig einzusehen, Standortwechsel ermöglichen neue Ausblicke und animieren den Nutzer zur Erkundung des Raumes.

Zur Anwendung der Methode bewerten unterschiedliche Personen einen Standort mittels des Fragenbodens in Abbildung 11. Abbildung 12 zeigt beispielhafte Ergebnisse für zwei Standorte die von 9 bzw. 12 Personen bewertet wurden. Es wird zunächst deutlich, dass trotz der systematischen Methode, unterschiedliche Personen den gleichen Standort in allen Parametern unterschiedlich bewerten. Andererseits erlauben die Medianwerte durchaus eine Unterscheidung. So zeigt ein Parkplatz in Abbildung 12a bei allen Parametern außer der Landnutzungscompatibilität (V) extreme Werte, was auf eine niedrige Freiraumqualität hindeutet. Im Gegensatz dazu zeigt die diverse Gestaltung in Abbildung 12b Mediane näher bei Null, was auf eine ausgewogene Situation hinweist.

Mithilfe von 564 Einzelbewertungen mit je zwölf Parametern wurde die Methode für verschiedene Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung in und um Berlin durchgeführt. Ziel der Untersuchung war es, die ästhetischen und strukturellen Qualitäten der Maßnahmen für Nutzer und Betrachter auszuwerten. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Spannweite der Bewertung der einzelnen Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen. Pro Nennung gab es je 12 Aufnahmen (siehe Abbildung 11) mit je 12 Bewertern. Die Bewertung wurde durch Studierende der Hochschule Neubrandenburg (5.-8. Semester, Naturschutz und Landnutzungsplanung) durchgeführt.

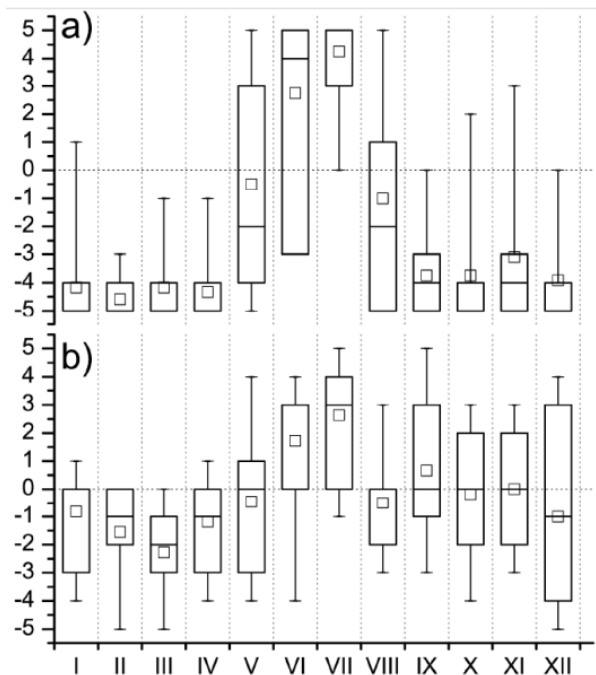


Abbildung 12: Exemplarische Bewertung der Freiraumqualität, hier am Beispiel von a) eines konventionellen Parkplatzes in Alt Schöneberg und b) der integrierten Regenwasserbewirtschaftung des Potsdamer Platzes. (Abbildung: HS NB)

Tabelle 1: Ergebnisse der Maßnahmenbewertung. n gibt die Anzahl betrachteter Standorte an.

Maßnahme	Median	Min	Max	
Extensive Dachbegrünung	2,40	2,30	2,70	(n = 5)
Fassadenbegrünung (erdgebunden)	2,00	-	-	(n = 1)
Fassadenbegrünung (systemgebunden)	2,80	-	-	(n = 1)
Flächenversickerung	2,60	-	-	(n = 1)
Mulde-Rigolen-System	2,34	1,78	3,11	(n = 3)
Mulden-Rigolen-Tiefbeet	2,50	2,30	2,70	(n = 3)
Teiche	2,10	1,90	2,84	(n = 3)
Retentionsbodenfilter	2,31	2,03	2,64	(n = 3)

Für den Maßnahmenvergleich wurde jeweils der Mittelwert des Betrages der 12 Parameter ausgewiesen. Es zeigt sich dabei, dass alle Maßnahmen, die wahrgenommen werden können (also nicht unterirdisch angelegt sind), mit Werten zwischen 1,7 und 3,3 einen moderat positiven Einfluss auf die Freiraumqualität haben. Dies betrifft Maßnahmen der Gebäudebegrünung, Versickerung, künstlichen Wasserflächen aber auch Retentionsbodenfilter. Dieses Ergebnis widerspiegelt die Subjektivität der Wahrnehmung und Nutzung von (urbanen) Landschaften. Es zeigt, dass alle grünen und blauen Maßnahmen ein Potenzial für eine Erhöhung der Freiraumqualität darstellen (in Abhängigkeit der Qualität vor dem Bau einer Maßnahme). Es hängt aber entscheidend von der Ausgestaltung und den Nutzern ab, ob dieses Potenzial auch ausgeschöpft wird.

4.1.3 Stadtklima

Oberirdische Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung mit grünen oder blauen Elementen führen oft zu einer Änderung der Flächennutzung und Gebäudebeschaffenheit. Sie tragen damit nicht nur zu Veränderungen in der städtischen Landschaft bei, sondern beeinflussen auch das lokale Humanbioklima. Abhängig von der Art und dem Ausmaß der Veränderung sowie der Ausgangssituation, kann die klimatische Situation dabei unterschiedlich stark, in der Regel verbessert, aber im Einzelfall auch verschlechtert werden. Es spielt auch eine Rolle, ob die Tag- oder die Nachtsituation betrachtet wird. Ein direkter Vergleich der Maßnahmen untereinander ist dementsprechend nicht ohne weiteres möglich.

Mithilfe von modellgestützten Klimasimulationen (ASMUS_Green: Gross 2012a; Gross 2012b; Günther 2014) der Ist-Situation in zwei Modellgebieten der Innenstadt Berlins (je ca. 2 km² Fläche in Alt-Schöneberg und Pankow) und der darauffolgenden Berechnung der Oberflächentemperatur des Maßnahmenzustands, können die Auswirkungen der Maßnahmen gezeigt werden. Durch Simulationen verschiedener Wetterlagen (Cuboid-Methode: Früh et al. 2011) und einer Extrapolation mithilfe der Daten der Station Tempelhof des Deutschen Wetterdienstes können die Maßnahmeneffekte in einem langjährigen klimatologischen Zeitraum betrachtet werden (1974-2013).

Als Indikator für den Einfluss der Maßnahmen auf die nächtliche Situation wird die Differenz der mittleren jährlichen Anzahl von Tropennächten ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$) zwischen dem Maßnahmen- und dem Ist-Zustand herangezogen. Für die Bewertung der Tag-Situation wird der Index UTCI (Universal Thermal Climate Index, ähnlich der gefühlten Temperatur), genauer die Anzahl an Stunden im Jahr mit einem signifikanten Hitzestress (UTCI > 32°C) verwendet.

Um die Maßnahmen vergleichbar zu machen, wird für die Berechnung angenommen, dass bodengebundene Maßnahmen jeweils das gesamte Gebiet, ausgenommen Gebäude, unabhängig von der ursprünglichen Nutzung einnehmen. Bei der Betrachtung der Dachbegrünung wird entsprechend jedes Dach begrünt. Daraus resultiert bei einer Modellauflösung von 8 x 8 m ein breites Spektrum an Ergebnissen, von denen die 5%- und 95%-Quantile der Differenzwerte genauer betrachtet werden. Da die Berechnung der Oberflächentemperaturen nur für horizontale Flächen möglich ist, wird die Fassadenbegrünung mithilfe der Simulationen der Maßnahmenkombinationen bewertet (vgl. Kapitel 6.2.3).

Die besten Ergebnisse im Hinblick auf die Reduktion des Hitzestresses am Tag liefern Baumrigolen und Teiche (oder andere Wasserflächen wie offene Regenklärbecken). Sie können den Hitzestress in deren direkter Umgebung um mehr als 300 h/a reduzieren. Die Bäume spenden Schatten und sorgen so für einen direkten Schutz vor solarer Einstrahlung. Wasserflächen verdanken ihre kühlende Wirkung dem Verdunstungsprozess, für den die benötigte Energie in Form von Wärme der Umgebung entzogen wird. Auch alle anderen grünen oder blauen Maßnahmen reduzieren den Hitzestress, allerdings in einem geringeren Umfang (vgl. Abbildung 13 und Bewertungsmatrix im Anhang).

Die nächtliche humanbioklimatische Situation kann durch fast alle Maßnahmen etwa gleichermaßen verbessert werden. Entsiegelte Flächen (wie z.B. bei der Flächenversickerung oder bei Mulden) speichern im Gegensatz zum Asphalt tagsüber weniger Wärme, was auf die i.d.R. geringere Wärmeleitfähigkeit des natürlichen Bodens und die Bedeckung mit Vegetation zurückzuführen ist. Nachts ist die Wärmestrahlung von den nicht versiegelten Flächen dementsprechend geringer. Gebäudebegrünung setzt Wärme in Verdunstungskälte um, verschattet die Gebäude und verringert so deren Erwärmung. Diese Maßnahmen können eine Reduktion um mehr als eine Tropennacht (mittlere Tropennachtzahl laut der Stationsdaten) bewirken. Davon abzugrenzen sind Teiche und andere offene Wasserflächen, die zu einer Erhöhung um mehr als drei Tropennächte führen können. Wasser speichert tagsüber bzw. oft über mehrere Tage die Energie der Sonneneinstrahlung und kühlt sich nachts viel langsamer als der natürliche Boden ab. Wasserbecken können somit, abhängig von deren Größe und der Lufttemperatur an Tagen zuvor, lokal zu einer nächtlichen Wärmebelastung beitragen (vgl. Abbildung 13, Kap. 6.2.3 und die Bewertungsmatrix im Anhang).

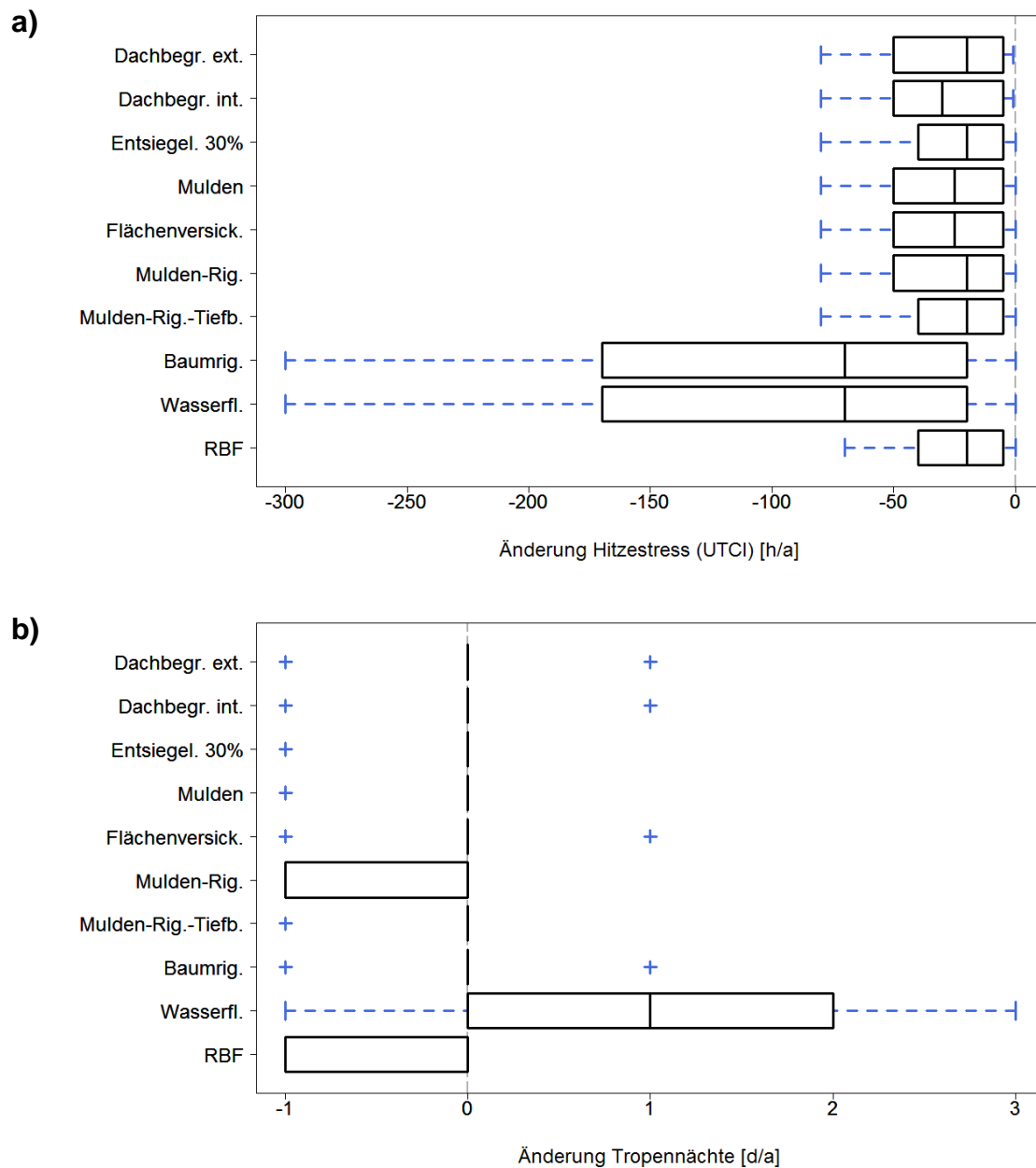


Abbildung 13: (a) Reduktion des Hitvestresses (UTCI > 32 °C) und (b) Änderung der Anzahl von Tropennächten ($T_{\min} \geq 20$ °C) durch Regenwasserwirtschaftliche Maßnahmen. Die unteren und oberen Whisker stellen entsprechend die 5 %- und 95 %-Quantile dar. Der Ist-Zustand wurde mit ASMUS_Green in den Modellgebieten simuliert. Die zu untersuchten Maßnahmen wurden nacheinander für die gesamte Fläche bzw. alle Dächer des Gebietes angenommen und die Änderungen unter Betrachtung der Oberflächentemperatur berechnet. (Abbildung: GEO-NET)

4.2 Effekte auf die Umwelt

4.2.1 Biodiversität

Städtische Biodiversitätsmuster sind durch anthropogene Veränderungen der Böden, des Klimas, der Wasser- und biogeochemischen Kreisläufe sowie durch ökonomisches und soziokulturelles menschliches Handeln geprägt. Urbanisierung verändert dabei die Artenzusammensetzung der Lebensgemeinschaften, Ökosystemfunktionen und schafft so genannte ‚novel ecosystems‘. Beispiele dafür sind u.a. im Zuge der Implementierung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung entstehende neue Ökosysteme wie z.B. Muldenrigolensysteme, mit Regenwasser gespeiste Teiche, Hof-, Dach- oder Fassadengrün. Jenseits ihrer Funktion als ingenieurtechnische Struktur erbringen sie vielfältige Ökosystemdienstleistungen - und sind Lebensraum für eine Vielzahl von Pflanzen und Tieren.

Effekte der Maßnahmen auf die biologische Vielfalt (Biodiversität) kann dabei auf verschiedenen Ebenen gemessen und gesteuert werden (Abbildung 14a). So kann die Verwendung von regionalem Saatgut (z.B. durch Saatgutübertragung aus vergleichbaren naturnahen Standorten von einem Trockenrasenstandort auf ein extensives Gründach) die genetische Vielfalt fördern. Durch die gezielte Anpassung von Design und Pflege der Anlagen kann die Vielfalt unterschiedlicher Lebensräume für sich spontan ansiedelnde Arten erhöht werden.

Die Betrachtung der Integration der Maßnahmen in die Stadtmatrix kann die funktionelle Vielfalt der städtischen Ökosysteme als Rückzugsort, Brutstätte, Verbindungskorridor oder Trittstein stärken.

Für die verschiedenen Aspekte wurden geeignete Indikatoren zur Messung der Effekte der Maßnahmen auf die Biodiversität ausgewählt (vgl. Abbildung 14b).

Die Charakterisierung der Biodiversitätseffekte einzelner Maßnahmentypen

ist anhand von durchschnittlichen Werten für die einzelnen Indikatoren erfolgt (vgl. Bsp. Abbildung 15). Die Varianz zwischen den einzelnen realisierten Maßnahmen eines Typs ist in der Regel größer als Differenzen zwischen einzelnen Maßnahmentypen. Je nach Alter, Design und Pflegemanagement können auf extensiven Dachbegrünungen von 10 üblicherweise in Saatgutmischungen verwendeten Arten bis zu über 60 Pflanzenarten vorkommen (Abbildung 15a). Durch die Aussaat einer größeren Anzahl an verschiedenen geeigneten Pflanzenarten kann sowohl die floristische als auch faunistische Vielfalt erhöht werden. Es können sowohl ästhetisch wirksame Arten mit attraktiven Blühaspekten (vgl. Kapitel 4.1.2) als auch gezielt Wirtspflanzen für Wildbienen im städtischen Raum etabliert und durch ausgewählte Pflegemaßnahmen gefördert werden. Mit vergleichsweise einfachen und kostengünstigen Designmaßnahmen wie der Verwendung von verschiedenen Bodensubstraten, Substrathöhen, Relieferung des Substrates, Totholz- oder Vegetationsstrukturen können Biodiversitätseffekte von Gründächern deutlich gesteigert werden. Die Metaanalyse von über 330

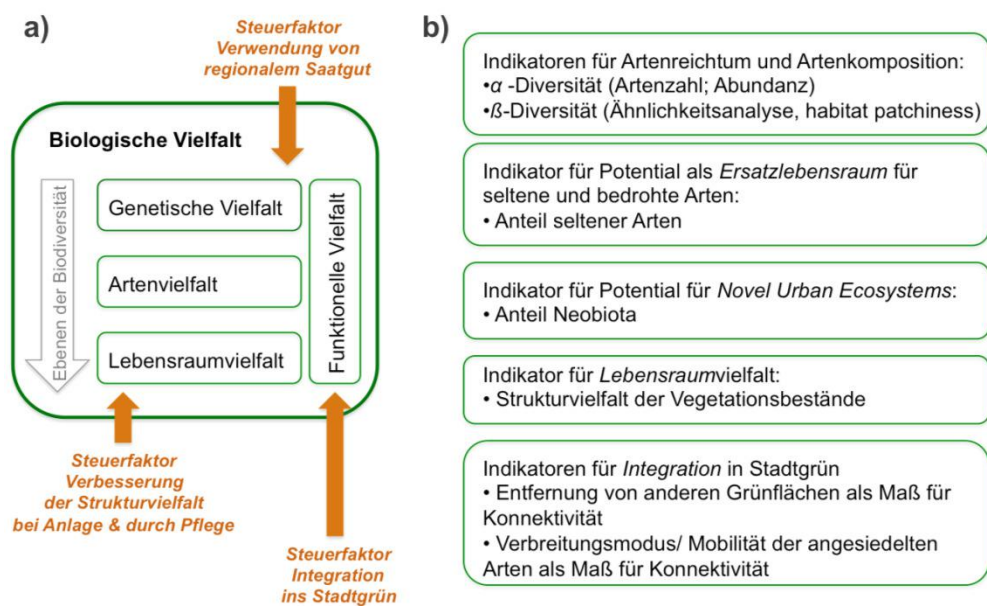


Abbildung 14: Verschiedene Ebenen der biologischen Vielfalt, ausgewählte Bewertungsindikatoren für Biodiversitätseffekte und Steuerungsfaktoren (orange) zur Förderung von biologischer Vielfalt mittels Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung (aus Pille & Säumel 2015)

verschiedenen Gründächern und ihre Integration oder Isolation innerhalb der Stadtlandschaft zeigt, dass die Höhe des Gründachs, der Abstand zu benachbarten anderen Grünstrukturen und die An- bzw. Abwesenheit von Barrieren zwischen Gründach und benachbartem Grün wichtige Steuerungsfaktoren sind um Biodiversitätseffekte dieser Maßnahmen zu potenzieren.

Im Vergleich zwischen den verschiedenen Maßnahmen kann die Implementierung von Mulden-Rigolen Systemen besonders biodiversitätsfördernd sein (Abbildung 15a), allerdings werden hier die Biodiversitätspotenziale noch lange nicht ausgereizt. Die Ähnlichkeit zwischen verschiedenen untersuchten Mulden-Rigolen Systemen (gemessen über den Indikator Betadiversität) ist groß, da für diese technischen Bauwerke stark standardisierte Saatgutmischungen und Pflegeregime genutzt werden.

Bisher greifen Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung auf ein kleines Artenspektrum von dominanten Generalisten zurück, die unter verschiedenen extremen Standortbedingungen gut "funktionieren". Für Extremstandorte typische seltenere Arten oder Rote Liste Arten kommen hingegen selten vor (Abbildung 15b). Eine Ausnahme bilden Arten, die sich spontan auf Dächern ansiedeln. Dies zeigt, dass die Dächer als Extremstandorte prinzipiell auch als Refugium für seltene Arten fungieren können, aber nur, wenn sie über entsprechende nicht kultivierte, freie Flächen eine Ansiedlungsnische für diese konkurrenzarmen Arten beithalten.

In der Zusammenschau unterstreichen die Ergebnisse zu Biodiversitätseffekten von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung, dass die Implementierung von „ecological design“ auf Gebäude-, Quartiers- und gesamtstädtischer Ebene eine Schlüsselstrategie zur Entwicklung biodiversitätsfreundlicher Städte ist. Die Verwendung von zertifiziertem, gebietseigenem Pflanz- und Saatgut, eine Diversifizierung von Design und Pflegemanagement bei Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung und die gezielte Integration in die Stadtlandschaft von der Einzelmaßnahme hin zu vernetzten Maßnahmenkombinationen sind dabei wichtige Schlüsselstrategien zur Förderung der biologischen Vielfalt.

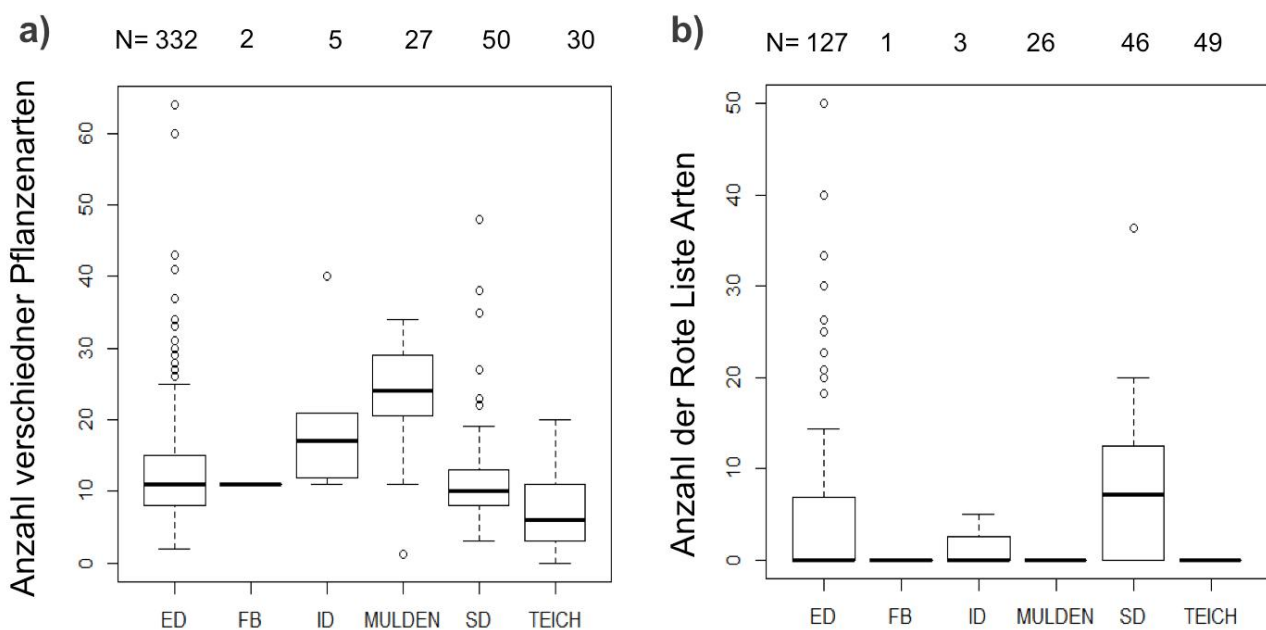


Abbildung 15: Exemplarische Bewertung der Biodiversität (a) Anzahl verschiedener Pflanzenarten (Alphadiversität) und b) Anzahl der seltenen Arten (Rote Liste Arten) für verschiedene Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung (ED: extensive Dachbegrünung, FB: Fassadenbegrünung, ID: intensive Dachbegrünung, Mulden-Rigolensysteme, SD: spontane Dachbegrünungen und Regenwasserteiche). Die Anzahl der untersuchten Einzelmaßnahmen pro Maßnahmentyp (N) sind angegeben. (Abbildung: TUB Öko)

4.2.2 Oberflächengewässer

Bewertung der Maßnahmenwirksamkeit

Die negativen Auswirkungen von Regen- oder Mischwassereinleitungen auf Oberflächengewässer lassen sich in akute und langfristige Effekte unterscheiden. Zu den häufigsten akuten Auswirkungen gehören hydraulischer Stress als Folge erhöhter Gewässerabflüsse (Borchardt 1992; Krejci et al. 2004) und insbesondere im Mischsystem Sauerstoffmangel als Folge des Abbaus organischen Materials (Lammersen 1997) sowie erhöhte Konzentrationen an fischgiftigem Ammoniak durch Einleitung von schmutzwasserbütigem Ammonium (Krejci et al. 2004). Langfristige Effekte sind die Gewässereutrophierung durch erhöhte Einträge an Phosphor (Borchardt et al. 2003) sowie die Veränderung des Sediments als Folge des Eintrags von Feststoffen (Birch et al. 2011; Iannuzzi et al. 1997). Zudem wird durch die schnelle Ableitung des Niederschlags vielerorts erheblich in den lokalen Wasserhaushalt eingegriffen (DWA 2016).

In Anlehnung an die bekannten ökologischen Defizite wurden Bewertungsindikatoren definiert, mit denen die Wirkung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung auf Oberflächengewässer und den Wasserhaushalt quantifiziert werden kann (Abbildung 16). Für organische Spurenstoffe, die mit dem Regenwasserabfluss ebenfalls in die Gewässer gelangen können (Wicke et al. 2014), gibt es keine ausreichende Datenbasis für eine Maßnahmenbewertung. Angesichts der potenziellen Belastung der Oberflächengewässer wurden Messungen zu ausgewählten Spurenstoffen durchgeführt (siehe nächstes Unterkapitel).

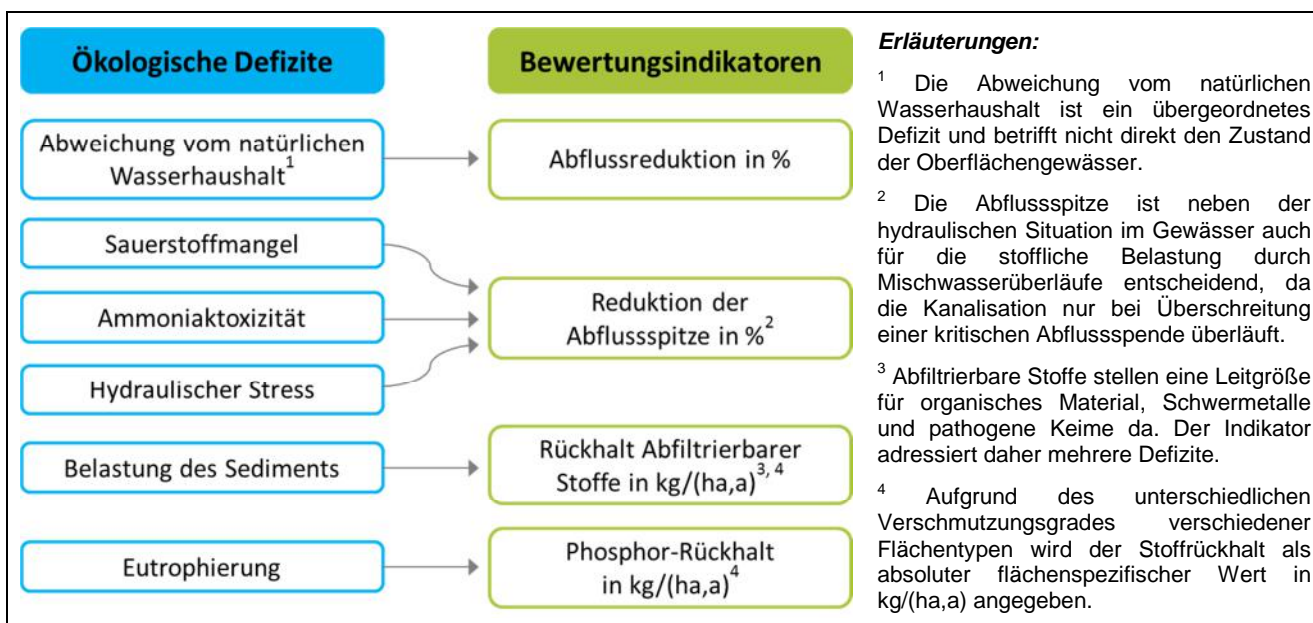


Abbildung 16: Ökologische Defizite und Indikatoren für die Maßnahmenbewertung (Abbildung: KWB)

Mehr als 350 Datensätze, typischerweise basierend auf mindestens einjährigen Messprogrammen, wurden aus der Literatur, eigenen Messungen (für extensive Gründächer und Retentionsbodenfilter) und Simulationsstudien (für Versickerungsmaßnahmen) erhoben. Die Untersuchungen zeigen, dass insbesondere die Versickerung, Teiche, die Regenwassernutzung und die Dachbegrünung (extensiv und intensiv) zu einer erheblichen Abflussreduktion (> 50% im Median) und damit zu einer Annäherung an den natürlichen Wasserhaushalt bezüglich der Abflusskomponente beitragen können. Zentrale Maßnahmen im Kanal sowie dezentrale Reinigungssysteme können den Wasserhaushalt nicht positiv beeinflussen. Die Abflussspitze kann durch die Dachbegrünung (extensiv und intensiv), Versickerungsmaßnahmen, Retentionsbodenfilter und Regenrückhaltebecken um > 80% im Median reduziert werden. Diese Maßnahmen eignen sich daher sowohl für die Verminderung des hydraulischen Stresses im Gewässer als auch zur Reduktion der stofflichen Auswirkungen von Mischwasserüberläufen (Sauerstoffmangel und Ammoniaktoxizität). Auch zentrale Maßnahmen wie der Bau neuer Speicherbecken oder die Stauraumaktivierung mit beweglichen Wehren können die stofflichen Auswirkungen von Mischwasserüberläufen erheblich vermindern. Im Trennsystem lassen sich die Schmutzstoffe Phosphor und Abfiltrierbare Stoffe vor allem durch Versickerungsmaßnahmen und Retentionsbodenfil-

ter effektiv zurückhalten (im Median > 600 kg AFS/(ha,a) und > 3 kg P/(ha,a)). Das Reduktionspotenzial gebäudebasierter Maßnahmen wie die Dachbegrünung oder die Regenwassernutzung ist aufgrund des geringen Schmutzstoffaufkommens der angeschlossenen Flächen (Göbel et al. 2007; Xanthopoulos 1996) in der Regel begrenzt (< 100 kg AFS/(ha,a) und < 1.5 kg P/(ha,a)). Abbildung 17 zeigt beispielhaft für verschiedene Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung den Rückhalt an Abfiltrierbaren Stoffen.

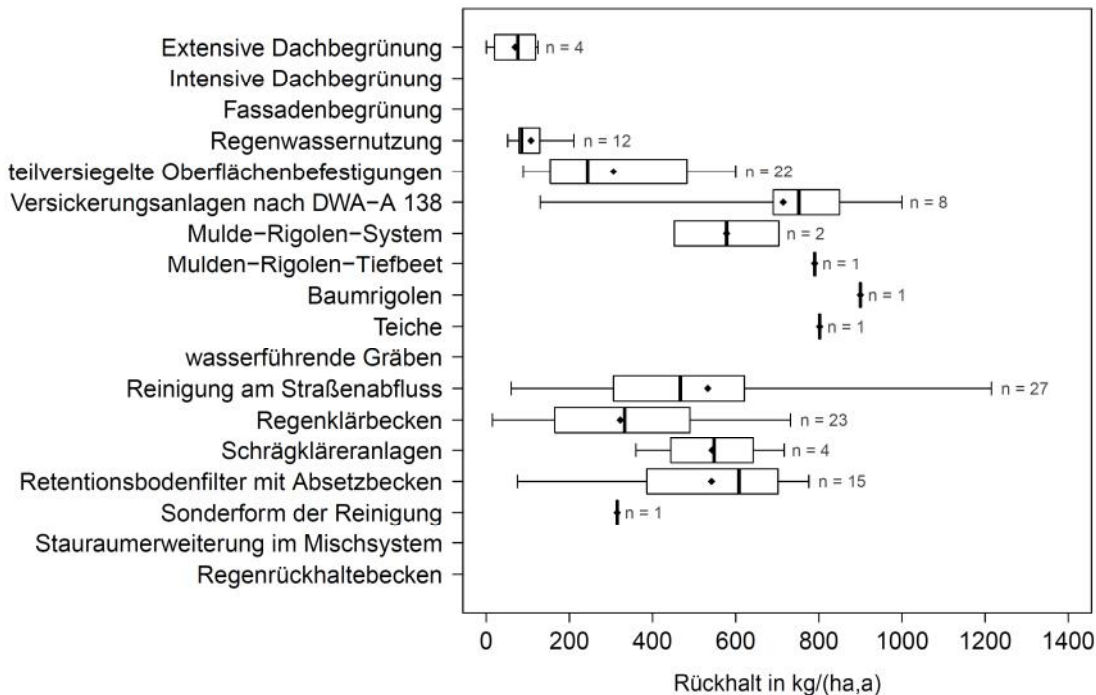


Abbildung 17: Rückhalt Abfiltrierbarer Stoffe durch verschiedene Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung. Der Rückhalt in kg/(ha,a) ist abhängig von der Reinigungsleistung der Maßnahme und dem Verschmutzungsgrad der angeschlossenen Fläche. Als Versickerungsanlagen nach DWA-A 138 sind Flächenversickerung, Muldenversickerung, Rigolen, Rohr-Rigolen und Sickerschächte zusammengefasst. (Abbildung: KWB)

Die Untersuchungen haben für alle Bewertungsindikatoren gezeigt, dass nicht nur die Wirkung der Maßnahmen untereinander sondern auch die Wirkung verschiedener Umsetzungen desselben Maßnahmentyps sehr unterschiedlich sein kann (siehe z.B. große Wertebereiche in Abbildung 17). Das hydraulische Verhalten von Gründächern hängt beispielsweise von Dicke und Porosität des verwendeten Substrats und der örtlichen Niederschlagsdynamik ab. Für den Schmutzstoffrückhalt von Retentionsbodenfiltern sind neben dem Verschmutzungsgrad der angeschlossenen Fläche auch Art und Porosität des verwendeten Substrats maßgebend. Bei Gründächern kann sowohl ein Rückhalt als auch ein Austrag von Phosphor beobachtet werden, je nachdem ob das Substrat gedüngt wird oder nicht.

Ergebnisse zu organischen Spurenstoffen aus Baumaterialien

Kenntnislücken zum Auswaschungs- und Rückhaltevermögen von organischen Spurenstoffen wie Mecoprop, welches als Durchwurzelungsschutz in Bitumenbahnen eingesetzt wird und die Oberflächengewässer belastet, konnten durch eigene Messungen teilweise geschlossen werden. Messungen zur Quelle wurden an bestehenden Gründächern sowie an einem neuen Testdach durchgeführt, die jeweils mit Mecoprop-haltigen Bitumenbahnen ausgestattet waren. Auf der Seite der Maßnahmen wurde geprüft, inwiefern ein Retentionsbodenfilter Mecoprop zurückhalten kann. Zudem wurde der Abfluss des Testdaches in einem Lysimeter mit natürlichem Boden versickert. Alle Untersuchungen wurden über mindestens ein ganzes Jahr durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen:

1. Mecoprop tritt im Dachabfluss von neuen mit Mecoprop imprägnierten Bitumenbahnen in sehr hohen Konzentrationen auf (Median: 71,6 µg/L, Max: 1270 µg/L), 10-10.000 mal höher als der Grenzwert von 0,1 µg/L für Oberflächengewässer und Rohtrinkwasser.

2. Selbst der Dachablauf eines 18 Jahre alten Gründaches mit Bitumenabdichtung zeigt meist Konzentrationen $> 0,1 \mu\text{g/L}$ (Mittelwert: $1,4 \mu\text{g/L}$, Maximum: $28,4 \mu\text{g/L}$).
3. Die aktuelle Verwendung von Mecoprop-imprägnierten Bitumenbahnen auf unbegrüntem und begrüntem Dächern führt zu erheblichen Belastungen urbaner Oberflächengewässer, mit Konzentrationen bei Regenwetter $> 0,1 \mu\text{g/L}$. (Messungen an der Panke im Projekt OgRe, (Wicke et al. 2017))
4. Bei Versickerung des Dachabflusses in natürlichem Boden (2m Horizont) findet nach einer Adaptationszeit ein Abbau statt. Allerdings haben in dem betrachteten Lysimeter Regenpulse zu regelmäßigen Durchbrüchen mit Konzentrationen im Bereich von $3 - 14 \mu\text{g/L}$ geführt. Bei technischen Versickerungssystemen mit dünnem Oberboden und kurzen Aufenthaltszeiten ist daher von einem Eintrag ins Grundwasser auszugehen, das Ausmaß dieses Eintrages kann allerdings aufgrund der vorliegenden Messdaten nicht abschließend bewertet werden.
5. Die Belastung des Regenwasserabflusses mit Mecoprop lässt sich nicht nur an der Quelle sondern auch durch die Reinigung in einem Retentionsbodenfilter zumindest teilweise reduzieren (Wirkungsgrad: 53%).

4.2.3 Grundwasser

Durch das Versickern von Niederschlagabflüssen anstelle ihrer Ableitung über die Kanalisation können die Oberflächengewässer und Kanalsysteme hydraulisch und stofflich entlastet werden. Allerdings gilt es, eine Verlagerung der in urbanen Niederschlagsabflüssen enthaltenen Schadstoffe mit dem Sickerwasser in das Grundwasser zu vermeiden.

Die Bewertung der Effekte auf Grundwasser und Boden teilt sich in eine quantitative und eine qualitative Bewertung. Hinsichtlich der Menge wird allgemein eine Verringerung des Oberflächenabflusses zugunsten der Versickerung und Verdunstung und damit eine Annäherung der Wasserhaushaltsgleichung an den natürlichen Zustand angestrebt (ATV-DVWK 2000). Gleichzeitig ist eine unnatürliche Erhöhung der Grundwasserneubildung zu vermeiden. Dies gilt insbesondere für Gebiete mit schon erhöhten Grundwasserständen und/oder Schichtenwasservorkommen, wie sie zum Beispiel im Berliner Urstromtal beobachtet werden.

Hinsichtlich der Stofffrachten sind die Herkunftsflächen des zu versickernden Wassers zu betrachten. Schadstoffeinträge können insbesondere über Abschwemmungen von Verkehrs- und Hofflächen (Reifenabrieb, Schwermetalle, Tausalze, ...) und Mobilisierung von Baumaterialien (Schwermetalle, Biozide, ...) erfolgen. Allgemein gilt ein Verschlechterungsverbot für die Qualität des Grundwassers. Grenz- und Richtwerte für den Schutz von Boden und Grundwasser geben die Bundesbodenschutzverordnung (BBodSchV 1999) und die Grundwasserverordnung (GrwV 2010) vor. Zum Schutz von Boden und Grundwasser, sowie von Gebäuden gegen Vernässung, sind außerdem Mindestanforderungen an die Herkunft des zu versickernden Wassers, den Flurabstand, die Durchlässigkeit des Bodens sowie Abstände zu Gebäuden definiert (DWA 2005; NWFreiV 2001). Die daraus abgeleiteten Indikatoren zur Bewertung der Maßnahmen hinsichtlich Grundwassermenge und -qualität im Rahmen von KURAS fasst Tabelle 2 zusammen. Alle Indikatoren wurden relativ bewertet, d.h. als Änderung des Anteils versickernden Niederschlagswassers gegenüber der Situation ohne Maßnahme für die Grundwasserneubildungsrate bzw. als Durchgangswert aus der Zufluss- und Abflusskonzentration für die stofflichen Indikatoren. Von den 27 Maßnahmen wurden die grundwasserrelevanten Maßnahmen der Entsiegelung, Versickerung sowie die Regenwassernutzung zur Bewässerung und erdgebundene Fassadenbegrünung betrachtet.

Der Literaturrecherche konnten insgesamt 112 Indikatorwerte von 22 Anlagen entnommen werden. Mit 59 Werten entfiel der Großteil auf den Indikator Zink. Die beschriebenen Anlagen waren vor allem Mulden mit Zulauf von Straßenflächen gefolgt von teilversiegelten Oberflächen. Für Maßnahmen, zu denen keine Literaturwerte gefunden wurden, wurden Annahmen abgeleitet. Erwartungsgemäß erhöhen alle Maßnahmen der Entsiegelung und Versickerung den Anteil des grundwasserwirksamen versickernden Niederschlags. Sowohl teilversiegelte Oberflächen als auch Mulden zeigen allerdings eine hohe Spannweite beeinflusst durch Art, Größe und Alter der Anlage. Gegenüber Zink (Abbildung 18) zeigen alle Versickerungsanlagen mit Bodenpassage einen hohen Rückhalt (Durchgangswerte $< 13\%$). Die Indikatoren Chlorid (Abbildung 18) und Sulfat zeigen hingegen häufig eine Anreicherung, wodurch die Stoffkonzentration im Abfluss der Anlagen höher als diejenige im Zufluss sein kann. Dabei korreliert das Maß der Anreicherung mit der Infiltrationsrate, was auf eine parallele Mobilisierung aus Schadstoffquellen im Boden hindeutet. Für Chlorid beschreibt z.B. Pitt et al.

(1999) eine Vergleichmäßigung der Abflusskonzentration mit der saisonalen Niederschlagsverteilung. Dadurch können z.B. hohe Zulaufkonzentrationen durch den Einsatz von Straßensalz im Winter auch einen Effekt auf die Abflusskonzentrationen im restlichen Jahr haben. Die Anzahl Indikatorwerte ist jedoch zu gering für statistisch belastbare Aussagen.

Tabelle 2: Indikatoren zur Bewertung der Effekte auf Boden und Grundwasser

Zielgröße	Indikator	Beschreibung
<i>Quantitative Indikatoren</i>		
Änderung des Flurabstandes	Änderung des Versickerungsanteils [%]	Die Grundwasserneubildungsrate ist die Wassermenge, die in einem bestimmten Zeitraum auf einer festgelegten Fläche das Grundwasser aufkommen erreicht und es mengenmäßig ergänzt. Sie ist abhängig von der durchschnittlichen Niederschlagsmenge, der Verdunstungsrate, dem Bewuchs und den hydrogeologischen Verhältnissen des Bodens. Entsiegelung und Regenwasserbewirtschaftung verringern den oberirdischen Abfluss zugunsten der Verdunstung und Versickerung. 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.
<i>Qualitative Indikatoren</i> ¹		
Stoffeinträge und Lösungs- und Ausfällungsprozesse während der Sickerwasser-passage	Änderung der Leitfähigkeit [%]	Die Leitfähigkeit (LF) ist ein Maß für die Gesamtheit der im Wasser dissoziierten Stoffe. Eine hohe LF ist ein Hinweis auf anthropogene Stoffeinträge. Die Änderung im Ablauf gegenüber dem Zulauf der Maßnahme zeigt Lösungs-/ Ausfällungsprozesse an.
	Änderung der Chloridkonzentration [%]	Ein Chlorideintrag wird hauptsächlich aus dem Einsatz von Tausalzen auf Verkehrsflächen erwartet. Pitt et al. (1999) zeigte, dass Regenbewirtschaftungsmaßnahmen saisonale Schwankungen glätten und zu einem kontinuierlichen Eintrag ins Grundwasser führen.
	Änderung der Sulfatkonzentration [%]	Sulfat stammt neben geogenen Quellen z.B. aus Verbrennungsgasen (atmosphärische Deposition), Pflanzenschutzmitteln, ... Berlin zählt zu den Gebieten in Deutschland mit erhöhten Sulfatgehalten im Grundwasser. Ein zusätzlicher Eintrag oder potentieller Rückhalt durch Regenbewirtschaftungsmaßnahmen ist daher ein geeigneter Indikator für die Maßnahmenbewertung.
Rückhalt gegenüber Schwermetallen und Pestiziden	Änderung der Zinkkonzentration [%]	Von den Schwermetallen wird Zink als Leitparameter herangezogen (aufgrund der hohen Relevanz in Regenwasserabfluss und der breiten Literaturbasis).
	Änderung der Mecopropkonzentration [%]	Mecoprop ist ein Wuchsstoffherbizid. Verwendung findet es z.B. in wurzelfesten Bitumenbahnen, wie sie bei Grün- und Nacktdächern zum Einsatz kommen. Untersuchungen haben ein Auswaschungspotenzial unter natürlichen Witterungsbedingungen gezeigt (siehe 4.2.2).
	Änderung der Terbutrynkonzentration [%]	Terbutryn kommt als Algizid in Fassadenfarben zum Einsatz. Untersuchungen haben ein Auswaschungspotenzial unter natürlichen Witterungsbedingungen gezeigt.

¹ die Änderung einer Konzentration entspricht dem Rückhalt mit negativem Vorzeichen

Kenntnislücken bestehen insbesondere zum Verhalten der Pestizide in der Bodenpassage. Für Terbutryn lag ein Literaturwert aus einem Bodenfilter vor (Säulenversuche, Bester et al. 2011), aus dem ein Durchgangswert von 14%, d.h. eine hohe Rückhaltekapazität folgt. Für Mecoprop zeigten Untersuchungen der FU Berlin gemeinsam mit dem Umweltbundesamt an einer über eine Zisterne mit Dachabläufen gespeisten künstlichen

Wasserfläche mit Muldenüberlauf im Rahmen von KURAS uneinheitliche Daten. Aus Messungen an einem Retentionsbodenfilter (vgl. Kapitel 4.2.2) können ca. 50% Rückhalt angenommen werden. Alle Werte fanden Eingang in die Maßnahmenbewertungsmatrix.

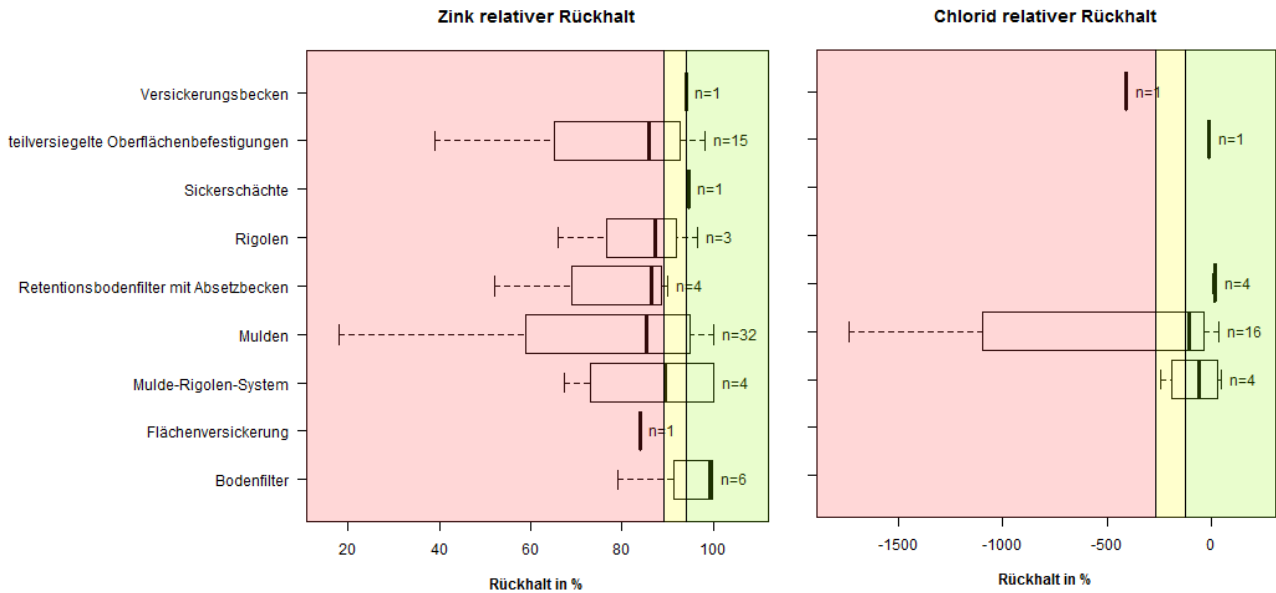


Abbildung 18: Relativer Rückhalt gegenüber Zink (links) und Chlorid (rechts). Betrachtet wurde die Konzentrationsänderung zwischen Zulauf und Ablauf bezogen auf den Zulauf. Bewertet wurden nur Maßnahmen der Kategorien Entseiegelung und Versickerung. (Abbildung: KWB)

4.3 Ökonomische Effekte

4.3.1 Direkte Kosten

Um die ökonomische Vorteilhaftigkeit verschiedener Maßnahmen vergleichen zu können, sollten Informationen über alle Zahlungen vorliegen, welche während der Investitions- und Betriebsphase der Maßnahme anfallen können. Dazu zählen sowohl einmalige Investitionsauszahlungen für den Bau der Maßnahme als auch jährliche Auszahlungen für den Betrieb und die Instandhaltung der Maßnahme. Auch die Nutzungsdauer der Maßnahme an sich ist von Bedeutung, da die auf Jahresbasis umgerechneten Investitionsauszahlungen umso geringer sind, je höher die Nutzungsdauer der Maßnahmen ist.

Im Rahmen von KURAS wurde die Auszahlungsseite betrachtet, welche hier als direkte Kosten bezeichnet wird, in dem Sinne, dass diese Kosten unmittelbar einer bestimmten Maßnahme zurechenbar sind. Hierzu zählen Investitionen sowie Auszahlungen für Betrieb und Instandhaltung der Maßnahmen (auszahlungsgleiche Kosten). Um Planern und Entscheidungsträgern eine Entscheidungshilfe an die Hand zu geben, werden im Folgenden Richtwerte zu Auszahlungen vorgestellt, welche im Zusammenhang mit dem Bau, Betrieb und der Instandhaltung von 27 untersuchten Maßnahmen stehen. Für zentrale Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung wurden ein Großteil der Angaben und Daten zu den direkten Maßnahmenkosten (sowohl für einmalige Investitionen als auch für jährliche Betriebskosten) durch umfangreiche Recherchen der BWB in eigenen Bauakten bereitgestellt (B. Heinzmann, persönliche Mitteilungen; 2015 und 2016). Die Daten zu den direkten Maßnahmenkosten der dezentralen Maßnahmen, wie auch einiger zentraler Maßnahmen, wurden im Zuge einer ausgiebigen Literaturrecherche deutschsprachiger Literatur erhoben, welche zwischen 2001 und 2015 veröffentlicht wurde. Ergänzt wurden die Ergebnisse durch eigene Umfragen, welche im Rahmen des Projektes durchgeführt wurden. Diese Umfragen richteten sich sowohl an projektinterne Partnerinstitutionen als auch an projektexterne Institutionen, wie der Bremer Umwelt Beratung e.V. und der FBB Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V.. Insgesamt konnten so über 700 einzelne Richtwerte zusammengetragen werden.

Zur besseren Vergleichbarkeit zentraler und dezentraler Maßnahmen wurden alle Auszahlungen auf die angeschlossene, befestigte Fläche (A_b) bezogen. Dabei ist zu beachten, dass die spezifischen Auszahlungen für zentrale Maßnahmen (z.B. Regenklärbecken) meist auf das Speichervolumen bezogen werden. Mithilfe des spezifischen Speichervolumens¹ (angegeben in $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) können die Auszahlungen jedoch auch auf die angeschlossene, befestigte Fläche bezogen werden. Die Auswahl des spezifischen Speichervolumens hängt vom jeweiligen zentralen System ab und kann mitunter großen Einfluss auf die Höhe der spezifischen Auszahlungen haben. Um die ungleichen Nutzungsdauern der Maßnahmen zu berücksichtigen, wurden zudem die spezifischen Investitionsauszahlungen für den Bau einer Maßnahme in jährliche Auszahlungen umgerechnet.² Eine Auswertung der jährlichen spezifischen Investitionsauszahlungen ist in Abbildung 19 zusammengefasst.

Die Mediane der spezifischen jährlichen Investitionsauszahlungen für den Bau von Maßnahmen variieren beträchtlich zwischen $0,07 \text{ € a}^{-1} \text{ m}^2 A_b$ für Regenüberlaufbecken und $2,44 \text{ € a}^{-1} \text{ m}^2 A_b$ für intensive Gründächer. Allgemein zeigen die Ergebnisse, dass zentrale Maßnahmen im Vergleich zu dezentralen Maßnahmen relativ geringe spezifische Investitionen erfordern. Bezogen auf die angeschlossene, befestigte Fläche weisen Gründächer, teilversiegelte Oberflächen und Mulden-Rigolen-Tiefbeete die höchsten spezifischen Investitionsauszahlungen auf. Maßnahmen zur Regenwassernutzung (als Betriebswasser, zur Bewässerung oder zur Kühlung) liegen im mittleren Bereich. Unter den dezentralen Maßnahmen sind die spezifischen In-

¹ Es wurden folgende spez. Speichervolumina verwendet: Regenüberlaufbecken, Stauraumkanal und Stauraumaktivierung jeweils $30 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$; Regenklärbecken $45 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$; Retentionsbodenfilter $120 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$; Regenrückhaltebecken $180 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$. Basis: Angabe Berliner Wasserbetriebe

² Angenommen wurde ein Diskontierungszins von 3 %. Die Nutzungsdauern betragen 40 a für Maßnahmen der Gebäudebegrünung, der Regenwassernutzung, der Versickerung sowie für künstliche Wasserflächen; 60 a für Entsiegelungsmaßnahmen und zentrale Maßnahmen (Stauraum / Reinigung) abgesehen von dezentralen Reinigungsmaßnahmen am Straßenabfluss für die 20 a angenommen wurde.

Investitionsauszahlungen für Versickerungsmaßnahmen im Allgemeinen und für Flächenversickerung im Speziellen am geringsten.

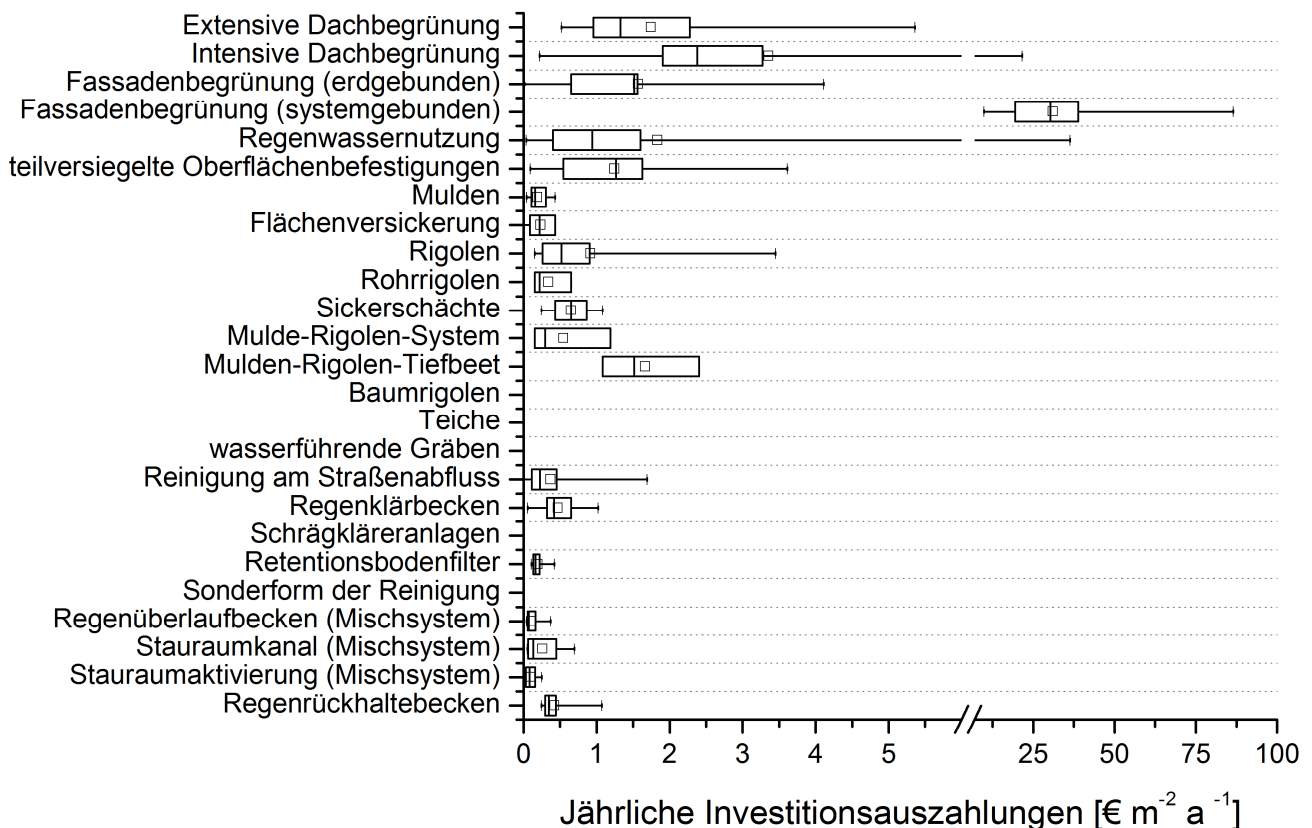


Abbildung 19: Jährliche Investitionsauszahlungen pro angeschlossener, befestigter Fläche (bzw. pro begrünter Fassadenfläche für die Fassadenbegrünung). Box zeigt 25% und 75% Quantile, Whisker sind Minima und Maxima. Die x-Achse ist zwischen 6 und 7 € m⁻² a⁻¹ unterbrochen und für kleinere und größere Werte unterschiedlich skaliert. (Abbildung: IWW)

Offensichtlich bestehen nicht nur zwischen verschiedenen Maßnahmentypen, sondern auch zwischen Maßnahmen desselben Typs große Unterschiede, was die Höhe der Auszahlungen betrifft. So variieren die spezifischen jährlichen Investitionsauszahlungen für extensive Gründächer zwischen 0,52 € a⁻¹ m² A_b (Minimum) und 5,36 € a⁻¹ m² A_b (Maximum). Diese hohe Differenz lässt sich durch die zahlreichen Faktoren plausibel erklären, welche Einfluss auf die Höhe der Investitionsauszahlungen haben, wie die Dachneigung, Dachhöhe, einschichtige oder mehrschichtige Bauweise, Substrathöhen oder die gewählten Bepflanzungen.

Maßnahmenunspezifische Einflussfaktoren sind u.a. die Bauweise der Maßnahmen oder die Materialwahl. Besonders die Größe der Maßnahme hat aufgrund von Skaleneffekten Einfluss auf die Auszahlungen, da bei steigender Dimensionierung der Maßnahme fixe Auszahlungen konstant bleiben. Des Weiteren können die Investitionsauszahlungen für dezentrale Maßnahmen – soweit möglich – durch einen gewissen Anteil an Eigenleistung des Bauherrn weiter und teils deutlich reduziert werden.

Im Zuge der Auswertung der Auszahlungen für Betrieb und Instandhaltung wurden größere Datenlücken festgestellt (siehe Abbildung 20). Vermutlich sind diese darauf zurückzuführen, dass die Betriebs- und Instandhaltungsauszahlungen für einzelne Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen oft in jeweiligen Projektkostenrechnungen nicht separat ausgewiesen werden.

Die vorhandenen Daten lassen jedoch erkennen, dass auch in puncto Betrieb und Instandhaltung die Auszahlungen zentraler Maßnahmen bezogen auf die angeschlossene, befestigte Fläche niedriger ausfallen als bei dezentralen Maßnahmen.

Allgemein ist jedoch zu beachten, dass die Auszahlungen nicht das alleinige Kriterium zur Auswahl geeigneter Maßnahmen zur Regenwasserbehandlung sein sollten. Die vielseitigen Nutzen der Maßnahmen sollten unter Berücksichtigung der individuellen Zielsetzungen sorgfältig gegen die entstehenden Auszahlungen abgewogen werden. Beispielsweise haben zentrale Maßnahmen vor allem einen positiven Effekt auf Oberflä-

chengewässer, während dezentrale Maßnahmen mit grünen und/oder blauen Elementen zusätzlich das Stadtklima, die Biodiversität oder die Freiraumqualität aufwerten können (vgl. Bewertungsmatrix im Anhang). Sind diese weiteren Vorteile lokal von Bedeutung können höhere Auszahlungen gerechtfertigt sein.

Zudem ist es wichtig zu berücksichtigen, dass die Auszahlungen für einen Neubau der jeweiligen Maßnahmen erhoben wurden. Die Berücksichtigung dieser gesamten Auszahlungen ist sinnvoll, wenn Maßnahmen, die primär für die Regenwasserbewirtschaftung gebaut werden, wie zentrale Becken, Versickerungsmaßnahmen oder Maßnahmen der Regenwassernutzung als Alternativen verglichen werden. Bei anderen Maßnahmen kann das primäre Ziel jedoch ein anderes sein. So dient ein Gründach in erster Linie als Dach oder eine Fassadenbegrünung wird oft zur Gebäudekühlung angelegt. Bei Neubau oder Sanierung dieser Maßnahmen werden hier demnach in jedem Fall Auszahlungen fällig. Bei einem Vergleich zweier Maßnahmen, beispielsweise zwischen Gründach und konventionellem Dach, können die Mehrauszahlungen für eine Maßnahme der Regenwasserbewirtschaftung durchaus gering ausfallen oder sich als günstigere Variante herausstellen.

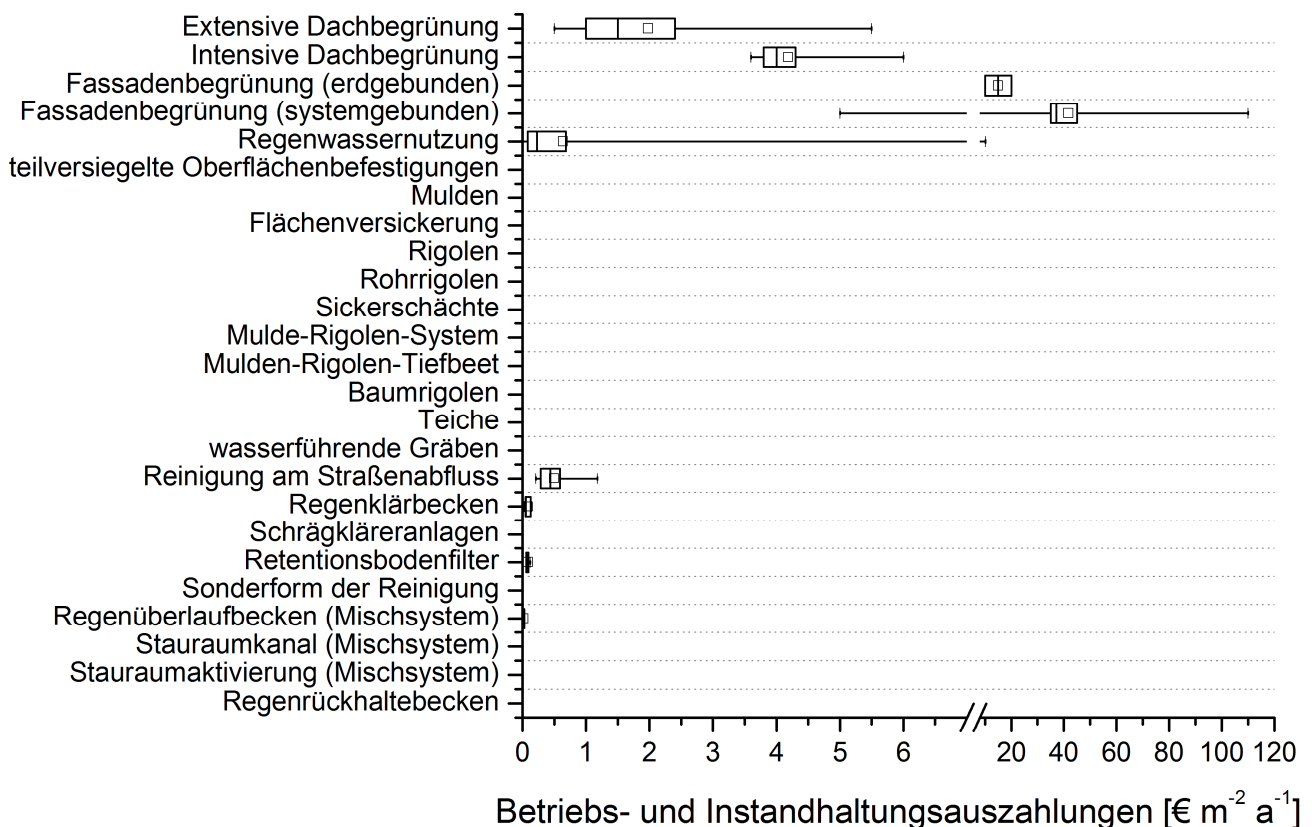


Abbildung 20: Jährliche Betriebs- und Instandhaltungskosten pro angeschlossener, befestigter Fläche (bzw. pro begrünter Fassadenfläche für die Fassadenbegrünung). Box zeigt 25% und 75% Quantile, Whisker sind Minima und Maxima. Die x-Achse ist zwischen 7 und 8 € m⁻² a⁻¹ unterbrochen und für kleinere und größere Werte unterschiedlich skaliert. (Abbildung: IWW)

4.3.2 Ressourcennutzung (Ökobilanz)

Neben den direkten Kosten für die Regenwasserbewirtschaftung entstehen für Bau und Betrieb der einzelnen Maßnahmen aus umwelttechnischer Sicht auch nicht-monetäre Aufwendungen, zum Beispiel für die Bereitstellung von Baumaterial, Strom und anderen Betriebsstoffen, aber auch für Transport und Entsorgung von Abfallströmen. Diese Ressourcennutzung kostet Energie und führt in der Folge auch zu negativen Umwelteinwirkungen, z.B. zur Emission von Treibhausgasen. Daher ist eine Analyse der einzelnen Maßnahmen hinsichtlich dieser Ressourcennutzung und damit verbundener Umwelteffekte sinnvoll, damit auch der nicht-monetäre Aufwand bewertet werden kann.

Zur Bewertung dieses Ressourcenaufwands eignet sich die Methodik der Ökobilanz (engl. Life Cycle Assessment oder LCA) nach ISO 14040/44 (ISO 2006a; ISO 2006b). In einer Ökobilanz wird der gesamte Lebenszyklus eines Produkts oder Systems über ein Stoffstrommodell bilanziert und hinsichtlich bestimmter Umweltindikatoren ausgewertet (Abbildung 21). Dabei werden insbesondere die indirekten Aufwendungen und Emissionen der relevanten vor- und nachgelagerten Prozesse erfasst, die z.B. bei der Produktion von Beton oder bei der Bereitstellung von Strom entstehen.

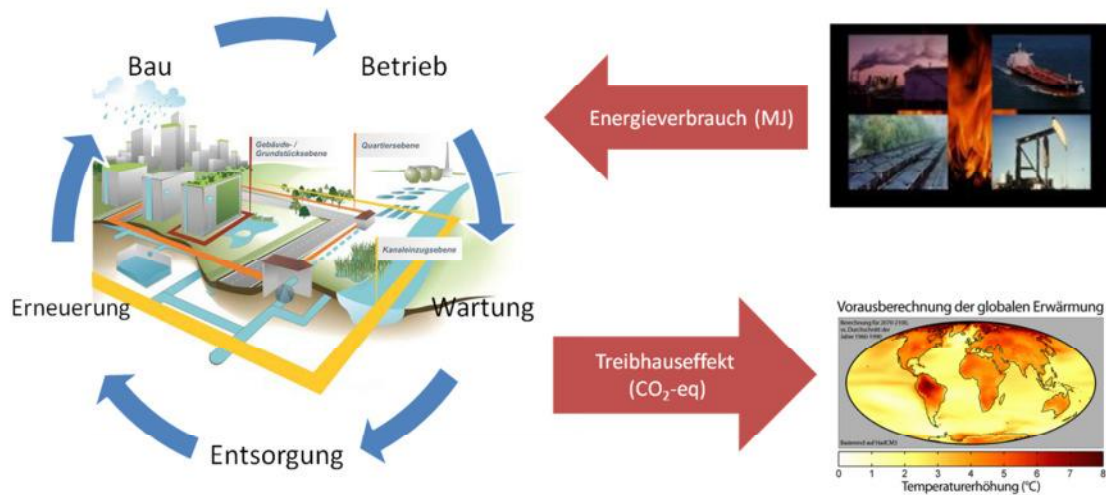


Abbildung 21: Lebenszyklusbewertung in einer Ökobilanz (Abbildung: KWB)

Es existieren nur vereinzelt Ökobilanz-Studien über Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung, und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse untereinander ist durch die Verwendung unterschiedlicher Definitionen und Datenbanken nicht gegeben. Daher wurden in KURAS für 22 Maßnahmen einzelne Fallbeispiele analysiert und deren Bau und Betrieb über eine vereinfachte Ökobilanz bewertet. Diese Bewertung erfolgte über zwei ausgewählte Umweltindikatoren: a) den kumulierten Energieaufwand fossiler Ressourcen nach VDI (2012) und b) den Treibhauseffekt über 100 Jahre nach IPCC (2007).

Die Eingabedaten für die Ökobilanz basieren auf Beispielprojekten einer konkreten Umsetzung von Maßnahmen sowie teilweise auf validierten Planungsdaten von Projektpartnern. Sie umfassen die zum Bau verwendeten Materialien und deren Transport zur Baustelle, den Bodenaushub, die betrieblichen Aufwendungen (z.B. Strom für Pumpen, Austausch von Filtermaterial) sowie die Entsorgung von Abfällen. Bei der Regenwassernutzung als Betriebswasser ist auch der Ersatz von Trinkwasser als Gutschrift berücksichtigt. Die Bewertung der einzelnen Prozesse beruht auf Kennzahlen einer Ökobilanz-Datenbank (ecoinvent v3.1). Als Bezugsgröße für den Vergleich der verschiedenen RWM wurde der jährliche Aufwand pro angeschlossene versiegelte Fläche A_b definiert $[ha A_b \cdot a]^{-1}$. Bei den zentralen Maßnahmen im Mischsystem wurde analog zu der Kostenbewertung ein Zielzustand von 30 m³ Stauraum pro ha A_b angenommen. Zur Berechnung des jährlichen Aufwands werden die baulichen Aufwendungen über die erwartete Lebensdauer der Bauwerke abgeschrieben und mit den jährlichen Betriebsaufwendungen summiert (siehe Lebensdauern in Abschnitt 4.3.1).

Damit lassen sich für 22 Maßnahmen die Umweltwirkungen hinsichtlich Energieverbrauch und Treibhauseffekt berechnen. Abbildung 22 zeigt beispielhaft den Treibhauseffekt in kg CO₂-Äquivalenten pro ha A_u und Jahr, der zwischen 59 und 5200 kg CO₂-eq liegt. In der Darstellung wurden die Maßnahmen mit mittlerem Aufwand oder 1000-3000 kg CO₂-eq/(ha $A_b \cdot a$) relativ zueinander gelb markiert, darüber bzw. darunter mit rot bzw. grün.

Es wird deutlich, dass baulich einfache Maßnahmen wie erdgebundene Fassadenbegrünung oder einfache Versickerungssysteme einen niedrigen Treibhauseffekt verursachen, da sie nur geringen Materialaufwand bedingen. Vergleichbar niedrig sind zentrale Maßnahmen im Kanalsystem, die zwar aufwändigere Bauwerke sind, aber durch die erheblich größere angeschlossene Fläche nur geringe Auswirkungen pro Fläche haben. Aufwändiger sind Maßnahmen, die einen Großteil der angeschlossenen Fläche einnehmen (z.B. Gründächer, Entsiegelungsmaßnahmen) oder materialtechnisch aufwändiger sind (Rigolensysteme, systemgebundene Fassadenbegrünung, intensive Gründächer). Betriebliche Aufwendungen spielen vor allem bei der Be-

triebswassernutzung und Teichen eine Rolle, da hier durch regelmäßigen Pumpenbetrieb laufende Aufwendungen entstehen, was den Ressourcenverbrauch deutlich erhöhen kann.

Die relative Bewertung der einzelnen Maßnahmen im Energieverbrauch korreliert eng mit den Ergebnissen im Treibhauseffekt, da der Verbrauch fossiler Energieträger immer auch Treibhausgasemissionen nach sich zieht. Die Spanne der Ergebnisse für den Energieverbrauch liegt zwischen 0,8 und 74,9 MJ pro ha A_b und Jahr für alle betrachteten Maßnahmen.

Bei der Nutzung dieser Ergebnisse ist zu beachten, dass die ökobilanzielle Bewertung hier auf einzelnen Fallbeispielen beruht, die zusammen mit den Projektpartnern als repräsentativ ausgewählt wurden. Da die bauliche Ausführung im konkreten Einzelfall aber stark von den lokalen Rahmenbedingungen abhängen kann, sind erhebliche Abweichungen von diesen Ergebnissen möglich. Dennoch bieten die Kennwerte eine erste Grundlage, diesen Aspekt der Implementierung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung abzuschätzen und in eine strategische Planung zu integrieren.

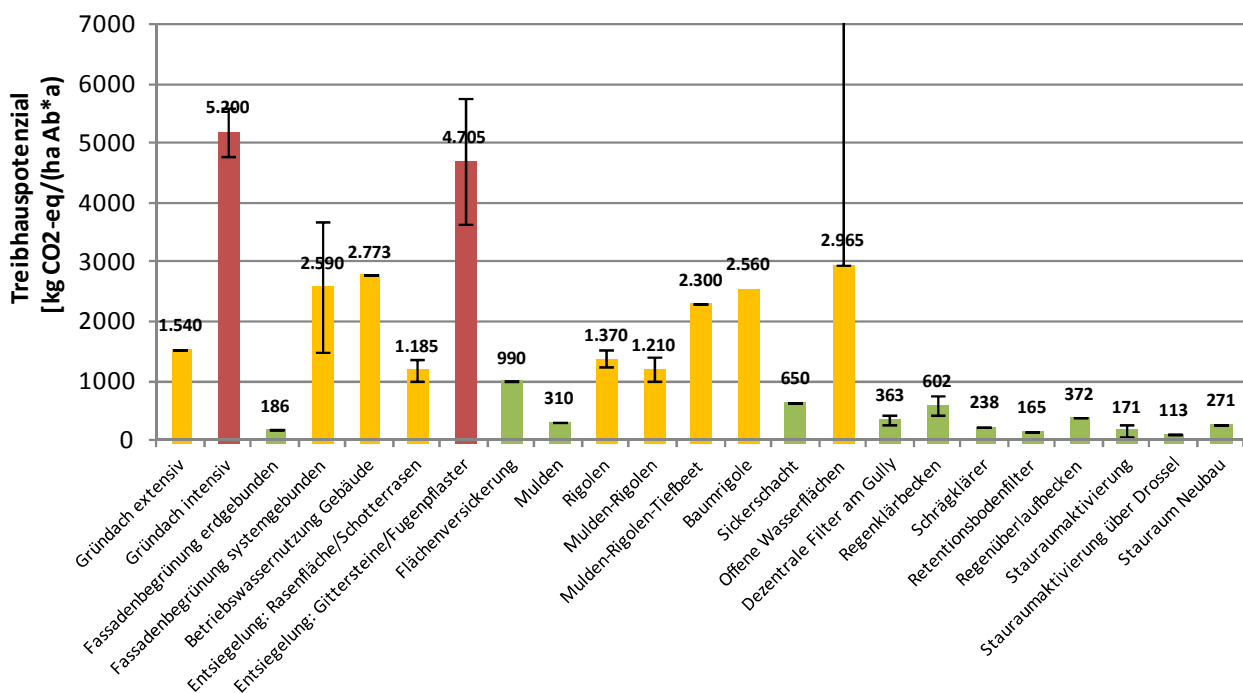


Abbildung 22: Treibhauseffekt der RWM pro ha angeschlossene versiegelte Fläche und Jahr (Balken spiegeln den Schwankungsbereich für einzelne Fallbeispiele wieder). (Abbildung: KWB)

Die eigentliche Auswahl von Maßnahmen aufgrund der Informationen zum Quartier und zu den Maßnahmen findet im Diskurs statt. Hintergrund dieses Vorgehens ist die Einsicht, dass es nicht darum geht eine mathematisch optimale Maßnahmenkombination zu erstellen, sondern eine Maßnahmenkombinationen die sowohl lokalen Bedürfnissen als auch übergeordneten Zielen Rechnung tragen.

Die Schritte in Abbildung 23 wurden im Projekt beispielhaft im Rahmen eines Planspiels für zwei Berliner Quartiere in den Bezirken Pankow und Tempelhof-Schöneberg durchgeführt. In den folgenden Kapiteln wird das Vorgehen entsprechend an den Erfahrungen für die beiden Quartieren erläutert.

5.2 Gebietsanalyse

5.2.1 Vorstellung der Beispielquartiere

Quartier in Tempelhof-Schöneberg



Quartier in Pankow



Impressionen aus den beiden Beispielquartieren (Fotos: KWB)

Die beiden im Projekt betrachteten Quartiere werden in Tabelle 3 verglichen.

Tabelle 3: Vergleich der beiden betrachteten Quartiere

Eigenschaft	Quartier im Bezirk Pankow	Quartier im Bezirk Tempelhof-Schöneberg
Größe	117 ha	104 ha
ang. versiegelte Fläche ¹	55 ha	59 ha
Einwohner ²	19.000	17.000
Kanalsystem	Trennkanalsystem	Mischkanalsystem
Betroffenes Gewässer	Panke via Regenwassereinleitungen	Landwehrkanal via Mischwasserüberläufe
Bebauungsstruktur ³	Dominiert durch Zeilenbebauung der 20er und 30er Jahre sowie Zeilenbebauung und hohe Bebauung der Nachkriegszeit	Dominiert durch Blockbebauung der Gründerzeit, Lückenschluss, zahlreiche Liegenschaften der Verwaltung und Polizei
Nutzungsart	Wohn- und Mischnutzung, Gewerbebereiche	Wohn- und Mischnutzung

¹ Umweltatlas des Landes Berlin, Karte „Versiegelung 2011“, <http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp>

² Umweltatlas des Landes Berlin, Karte „Einwohnerdichte 2015“, <http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp>

³ Umweltatlas des Landes Berlin, Karte „Stadtstruktur 2010“, <http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp>

Sie weisen beide eine Fläche von ca. 1 km² und eine Einwohnerzahl in der Größenordnung von ca. 20.000 auf. Durch die mehrheitliche Hochhaus- und Zeilenbebauung ist das Quartier in Pankow deutlich weniger dicht bebaut. Im Quartier in Tempelhof-Schöneberg liegt dagegen eine große Grünfläche (Stadtpark Schöneberg), wodurch der Versiegelungsgrad beider Quartiere in einer ähnlichen Größenordnung liegt (Tabelle 3). Ähnlich stellt es sich für die Einwohnerzahl dar. Im Pankower Quartier enthalten die Wohngebäude tendenziell eine höhere Stockwerkszahl, wodurch die dichtere Bebauung im Schöneberger Quartier ausgeglichen wird. Während im Pankower Quartier eine erhöhte Gewerbenutzung vorliegt, gibt es im Schöneberger Quartier diverse Verwaltungsgebäude (z.B. Rathaus Schöneberg, Bundeskriminalamt).

Hinsichtlich der Entwässerung liegt das Pankower Quartier im Trenngebiet. Der abgeleitete Regenabfluss wird in die Panke eingeleitet. Das Schöneberger Quartier liegt im Mischkanalgebiet. Hier wird das Regenwasser zusammen mit dem häuslichen Schmutzwasser dem Klärwerk Ruhleben zugeführt. Bei Starkregen kommt es allerdings zu Mischwasserüberläufen in den Landwehrkanal.

In den folgenden beiden Unterkapiteln wird am Beispiel der beiden Quartiere die Problemanalyse sowie die Machbarkeitsanalyse erläutert.

5.2.2 Problemanalyse

Die Gebietsanalyse besteht zum einen aus der Problemanalyse, also einer Beschreibung des Ist-Zustands hinsichtlich der KURAS-Effekte Biodiversität, Grundwasser, Oberflächengewässer, Stadtklima, Freiraumqualität und Nutzen auf Gebäudeebene. Als Datenbasis dienen in der Regel GIS-basierte Informationen zu Boden und Grundwasser, zur Bebauungsstruktur, zum Versiegelungs- und Anschlussgrad, zu Grünflächen und zum Kanalsystem. Zur Wahl der entscheidenden Bewertungsgrößen sind weitere Informationen notwendig, etwa zur Belastungssituation der betroffenen Oberflächengewässer oder des Grundwassers.

Das Ergebnis der Problemanalyse soll nach Möglichkeit neben einer Erläuterung wiederum die Form einer Karte enthalten, damit Maßnahmen für unterschiedliche Räume ausgewählt und gezielt platziert werden können. Abbildung 24 zeigt die resultierenden Karten für die wichtigsten Indikatoren je Effekt.

Bezüglich des *Nutzens auf Gebäudeebene* wurden existierende gebäudebezogene Maßnahmen sowie deren Potenzial über Luftbildanalysen (Dachbegrünung, Abbildung 24a), Begehungen (Fassadenbegrünung) und Teil-Befragungen (Regenwassernutzung) erfasst. Es zeigt sich für beide Quartiere, dass das Potenzial mit ca. 4% für Dachbegrünung und $\leq 1\%$ für Fassadenbegrünung und Regenwassernutzung bei weitem nicht ausgeschöpft ist. Die erstellten Karten weisen gleichzeitig die Machbarkeit gebäudebezogener Maßnahmen aus (siehe Kapitel 5.2.2).

Die *Freiraumqualität* wurde anhand von Begehungen beurteilt. Dabei wurde jeweils davon ausgegangen, dass die aktuelle Nutzung einer Fläche unverändert bleibt. So ist beispielsweise das Freiraumpotenzial einer Straße durch deren Nutzung begrenzt und erreicht in der vorliegenden Analyse bereits eine „grüne“ Bewertung, wenn der Straßenraum einen hohen Baum- oder Grünbestand beinhaltet. In beiden Gebieten zeigen die Karten verschiedene Bereiche mit einem hohen Verbesserungspotenzial (rote Bereiche in Abbildung 24b), wobei dies im Schöneberger Quartier vor allem stark versiegelte Flächen sind (z.B. Parkplatz vor dem Rathaus), während im Pankower Quartier auch ungenutzte Rasenflächen zwischen Zeilenbebauung betroffen sind.

Das *Stadtklima* wird für die Situation in der Nacht und am Tag über Modellrechnungen beurteilt, wobei eine nächtliche Belastung nur für Wohnbereiche berücksichtigt wird. In beiden Gebieten liegen thermische Belastungen vor allem am Tag in Wohn- und Gewerbebereichen sowie im Straßenraum vor. Heisse Nächte stellen nur punktuell ein Problem dar. Die farbliche Bewertung in Abbildung 24c ist relativ zur Belastung im entsprechenden Gebiet und dient der räumlichen Einordnung. Im Vergleich zu Gesamt-Berlin ist das Belastungsniveau im Pankower Quartier durchschnittlich, im Schöneberger Quartier dagegen überdurchschnittlich, was auf den höheren Versiegelungsgrad der bebauten Fläche zurückzuführen ist. Entsprechend ist der Bedarf klimatischer Aufwertungsmaßnahmen im Schöneberger Quartier höher einzustufen.

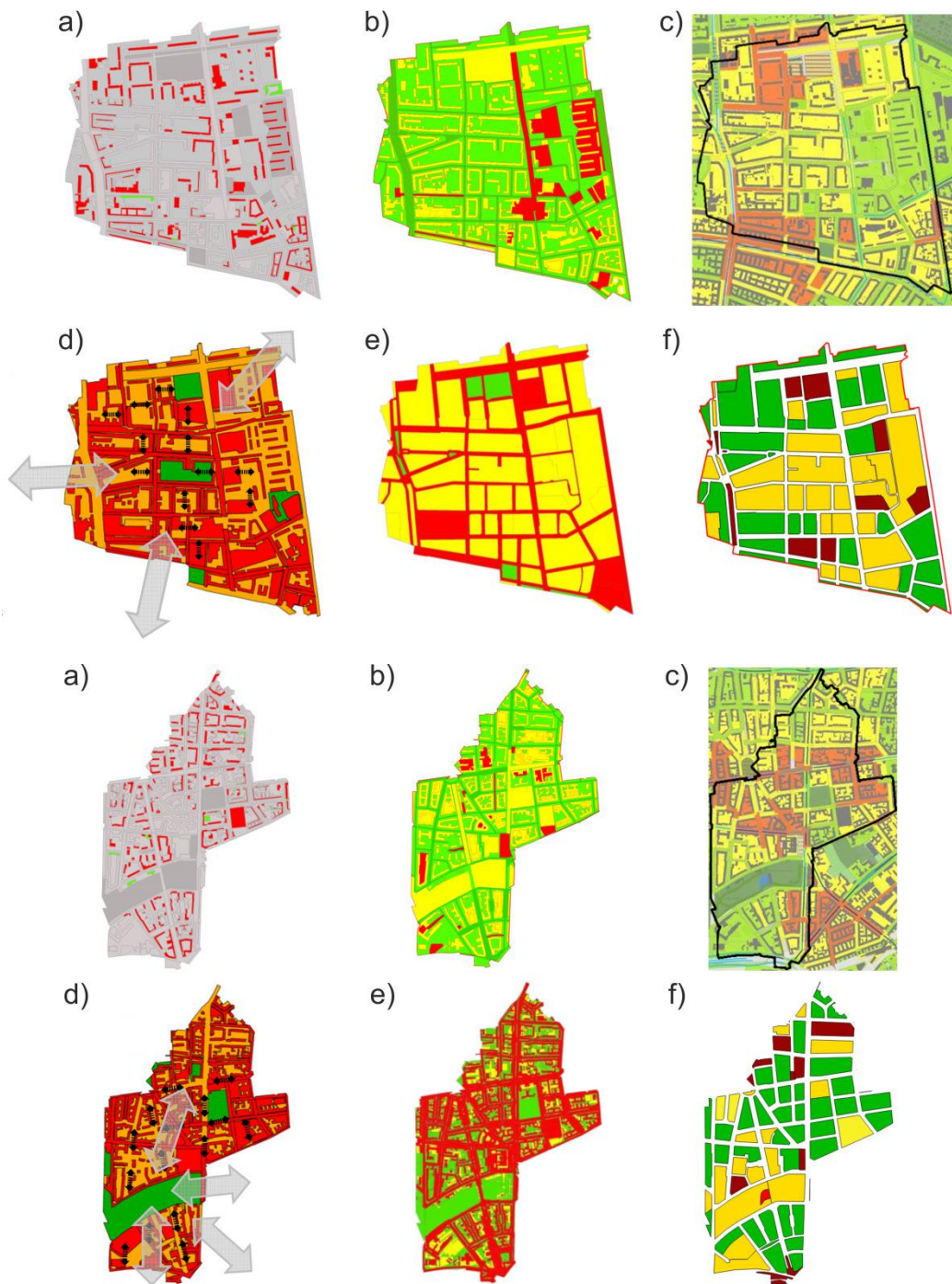


Abbildung 24: Karten der Problemanalyse der Beispielquartiere in Pankow (oben) und Schöneberg (unten).

a) Nutzen auf Gebäudeebene, Dachbegrünung: grün = bestehende Gründächer, rot = Flachdächer ohne Begrünung

b) Freiraumqualität: grün = keine weiteren Maßnahmen erforderlich, gelb = mäßiges Potenzial durch Maßnahmen, rot = hohes Potenzial durch Maßnahmen

c) Humanbioklimatische Situation (zusammengefasste Darstellung Tag + Nacht): grün = günstig, gelb = weniger günstig, rot = ungünstig

d) Biodiversität: grün = hoch, gelb = mittel, rot = gering, schwarze Pfeile = fehlende kleinräumige Vernetzung, graue Pfeile = fehlende übergeordnete Vernetzung

e) Oberflächengewässer, Abflusswirksamkeit: grün = kein Abfluss, gelb = mittlerer Abfluss, rot = hoher Abfluss

f) Grundwasser, Grundwasserneubildung (GWN): grün = gut ($15\% \leq GWN \leq 25\%$), rot = schlecht ($GWN < 10\%$ oder $> 30\%$), gelb = mittel (übrige); Flurabstand ≤ 3 m als Ausschlusskriterium (Abbildung: KWB)

Die *Biodiversität* wurde über eine Begehung abgeschätzt, ohne detaillierte Flächenaufnahmen. Neben der vorhandenen Artenvielfalt spielt auch die Vernetzung mit bestehenden Grünflächen eine wichtige Rolle. In Abbildung 24d wird die fehlende Vernetzung mit kleinräumigen Grünflächen und angrenzenden Parkanlagen durch Pfeile dargestellt. Aus Sicht der biologischen Vielfalt wäre es entsprechend sinnvoll insbesondere im Bereich dieser Pfeile existierende Grünflächen durch kleinteilige grüne oder blaue Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung aufzuwerten.

Die Belastung der *Oberflächengewässer* wird über Messdaten zum Abfluss und zur Wasserqualität beurteilt. Das größte Problem im Quartier Alt-Schöneberg stellen die nach Mischwasserüberläufen auftretenden fischkritischen Sauerstoffdefizite im Landwehrkanal dar. Der wichtigste Treiber hierfür sind die Abflussmengen und Spitzenabflüsse aus dem Gebiet bei Starkregen. Den größten Abflussanteil im Quartier haben versiegelte Straßen- und Dachflächen (siehe Abbildung 24e, unten). Das größte Defizit in Pankow stellt die hydraulische Überlastung der Panke und die damit verbundene Verfrachtung und Schädigung benthischer Lebewesen dar. Der Schwellenwert für einen weitgehend natürlichen Gewässerabfluss (Borchardt et al. 2003) wird hier mehrmals pro Jahr deutlich überschritten. Hierfür verantwortlich sind vor allem die großen Abflussanteile von Straßen- und Dachflächen (siehe Abbildung 24e, oben). Auf der stofflichen Seite ist insbesondere die Phosphorfracht als Treiber von Eutrophierungsprozessen sowie die Fracht an abfiltrierbaren Stoffen als Maß für die Sedimentbelastung zu nennen. Die größten Stofffrachten fallen wiederum im Straßenland an. Der Anteil von Flächen mit hohem Abfluss ist wie erwartet im Schöneberger Quartier deutlich höher. Dies liegt aber nicht nur am höheren Versiegelungsgrad, sondern auch an der unterschiedlichen Datenverfügbarkeit für die beiden Gebiete. Das Beispiel zeigt, dass mit abnehmender Datenaufösung auch die Genauigkeit einer Maßnahmenplatzierung abnimmt.

Bei der Beurteilung der *Grundwassersituation* spielt sowohl die Quantität als auch die Qualität eine Rolle (Vgl. Kapitel 4.2.3). Da Daten zur vorliegenden Grundwasserqualität zu Größen wie Zink, Chlorid oder Bioziden nicht oder nur spärlich vorliegen und angesichts der wenigen Daten teilweise eher von einer Verdünnung durch Versickerung von Regenwasser (z.B. für Sulfat) auszugehen ist, konzentrieren sich die Karten in Abbildung 24f auf die Quantität. Die Karten wurden anhand der vorliegenden Wasserhaushaltsmodellierung des Landes Berlin (Umweltatlas des Landes Berlin, Karte „Wasserhaushalt 2012“, <http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp>) erstellt. Sie zeigen, dass sich die Grundwasserneubildung für $\geq 50\%$ der Flächen der beiden Gebiete bereits in einem naturnahen Bereich, zwischen 15 und 25% des Niederschlags, befindet (ATV-DVWK 2000). In den restlichen Flächen liegt die Grundwasserneubildung in der Regel sogar höher als der angestrebte naturnahe Bereich. Dies erklärt sich durch nicht angeschlossene versiegelte Flächen und teilversiegelte Flächen die zu Grundwasserneubildungsraten deutlich oberhalb von 25% führen (Glugla et al. 1999). Die Auswertung zeigt, dass im Sinne einer naturnahen Wasserbilanz keine zusätzliche Grundwasserneubildung notwendig ist, sondern eine verstärkte Verdunstung angestrebt werden sollte.

5.2.3 Analyse der Machbarkeit der Maßnahmen

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Gebietsanalyse ist die Realisierbarkeit von Maßnahmen in einem bestimmten Gebiet. Diese ist abhängig von den physikalischen und baulichen Gegebenheiten.

In Bestandsgebieten kann hier zum einen die Machbarkeit von gebäudebezogenen Maßnahmen geprüft werden. Insbesondere Maßnahmen der Gebäudebegrünung sind nicht an jedem Gebäude umsetzbar. So stellt Dachbegrünung Anforderungen an die Dachneigung oder die statische Belastbarkeit (siehe auch Maßnahmensteckbrief 1 im Anhang). Da Gebäudebegrünung auch das Erscheinungsbild von Gebäuden verändert, können auch Aspekte wie Denkmalschutz oder bestimmte Nutzungsanforderungen die Machbarkeit einschränken.

Im Planspiel wurde für die beiden Quartiere vereinfacht davon ausgegangen, dass alle Flachdächer extensiv begrünbar sind (Abbildung 24a). Weitere Aspekte, wie Denkmalschutz oder Statik wurden nicht geprüft. Die Auswertung zeigt, dass immerhin 52% bzw. 40% der Dachflächen im Pankower bzw. Schöneberger Quartier begrünbar wären (aber noch unbegrünt sind).

Maßnahmen der Versickerung stellen unterschiedliche Anforderungen an Flurabstand und Bodeigenschaften. Aufgrund von GIS-basierten Informationen zu Trinkwasserschutz zonen, Geländemodell, Bodentypen und Flurabstand kann die Eignung für verschiedene Maßnahmen der Versickerung in sogenannten Artenkarten

dargestellt werden. Hinzu kommen weitere Einschränkungen die sich aus der früheren Nutzung ergeben, insbesondere durch Altlasten.

Abbildung 25 zeigt zwei Beispiele solcher Artenkarten für die beiden Quartiere. Keines der Gebiete liegt in einer Trinkwasserschutzzone, zudem sind die Flurabstände überall $\geq 3\text{m}$. Aufgrund des Planspielcharakters standen keine Informationen zu Altlasten zur Verfügung. Entsprechend ist die Durchlässigkeit des Bodens ausschlaggebend für die gezeigten Artenkarten. Insbesondere das Schöneberger Quartier weist gut versickernde Böden auf, wodurch einfache Flächen- und Muldenversickerung in weiten Bereichen möglich ist (pinke Flächen in Abbildung 25b). Im Pankower Quartier, sowie in Teilen des Schöneberger Quartiers ist dagegen eine Versickerung nur mit zusätzlichen Speichervolumen in Form von Rigolenelementen möglich (grüne und blaue Flächen in Abbildung 25). In einigen Bereichen beider Gebiete liegen aber auch sehr schlecht durchlässige Böden vor, wo Versickerungsmaßnahmen nicht möglich sind (orange Flächen in Abbildung 25).

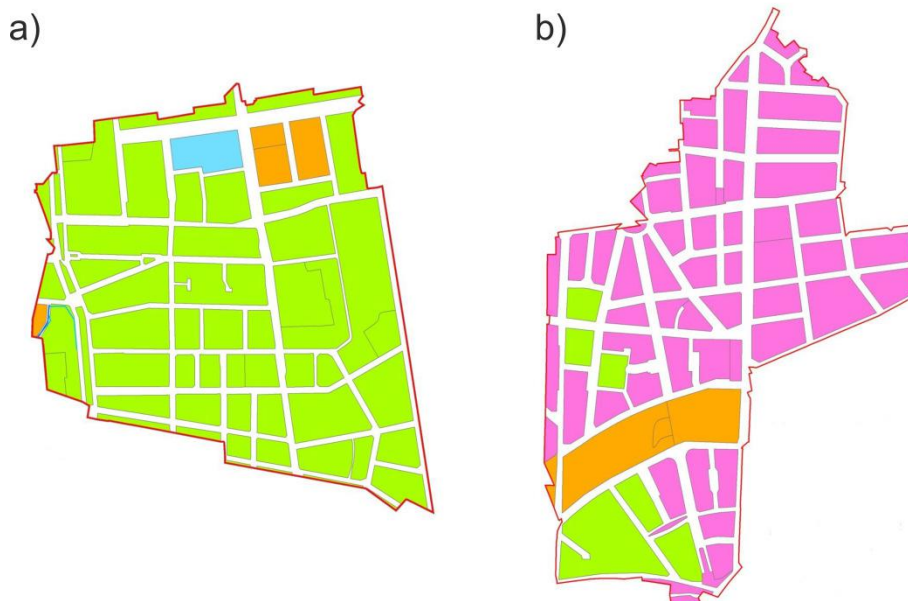


Abbildung 25: Versickerungsartenkarten für die Beispielquartiere in Pankow (a) und Schöneberg (b).

Farberklärung:

rosa = alle Versickerungsarten möglich

grün = große Speichervolumina erforderlich (z.B. Rigolen), Muldenversickerung nur bei großem Platzangebot

blau = große Speichervolumina erforderlich (z.B. Rigolen), Muldenversickerung nicht möglich

orange = keine Versickerung möglich

(Abbildung: IPS)

Auch für zentrale Maßnahmen auf Einzugsgebietsebene ist die Machbarkeit zu prüfen. Auf der einen Seite entfalten die Maßnahmen ihr Potenzial vor allem dann, wenn sie an zentralen Punkten des Einzugsgebietes angeordnet sind und einen großen Volumenstrom erfassen. Aus diesem Grund werden beispielsweise Regenüberlaufbecken meist in Pumpwerksnähe gebaut. Auf der anderen Seite ist insbesondere bei oberflächlichen zentralen Maßnahmen (z.B. Regenrückhaltebecken oder Retentionsbodenfilter) das Flächenangebot maßgebend. Stauraumaktivierung im Mischsystem ist vor allem dort sinnvoll, wo flache Kanalsysteme mit unausgenutztem Stauraum vorliegen, was im Einzugsgebiet des Schöneberger Quartiers der Fall ist.

Für das Schöneberger Quartier wurde durch eine Analyse des Kanalsystems (i) eine Stauraumaktivierung mittels fünf beweglicher Wehre, sowie (ii) der Bau von Regenüberlaufbecken zur Verdoppelung des existierenden Beckenvolumens ($\sim 18.500\text{ m}^3$) als zwei mögliche Maßnahmen identifiziert. Für das Trenngebiet wurde das Zuweisen von Flächen dem Planungsprozess überlassen.

5.3 Stakeholder-Einbindung

5.3.1 Notwendigkeit der Einbindung von Stakeholdern

Die Umsetzung einer integrierten dezentralen und zentralen Regenwasserbewirtschaftung ist eine Gemeinschaftsaufgabe. Sie setzt die Einbindung und Koordination einer Vielzahl von Stakeholdern (Entscheidungsbefugten, Betroffenen, Interessensvertretern und Wissensträgern) mit ihren jeweiligen Aufgaben- und Verantwortungsbereichen, Kenntnissen und Interessen voraus. Dies gilt umso mehr, da ein integrierter Ansatz eine Abkehr von dem herkömmlichen Umgang mit Regenwasser darstellt.

Die Stakeholderbeteiligung bietet eine Plattform, um gemeinsame Zielvorstellungen zu definieren, Möglichkeiten auszuloten, Hemmnisse zu erkennen und bearbeiten sowie Prozessabläufe und Verantwortlichkeiten abzustimmen. Darüber hinaus hat sie zur Aufgabe, potenzielle Risiken sichtbar zu machen und die notwendige Akzeptanz von Maßnahmenkombinationen durch alle Beteiligten zu sichern. Folgende Leitfragen können dabei helfen den Prozess der Stakeholderbeteiligung zu gestalten:

1. Welche Möglichkeiten des Regenwassermanagements stehen zur Verfügung (Anschlussmöglichkeit an die zentrale Stadtentwässerung, direkte Einleitmöglichkeit in einem Gewässer, etc.)
2. Welche Anforderungen an dem Regenwassermanagement sind zu beachten (z.B. Einleitbeschränkungen)?
3. Welche örtlichen Herausforderungen bzw. welche Ziele sollen durch die Regenwasserbewirtschaftung adressiert werden?
4. Welche Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung kommen vorm Hintergrund ihrer jeweiligen Effekte (vgl. Kap. 3) in Frage?
5. Stehen ausreichende und geeignete Flächen für die Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung zur Verfügung, welche Nutzungsansprüche sind vorhanden und welche Möglichkeiten gibt es, Flächenkonkurrenzen zu minimieren bzw. Synergien zu schaffen?
6. Welche Risiken werden gesehen? Welche sonstigen Vorbehalte sind vorhanden?
7. Welche Zulassungen sind erforderlich? Was muss diesbezüglich beachtet werden?
8. Besteht der Bedarf, die Regenwasserbewirtschaftung durch Instrumente der Stadtentwicklung zu verankern und wie erfolgt dies (z.B. im B-Plan)? Welche sonstigen, gesetzlichen Möglichkeiten gibt es, Zielvorgaben zu formulieren (Einleitbeschränkungen o.ä.)?
9. Wer ist für Planung, Umsetzung, Betrieb, Wartung und Instandhaltung zuständig?
10. Wer kommt für die Finanzierung der Maßnahmen auf? Welche Finanzierungsinstrumente stehen zur Verfügung?

Das Format des Beteiligungsprozesses, Schwerpunkte und Prozessablauf sind fallabhängig und lassen sich nicht idealtypisch darstellen. Der Kreis der zu beteiligenden Stakeholder hängt, wie in Abbildung 26 dargestellt, ebenfalls von der Art und Größe eines Bauvorhabens (z.B. Gebäudesanierung, Neubau im Bestand, städtebauliche Entwicklungsvorhaben auf Quartiersebene) ab. In jedem Fall umfasst der Kreis der Aufgabenträger die Stadtentwässerung, die Genehmigungsbehörde, den Grundstücks- bzw. Gebäudeeigentümer (z.B. Wohnungsbaugesellschaften), Wasserfachplaner/-ingenieure sowie Architekten und, sofern vorhanden, den Gebäudenutzer. Im Falle von städtischen Entwicklungsvorhaben sind die Investoren, die Stadtverwaltung (Planung, Straßenbau, Grünflächen, Naturschutz, und, bei öffentlichen Gebäuden, Facility Management), Stadtentwicklungsbüros und ggf. weitere Träger städtischer Dienstleistungen (z.B. die Stadtreinigung) entscheidende Akteure. Ferner ist es bei größeren und städtebaulich relevanten Vorhaben sinnvoll, Wissenschaft, Interessensvertretungen (z.B. Fach- und Umweltverbände, politische Parteien, lokale Initiativen, Mietervertreter) und die Anwohner bzw. die allgemeine Bevölkerung einzubinden.

In der schematischen Darstellung der KURAS-Methode (Abbildung 23) ist eine Stakeholderbeteiligung einerseits bei der Festlegung von Zielen und Herausforderungen, andererseits beim eigentlichen partizipativen Planungsprozess vorgesehen. Diese Trennung kann Sinn machen, da unter Umständen unterschiedliche Gruppen von Stakeholdern beteiligt werden müssen. In vielen Fällen sind aber dieselben Stakeholder angesprochen; dann kann die Zielfindung auch als integraler Bestandteil des partizipativen Planungsprozesses gesehen werden. Auch bei einer Zusammenlegung ist es aber entscheidend, dass Ziele zunächst maßnahmenunabhängig festgelegt werden.

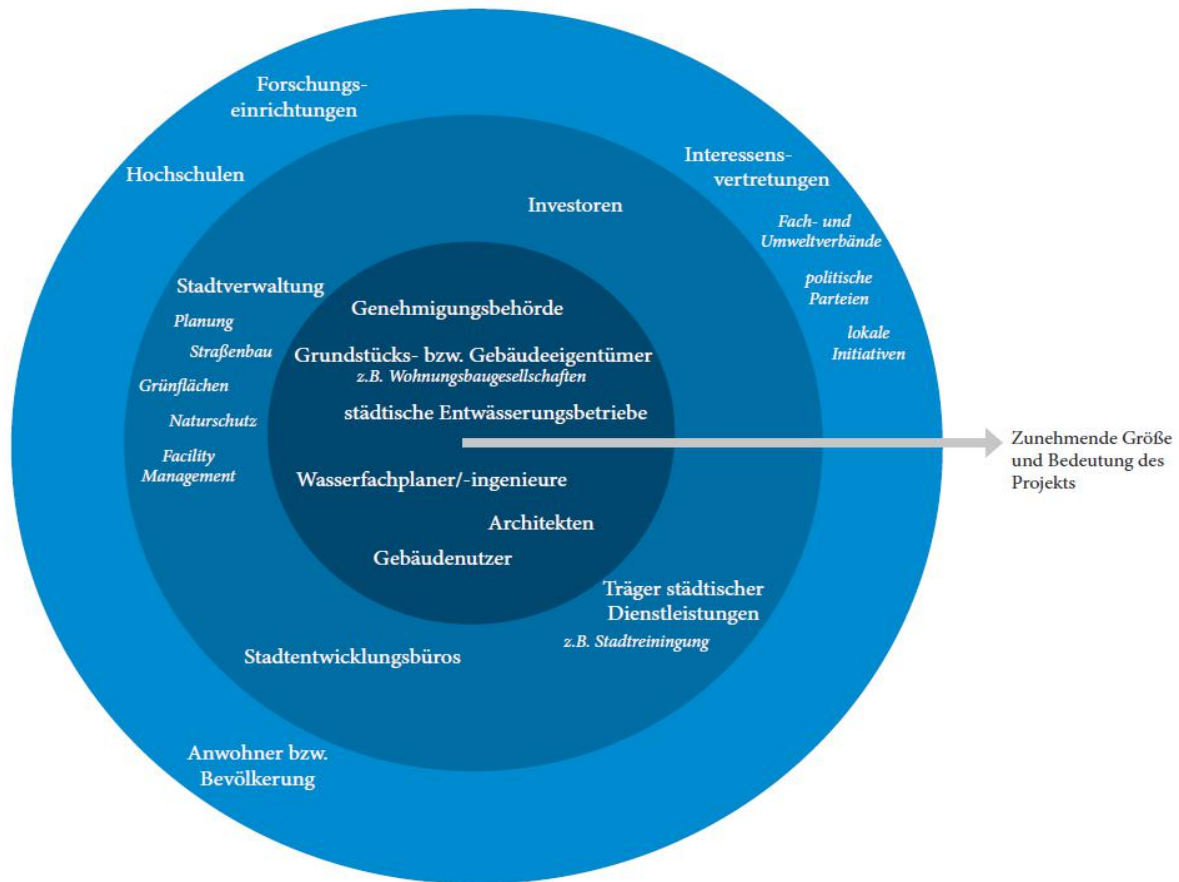


Abbildung 26: Mögliche Stakeholder in Abhängigkeit der Projektgröße (Abbildung: Difu)

Im Planspiel in KURAS haben bei der Zielfindung eine Reihe übergeordneter Stakeholder mitgewirkt. Der Planungsprozess hingegen wurde durch Gruppen von Projektpartnern durchgeführt. Das Vorgehen bei Zielfindung und Planungsprozess in den Beispielquartieren wird in den folgenden beiden Unterkapiteln vorgestellt.

5.3.2 Zieldefinition

Die Priorisierung der Ziele wurden durch Vertreter und Vertreterinnen

- der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt
- der Berliner Wasserbetriebe
- der Verwaltungen der Bezirke Pankow und Tempelhof-Schöneberg
- des Immobilienmanagements des Landes Berlin
- weiterer öffentlicher Belange (Umweltverbände und Stadtplanungsbüros)

vorgenommen. Individuelle Gebäudeeigner oder -nutzer oder die betroffene Bevölkerung wurden aufgrund des Planspielcharakters nicht beteiligt. Als Basis für die Entscheidung wurde den Teilnehmern die Problemanalyse für die beiden Quartiere (siehe Kapitel 5.2.2) vorgestellt und Fragen dazu beantwortet. Anschließend gab es zwei Diskussionsgruppen, jeweils eine pro Quartier.

In beiden Gruppen wurde erfolgreich eine Priorisierung der KURAS-Effekte erstellt (Abbildung 27). Es wurde aber auch von beiden Gruppen geäußert, dass eine Entscheidung sehr schwer fiel, da alle Effekte als wichtig

angesehen werden. Angesichts dieses Feedbacks wurde im Planungsprozess (siehe Kapitel 5.3.3) zwar die Priorisierung als Grundlage genommen, es wurde aber zusätzlich versucht, weniger prioritäre Effekte mit zu erfüllen.

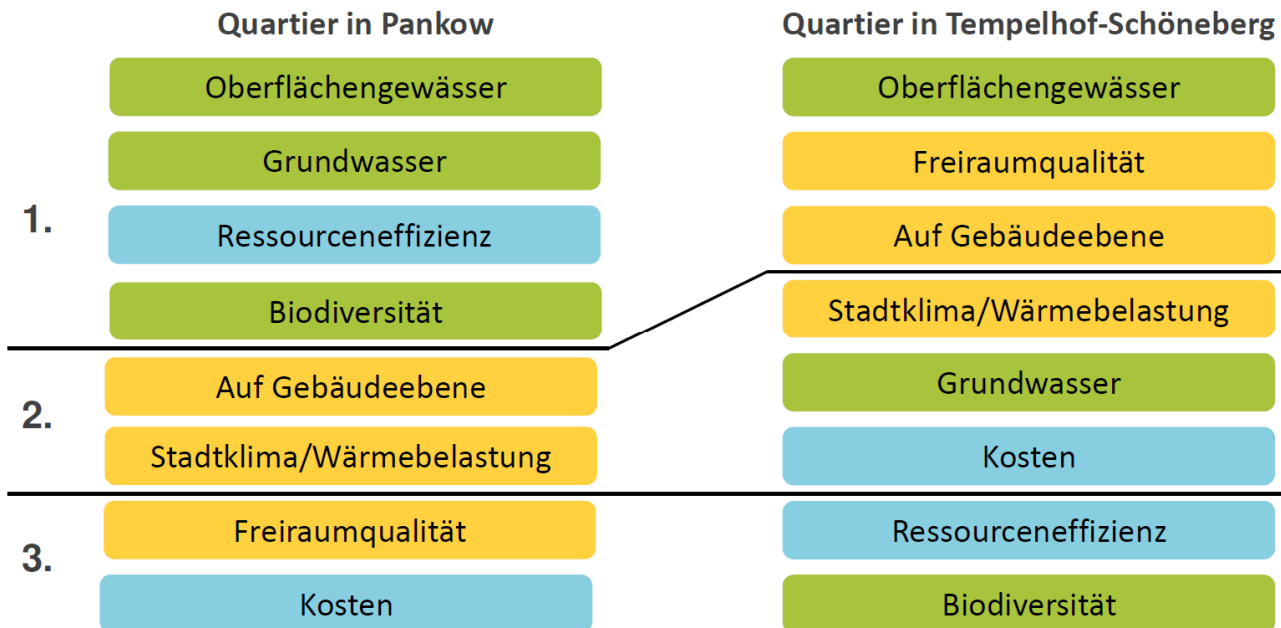


Abbildung 27: Ergebnis der Zielpriorisierung für die beiden Quartiere. Effekte auf Umwelt sind grün, Effekte auf Bewohner gelb und die Aufwandseite blau dargestellt. Die Zahlen zeigen die Effekte erster bis dritter Priorität. (Abbildung: Difu)

Abbildung 27 zeigt, dass eine sehr unterschiedliche Priorisierung für die beiden Gebiete erzielt wurde und einzig der Effekt auf Oberflächengewässer zwei Mal mit oberster Priorität eingestuft wurde. Die Unterschiede sind wahrscheinlich weniger auf Unterschiede in den örtlichen Defiziten (siehe Kapitel 5.2.2) zurückzuführen, da beispielsweise der unterschiedliche Ist-Zustand bezüglich Stadtklima keinen Einfluss auf die Priorisierung hatte. Entsprechend sind Unterschiede wahrscheinlich eher durch die unterschiedliche Zusammensetzung der Stakeholder sowie persönliche Schwerpunkte der Teilnehmer zu erklären.

Die Zusammensetzung der Stakeholder hat sicher auch in realen Beteiligungsverfahren einen wichtigen Einfluss. Dieser würde aber durch Reviewrunden im Anschluss möglicherweise etwas relativiert. In Realität sollten die Ziele auch über mehrere Runden konkretisiert und deren Zahl möglicherweise reduziert werden.

5.3.3 Partizipativer Planungsprozess

Für den Planungsprozess standen nun wie in Abbildung 23 dargestellt die folgenden Grundlagen zur Verfügung:

- Analyse der Machbarkeit der Maßnahmen (Vgl. Kapitel 5.2.3, Abbildung 24a und Abbildung 25)
- Problemanalyse des Ist-Zustandes (Vgl. Kapitel 5.2.2, Abbildung 24)
- Zielpriorisierung durch die Stakeholder (Vgl. Kapitel 5.3.2, Abbildung 27)

Allerdings ist es wichtig darauf hinzuweisen, dass für keinen Effekt konkrete Ziele (z.B. eine Einleitbeschränkung oder ein Kostenrahmen) vorlagen.

Der eigentliche Planungsprozess wurde parallel durch drei Personengruppen durchgeführt. Alle Teilnehmer waren Projektpartner, wobei darauf geachtet wurde, dass sich Vertreter von Forschung, Praxis und Behörden gleichmäßig verteilen. Die Aufgabenstellung lautete für alle Gruppen gleich: Es sollen für die Quartiere Maßnahmenkombinationen vorgeschlagen werden, die insbesondere die priorisierten Ziele in hohem Maße an-

streben. Für den Planungsprozess standen pro Quartier 2 Stunden zur Verfügung. Die Unterlagen zu Problem- und Machbarkeitsanalyse lagen als Karten vor. Die Planung selbst wurde zeichnerisch auf durchsichtiges Pergamentpapier mit vorgedruckten Stadtstrukturen erfasst.

Das Vorgehen der drei Gruppen lässt sich grob in zwei Typen unterscheiden:

- Vorgehen 1: In einem ersten Schritt werden aufgrund der Maßnahmenbewertung Maßnahmen ausgewählt die die priorisierten Ziele in hohem Maße erfüllen können; Maßnahmen die mehrere wichtige Ziele unterstützen werden dabei markiert. Dadurch wird die Zahl möglicher Maßnahmen deutlich eingeschränkt. Die Auswahl und Verortung der Maßnahmen findet dann separat für Teilräume ähnlicher Bebauungsstruktur statt, unter Berücksichtigung der Problemkarten und der Machbarkeit.
- Vorgehen 2: Das Quartier wird in einem ersten Schritt in Problemräume eingeteilt. Dabei ist ausschlaggebend wo welche prioritären Ziele die größten Defizite aufweisen. Bei der Planung werden für jeden Problemraum geeignete Maßnahmen aufgrund von Machbarkeit und Maßnahmenbewertung ausgewählt.

Da für jedes Ziel mehrere wirkungsvolle Maßnahmen zur Verfügung stehen, gibt es keine eindeutige optimale Lösung. Der partizipative Prozess trägt dem Rechnung und erlaubt den Teilnehmern persönliche Erfahrungen und Erwartungen mit einzubringen. Zudem haben alle Beteiligten zum Ausdruck gebracht, dass sie den Auswahlprozess als transparent empfunden haben und das Gefühl hatten, diesen aktiv mitgestaltet zu haben. Auf der anderen Seite besteht natürlich ein Risiko, dass einzelne Interessenslagen durch die Konstellation der Teilnehmer sehr stark berücksichtigt werden. Aus Sicht der Teilnehmer am KURAS-Planspiel überwiegen aber die Vorteile eines transparenten, gestaltbaren Planungsprozesses, weshalb eine analytische Generierung von sinnvollen Maßnahmenkombinationen ohne Stakeholder-Beteiligung nicht empfohlen wird.

5.4 Erstellte Maßnahmenkombinationen

Der partizipative Planungsprozess resultierte in drei Maßnahmenplanungen pro Quartier, gezeichnet auf Pergamentpapier (linke Darstellung in Abbildung 28). Diese Grobplanung wurde in einem ersten Schritt in einer GIS-Anwendung digitalisiert und in mehreren Reviewrunden durch die Teilnehmer geprüft (mittlere Darstellung in Abbildung 28). Damit ist die in Abbildung 23 vorgeschlagene KURAS-Methode eigentlich abgeschlossen. Da im Projekt aber die Auswirkungen der Maßnahmenkombinationen wiederum betrachtet werden sollten wurde in einem dritten Schritt eine (teilweise) Feinplanung vorgenommen (rechte Darstellung in Abbildung 28).

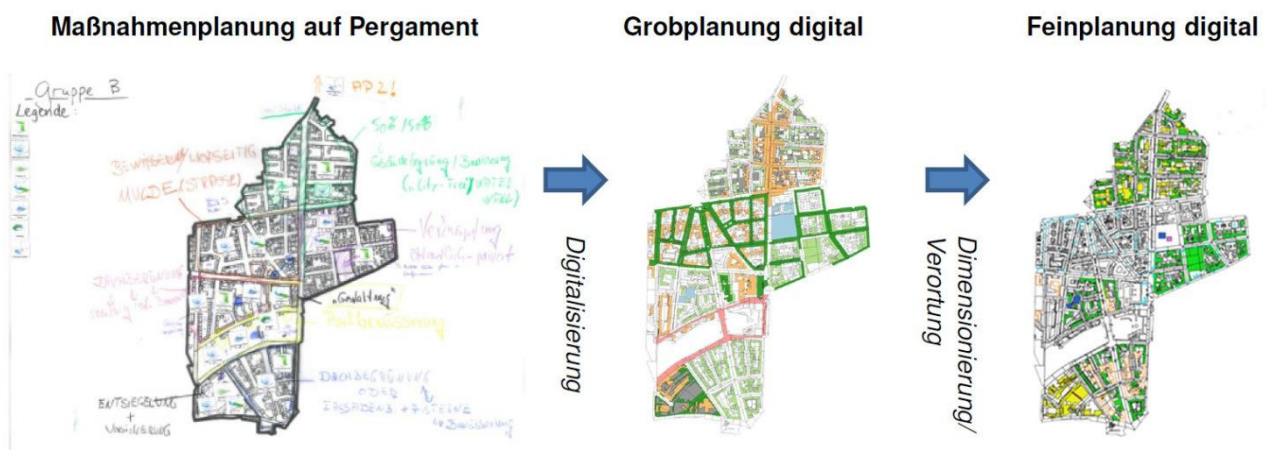


Abbildung 28: Vorgehen der Maßnahmenplanung in den KURAS-Planspielen

Dazu wurden einerseits Dimensionierung und Vorgaben für die unterschiedlichen Maßnahmen und Maßnahmenkaskaden durch die beteiligten Praxispartner vorgegeben. Aufgrund dieser Angaben wurde eine erste Dimensionierung und Verortung der Einzelmaßnahmen vorgenommen (z.B. unter Berücksichtigung vorhandener Strukturen, wie z.B. Bäume). Durch mehrere Iterationen mit 30-jährigen Regenreihen in der Software

STORM (IPS 2007) wurde diese Dimensionierung angepasst. Dies war insbesondere für Kaskaden notwendig: So ist in der Kaskade Dachbegrünung - Zisterne - Rigole die notwendige Größe der Rigole nur iterativ zu ermitteln.

Das Ergebnis der Feinplanung wird in Abbildung 29 dargestellt. Allein die farbliche Markierung zeigt Parallelen (z.B. die hellblauen Baumrigolen) und deutliche Unterschiede auf. Manche Unterschiede treten bei einer Gruppe beider Quartiere (also Pankow B und Schöneberg B) auf, was auf Präferenzen der Planungsgruppe zurückzuführen sein dürfte. So hat die Gruppe A dezentrale Maßnahmen am „sparsamsten“ umgesetzt, Gruppe B hat besonders viele Maßnahmenkaskaden eingeplant und Gruppe C hat in erhöhtem Maße Maßnahmen der Kategorie Gebäudeüberünung platziert. Die Gruppen A und B haben zudem zentrale Maßnahmen mit berücksichtigt (Retentionsbodenfilter in Pankow und Stauraumaktivierung in Schöneberg), während Gruppe C ausschließlich dezentrale Maßnahmen vorgesehen hat.

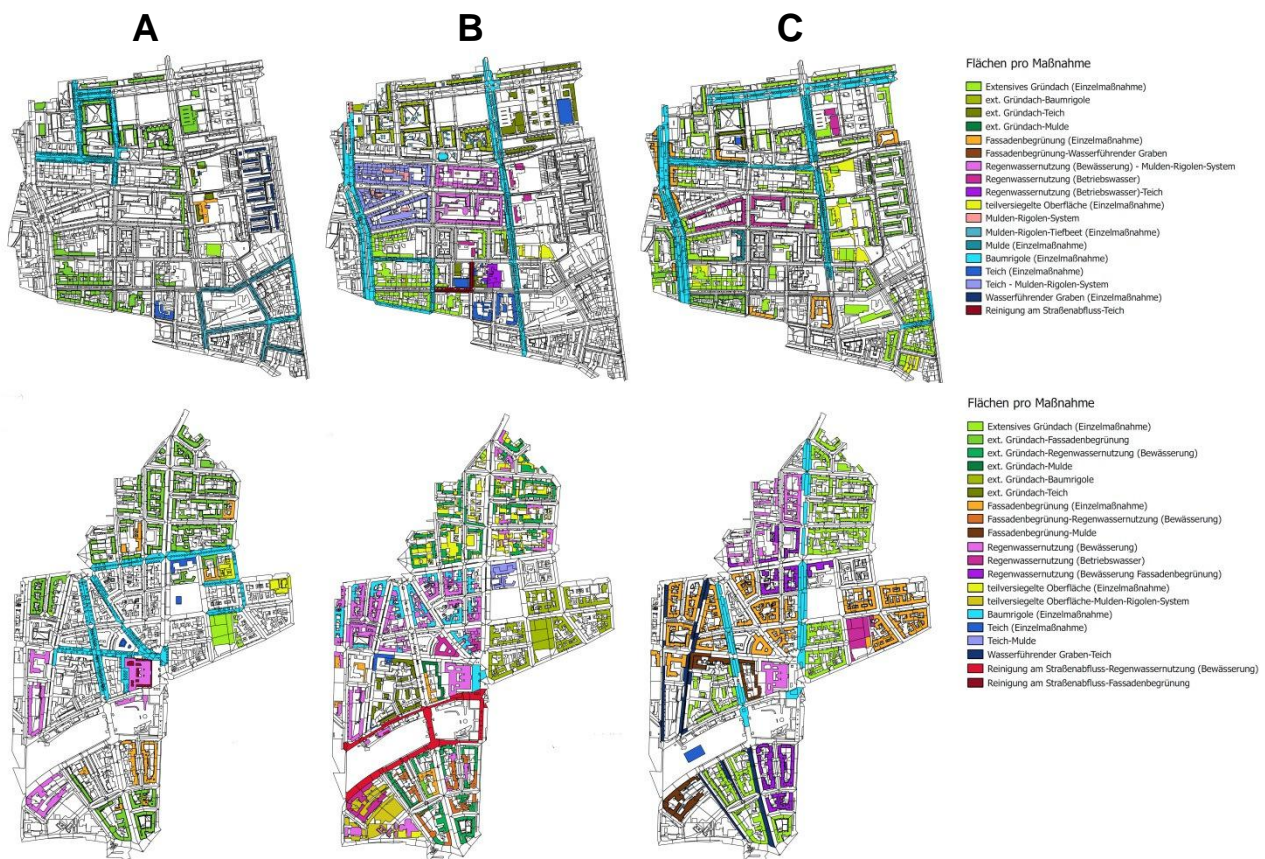
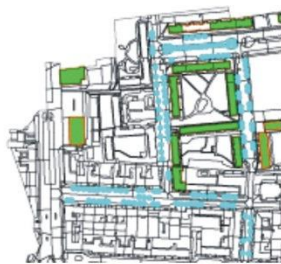


Abbildung 29: Ergebnis der Feinplanung der Maßnahmenkombinationen A, B und C der Quartiere im Bezirk Pankow (oben) und Tempelhof-Schöneberg (unten). Dargestellt sind die an die Maßnahmen angeschlossenen Flächen (und nicht die Maßnahmen selbst). Entsprechend sind zentrale Maßnahmen hier nicht gezeigt (da sie alle angeschlossenen Flächen erfassen). Die folgenden zentralen Maßnahmen wurden geplant: Retentionsbodenfilter außerhalb des Gebietes (Pankow A) und im Gebiet (Pankow B) sowie Stauraumaktivierung (Schöneberg A und B).

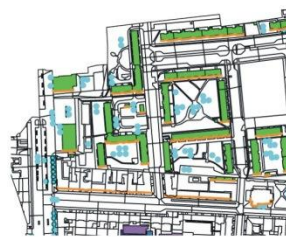
Angesichts der sehr unterschiedlichen Ergebnisse der drei Gruppen stellt sich die Frage, ob wirklich die Ziele und Problemtypen konsequent verwendet wurden. Abbildung 30 zeigt beispielhaft eine Maßnahmenwahl der drei Gruppen für einen Ausschnitt des Quartiers in Pankow welches eine Hitzebelastung aufweist. Die Maßnahmenwahl zeigt, dass alle Gruppen Maßnahmen in dem Bereich platziert haben die geeignet sind das Stadtklima zu verbessern (Vgl. Bewertungsmatrix im Anhang). Die gewählten Maßnahmen Baumrigolen, Teiche, Dach- und Fassadenbegrünung leisten auch einen positiven Beitrag zur Biodiversität, reduzieren die hydraulische Belastung der Panke (außer Fassadenbegrünung), verhindern eine zusätzliche starke Grundwasserneubildung und haben einen niedrigen bis moderaten CO₂-Fußabdruck. Es wurden also trotz großen Unterschieden durch alle Gruppen Maßnahmen gewählt die neben dem Stadtklima auch alle vier Effekte erster Priorität in Abbildung 27 berücksichtigt.



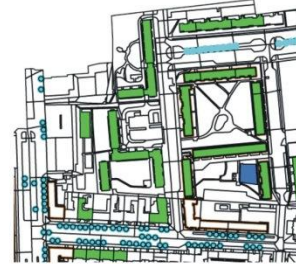
- Extensives Gründach
- Fassadenbegrünung (erdgebunden)
- Baumrigole
- Teich



A



B



C

Abbildung 30: Beispielhafte Maßnahmenauswahl für den nordwestlichen Bereich des Quartiers in Pankow. Die obere Karte zeigt die Problemkarte Stadtklima (Vgl. Abbildung 30c), die unteren Karten zeigen die von den drei Gruppen gewählten (oberflächlichen) Maßnahmen.

6 Potenzial integrierter Maßnahmenkombinationen

6.1 Auswirkung auf die Wasserbilanz

Als Ausgangslage für die Effektbewertungen wurden die Maßnahmen mittels STORM (IPS 2007) dimensioniert und deren Effekt auf die drei Komponenten der Wasserbilanz - Abfluss, Grundwasserneubildung und Verdunstung - für das Jahr 1990 berechnet. Das Jahr 1990 wurde verwendet, da es in vielen Aspekten ein mittleres Niederschlagsjahr darstellt (Tabelle 4).

Tabelle 4: Niederschlagseigenschaften für die Status-Quo-Periode 1981-2010 und das repräsentative Jahr 1990

Niederschlagseigenschaft	Ø 1981-2010	1990
Jahresniederschlag [mm]	582	612
Niederschlag Sommerhalbjahr (Mai – Oktober) [mm]	328	342
Niederschlag Winterhalbjahr (November – April) [mm]	253	270
Häufigkeit N = 7,5 mm/1h (n = 4/a)	4	4
Häufigkeit N = 29,2 mm/1h (n = 0,2/a)	0,2	0
Häufigkeit N = 9,7 mm/2h (n = 4/a)	3,9	6
Häufigkeit N = 33,7 mm/2h (n = 0,2/a)	0,2	0
Anzahl Trockenperioden mit D = 5 bis 10 d	12,3	14
Anzahl Trockenperioden mit D = 10 bis 20 d	6,4	6
Anzahl Trockenperioden mit D ≥ 20 d	1,2	1

Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse für die gesamten Quartiere. Die Maßnahmenkombinationen reduzieren den oberflächlichen Abfluss um 20 % bis 32% im Modellquartier Pankow und 28 % bis 39 % im Modellquartier Tempelhof-Schöneberg. Die deutliche Reduktion des oberflächlichen Abflusses wirkt sich zu Gunsten von Grundwasserneubildung und Verdunstung aus. Die im Vergleich zwischen den beiden Modellquartieren erhöhte Reduktion des Oberflächenabflusses in Tempelhof-Schöneberg ist über die dort geringer ausgefallenen Drosselspenden für Rigolen zu erklären, die weniger Regenwasser in das Kanalnetz abschlagen, was sukzessive zu einer erhöhten Versickerung führt (vgl. Tabelle 5). Innerhalb der Modellquartiere lassen sich Unterschiede zwischen den Maßnahmenkombinationen teilweise auf die konkret gewählten Maßnahmentypen zurückführen:

Die in Pankow von Maßnahmenkombination A zu C ansteigenden Verdunstungsanteile korrelieren mit dem prozentualen Flächenanteil von Gründächern. Baum-Rigolen und Versickerungsmaßnahmen haben dort einen deutlich geringeren Anteil an der Gesamtfläche und zeigen auch in ihrer szenarienspezifischen Ausprägung nur geringfügige Unterschiede. Die Veränderung der Wasserbilanz für die Komponente der Versickerung steht in keinem erkennbaren Zusammenhang mit der Veränderung für die Komponente der Verdunstung. Die vergleichsweise hohe Versickerung in der Maßnahmenkombination B ist auf eine intensive (ganzjährige) Bewässerung von natürlichen Flächen zurückzuführen.

In Schöneberg ergaben die Simulationen weniger ausgeprägte Unterschiede der Verdunstungskomponente als in Pankow. Dies ist analog zu den Erkenntnissen aus dem Modellquartier Pankow auf einen ausgeglichenen Einsatz von Gründächern in der Maßnahmenplanung zurückzuführen. Die Unterschiede der Verdunstung in den Szenarien von Schöneberg sind auf die kombinierte Wirkung von Gründächern, Baum-Rigolen, Mulden und Bewässerungsmaßnahmen zurückzuführen, können aber in ihrer Ausprägung nicht einer einzelnen Maßnahme zugeordnet werden. Dahingegen sind die von Maßnahmenkombination A zu C ansteigenden Anteile der Versickerung auf den Einsatz der Regenwassernutzung zu Bewässerungszwecken und dem Anteil von

Versickerungsmaßnahmen zurückzuführen. So wurden in der Maßnahmenkombination A kaum Bewässerungsmaßnahmen, dafür aber viele Versickerungsmaßnahmen verortet. In umgekehrter Reihenfolge verhält es sich mit der Maßnahmenkombination B. Die Kombination C wird durch den größten Anteil von Versickerungsflächen und einen hohen Einsatz von Bewässerungsmaßnahmen geprägt, was sich dementsprechend auf den Versickerungsanteil in der Wasserbilanz auswirkt (vgl. Tabelle 5).

Der natürliche Wasserhaushalt un bebauter Flächen zeigt laut einer aktuellen Wasserhaushaltsberechnung für Berlin nach Glugla et al. (1999) für Waldflächen einen Verdunstungsanteil von 84% und einen Versickerungsanteil von 16%, für Grün- und Parkflächen einen Verdunstungsanteil von 75% und einen Versickerungsanteil von 24%; in beiden Fällen ist der Abflussanteil $\leq 1\%$ (FIS-Broker, Wasserhaushalt 2012). Bezüglich der prozentualen Anteile an der Wasserbilanz gehen die Quartiere im Status Quo von 42-48% Abfluss, 12-13% Versickerung und 40-45% Verdunstung aus. Die Maßnahmenkombinationen reduzieren den Abflussanteil auf 25-28%, erhöhen die Versickerung auf 17-21% und die Verdunstung auf 46-54%. Damit nähern sich alle Maßnahmen der natürlichen Wasserbilanz an und erreichen diese für die Versickerung/Grundwasserneubildung. Im Bereich des Abflusses und der Verdunstung sind die Quartiere aber trotz großen Fortschritten noch weit vom natürlichen Zustand entfernt.

Tabelle 5: Simulierte Veränderung der Wasserbilanz der beiden Quartiere durch die Maßnahmenkombinationen

	Menge [mm] im Ist-Zustand	Veränderung durch Maßnahmenkombination [%]		
		A	B	C
Quartier in Pankow				
Abfluss	252	-20,5%	-30,8%	-32,3%
Versickerung	79	+26,7 %	+31,4%	+27,8
Verdunstung	271	+9,5	+14,8%	+19,1%
Quartier in Tempelhof-Schöneberg				
Abfluss	294	-27,6%	-38,0%	-39,3%
Versickerung	71	+54,5%	+73,2%	+83,2%
Verdunstung	247	+12,8%	+17,4%	+17,3%

Neben der Maßnahmenplatzierung bildete auch die Wasserbilanzberechnung (insgesamt oder pro Teilfläche) für zahlreiche der folgenden Effektbewertungen die Grundlage. Die genutzten Wassermengen wurden für die Vorteile auf Gebäudeebene ausgewertet, die Bodenfeuchte wurde als Randbedingung in die Stadtklimamodelle integriert, die Versickerungsvolumen wurden für die Bewertung der Wirkung auf das Grundwasser verwendet und die Abflussganglinien wurden direkt als Randbedingung für die Kanal- und Gewässergütemodellierung übernommen.

6.2 Effekte auf Bewohner

6.2.1 Vorteile auf Gebäudeebene

Tabelle 6: Überblick über die Maßnahmen auf Gebäudeebene für die Maßnahmenkombinationen A, B und C

Anteil Dachbegrünung			
	A	B	C
Schöneberg	30,6%	28,6%	26,9%
Pankow	20,4%	29,7%	50,3%
Oberfläche Fassadenbegrünung			
	A	B	C
Schöneberg	28.150 m ²	21.863 m ²	107.792 m ²
Pankow	11.982 m ²	1.860 m ²	31.782 m ²
geplantes Zisternenvolumen*			
	A	B	C
Schöneberg	326 m ³	945 m ³	1.026 m ³
Pankow	0 m ³	542 m ³	361 m ³
Anteil Verdunstungserhöhung Gesamtszenario			
	A	B	C
Schöneberg	98,7%	67,1%	72,0%
Pankow	68,3%	49,8%	76,4%

* Die Zisternen sammeln je nach Maßnahmenkombination Regenwasser von Dächern, Höfen und Straßenflächen

Gleichzeitig wird der Eingriff in den Wasserhaushalt durch die Baustruktur erheblich kompensiert. In den Maßnahmenkombinationen tragen entsprechend Dachbegrünung und Fassadenbegrünung auf Gebäudeebene mit 50 - 99 % (siehe Tabelle 6) den größten Teil zur gesamten Erhöhung der Verdunstungskomponente bei (vgl. Kap. 6.1). Regenwassernutzung und teilversiegelte Oberflächenbefestigungen sind hierbei nicht berücksichtigt, da in die Zisternen auch Oberflächenabfluss von Hofflächen, Wegen und Straßen eingeleitet wird. Der Anteil, der jeweils in den Verdunstungsprozess und in die Versickerung überführt wird, ist in den Simulationsergebnissen nicht differenzierbar.

Hintergrund für den hohen Anteil der Gebäudeebene für die gesamte Annäherung der Maßnahmenkombinationen an den natürlichen Wasserhaushalt ist das große Flächenpotenzial der Gebäude. Während die Flächen im Straßenraum kaum für eine Umnutzung zur Verfügung stehen, sind Maßnahmen wie Fassaden- und Dachbegrünung ohne Nutzungskonkurrenz und ohne Einschränkung der Nutzbarkeit vergleichsweise einfach umsetzbar.

Regenwassernutzung

Erhebliche Unterschiede ergeben sich im Grad der Implementierung von Zisternen für Toilettenspülung und/oder für Bewässerungszwecke. Regenwassernutzungsanlagen sind insbesondere in den Maßnahmenkombinationen B und C in Schöneberg berücksichtigt (Tabelle 6). In den beiden Kombinationen werden über 50.000 bzw. über 25.000 m³/a von den Zisternen direkt in Grünflächen übergeleitet und verbessern hier die Wasser- und damit auch das Mikroklima.

Die unterschiedlichen Maßnahmenkombinationen zeigen deutliche Unterschiede auf der Gebäudeebene, da die Gruppen unterschiedliche Schwerpunkte bezüglich der dezentralen Maßnahmen auf Grundstücks- und Quartiersebene gesetzt haben (Tabelle 6, vgl. Abbildung 29). Diese Unterschiede widerspiegeln sich in den über Fassaden- und Dachbegrünungen durch Verdunstungsprozesse in den Wasserkreislauf zurückgeführten Regenwassermengen, sowie in den über Zisternen genutzten Regenwassermengen (Abbildung 31). Die Summe aller Volumina in Abbildung 31 für alle Maßnahmenkombinationen entspricht der Menge an reduzierter Abwasserüberleitung auf der Gebäudeebene (und weiterer an die Zisternen angeschlossenen Flächen) in die Kanalisation.

Gebäudebegrünung

Entsprechend ergaben sich auf der Gebäudeebene erhebliche Unterschiede in den Vorteilen für die Bewohner in Schöneberg wie auch in Pankow. Vorteile auf der Gebäudeebene betreffen eine Verbesserung des Innenraumklimas und des direkten Wohnumfeldes durch Verdunstungsprozesse von Gebäudebegrünung, insbesondere in den Sommermonaten.

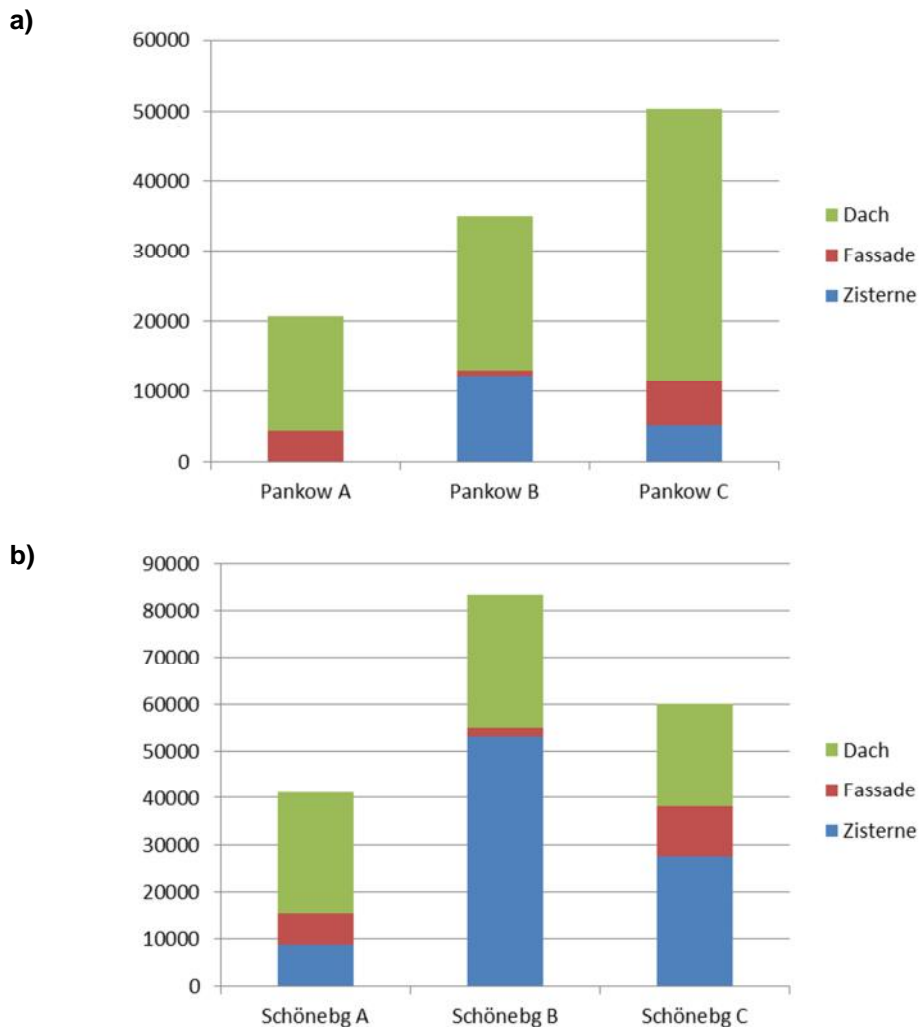


Abbildung 31: Genutzte bzw. über Verdunstungs- und Versickerungsprozesse in den natürlichen Wasserkreislauf zurückgeführte Regenwassermenge in Kubikmetern pro Jahr für Pankow (a) und Schöneberg (b)

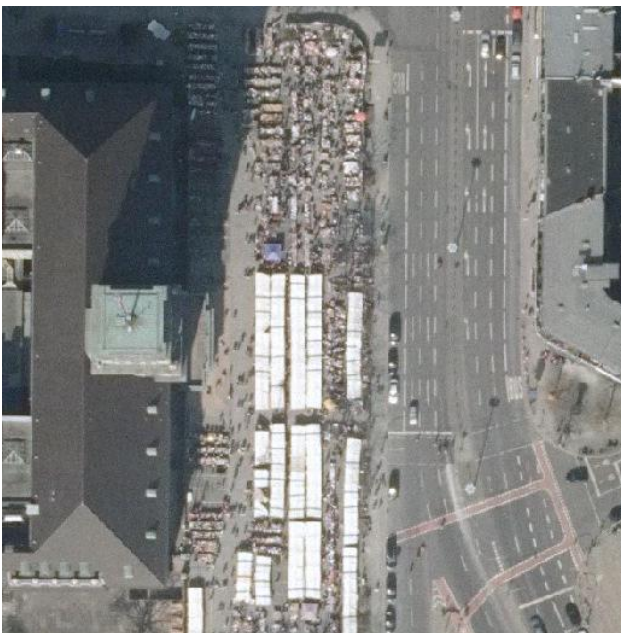
Die für Toilettenspülung (u.a. Zwecke) genutzte Regenwassermenge war bei allen Maßnahmenkombinationen mit 0 - 3000 m³/a gering. Lediglich in Maßnahmenkombination C für Pankow war die Menge mit ca. 5000 m³/a etwas höher, aber auch hier lag der Schwerpunkt der Maßnahmenwahl primär auf Abwassermeidung und nicht auf Reduzierung des Trinkwasserbedarfs. Die realisierten Speichervolumina sind in der Summe für alle Maßnahmenkombinationen vergleichsweise gering (Tabelle 6). Durch das Konzept der sofortigen Überleitung in Grünflächen ist der Effekt von realisierten Speichervolumen und übergeleiteter Regenwassermenge mit positiver Auswirkung auf den natürlichen Wasserkreislauf und Reduzierung von Direktabfluss in das Kanalnetz dagegen sehr hoch. Pro m³ realisiertem Zisternenvolumen wurden für Maßnahmenkombination B in Schöneberg etwa 56 m³/a bewirtschaftet. Das entspricht etwa der dreifachen Menge gegenüber einer reinen Regenwassernutzung für Toilettenspülung und mehr als der 10 fachen Menge im Vergleich zur direkten Versickerung bei einem vergleichbaren realisiertem Speichervolumen über Mulden-Rigolensysteme. Voraussetzung ist aber auch hier, dass ausreichend Grünflächen zur Verfügung stehen um die übergeleitete Regenwassermenge aufzunehmen.

6.2.2 Freiraumqualität

Die Maßnahmenkombinationen (siehe Abbildung 29) wurden im Rahmen einer Potenzialanalyse im Vergleich zum Ist-Zustand (siehe Abbildung 24) bewertet. Dabei wurden geplante Maßnahmen(komplexe) hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Freiraumqualität bewertet und in ihrer potentiellen Gesamtauswirkung auf den Stadt- raum dargestellt (Abbildung 33). Maßnahmenkombinationen, die einen höheren Anteil an sichtbaren Maßnah- men enthalten und diese in ausgewählten Gebieten mit einem hohen Potenzial zur Verbesserung der Frei- raumqualität platziert haben, schnitten in der Regel besser ab. Alle drei Maßnahmenkombinationen trugen aus Sicht des Gesamtquartiers dazu bei, die Freiraumqualität in den Beispielquartieren anzuheben.

Neben dem Blick auf das Gesamtquartier wurde im Rahmen von zwei Studierendenprojekten versucht, die geplanten Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung für ausgesuchte Standorte zu visualisieren. Dabei zeigte sich auch visuell das Potenzial der Maßnahmenkombinationen für eine Verbesserung der Freiräume (Abbildung 32).

Ist-Zustand

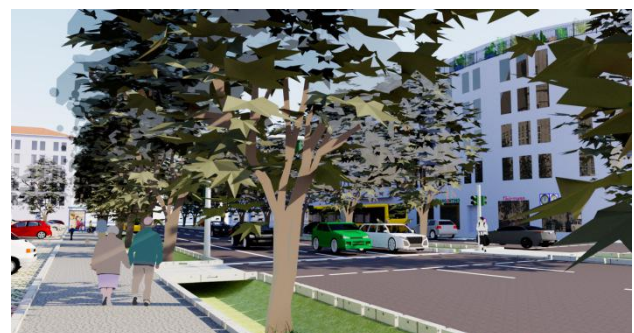


Luftbild (FIS-Broker, Orthophoto, April 2014)

Visualisierung der Maßnahmenkombinationen



Fotos (HS NB)



Abbildungen (HS NB)

Abbildung 32: Ansicht des Rathausvorplatzes in Alt- Schöneberg (links). Ergebnis eines Studierendenprojektes der Hochschule Neubrandenburg (rechts). Die Funktionalität des Platzes stand im Vordergrund; die Einbindung von erlebbaren Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen wie der Mulden-Rigolen Entwässerung, in Verbindung mit Schattenspendenden Bäumen schafft eine Gliederung des Raumes.

Aus freiraumplanerischer Sicht sind sichtbare und erlebbare Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung ein hervorragendes Mittel, die Freiraumqualität zu steigern. Das Potenzial aus Funktionalität und der ästhetischen Aufwertung dient auch der Akzeptanz dieser Maßnahmen. Die Erlebbarkeit von Wasser fasziniert über alle Generationen hinweg. Die Einbindung in den öffentlichen Raum, sei es durch die aktive Erlebbarkeit durch z. B. Einbindung in der Spielplatzgestaltung oder die passive Erlebbarkeit durch z. B. Geräuschkulisse oder die Sichtbarkeit trägt zu der allgemeinen Lebensqualität bei.

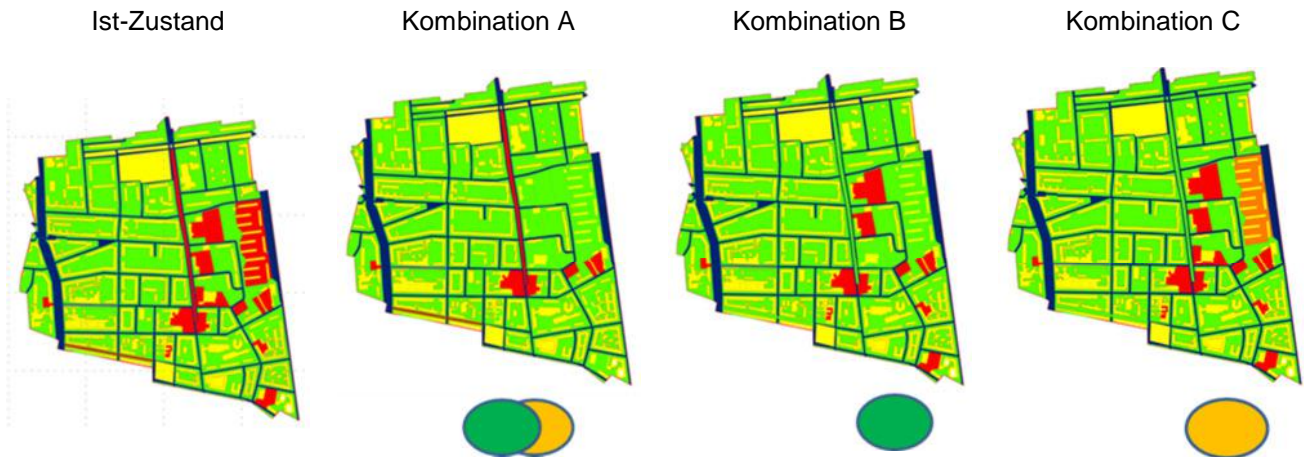


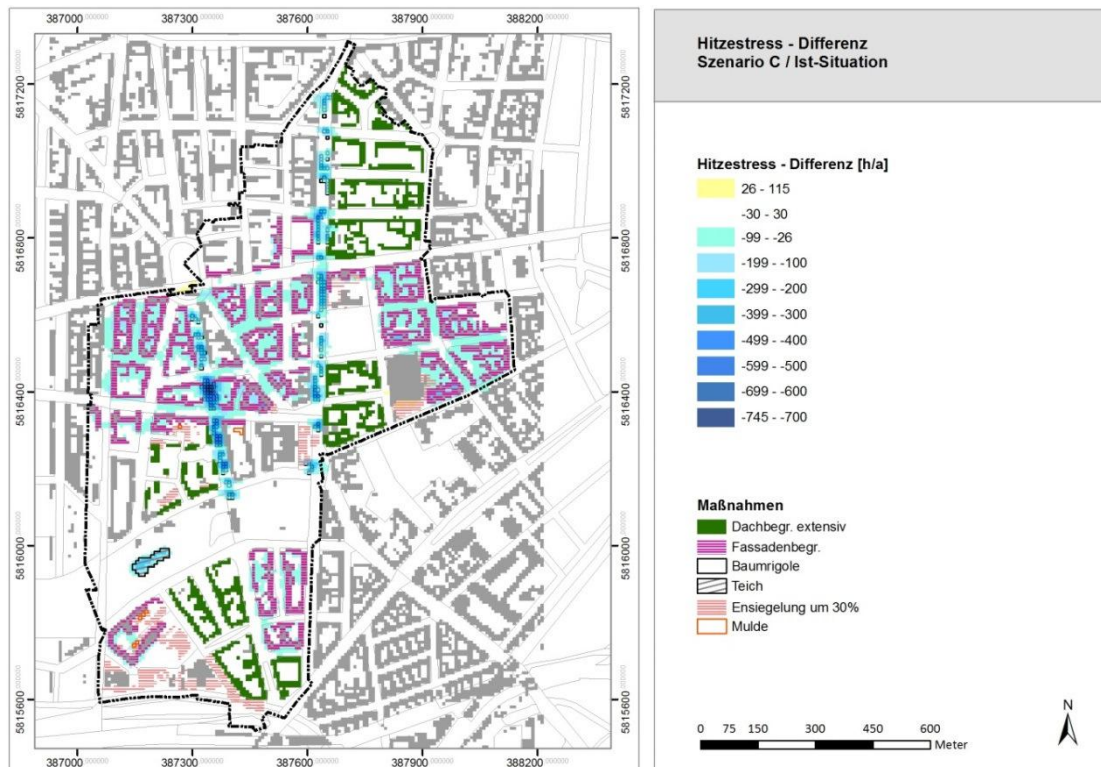
Abbildung 33: Vergleich der drei Maßnahmenkombinationen für das Beispielquartier Pankow. Die farbigen Elypsen zeigen eine qualitative Einschätzung der Gesamtwirkung jeder Maßnahmenkombination als Ampelsystem.

6.2.3 Stadtklima

Die Ergebnisse der Einzelmaßnahmenbetrachtung werden durch die Simulationen der verschiedenen Szenarien der Maßnahmenkombinationen bestätigt (vgl. Einzelbewertung in Kapitel 4.1.3). Darüber hinaus lässt sich der Einfluss gewisser Faktoren, wie Größe einer Maßnahme, ihr Standort etc. hierbei besser beurteilen. Kleinräumige Maßnahmen bzw. solche, die lediglich marginale Veränderungen mit sich bringen, zeigen keinen Einfluss auf die humanbioklimatische Situation. Dazu zählen die in den Szenarien geplanten ca. 10-20 m² großen Mulden und die um nur 30 % weniger versiegelten Flächen. Die Wirkung der extensiven Dachbegrünung beschränkt sich auf die Luftmassen in direkter Angrenzung an das Dach und reicht in kleiner Anzahl nicht aus, um einen weiträumigen Effekt zu erzielen. Baumrigolen und Fassadenbegrünungen haben sogar auf Quartiersebene einen positiven Einfluss auf das Klima. Vor allem breitere Straßen und Plätze, die der Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind, profitieren von der Beschattung durch die Baumkronen. Die kühlende Wirkung macht sich noch in bis zu mehreren Metern Entfernung von den Baumrigolen bemerkbar (vgl. Abbildung 34a). Fassadenbegrünung wirkt sich sowohl tagsüber als auch nachts positiv aus (Abbildung 34), besonders, wenn sie in geschlossenen Innenhöfen auf der gesamten Fassadenfläche angebracht wird. Das lässt sich am Tage durch die große Verdunstungsrate in Bezug auf ein relativ kleines Luftvolumen, das kaum Austausch mit wärmeren Luftmassen von außen hat, erklären. In der Nacht bleibt der Innenhof weiterhin kühl, weil die tagsüber durch die Begrünung beschatteten Fassaden keine nennenswerte Menge an Wärme speichern, die sie nachts ausstrahlen könnten. Auch ein Teich zeigt eine deutliche Reduktion des Hitzestresses am Tage über der Teichfläche und am Ufer (Abbildung 34a). Dies kehrt sich nachts wie erwartet ins Gegenteil um (Abbildung 34b). Entsprechend sind Teiche aus Sicht des Stadtklimas vor allem im Bereich von Freizeiflächen und Bürogebäuden sinnvoll.

Aus der humanbioklimatischen Sicht sind entsprechend regenwasserwirtschaftliche Maßnahmen in der Regel positiv zu bewerten. Ihr Einfluss hängt überwiegend von der ursprünglichen Flächennutzung, der betrachteten Entfernung und dem Umfang der Maßnahmen ab. In den durchgeführten Szenarien-Simulationen erzielen die Baumrigolen und die Fassadenbegrünungen die besten Ergebnisse. Die Effekte verstärken sich je großflächiger die Maßnahmen sind.

a)



b)

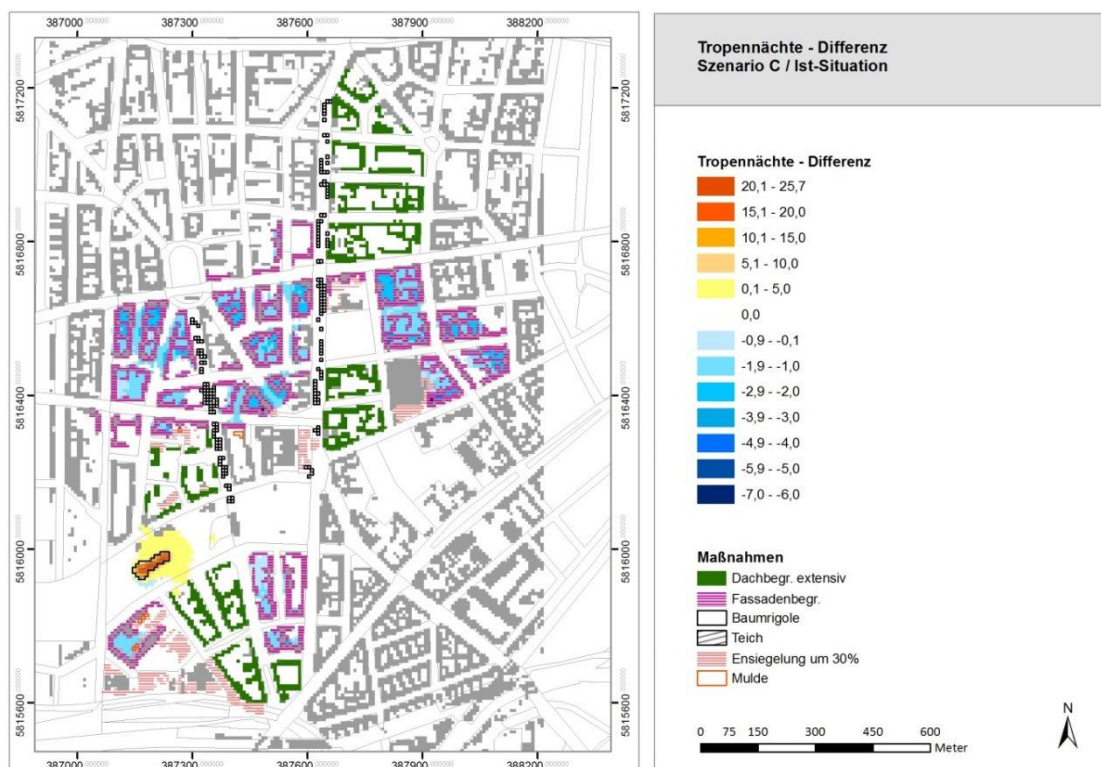


Abbildung 34 Veränderung durch die geplanten Maßnahmen im Vergleich zum Ist-Zustand; Modellgebiet Alt-Schöneberg, Szenario C. (a) Änderung des jährlichen Hitzestresses, (b) Änderung der Zahl der Tropennächte. (Abbildung: GEO-NET)

6.3 Effekte auf die Umwelt

6.3.1 Biodiversität

Die Ergebnisse der Metaanalyse zu Biodiversitätseffekten von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung (vgl. Kapitel 4.2.1) haben deutlich gezeigt, dass die gezielte Integration der Maßnahmen in die Grünstrukturen der Stadt eine der Schlüsselstrategien zur Förderung biologischer Vielfalt ist. Mit der lokal vorhandenen grünen Infrastruktur vernetzte Kombinationen von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung erhöhen maßgeblich die lokale Biodiversität.

Basierend auf der Ist- Analyse zur Biodiversität in den Beispielgebieten wurden prioritäre Gebiete zur bevorzugten Umsetzung von biodiversitätsfördernden Regenwassermanagementmaßnahmen definiert (Abbildung 24). Dazu gehören biodiversitätsrelevante Flächen und Korridore wie Grünanlagen, Spielplatzanlagen, Friedhöfe oder Brachen, deren Konnektivität durch die Implementierung von Maßnahmen innerhalb eines Puffers von 100m optimiert werden sollte.

Die Biodiversitätseffekte in den Untersuchungsgebieten wurden für die verschiedenen Kombinationen von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung abgeschätzt und Aussagen zur Entwicklung der Vielfalt und Konnektivität der Lebensräume und zur qualitativen Flächenentwicklung der grünen Infrastruktur abgeleitet. Beim Vergleich verschiedener Maßnahmenkombinationen, ihrer Verbundstruktur und Flächenentwicklung wurden potentiell mögliche Indikatorwerte berechnet. Für Alt-Schöneberg (vgl. Tabelle 7) hat die Maßnahmenkombination C das größte Potenzial zur Stärkung der biologischen Vielfalt durch die Zunahme der biodiversitätsrelevanten Grünflächen, erhöhter Konnektivität zwischen ihnen und hoher Habitatvielfalt. Kombination A führt insgesamt zu einer etwas geringeren Habitatvielfalt, zu einer kleineren Gesamtfläche an biodiversitätsfördernden Maßnahmen und das Potenzial erhöhter Konnektivität zwischen den biodiversitätsrelevanten Strukturen wird nicht vollumfänglich genutzt. Die verschiedenen Pankow Szenarien fördern biologische Vielfalt in einem ähnlichen Umfang (vgl. Tabelle 7), die Kombinationen unterscheiden sich leicht in den biodiversitätsrelevanten Flächen und dem Grad der Konnektivität zwischen den biodiversitätsrelevanten Flächen.

Tabelle 7: Indikatorwerte zur Abschätzung der Biodiversitätseffekte für die Maßnahmenkombinationen in Alt-Schöneberg und Pankow

Indikatoren	Alt-Schöneberg			Pankow		
	A	B	C	A	B	C
Alpha Diversität (Flora)	+37	+50	+50	+50	+50	+50
Alpha Diversität (Fauna)	steigend	steigend	steigend	steigend	steigend	steigend
Beta Diversität (Flora, Fauna)	steigend	steigend	steigend	steigend	steigend	steigend
Rote Liste Arten (Flora)	1	1	1	1	1	1
Neophyte Arten (Flora)	29	29	29	29	29	29
Habitatvielfalt (Zunahme unterschiedlicher Habitattypen)	+8,5	+9,8	+9,8	+9,8	+9,8	+9,8
Reduktion der Distanz zu anderen Grünstrukturen (%)	-76	-85	-92	-85	-90	-90
Zunahme biodiversitätsrelevanter Maßnahmenfläche (m ²)	600	2147	3228	2802	1893	960

6.3.2 Oberflächengewässer

Die Effekte der Maßnahmenkombinationen auf Oberflächengewässer (Landwehrkanal für Alt-Schöneberg und Panke für Pankow) wurden mit Hilfe numerischer Modelle berechnet. Neben STORM (IPS 2007) für die Abflussberechnung kam in Alt-Schöneberg InfoWorks CS (WSL 2004) für das Kanalnetz und Hydrax/QSim (Kirchesch & Schöl 1999) für das Gewässer zum Einsatz. In Pankow wurde für die Kanalnetzberechnung Extran (itwh 2007) verwendet; ein Immissionsnachweis im Gewässer wurde nicht durchgeführt.

Die Simulationen zeigen, dass die Abflüsse in beiden Quartieren durch die Maßnahmenkombinationen um etwa 20 bis 40% reduziert werden können (Abbildung 35). Mit einem Abflussanteil von 28 bis 35% nähern sich die Gebiete deutlich an den naturnahen Wasserhaushalt (Abflussanteil von ca. 20%) an. Die Abflussspitzen werden um bis zu 55% reduziert. Als besonders wirksam stellt sich neben den Versickerungsmaßnahmen und Teichen die abflussdämpfende Wirkung der Dachbegrünung und des Retentionsbodenfilters dar. In der Folge halbieren sich im Quartier Alt-Schöneberg (Mischkanalisation) die über Mischwasserüberläufe in den Landwehrkanal entlasteten Volumina etwa. Die BSB₅-Fracht als Leitgröße für die Menge an sauerstoffzehrenden Substanzen verringert sich je nach Maßnahmenkombination um 46 bis 59%. Fischkritische Sauerstoffdefizite, die im Ist-Zustand durch Entlastungen aus dem untersuchten Gebiet fünf Mal vorkommen, treten nicht mehr auf. In Pankow (Trennkanalisation) werden die Schmutzfrachten in die Panke je nach Maßnahmenkombination um 20 bis 90% reduziert (für Abfiltrierbare Stoffe und Phosphor). Damit wäre bei entsprechend großflächiger Umsetzung langfristig eine Reduzierung der Sedimentbelastung und eine Verbesserung des trophischen Gewässerzustands zu erwarten. Entscheidend für den Stoffrückhalt sind der Anschlussgrad an den Retentionsbodenfilter und der Verschmutzungsgrad der an Maßnahmen angeschlossenen Flächen.

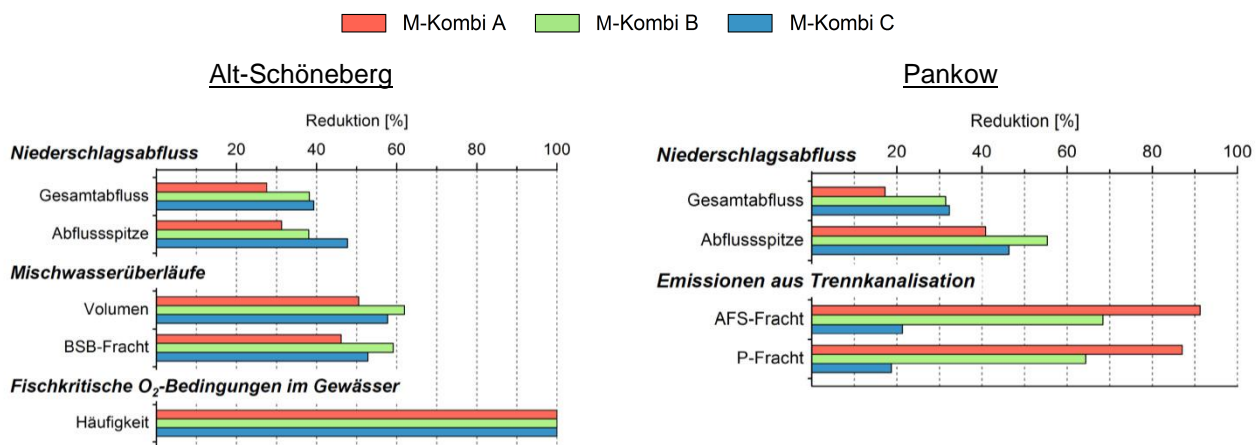


Abbildung 35: Effekte der Maßnahmenkombinationen A, B und C in Alt-Schöneberg (links) und Pankow (rechts)

6.3.3 Grundwasser

Zur Bewertung der Maßnahmenkombinationen wurde in einem ersten Schritt für jede Teilfläche der beiden Modellgebiete die Änderung des Volumens der Versickerung gegenüber dem Zustand ohne Maßnahme ermittelt. Anschließend wurde die daraus resultierende Änderung des Grundwasserspiegels a) für das gesamte Modellgebiet und b) für die lokale Wirkung einzelner Maßnahmen berechnet. Außerdem wurden die Einzelmaßnahmen und Maßnahmenkaskaden hinsichtlich ihrer Versickerungsvolumina verglichen. Alle Volumendaten wurden durch die Ingenieurgesellschaft Sieker aus dem NA-Modell STORM zur Verfügung gestellt. Die Auswertung erfolgte mittels der Open Source-Softwarelösungen QGIS und R.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Maßnahmenwirkung stark von der Verortung und der Art der angeschlossenen Flächen abhängig ist. So ergibt sich die höchste zusätzliche Versickerung aus dem Anschlussgrad versiegelter Flächen (Dach, Strasse), während eine Verortung von Maßnahmen auf Grünflächen die Versickerung der gesamten angeschlossenen Flächen verringert. Insgesamt zeigen vor allem Mulden-Rigolen-Tief-

beete und die Entsiegelung von Oberflächen hohe Versickerungswerte, während Baumrigolen in ihrer Wirkung von der Art und Größe der angeschlossenen Flächen beeinflusst sind und eine dementsprechend hohe Spannweite aufweisen. Es wurden nur Maßnahmen der Versickerung und Entsiegelung bewertet.

In Schöneberg ergab sich aus der Verortung der Maßnahmen in einem der drei bewerteten Szenarien nahezu eine Verdopplung des Versickerungsanteils (bezogen auf den Gesamt-Jahresniederschlag). Dennoch resultierte daraus eine maximale Grundwasserspiegeländerung von nur +1,5 cm und die lokale Wirkung einzelner Maßnahmen lag im Bereich weniger Millimeter (Abbildung 36). Für Pankow zeigte die Verortung der Maßnahmen in allen drei Szenarien ebenfalls eine Erhöhung der Versickerungsanteile. Die jährliche Versickerung nahm zwischen 19 und 90 mm/a (Ausgangswert 79 mm/a) zu. Bezogen auf den Grundwasserspiegel resultierte daraus ein maximaler Anstieg um 1,8 cm (Abbildung 36). In direkter Nähe der Versickerungsanlagen ergab sich in Abhängigkeit der Geometrie, der Aquifermächtigkeit, des kf-Wertes sowie der Infiltrationsrate und Niederschlagsmenge ein lokal begrenzter maximaler Anstieg um 6 cm bei einer maximalen Reichweite des beeinflussten Grundwasserspiegels von 100m senkrecht zur Längsachse der Anlage.

Die Mengenänderung ist damit so gering, dass relevante qualitative Effekte nicht zu erwarten sind. Daher stellt das Vorhandensein von Altlasten(verdachtsflächen) den größten potentiellen Eintragspfad unerwünschter stofflicher Belastungen dar.

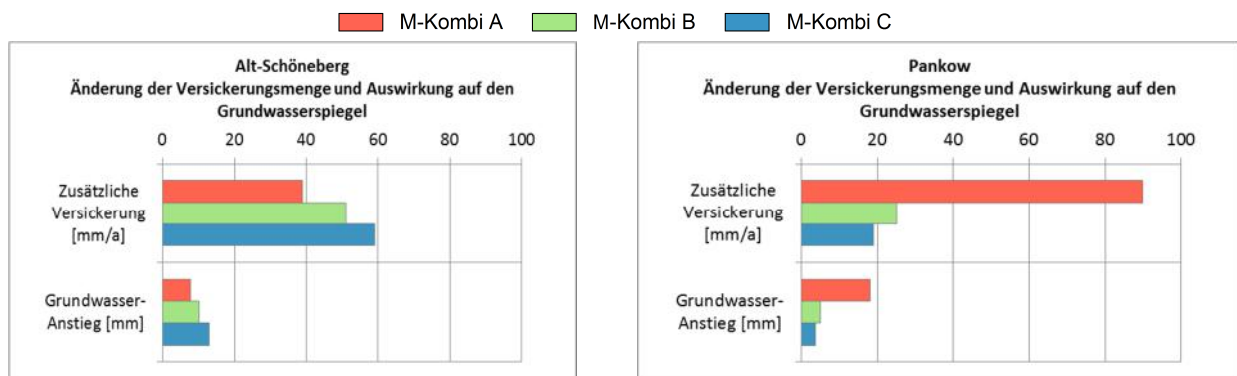


Abbildung 36: Quantitative Effekte der Maßnahmenkombinationen A, B und C auf das Grundwasser in Alt-Schöneberg (links) und Pankow (rechts)

6.3 Ökonomische Effekte

6.3.1 Direkte Kosten

Die in den untersuchten Stadtquartieren in Schöneberg und Pankow geplanten Maßnahmenkombinationen können zahlreiche positive Effekte erzielen (siehe Kapitel 6.2 und 6.3). Neben diesen positiven Effekten wurden auch die direkten Kosten untersucht. Hierzu zählen Investitionen sowie Auszahlungen für Betrieb und Instandhaltung der Maßnahmen (auszahlungsgleiche Kosten), welche durch die Umsetzung der Maßnahmen auf Quartiersebene entstünden.

Die Kosten jeder Maßnahmenkombination wurden unter Berücksichtigung (a) der ermittelten spezifischen Kosten aller geplanten Maßnahmen (siehe Kapitel 4.3.1) sowie (b) deren Dimensionierung oder (c) der an die Maßnahme angeschlossenen Fläche berechnet. Darüber hinaus konnten mit der Abkopplung versiegelter Flächen einhergehende Einsparungen des Niederschlagswasserentgelts (Berlin, Stand 2016: 1,804 € m²) berechnet werden. Eine genaue Verortung der Maßnahmen und an diese angeschlossene Flächen ließ außerdem zu, die Träger der Kosten sowie die Empfänger der Einsparungen des Niederschlagswasserentgelts zu bestimmen. Die Allokation der Kosten fand über eine Zuordnung der Eigentumsverhältnisse mittels Daten des FIS-Brokers³ statt. Es wurde zwischen der Entwässerung privater Grundstücke, öffentlicher Einrichtungen (Kindertagesstätten, Schulen, Verwaltungsgebäude etc.) sowie öffentlicher Straßen und Plätze unterschieden.

Die Kostenschätzung ergab für alle bewerteten Maßnahmenkombinationen in den Stadtquartieren in Schöneberg und Pankow Investitionen im zweistelligen Millionen-Euro-Bereich und Betriebs- und Instandhaltungskosten von knapp einer bis zu mehreren Millionen Euro pro Jahr (Abbildung 37). Hierbei ist zu beachten, dass der Großteil der direkten Kosten (bis zu 84 %) auf die Maßnahme Fassadenbegrünung entfällt, welche aufgrund des Nichtverwendens einer Kostenobergrenze großflächig eingeplant wurde.

Bezüglich der Kostenträger zeigte sich, dass ein Großteil der Kosten je Maßnahmenkombination für die Entwässerung privater Flächen anfällt, da Maßnahmen überwiegend auf Privatgrundstücken verortet wurden und zu deren Entwässerung dienten. Den Kosten stehen Einsparungen des Niederschlagswasserentgelts in Höhe von mehreren Hunderttausend Euro entgegen, die die jährlichen Auszahlungen für Betrieb und Instandhaltung in den betrachteten Fällen jedoch nicht decken können.

Bedacht werden muss allerdings, dass die Maßnahmenkombinationen nicht primär nach dem Kriterium ökonomischer Vorteilhaftigkeit ausgewählt wurden. Im Einzelfall können sich vor allem günstige Maßnahmen durchaus amortisieren.

Zudem geben die ermittelten Zahlen die Kosten im Falle einer sofortigen Umsetzung aller Maßnahmen in einem Bestandsgebiet an. Würden die Maßnahmen sukzessive umgesetzt, immer dort, wo planmäßig Sanierungen und Umbauten anstehen, ergäbe sich für Maßnahmen, deren primäres Ziel nicht die Regenwasserbewirtschaftung ist, ein anderes Bild. Dann wären nicht die absoluten Kosten sondern die Differenzkosten zu einer herkömmlichen Alternative ausschlaggebend (z.B. Gründach gegenüber Kiesdach oder Rasengittersteine gegenüber geteertem Parkplatz). In solchen Fällen können sich auch scheinbar teure Maßnahmen der Gebäudebegrünung oder Entsiegelung schnell amortisieren (persönliche Mitteilung Berliner Immobilienmanagement GmbH).

³ Verwendeter Datensatz: Umweltatlas Berlin / Reale Nutzung 2010. Es wurden die Kartenbereiche für Berlin Schöneberg und Pankow verwendet. (unter: <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/geoinformation/fis-broker/>).

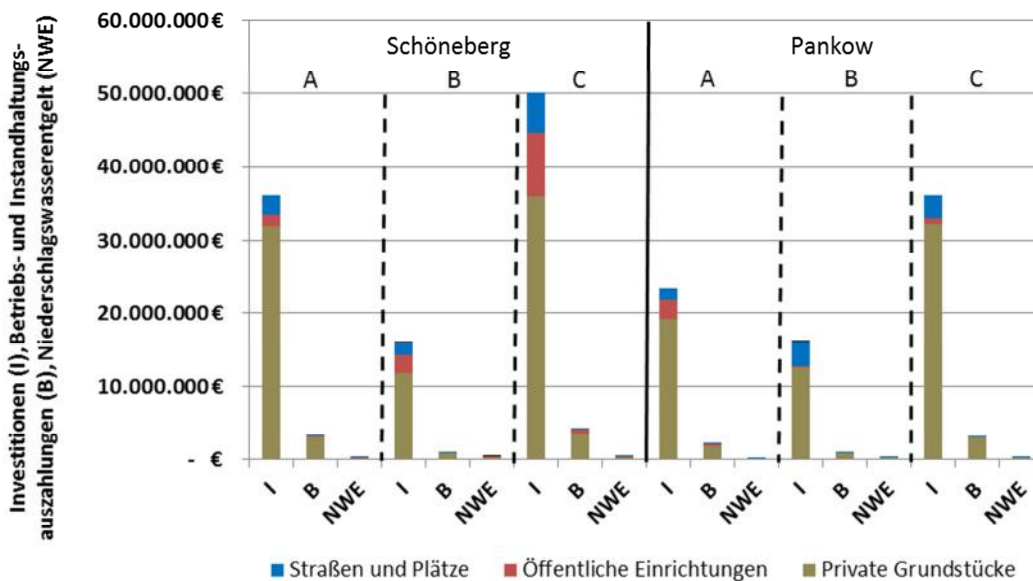


Abbildung 37: Ergebnisse der Bewertung von Investitionen, Betriebs- und Instandhaltungskosten sowie durch Abkopplung bedingte Einsparungen des Niederschlagswasserentgelts je Maßnahmenkombination

6.3.2 Ressourcennutzung (Ökobilanz)

Die Ressourcennutzung der Maßnahmenkombinationen wurde über eine lineare Extrapolation der Einzelbewertungen (Kapitel 4.3.2) auf die Quartiersebene hochgerechnet. Grundlage für die Extrapolation ist die bauliche Dimensionierung der einzelnen Maßnahmen (z.B. m² Gründach, m² Teichoberfläche) aus der Planung (Kapitel 5.4). Die Extrapolation für das Treibhauspotenzial der verschiedenen Maßnahmenkombinationen zeigt, dass die Regenwasserbewirtschaftung in den untersuchten Gebieten je nach Planungsvariante zwischen 65 und 100 Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr verursacht (Abbildung 38). Beim Energieverbrauch liegen die verschiedenen Kombinationen bei 709 bis 1075 GJ pro Jahr. Dabei tragen vor allem Fassadenbegrünung, Baumrigolen und Entsiegelungsmaßnahmen zum Treibhauspotenzial bei, aber auch Teiche und Gründächer. Für die Ressourcennutzung gilt aber dasselbe wie für die Kosten: Im Falle von Sanierungen oder Neubau müsste das Treibhauspotenzial von Alternativsystemen (Standarddach, Standardbelag, etc.) gegenübergestellt werden.

Einsparungen die sich durch die Flächenabkopplung beim Betrieb des zentralen Entwässerungssystems ergeben (z.B. reduzierte Pumpleistung an den Pumpwerken und am Klärwerk) wurden in der CO₂-Bilanz berücksichtigt, fallen aber mit ca. 2 bis 4 t CO₂-eq pro Jahr eher gering aus.

Vergleicht man die Ressourcennutzung von 100 Tonnen CO₂-Äquivalenten pro Jahr mit dem jährlichen Fußabdruck eines Einwohners, so entspricht der gesamte Aufwand für die Maßnahmen etwa dem Fußabdruck von 6-9 Einwohnern im Quartier. Da beide Planungsräume jeweils über 15.000 Einwohner haben, erhöht die Regenwasserbewirtschaftung den gesamten Fußabdruck der Gebiete also nur um weniger als 0,1%.

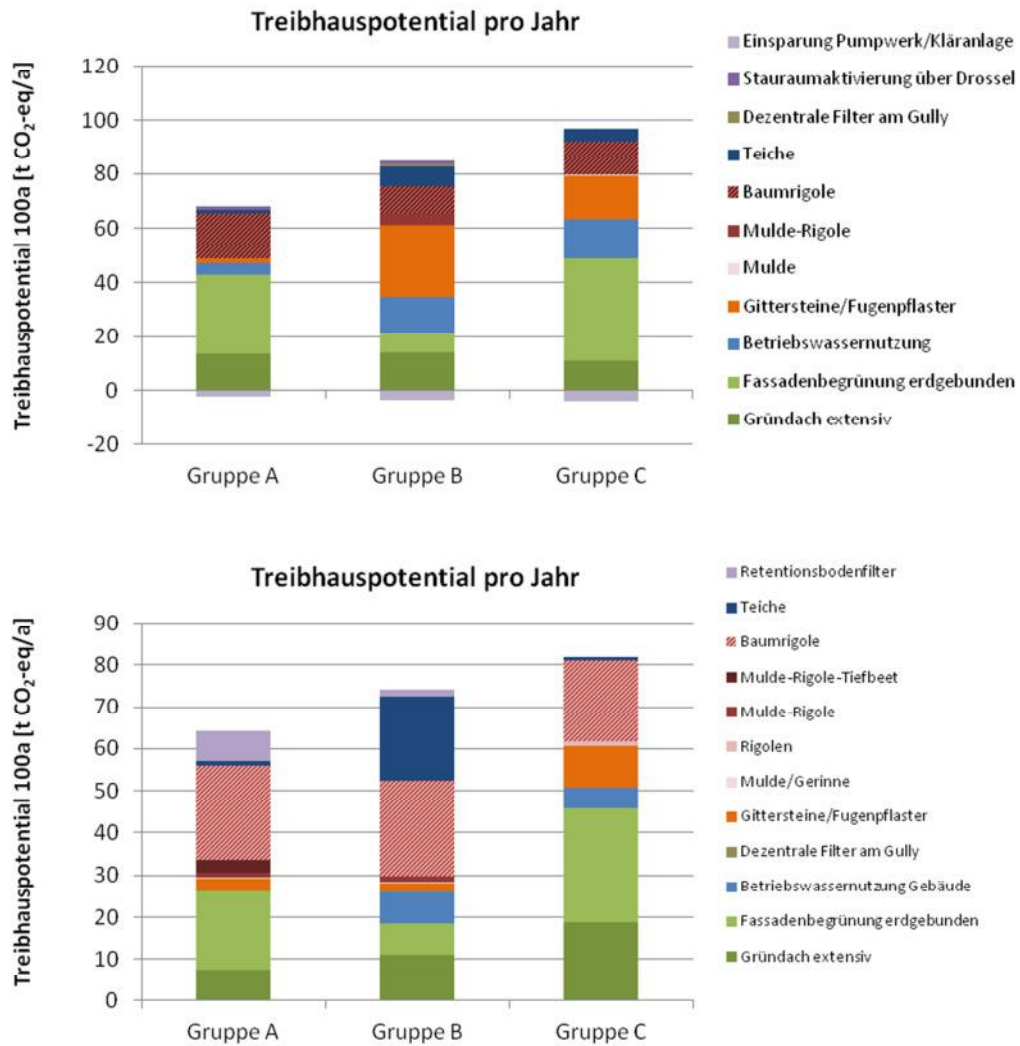


Abbildung 38: Jährliches Treibhauspotential von verschiedenen Strategien zur Regenwasserbewirtschaftung in Schöneberg (oben) und Pankow (unten)

7 Empfehlungen

7.1 Verwendung der KURAS-Ergebnisse

- Die Ergebnisse zeigen zunächst das große Potenzial von kombinierten Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung für eine Verbesserung der Umweltbedingungen und des Lebens in der Stadt. Eine integrierte Planung der Regenwasserbewirtschaftung auf Quartiersebene ist deshalb sehr empfehlenswert.
- Die Ergebnisse zeigen, dass Maßnahmen aller Kategorien vielfältige Vorteile mit sich bringen. Die integrierte Planung sollte entsprechend nicht nur die unterschiedlichen Ebenen in der Stadt - Gebäude/Grundstück, Quartier, Kanaleinzugsgebiet - beinhalten sondern unbedingt auch maßnahmenoffen stattfinden. Diese Empfehlung richtet sich auch an zahlreiche Gesetze und Regelungen die oft explizit ein Versickern des Regenwassers fordern; hier wäre eine maßnahmenoffene Forderung nach Regenwasserbewirtschaftung (über Versickerung, Verdunstung, Nutzung) anzustreben (siehe auch Kapitel 7.2.3).
- Die vorgestellte KURAS-Methode hat in allen sechs Testläufen für zwei unterschiedliche Stadtquartiere deutliche Verbesserungen in den priorisierten Effekten bewirkt. Methodisch haben insbesondere die Auswahl geeigneter (und machbarer) Maßnahmen und die gezielte Platzierung in Problemräumen gut funktioniert. Sie ist damit ein geeignetes Hilfsmittel für eine integrierte Planung der Regenwasserbewirtschaftung.
- Eine unbedingte Voraussetzung der Methode sind (politische) Ziele. Die Zahl und die Art von gesetzten Zielen können dabei von Quartier zu Quartier variieren. Wichtig ist, dass sich Stakeholder auf möglichst konkrete Ziele einigen, bevor geeignete Maßnahmen ausgewählt werden. Liegen konkrete Ziele vor, könnte die KURAS-Methode durch geeignete Iterationen in Zukunft so erweitert werden, dass alle resultierenden Varianten vorgegebene Ziele erfüllen.
- Die Bewertung vielfältiger Effekte von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung bildet einen einzigartigen Wissensstand, der als Datenbank und als Maßnahmensteckbriefe (inkl. wichtigen Richtlinien, Kennzahlen, etc.) zur Verfügung steht. Unabhängig von einer Verwendung der KURAS-Methode empfehlen wir, diese Bewertung für zahlreiche Fragestellungen im Bereich der Planung einzusetzen.

7.2 Einbindung in Planungsprozesse

Aufgrund des starken Bevölkerungswachstums in Berlin und der ausgeprägten Wohnraumknappheit wird die Bautätigkeit – sowohl in den städtebaulichen Entwicklungsgebieten als auch in Form von Nachverdichtung – in den kommenden Jahren an Dynamik gewinnen (z.B. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt 2016a). Nicht überall kann die zentrale Kanalisation eine schadlose Ableitung der zusätzlichen Abflussmengen gewährleisten. Damit die zentrale Kanalisation gezielt entlastet und die Potenziale der Regenwasserbewirtschaftung für Umwelt und Bewohner genutzt werden können müssen ausreichende Flächen für die Regenwasserbewirtschaftung an geeigneter Stelle vorgesehen werden. Dies kann nur gelingen, wenn die Potenziale der Regenwasserbewirtschaftung sowohl im Zuge der Stadtplanung als auch im Rahmen von Neubau- und Sanierungsvorhaben berücksichtigt werden. Mit einem breiten Akteurskreis in mehreren Workshops wurden Möglichkeiten identifiziert, um diese Integration zu fördern und bestehende Hemmnisse zu überwinden. Diese reichen von der Formulierung und ggf. Festsetzung von Zielvorgaben über die Erweiterung von informellen Planwerken bis hin zum Kapazitätsaufbau in der Verwaltung und Anpassung des gesetzlichen Rahmens.

7.2.1 Zielvorgaben

Die KURAS-Workshops haben ergeben, dass die Nichtbeachtung oder zu späte Definition wasserwirtschaftlicher und weiterer nicht-monetärer Ziele eines der größten Hemmnisse einer integrierten Regenwasserbewirtschaftung darstellt. Zentral für den Erfolg ist, dass Eigentümer, Bauherrn bzw. Entwicklungsgesellschaft, Genehmigungsbehörde (je nach Vorhaben auf Landes-, Bezirks- oder Privatebene), der Abwasserentsorger und ggf. die zukünftigen Nutzer sich in der Phase Null eines Bau- bzw. Entwicklungsvorhabens (Neubau, Sanierung) auf Zielvorgaben der Regenwasserbewirtschaftung einigen (Vgl. Kapitel 5.3). Es geht darum, die möglichen Wirkungen der Regenwasserbewirtschaftung (mit Blick auf Wasserwirtschaft, Stadtklima, Biodiversität, etc.) abzuwägen, prioritäre Wirkungen zu vereinbaren und diese zu konkretisieren. Zielvorgaben sind Voraussetzung für die Vorbereitung eines konkreten Regenwasserbewirtschaftungskonzeptes im Sinne der KURAS-Methode (Vgl. Kapitel 5.1) durch einen Wasserfachplaner (ggf. in Verbindung mit einem Landschaftsplaner). Dabei sind bestehende Stadtentwicklungskonzepte und städtische Strategien mit ihren z.T. räumlich differenzierten Problemanalysen und Entwicklungsvorstellungen bei der Festlegung von Zielvorgaben zu beachten.

Auf Ebene der Stadtplanung ist darauf hinzuwirken, Zielvorgaben der Regenwasserbewirtschaftung im Vorfeld zur Bauleitplanung zu vereinbaren. Hierfür gibt es verschiedene Möglichkeiten und Instrumente, die je nach Konstellation in Frage kommen. So können Zielvereinbarungen bezüglich der Regenwasserbewirtschaftung als Anforderungen in städtebaulichen Wettbewerbsverfahren oder in städtebaulichen Verträgen bei vorhabenbezogenen Bebauungsplänen festgehalten werden. Hierdurch kann sichergestellt werden, dass ausreichend Flächen im öffentlichen und im privaten Raum für die Bewirtschaftung des Regenwassers zur Verfügung stehen und weitere für die Regenwasserbewirtschaftung relevante Gebietseigenschaften (wie z.B. Höhendifferenzen, Versickerungsfähigkeit des Bodens oder das Vorhandensein von Altlasten) bei der Entwicklung der Bebauungskonzepte berücksichtigt werden.

Die oben genannten Instrumente sind in ihrer Wirkung auf das zu bebauende Gebiet räumlich begrenzt. Eine breitere Wirkung würde durch strengere Beschränkungen für die Einleitung von Regenwasser in die Kanalisation durch den Abwasserentsorger erreicht, da diese insbesondere auch für private Bau- und Sanierungsvorhaben greifen.

Grundsätzlich sollten Regelungen Flexibilität in der Wahl von Maßnahmen zulassen, um das in KURAS ausgewiesene Potenzial unterschiedlicher Maßnahmen nicht einzugrenzen und die Gestaltungsfreiheit örtlich angepasster Lösungen zu ermöglichen.

Bei jedem Bauvorhaben ist eine Kosten-Nutzen-Betrachtung von Alternativen der Regenwasserbewirtschaftung unter Berücksichtigung der definierten Ziele durchzuführen. Hierfür empfiehlt sich die Anwendung des „Leitfadens für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur Bewertung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung“ (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011a). Er baut auf einer standardisierten und akzeptierten Methodik der Wirtschaftlichkeitsbewertung auf und bietet eine Arbeitshilfe, um den Entscheidungsprozess hinsichtlich der gewählten Art der Regenwasserbewirtschaftung transparent und prüfbar abzubilden. Analog

zur KURAS Methode sieht die Bewertung die Berücksichtigung von priorisierten, nicht-monetären Zielen sowie von der unterschiedlichen Fähigkeit verschiedener Maßnahmen, diese Ziele zu erreichen, vor.

7.2.2 Erweiterung der Planungsgrundlagen und Planungshilfen

Vorhandene formelle und informelle Planungsgrundlagen sowie gesamtstädtische Strategien sind eine wichtige Informationsgrundlage der zielorientierten und strategischen Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung. Sie zeigen Handlungserfordernisse auf, halten die aktuellen Planungsziele der Stadt fest und bestimmen die räumlichen und zeitlichen Prioritäten für die Inanspruchnahme von Flächen und Standorten. Am Beispiel Berlins sind das vor allem der Berliner Flächennutzungsplan und die Landschaftspläne. Daneben enthalten auch der „Stadtentwicklungsplan Klima“ (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung 2011b), der „Stadtentwicklungsplan Klima KONKRET“ (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt 2016b), die „Strategie Stadtlandschaft“ (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt 2014) und die „Berliner Strategie zur biologischen Vielfalt“ (Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt 2012) räumliche Zielsetzungen mit Blick auf den Umgang mit Regenwasser, die Qualifizierung des Freiraums, den Schutz der Artenvielfalt sowie Klimaschutz und -anpassung. Diese sollten, wie zum Teil bereits geschehen, möglichst um die Thematik der Regenwasserbewirtschaftung erweitert werden, um den jeweils spezifischen Nutzen zu vermitteln. Im Sinne der Festlegung konkreter Ziele wäre es natürlich hilfreich, wenn in strategischen Grundlagen bereits gesamtstädtische Ziele möglichst konkret beschrieben werden. Die Verantwortlichkeit hierfür liegt bei den Landesbehörden. Eine solche Erweiterung des Planungsrahmens könnte die Vernetzung des Themas Regenwasserbewirtschaftung innerhalb der Verwaltung und die Verzahnung der Planungsebenen bis hin zum Bebauungsplan unterstützen. Eine integrierte Regenwasserbewirtschaftung kann nur dann umgesetzt werden, wenn sie als Gemeinschaftsaufgabe begriffen wird und sich neue Konstellationen der Zusammenarbeit etablieren.

7.2.3 Anpassung des rechtlichen Rahmens

Es gibt eine Reihe von gesetzlichen Planungs- und Bauvorgaben bzw. -regelungen auf Bundes- und Landesebene, die aktuellen Erkenntnissen der Regenwasserbewirtschaftung nicht gerecht werden und dadurch die Planung und Umsetzung einer integrierten Regenwasserbewirtschaftung und insbesondere die Orientierung an den örtlichen Gegebenheiten erschweren.

Vielfach wird der Versickerung von Regenwasser Vorrang vor anderen Bewirtschaftungsmöglichkeiten gegeben. Dies gilt u.a. auf Bundesebene für das Wasserhaushaltsgesetz (§55 WHG) und auf Landesebene für das Berliner Wassergesetz (§ 36a BWG), aber auch auf ähnliche Weise für andere Verordnungen und Verwaltungsvorschriften. Je nach Problemlage und Zielstellung können Maßnahmen der Versickerung, des Rückhalts, der Verdunstung oder der Nutzung des Regenwassers von Vorteil sein. Die gesetzlichen Vorgaben sollten entsprechend erweitert werden, um eine örtlich angepasste Bewirtschaftung des Regenwassers zu fördern.

Ähnlich verhält es sich z.B. mit dem Baugesetzbuch, das ausschließlich die Festsetzung von Flächen für die Versickerung oder den Rückhalt von Regenwasser vorsieht (§ 9 Abs. 1 Nr. 14 BauGB). Wünschenswert wäre die Erweiterung der möglichen Festsetzungen nach BauGB, um aktuellen Erkenntnissen mit Blick auf die Regenwasserbewirtschaftung gerecht zu werden. Konkrete Möglichkeiten zur Anpassung von §9 Abs. 1 BauGB liegen darin, eine Mehrfachnutzung von Flächen zu ermöglichen und „Flächen für den Umgang mit Regenwasser“ als mögliche Nutzung aufzunehmen. Entsprechend anpassungsbedürftig sind auch die Musterbauordnung (MBO Fassung 2002, Stand 21.09.2012) und die Bauordnungen der Länder.

Von besonderer Bedeutung für öffentliche Baumaßnahmen in Berlin ist die „Allgemeine Anweisung für die Vorbereitung und Durchführung von Bauaufgaben Berlins“ (Anweisung Bau – ABau, Stand 2016) in Verbindung mit den „Ökologischen Kriterien für Bauwettbewerbe“ aus dem Jahr 2007. Mit Blick auf die geplanten Baumaßnahmen in den städtischen Entwicklungsgebieten wäre die baldige Verankerung einer örtlich angepassten Regenwasserbewirtschaftung sowie der Verweis auf den bereits oben genannten „Leitfaden für Wirt-

schaftlichkeitsuntersuchungen zur Bewertung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung“ für eine transparente Berücksichtigung monetärer und nicht-monetärer Ziele im Zuge der Maßnahmenplanung wichtig.

7.2.4 Wissen vermitteln und Kapazitäten aufbauen

Das Fehlen von Kenntnissen bezüglich der Potenziale der Regenwasserbewirtschaftung stellt in Verbindung mit begrenzten zeitlichen und finanziellen Kapazitäten bzw. Ressourcen in der Verwaltung ein erhebliches Umsetzungshindernis dar. Die Umsetzung von semi- und dezentralen Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung setzt zudem bei Großbauvorhaben eine stärkere Zusammenarbeit von Ämtern voraus, die so in der Praxis noch nicht etabliert ist. Mittel- und langfristig müssen neue Prozessabläufe und Zuständigkeiten etabliert sowie hierfür Kapazitäten und Know-how in der Verwaltung auf Landes- und Bezirksebene aufgebaut werden. Für Stadtplanungs-, Grünflächen-, Straßenbau- und Naturschutzämter ist über Weiterbildungsangebote nachzudenken. Zudem benötigen private Bauherren spezifische Informationsangebote.

Neben der oben genannten Erweiterung bestehender Planungsgrundlagen könnte ein abgestimmter Leitfaden in Form eines strukturierten und idealtypischen Planungsablaufes von Großprojekten zur Bewältigung der aktuell anstehenden Aufgaben der Stadtentwicklung (insbesondere neuer Wohnbaustandorte) Abhilfe schaffen.

7.2.5 Regenwasserbewirtschaftung auf öffentlichen Flächen

Zuletzt wird auf die Möglichkeiten zur Umsetzung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung auf öffentlichen Flächen (Schulen, Straßen, Parkanlagen, Verwaltungsgebäude) hingewiesen, die z.B. in Berlin immerhin 34 % der Flächen (ohne Berücksichtigung von Wald und Gewässer, Basis: Fis-Broker, Karte „Flächentypen 2010“) ausmachen. Hier kann die öffentliche Hand eine Vorbildfunktion wahrnehmen, um die Möglichkeiten der Regenwasserbewirtschaftung durch gut sichtbare Beispiele bekannt zu machen und dem Transformationsprozess Anschub zu geben.

7.3 Biozidhaltige Dachmaterialien

Aufgrund der in KURAS unternommenen Untersuchungen zum Biozid Mecoprop (siehe Kapitel 4.2.2) wurden die folgenden Empfehlungen abgeleitet:

1. Bitumenbahnen mit chemischem Durchwurzelungsschutz sollten vermieden werden.
2. Insbesondere ist ein chemischer Durchwurzelungsschutz bei unbegrüntem Dächern nicht sinnvoll.
3. Bei der Dachbegrünung sind Abdichtungen vorzuziehen, die einen physikalischen Durchwurzelungsschutz bieten und daher zu keinem Biozidaustrag führen.
4. Wenn ein chemischer Durchwurzelungsschutz verwendet wird, ist der Dachabfluss ungeeignet für eine Bewässerung von Grün- und Freiflächen.
5. Die Verwendung von mit Mecoprop belastetem Dachabfluss ist als Betriebswasser für die Toilettenspülung oder die Gebäudekühlung geeignet.
6. Die Versickerung in Anlagen ohne Bodenpassage ist zu vermeiden. Versickerungsanlagen mit Bodenpassage sind entsprechend der örtlichen Gegebenheiten anzupassen (z.B. höchster Grundwasserstand, hydraulische Belastung, Biozid-Konzentrationen im Zulauf).

Insofern stützen die Ergebnisse

- die „Handlungsempfehlungen zur Vermeidung der Umweltbelastung durch die Freisetzung des Herbizids Mecoprop aus wurzelfesten Bitumenbahnen“ (vom 01.10.2013, SenStadtUm & LaGeSo 2013).
- die Anpassung der Niederschlagswasserfreistellungsverordnung des Landes Berlin, nach der biozidhaltiger Dachablauf nicht mehr erlaubnisfrei versickert werden darf (NWFreiV 2001, geändert am 28.04.2016).

Danksagung

Die vorgestellten Arbeiten wurden im Rahmen des Projektes KURAS durchgeführt, gefördert durch das BMBF innerhalb der Fördermaßnahme „Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung“ des Programms „FONA – Forschung für nachhaltige Entwicklungen“ (<http://www.bmbf.nawam-inis.de>). Die involvierten Unternehmen beteiligten sich zudem durch Eigenanteile. Das Kompetenzzentrum Wasser Berlin erhielt eine Co-Finanzierung durch die Berliner Wasserbetriebe und Veolia Wasser.

Die Autoren möchten sich weiter bei folgenden Institutionen und Personen für ihre inhaltliche Mitarbeit und Unterstützung bedanken:

- den Kolleginnen und Kollegen der Bezirksverwaltungen Pankow und Tempelhof-Schöneberg, der BIM Berliner Immobilienmanagement GmbH und der Grünen Liga für ihre engagierte Teilnahme an den Stakeholder-Treffen der Planspiele.
- Frau Wallasch-Liedtke von SenStadtUm für die Unterstützung bei der Recherche im Archiv.
- Herrn Westphal vom OSZ Weißensee für die Besichtigung des dortigen Regenwasserkonzepts.
- Herrn Marczinski von den Berliner Wasserbetrieben für die Unterstützung des Messprogrammes am RBF Halensee.
- dem Laborteam der Berliner Wasserbetriebe für die Unterstützung der Messprogramme am RBF Halensee und am Gründach der Hochschule Neubrandenburg.
- Herrn Lindner, Haustechniker im HU-Physikgebäude für die Unterstützung der Bohr- und Beprobungsarbeiten.
- Frau Johannes, Bezirksamt Tempelhof-Schöneberg für die Informationen zum Umgang mit Altlasten und Altlastenverdachtsflächen.
- der Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V. (FBB) für die gemeinsam durchgeführte Umfrage zu Kosten der Gebäudebegrünung.
- der Bremer Umwelt Beratung e.V. für die Unterstützung der Kostenauswertung im Rahmen des Förderprogramms „Ökologische Regenwasserbewirtschaftung“.
- den Kolleginnen und Kollegen des KWB die die unterschiedlichen KURAS-Arbeiten maßgeblich unterstützt haben, insbesondere Rabea-Luisa Schubert, Nicolas Caradot, Hauke Sonnenberg, Bodo Weigert, Albert Dietrich, Saebom Kim und Vlatko Vilović.

Literaturverzeichnis

- Merkblatt ATV-DVWK-M 153: Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser. (2000)
- Augstein, I. (2002) Die Ästhetik der Landschaft - Ein Bewertungsverfahren für die planerische Umweltvorsorge. Berlin:
- BBodSchV (1999) Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung.
- Bester, K., Banzhaf, S., Burkhardt, M., Janzen, N., Niederstrasser, B. & Scheytt, T. (2011) Activated soil filters for removal of biocides from contaminated run-off and waste-waters. *Chemosphere* 85 (8): 1233-1240
- Birch, H., Mikkelsen, P. S., Jensen, J. K. & Lutzhoft, H.-C. H. (2011) Micropollutants in stormwater runoff and combined sewer overflow in the Copenhagen area, Denmark. *Water Science & Technology* 64 (2): 9
- Borchardt, D. (1992) Wirkungen stoßartiger stofflicher und hydraulischer Belastungen auf ausgewählte Fließgewässerorganismen? Ein Beitrag zur Beurteilung ökologischer Schäden durch Niederschlagswassereinleitungen aus Kanalisationen. *Wasser-Abwasser-Abfall* 10 174
- Borchardt, D., Bürgel, B., Durchschlag, A., Grimm, O., Grottker, M., Halle, M., Podraza, P., Schitthelm, D. & Uhl, M. (2003) Ableitung von immissionsorientierten Anforderungen an Misch- und Niederschlagswassereinleitungen unter Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse. (Begleitband zu BWK M3). Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V.
- DIN (2002) DIN 1989: Regenwassernutzungsanlagen, Teil 1: Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung. Beuth-Verlag
- DWA (2005) DWA-A 138: Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser.
- DWA (2016) DWA-A 102. Anforderungen an niederschlagsbedingte Siedungsabflüsse, Gelbdruck.
- Früh, B., Becker, P., Deutschländer, T., Hessel, J. D., Kossmann, M., Mieskes, I., Namyslo, J., Roos, M., Sievers, U., Steigerwald, T., Turau, H. & Wienert, U. (2011) Estimation of climate-change impacts on the urban heat load using an urban climate model and regional climate projections. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 50 (1): 167-184
- Glugla, G., Goedecke, M., Wessolek, G. & Fürtig, G. (1999) Langjährige Abflußbildung und Wasserhaushalt im urbanen Gebiet Berlin. *Wasserwirtschaft* 89 34-42
- Göbel, P., Dierkes, C. & Coldewey, W. G. (2007) Storm water runoff concentration matrix for urban areas. *Journal of Contaminant Hydrology* 91 (1-2): 26-42
- Gross, G. (2012a) Effects of different vegetation on temperature in an urban building environment. Micro-scale numerical experiments. *Meteorologische Zeitschrift* 21 (4): 399-412
- Gross, G. (2012b) Numerical simulation of greening effects for idealised roofs with regional climate forcing. *Meteorologische Zeitschrift* 21 (2): 173-181
- GrwV (2010) Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung).
- Günther, R. (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): 19-25
- Heinzmann, B. (1994) Beschaffenheit und Bedeutung städtischer Regenabflüsse im Trennsystem. *GWF Wasser Abwasser* 135 (7): 381-390
- Iannuzzi, T. J., Huntley, S. L., Schmidt, C. W., Finley, B. L., McNutt, R. P. & Burton, S. J. (1997) Combined sewer overflows (CSOs) as sources of sediment contamination in the lower Passaic River, New Jersey. 1. Priority pollutants, and inorganic chemicals. *Chemosphere* 34 (2): 213-231
- IPCC (2007) Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC
- IPS (2007) Handbuch STORM.XXL. Ingenieurbüro Prof. Dr. Sieker

- ISO (2006a) ISO 14040: Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and framework. International Standardisation Organisation.
- ISO (2006b) ISO 14044: Environmental management - Life Cycle Assessment - Requirements and guidelines. International Standardisation Organisation.
- itwh (2007) Anwenderhandbuch HYSTEM-EXTRAN. itwh
- Kaplan, R. & Kaplan, S. (1989) *The Experience of Nature: A psychological perspective*. New York: Cambridge University Press
- Kellner, U. (2014) Die historische Entwicklung des Stadtgrüns – Schlaglichter auf die Situation in Deutschland seit dem Mittelalter, *Zukunft Stadtgrün – Nutzen und Notwendigkeit urbaner Freiräume*. München: Deutsche Gesellschaft für Gartenkunst und Landschaftskultur (DGGL) e. V.
- Kirchesch, V. & Schöl, A. (1999) Das Gewässergütemodell QSIM - Ein Instrument zur Simulation und Prognose des Stoffhaushalts und der Planktondynamik von Fließgewässern. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 43 (6): 302-309
- Krejci, V., Kreikenbaum, S. & Fankhauser, R. (2004) Projekt «STORM»: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen bei Regenwetter - Akute Ammoniak- und hydraulische Beeinträchtigungen. *GWA Gas, Wasser, Abwasser* 9 671-679
- Lammersen, R. (1997) Die Auswirkungen der Stadtentwässerung auf den Stoffhaushalt von Fließgewässern, *Schriftenreihe für Stadtentwässerung und Gewässerschutz des Institutes für Wasserwirtschaft der Universität Hannover*, Heft 15.:
- Milosovicova, J. (2010) *Climate Sensitive Urban Design in Moderate Climate Zone: Responding to Future Heat Waves. Case Study Berlin – Heidestrasse/Europacity*. Masterarbeit. TU Berlin
- NWFreiV (2001) Voraussetzung der Erlaubnisfreiheit für das schadloze Versickern von Niederschlagswasser gemäß Niederschlagswasserfreistellungsverordnung (NWFreiV vom 24.08.2001). Senatsverwaltung für Gesundheit Umwelt und Verbraucherschutz, Berlin.
- Pfoser, N. & Jenner, N. (2013) *Gebäude Begrünung Energie. Potenziale und Wechselwirkungen*. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
- Pille, L. & Säumel, I. (2015) Effekte von Regenwassermanagement-Maßnahmen auf die Biodiversität. p. 295-300. *Aqua Urbanica*.
- Pitt, R., Clark, S. & Field, R. (1999) Groundwater contamination potential from stormwater infiltration practices. *Urban Water* 1 (3): 217-236
- Riechel, M., Matzinger, A., Pawlowsky-Reusing, E., Sonnenberg, H., Uldack, M., Heinzmann, B., Caradot, N., von Seggern, D. & Rouault, P. (2016) Impacts of combined sewer overflows on a large urban river - Understanding the effect of different management strategies. *Water Research* 105 10
- Schneider, G. (1996) *Umweltästhetik*, In Kruse, L., Graumann, C.-F. & Lantermann, E. D. [eds.], *Ökologische Psychologie: Ein Handbuch in Schlüsselbegriffen*. Weinheim:
- Senatsverwaltung für Gesundheit Umwelt und Verbraucherschutz (2009) *Ergänzender Länderbericht Berlins zum Entwurf des Bewirtschaftungsplans für den deutschen Teil der Flussgebietseinheit Elbe - Dokumentation der Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie in Berlin*.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (2007) *Innovative Wasserkonzepte - Betriebswassernutzung in Gebäuden*.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (2011a) *Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur Bewertung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung*.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (2011b) *Stadtentwicklungsplan Klima - Urbane Lebensqualität im Klimawandel sichern*.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (2012) *Berliner Strategie zur Biologischen Vielfalt - Begründung, Themenfelder und Ziele*.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (2014) *Strategie Stadtlandschaft Berlin - natürlich urban produktiv*.

- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (2016a) Roadmap-400.000 bezahlbare Wohnungen im Landeseigentum. Vereinbarung zwischen dem Land Berlin und den sechs landeseigenen Wohnungsunternehmen.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (2016b) Stadtentwicklungsplan Klima KONKRET - Klimaanpassung in der Wachsenden Stadt. Berlin
- SenStadtUm & LaGeSo (2013) Handlungsempfehlungen zur Vermeidung der Umweltbelastung durch die Freisetzung des Herbizids Mecoprop aus wurzelfesten Bitumenbahnen. p. 2. Hinweisblatt.
- TU Berlin (2014) HighTech-LowEx: Energieeffizienz Berlin Adlershof 2020 - Abschlussbericht Teil 8 Energieeffiziente Gebäude. BMWi Förderkennzeichen 03ET1038A und 03ET1038B
- VDI (2012) VDI-Richtlinie 4600: 2012-01: Kumulierter Energieaufwand - Begriffe, Berechnungsmethoden.
- Wicke, D., Caradot, N., Matzinger, A., Rouault, P., Heinzmann, B. & Kummelt, A. (2014) Monitoring of micropollutant loads in urban stormwater on city scale – strategy and realization, *In 13th International Conference on Urban Drainage*. Sarawak, Malaysia
- Wicke, D., Matzinger, A. & Rouault, P. (2015) Relevanz organischer Spurenstoffe im Regenwasserabfluss Berlins - Abschlussbericht. KWB
- Wicke, D., Matzinger, A., Sonnenberg, H., Caradot, N., Schubert, R.-L., Rouault, P., Heinzmann, B., Dünnbier, U. & Seggern, D. v. (2017) Spurenstoffe im Regenwasserabfluss Berlins. *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* 64 (5): 394-404
- WSL (2004) InfoWorks CS User Manual. Copyright 1997. Wallingford Software Ltd
- Xanthopoulos, C. (1996) Möglichkeiten und Grenzen von Maßnahmen in Einzugsgebieten. Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe

Glossar

Absorptionskälteanlage Nutzt eine Kältemaschine, bei der im Gegensatz zur Kompressionskältemaschine die Verdichtung durch eine temperaturbeeinflusste Lösung des Kältemittels erfolgt. Man bezeichnet dies auch als thermischen Verdichter. Die Anlagerung an einen Feststoff wird in der Verfahrenstechnik als Absorption bezeichnet und die Desorption dementsprechend als Lösen von einem Feststoff. Das Kältemittel wird in einem Lösungsmittelkreislauf bei geringer Temperatur in einem zweiten Stoff absorbiert und bei höheren Temperaturen desorbiert. In einer Absorptionskältemaschine wird das Kältemittel so gewählt, dass mit der Ab- bzw. Desorption eine Aggregatzustandsänderung einhergeht. Da die Absorption des Kältemittels eine Kondensation beinhaltet, wird sie von niedriger Temperatur und hohem Druck begünstigt, verringert das Volumen des Kältemittels und setzt Energie in Form von Wärme frei.

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.

Adiabate Kühlung In der Klimatechnik eingesetztes Verfahren um mit Verdunstungskälte Räume zu klimatisieren. Das Verfahren wird indirekt angewandt, indem ein anderer Luftstrom als der zu kühlende Luftstrom befeuchtet wird. Verdunstungskälte ist eine erneuerbare Energie, da zur Kälteerzeugung nur Luft und Wasser als Quellen genutzt werden. Das Prinzip dieses Vorgangs ist dasselbe wie beim Schwitzen, bei dem durch die Schweißabsonderung Wasser verdunstet. Die für die Verdunstung notwendige Wärme wird der Umgebung entzogen, was dazu führt, dass die Haut des Menschen abkühlt.

Betriebs- und Instandhaltungsauszahlungen bezeichnen Zahlungen, welche jährlich für den Betrieb und die Instandhaltung von Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahmen anfallen (auszahlungsgleiche Kosten).

Betriebswasser Nach DIN 4046: Gewerblichen, industriellen, landwirtschaftlichen oder ähnlichen Zwecken dienendes Wasser mit unterschiedlichen Güteeigenschaften, wobei auch Trinkwasserqualität enthalten sein kann. Nach DIN 1989: Wasser für häusliche und gewerbliche Einsatzbereiche, welches keine Trinkwasserqualität haben muss. Hier z.B: Aufbereitetes Regenwasser für Verwendungszwecke in denen keine Trinkwasserqualität erforderlich ist. Es kann z.B. für die Toilettenspülung, Kühlzwecke, Wasch- und Reinigungsanlagen oder zur Bewässerung von Grünanlagen genutzt werden.

Biodiversität / Artenvielfalt: Die biologische Vielfalt zu erhalten und den weltweiten Artenschutz zu unterstützen sind oberste Ziele. Die Zahl der Pflanzen – und Tierarten wird auf der Erde auf rund 15 Millionen geschätzt, von denen etwa 1,8 Millionen bislang beschrieben wurden. In Deutschland gilt ein Drittel der heimischen Tier- und ein Viertel der Pflanzenarten als gefährdet.

Biozide Unter den Begriff „Biozide“ fallen alle Chemikalien zur Bekämpfung von Schadorganismen auf chemische/biologische Wege, z.B. Desinfektionsmittel, Holzschutzmittel und alle Schädlingsbekämpfungsmittel.

Boden ist die oberste (meist nur 20 bis 40 cm Dicke) überbaute und nicht überbaute Schicht der festen Erdkruste, einschließlich des Grundes fließender oder stehender Gewässer, soweit sie durch menschliche Aktivitäten beeinflusst werden kann. Der Boden nimmt eine Vielzahl von nicht substituierbaren natürlichen Funktionen für den Menschen wahr. So dient er der Nahrungsmittelproduktion, als Siedlungs- und Verkehrsfläche, nimmt Abfälle und Emissionen auf, weiterhin werden zahlreiche Regelungs- und Lebensraumfunktionen wahrgenommen.

Direkte Kosten entsprechen Kosten, welche sich direkt einer Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahme zuordnen lassen. Hierzu zählen Investitionen sowie Auszahlungen für Betrieb und Instandhaltung der Maßnahmen.

FIS-Broker (Berlin) Der FIS-Broker des Landes Berlin umfasst einen öffentlichen Geodatenkatalog und bietet Karten, Pläne und andere Daten mit Raumbezug an unter <http://fbinter.stadt-berlin.de/fb/index.jsp>.

Gewässereutrophierung resultiert aus einer Überdüngung von Gewässern (insbesondere mit Stickstoff und Phosphor) zu verstärktem Wachstum von Wasserpflanzen und planktischen Algen führt. Dieses verstärkte Wachstum kann eine Reihe von negativen Folgen haben, wie Algenblüten, Trübung, Sauerstoffmangel, Freisetzung toxischer Abbauprodukte und letztlich eine Einschränkung des Lebensraums für Tiere und Pflanzen.

Investitionen / Investitionsauszahlungen beziffern die Zahlungen welche für den Bau einer Regenwasserbewirtschaftungsmaßnahme anfallen.

Klimaanlagen Eine Kombination sämtlicher Bauteile, die für eine Form der Luftbehandlung erforderlich sind, bei der die Temperatur, eventuell gemeinsam mit der Belüftung, der Feuchtigkeit und der Luftreinheit geregelt und gesenkt werden kann.

Lysimeter Offene bewachsene Bodenzylinder zur Messung von Niederschlag, Versickerung und Verdunstung. Sie sind in den Boden eingelassen und schließen mit der Umgebung glatt ab. Lysimeter stehen in der Regel auf einer Waage, um den Wasserhaushalt zeitnah exakt zu bestimmen. Das Sickerwasser kann qualitativ und quantitativ analysiert werden.

Monitoring systematische Erfassung, Beobachtung oder Überwachung eines Vorgangs oder Prozesses mittels technischer Hilfsmittel oder anderer Beobachtungssysteme. Die Funktion des Monitorings besteht darin, bei einem beobachteten Ablauf bzw. Prozess steuernd einzugreifen, sofern dieser nicht den gewünschten Verlauf nimmt bzw. bestimmte Schwellwerte unter- bzw. überschritten sind. Monitoring ist deshalb ein Sondertyp des Protokollierens und Optimierens.

Niederschlagswasser Das durch Niederschläge (Regen, Schnee, Hagel usw.) anfallende, von bebauten oder befestigten Flächen abfließende und gesammelte Wasser, im wesentlichen Regenwasser (= Regenwasserabfluss).

Primärenergie Unter der Primärenergie wird der Energieinhalt der Primärenergieträger und der Energieströme verstanden, die noch keiner technischen Umwandlung unterworfen wurden und aus denen direkt oder durch eine oder mehrere Umwandlungen Sekundärenergie oder -träger gewonnen werden können (z.B. Steinkohle, Braunkohle, Erdöl, Biomasse, Windkraft, Solarstrahlung, Erdwärme).

Rankhilfen Technische Konstruktionen, die es Kletterpflanzen erlauben, senkrechte Flächen / Wände zu bewachsen. Die Schwierigkeit besteht darin, dass es sehr unterschiedliche Arten von Klettermechanismen gibt.

Regenwasser nach DIN 1989: Wasser aus natürlichem Niederschlag, das nicht durch Gebrauch verunreinigt wurde.

Regenwasserbewirtschaftung Regenwasserbewirtschaftung bezeichnet alle Maßnahmen des Umgangs mit Niederschlagswasser auf den Ebenen Gebäude, Quartier und Einzugsgebiet der Stadtentwässerung, die über eine Ableitung im Kanal hinausgehen. Bei der **zentralen Regenwasserbewirtschaftung** werden Niederschlagsabflüsse in der Kanalisation (Misch- oder Trennsystem) zurückgehalten und/oder gereinigt: z.B. Retentionsbodenfilter, Regenklärbecken, Speicherraum-Bewirtschaftung im Kanalnetz. Die **dezentrale Regenwasserbewirtschaftung** bewirtschaftet die Niederschläge dort, wo sie anfallen, den örtlichen Gegebenheiten entsprechend durch geeignete Maßnahmen und führt sie vorrangig wieder dem natürlichen Wasserkreislauf zu. Hierzu wird das Niederschlagswasser möglichst im Gebiet zurückgehalten und verdunstet (z.B. künstliche Wasserflächen, Gebäudebegrünung), genutzt (z.B. als Betriebswasser) und / oder über die belebte Bodenschicht versickert.

Retention: Abflusshemmung und -verzögerung.

Stakeholder Als Stakeholder wird eine Person oder Gruppe bezeichnet, die ein berechtigtes Interesse am Verlauf oder Ergebnis eines Prozesses oder Projektes hat. Im Falle von KURAS handelt es sich um Vertreter von Institutionen mit Einfluss auf Planungs- und Umsetzungsprozesse der Regenwasserbewirtschaftung (Entscheidungsträger), um Personen/Vertreter die durch die Planung oder die Auswirkungen von Regenwasserbewirtschaftung betroffen sein könnten (Betroffene), um Träger öffentlicher Belange (z.B. Umweltverbände) sowie um Multiplikatoren (z.B. Wissenschaft).

Stand der Technik In Rechtsnormen verwendeter Begriff für den Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren und Anlagen zur Begrenzung von Umweltbelastungen.

Trinkwasser ist das wichtigste Lebensmittel und dient auch dem sonstigen Hausgebrauch. 99% der deutschen Bevölkerung beziehen es von der öffentlichen Wasserversorgung, welche die Qualitätsanforderungen der Trinkwasserverordnung erfüllt. In Deutschland entfallen rd. 4% der gesamten Wassernutzung auf die Versorgung mit Trinkwasser.

Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) Die Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft ist am 22.12.2000 in Kraft getreten. Mit ihr fiel der Startschuss für eine Gewässerschutzpolitik in Europa, die über Staats- und Ländergrenzen hinweg eine koordinierte Bewirtschaftung der Gewässer innerhalb der Flusseinzugsgebiete bewirken wird, um möglichst flächendeckend einen guten chemischen und ökologischen Gewässerzustand zu erreichen.

Anhang

A1 Bewertungsmatrix

Maßnahmen- kategorie	Maßnahmentyp	Biodiversität			Grundwasser/Bodenpassage			
		α-Diversität (Flora) [-]	α-Diversität (Fauna) [-]	β-Diversität (Flora) [-]	Änderung des Versick- erungsan- teils [%]	Änderung der Zinkkon- zentration [%]	Änderung der Chlorid- konzentra- tion [%]	
Gebäude- begrünung	Extensive Dachbegrünung	12,6	34,8	32,6	-	-	-	○
	Intensive Dachbegrünung	20,2	78,3	1,3	-	-	-	○
	Fassadenbegrünung (erdgebunden)	11	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	○
	Fassadenbegrünung (systemgebunden)	n.b.	n.b.	n.b.	-	-	-	○
Regenwasser- nutzung	Regenwassernutzung für Bewässerung	-	-	-	-	n.b.	n.b.	○
	Regenwassernutzung für Betriebswasser	-	-	-	-	-	-	○
	Regenwassernutzung für Gebäudekühlung	-	-	-	-	-	-	○
	Regenwassernutzung für Kanalspülung	-	-	-	-	-	-	○
Entsiegelung	teilversiegelte Oberflächenbefestigungen	n.b.	n.b.	n.b.	+31	-87	0	○
	Mulden	23,4	64,5	2,8	+344	-91	+290	○
Versickerung	Flächenversickerung	-	-	-	+381	-84	0	○
	Rigolen	-	-	-	+425	-86	-	○
	Rohrrigolen	-	-	-	n.b.	-	-	○
	Sickerschächte	-	-	-	+518	-94	-	○
	Mulde-Rigolen-System	-	-	-	+200	-89	+140	○
	Mulden-Rigolen-Tiefbeet	-	-	-	+494	n.b.	n.b.	○
	Baumrigolen	-	-	-	n.b.	n.b.	n.b.	○
künstliche Wasserflä- chen	Teiche	7,1	34,1	11,4	-	-	-	○
	wasserführende Gräben	-	-	-	-	-	-	○
Reinigung	Reinigung am Straßenabfluss	-	-	-	-	-	-	○
	Regenklärbecken (geschlossene Bauweise)	-	-	-	-	-	-	○
	Schrägkläreranlagen	-	-	-	-	-	-	○
	Retentionsbodenfilter mit Absetzbecken	n.b.	n.b.	n.b.	-	-	-	○
Stauraum im Kanal	Sonderform der Reinigung	-	-	-	-	-	-	○
	Regenüberlaufbecken (Mischsystem)	-	-	-	-	-	-	○
	Stauraumkanal (Mischsystem)	-	-	-	-	-	-	○
	Stauraumaktivierung (Mischsystem)	-	-	-	-	-	-	○
	Regenrückhaltebecken	n.b.	n.b.	n.b.	-	-	-	○

Maßnahmen- kategorie	Maßnahmentyp	Nutzen auf Gebäudeebene		Freiraum- qualität	Stadtklima		Ressourcenutzung	
		Einsparung Trink- /Abwasser (Regen) [%]	Energie- einspar- potenzial Gebäude- kühlung [%]		Mittelwert aus vier Einzelindi- katoren ¹ [-]	Änderung Tropen- nächte [d/a]	Änderung Hitze- stress (UTCI) [h/a]	THG- Potential 100 CO ₂ - eq/(m ² ·a)
Gebäude- begrünung	Extensive Dachbegrünung	0/70	10	2,4	0	-20	0,15	1,98
	Intensive Dachbegrünung	0/90	15	n.b.	0	-30	0,52	7,49
	Fassadenbegrünung (erdgebunden)	0/50	25	2,0	-	-	0,02	0,23
	Fassadenbegrünung (systemgebunden)	0/20	25	2,8	-	-	0,26	3,00
Regenwasser nutzung	Regenwassernutzung für Bewässerung	70/0	n.b.	-	-	-	0,28	3,84
	Regenwassernutzung für Betriebswasser	70/70	-	-	-	-	0,28	3,84
	Regenwassernutzung für Gebäudekühlung	90/20	90	-	-	-	n.b.	n.b.
	Regenwassernutzung für Kanalspülung	n.b.	n.b.	-	-	-	n.b.	n.b.
Entsiegelung	teilversiegelte Oberflächenbefestigungen	n.b.	n.b.	n.b.	0	-20	0,34	3,05
	Mulden	n.b.	n.b.	n.b.	0	-25	0,03	0,48
Versickerung	Flächenversickerung	n.b.	n.b.	2,6	0	-25	0,1	1,52
	Rigolen	n.b.	-	-	-	-	0,14	2,02
	Rohrrigolen	n.b.	-	-	-	-	-	-
	Sickerschächte	n.b.	-	-	-	-	0,07	0,65
	Mulden-Rigolen-System	n.b.	n.b.	2,3	0	-20	0,12	1,83
	Mulden-Rigolen-Tiefbeet	n.b.	n.b.	2,5	0	-20	0,23	2,67
künstliche Wasserflä- chen	Baumrigolen	n.b.	n.b.	n.b.	0	-70	0,26	2,25
	Teiche	n.b.	n.b.	2,1	1	-70	0,3	4,11
Reinigung	wasserführende Gräben	n.b.	n.b.	n.b.	1	-70	n.b.	n.b.
	Reinigung am Straßenabfluss	-	-	-	-	-	0,04	0,5
	Regenklärbecken (geschlossene Bauweise)	-	-	-	-	-	0,06	0,42
	Schräkläreranlagen	-	-	-	-	-	0,02	0,14
	Retentionsbodenfilter mit Absetzbecken	-	-	2,3	0	-20	0,02	0,2
Stauraum im Kanal	Sonderform der Reinigung	-	-	-	-	-	n.b.	n.b.
	Regenüberlaufbecken (Mischsystem)	-	-	-	-	-	0,04	0,32
	Stauraumkanal (Mischsystem)	-	-	-	-	-	0,03	0,21
	Stauraumaktivierung (Mischsystem)	-	-	-	-	-	0,017	0,20
	Regenrückhaltebecken	-	-	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Maßnahmen- kategorie	Maßnahmentyp	Oberflächengewässer				Direkte Kosten	
		Reduktion des Regen- abflusses [%]	Reduktion der Abfluss- spitze [%]	AFS-Rück- halt [kg/(ha-a)]	Phosphor- Rückhalt [kg/(ha-a)]	Investitionen [€/m ² -a]	Betriebs-/ Instandhal- tungskosten [€/m ² -a]
Gebäude- begrünung	Extensive Dachbegrünung	55	66	76	-0,8	1,32	1,50
	Intensive Dachbegrünung	66	87	-	0,6	2,44	4,00
	Fassadenbegrünung (erdgebunden)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,51	15,00
	Fassadenbegrünung (systemgebunden)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	30,28	38,50
Regenwasser nutzung	Regenwassernutzung für Bewässerung	70	n.b.	85	1,4	0,95	0,23
	Regenwassernutzung für Betriebswasser	70	n.b.	85	1,4	0,95	0,23
	Regenwassernutzung für Gebäudekühlung	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	Regenwassernutzung für Kanalspülung	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Entsiegelung	teilversiegelte Oberflächenbefestigungen	39	n.b.	244	1,7	1,26	n.b.
	Mulden	100	100	826	3,5	0,17	n.b.
Versickerung	Flächenversickerung	100	100	702	-	0,22	n.b.
	Rigolen	100	100	-	-	0,52	n.b.
	Rohrrigolen	100	100	-	-	0,22	n.b.
	Sickerschächte	100	100	681	-	0,65	n.b.
	Mulde-Rigolen-System	56	n.b.	578	2,3	0,30	n.b.
	Mulden-Rigolen-Tiefbeet	99	100	790	3,9	1,51	n.b.
	Baumrigolen	n.b.	n.b.	900	n.b.	n.b.	n.b.
	Teiche	100	100	802	4,0	n.b.	n.b.
künstliche Wasserflä- chen	wasserführende Gräben	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	Reinigung am Straßenabfluss	0	0	467	1,5	0,23	0,44
Reinigung	Regenklärbecken (geschlossene Bauweise)	0	0	333	1,4	0,42	0,08
	Schräkläreranlagen	0	0	548	2,0	n.b.	n.b.
	Retentionsbodenfilter mit Absetzbecken	5,0	68	608	3,1	0,16	0,09
	Sonderform der Reinigung	0	0	315	2,7	n.b.	n.b.
Stauraum im Kanal	Regenüberlaufbecken (Mischsystem)	0	-	n.b.	n.b.	0,07	0,03
	Stauraumkanal (Mischsystem)	0	-	n.b.	n.b.	0,11	n.b.
	Stauraumaktivierung (Mischsystem)	0	-	n.b.	n.b.	0,08	n.b.
	Regenrückhaltebecken	n.b.	98	n.b.	n.b.	0,36	n.b.

A2 Maßnahmensteckbriefe

In den folgenden Steckbriefen wird die Effektbewertung je Maßnahme der Regenwasserbewirtschaftung vorgestellt (zum Teil fassen die Steckbriefe mehrere Einzelmaßnahmen zusammen). Darüber hinaus werden Aufbau und Funktionsweise der Maßnahmen sowie Regelwerke, Kennzahlen und Hinweise zu Pflege und Unterhalt beschrieben. Die Maßnahmensteckbriefe richten sich sowohl an Behörden und Wasserbetriebe als auch an Fachplaner und Eigentümer.

Alle Steckbriefe folgen dem folgenden Aufbau:

- Tabellarische Kurzbeschreibung der Maßnahme und ihrer Ziele,
- Bilder von Umsetzungsbeispielen und ggf. eine Systemskizze,
- Funktionsbeschreibung und Aufbau,
- Hinweise zu Planung, Bemessung und rechtlichen Aspekten (mit tabellarischen Kenndaten),
- Hinweise zu Unterhaltung und Pflege,
- Tabelle zur Maßnahmenwirkung für die acht untersuchten Effekte: Nutzen auf Gebäudeebene, Freiraumqualität, Stadtklima, Grundwasser/Bodenpassage, Oberflächengewässer, Ressourcennutzung, Direkte Kosten,
- Kurzzusammenfassung zur Maßnahmenwirkung,
- Referenzen und weiterführende Literatur.

Die quantitative Bewertung der Maßnahmenwirkung wurde in KURAS aus Literaturstudien, eigenen Messungen, Umfragen und Simulationen abgeleitet. Durch die Festlegung einheitlicher Bewertungskriterien lassen sich dezentrale Maßnahmen auf Gebäude-, Grundstücks- und Quartiersebene und zentrale Maßnahmen auf Kanaleinzugsgebietsebene miteinander vergleichen. Die Ergebnisse sind aggregiert als Median, Minimum, Maximum und Anzahl eingegangener Werte dargestellt. Zudem wurde - abgeleitet vom Median - eine vereinfachte Bewertung mit farbigen Symbolen vorgenommen.

Das Vorgehen bei der Bewertung wird in Kapitel 4 erläutert.

Steckbrief 1: Dachbegrünung

Dachbegrünung (extensiv und intensiv)	
Beschreibung	Begrünung der Dachfläche unterschieden in: <ul style="list-style-type: none"> – extensive Dachbegrünung: keine Nutzung zum Aufenthalt, geringer Pflegeaufwand – intensive Dachbegrünung: Nutzung zum Aufenthalt, hoher Pflegeaufwand
Anwendungsebene	Gebäude
Primäre Ziele	Hydraulische Entlastung der Kanalisation und der Gewässer (im Mischsystem auch stoffliche Entlastung), Erhöhung der biologischen Vielfalt und der Freiraumqualität, Stärkung der Verdunstungskomponente, Reduzierung der Betriebskosten (Niederschlagswasserentgelt)

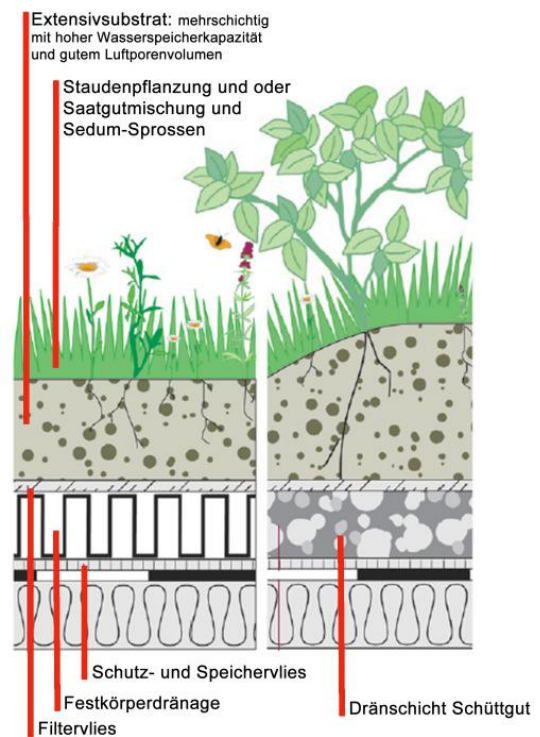
Umsetzungsbeispiele und Systemskizze



Extensives Gründach: Alexa, Berlin (Foto: FBB, G. Mann)



Intensives Gründach: DRK-Kliniken Westend, Berlin (Foto: FBB, G. Mann)



Aufbau eines extensiven Gründachs (aus SenStadt 2010)

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Dachbegrünungen können eingesetzt werden, um einen Teil des Niederschlagswassers durch gezielte Retention nicht oder verzögert zum Abfluss zu bringen und den Anteil der Verdunstung an der Gesamtwasserbilanz zu erhöhen. Nach der Begrünungsart werden extensive und intensive Dachbegrünungen unterschieden. Extensive Dachbegrünungen haben eine dünne Substratschicht, eignen sich aufgrund der geringen Auflast auch zum nachträglichen Einbau und sind nicht zum Aufenthalt geeignet (außer für Wartungsgänge). Als Bepflanzungen eignen sich vor allem Sedum-Arten und Moose. Intensive Dachbegrünungen mit Aufbauhöhen > 15 cm können bis zur kompletten Gartenlandschaft auf dem Dach bzw.

der Tiefgarage mit Bäumen, Wegen, Teichen und Sumpfbzonen reichen. Sie werden auch als Ausgleich für fehlende Freiflächen genutzt. Insbesondere bei intensiven Gründächern mit dicken Substratschichten kann ein weitgehender Rückhalt des Regenwassers erreicht werden. Die verbleibenden Abflüsse werden in der Substratschicht zwischengespeichert und gedrosselt abgegeben. Der Anteil der Verdunstung und das Maß der Retention werden von der Höhe und der Art der Substratschicht, der Anstauhöhe im System, der Art der Bepflanzung und der Dachneigung bestimmt.

Der Aufbau besteht aus der Vegetationsschicht, der Filterschicht bzw. dem Substrat und einer Dränschicht. Bei extensiven Gründächern können die drei Funktionen auch in einer Schicht realisiert werden. Zwischen Substrat und Dränschicht sorgt ein Filtervlies für den Rückhalt von Feinteilen aus dem Substrat und sichert so die dauerhafte Funktion der Dränage. In einigen Fällen ist unter der Dränschicht ein Schutzvlies aufgebracht. In jedem Fall muss das Dach unter der Begrünung wurzelfest abgedichtet werden.

Hinweise zu Planung, Bemessung und rechtlichen Aspekten

Kenndaten zur Bemessung	
Parameter	Werte
Substratdicke	8-15 cm für extensive Gründächer, einschichtig 15-100 cm für intensive Gründächer, mehrschichtig
Traglast (wassergesättigt)	90-180 kg/m ² für extensive Gründächer ab 180 kg/m ² für intensive Gründächer zusätzlich sind Schneelast, Windsoglast und Nutzlast bei Kontrollgängen zu berücksichtigen
Höhe der Vegetation	10 – 40 cm im Sommer (ohne Bäume)
Baumvegetation	Extensiv: keine Intensiv: je nach Substrat und Tragfähigkeit des Gebäudes (Windangriff beachten!)
Richtlinien und Leitfäden	Dachbegrünungsrichtlinie (FLL 2008, 2014)

Gründächer können auf allen Dächern bis ca. 45° Dachneigung sowohl bei Neubauten als auch im Bestand realisiert werden, wenn die statischen Verhältnisse des Daches dies zulassen (Prüfung erforderlich). Ab 15° Dachneigung sind zusätzliche Maßnahmen gegen das Abrutschen des Aufbaus zu treffen. Die langfristige Dichtigkeit des Daches gegen drückendes Wasser inkl. Durchwurzelungsschutz ist eine Voraussetzung für Gründächer. Alle Dachbauweisen (Kaltdach, Warmdach, Umkehrdach) sind für Begrünungen geeignet, das Warmdach (einschaliges Dach mit Wärmedämmung) insbesondere auch für höhere Auflasten.

Um die Belastung der Umwelt mit Bioziden wie Mecoprop zu vermeiden (SenStadtUm und LaGeSo 2013), sollten nach Möglichkeit biozidfreie Dachabdichtungen verwendet werden.

Dächer mit Extensivbegrünungen und Intensivbegrünungen erfüllen unter den bekannt gegebenen Bedingungen die Forderungen der Bauordnung und gelten als harte Bedachung. Somit sind für diese Dächer derzeit keine weiteren Nachweise über das Brandverhalten erforderlich.

Die Schaffung neuer Dachgärten auf bisher nicht genutzten Dächern stellt eine Nutzungsänderung dar. Diese Nutzungsänderung kann nur im Einzelfall in dem Verfahren der Genehmigungsfreistellung nach § 63 BauO Bln (Anzeige) oder dem Vereinfachten Baugenehmigungsverfahren nach § 64 BauO Bln in Abhängigkeit von den planungsrechtlichen Voraussetzungen beurteilt werden.

Festsetzungen zur „Bauwerksbegrünung“ werden regelmäßig in Bebauungsplänen getroffen, wenn sie städtebaulich erforderlich sind (§ 1 Absatz 3 BauGB). Sie können als „Ausgleichsmaßnahmen“ festgesetzt werden, wenn eine rechtliche Verpflichtung dazu besteht. In § 1a BauGB sind ergänzende Vorschriften zum Umweltschutz enthalten, die auch Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel beinhalten.

Unterhaltung und Pflege

Der Pflegeaufwand der extensiven Dachbegrünung ist bei richtiger, standort- und substratgerechter Auswahl der Pflanzen gering (zwei Kontrollgänge pro Jahr). Er hängt aber auch von den optischen Ansprüchen an das extensive Gründach ab. Gegebenfalls muss gedüngt und bewässert werden. Intensive Dachbegrünung ist je nach Vegetation regelmäßig zu bewässern und zu düngen und bedarf der üblichen gärtnerischen Pflege wie Baum- und Strauchschnitt. Bei Gräsern kann eine Mahd notwendig werden.

Maßnahmenwirkung

Die Bewertung der Maßnahmenwirkung erfolgte in KURAS auf Grundlage von Literaturstudien und eigenen Messungen („n“ - Anzahl zugrundeliegender Datensätze). Zur Erhebung von Kostendaten wurden ergänzend Umfragen durchgeführt. In ausgewählten Fällen wurde zudem auf Erfahrungswerte (Nutzen auf Gebäudeebene) und Simulationen (Stadtklima) zurückgegriffen. Für die Klassifizierung (geringer / moderater / hoher Effekt) wurde der Wertebereich jedes Indikators in der Regel in drei gleich große Klassen aufgeteilt (siehe Matzinger et al., 2017). Alle Werte beziehen sich auf die Umsetzung der Maßnahme im Bestand. Die Bewertungstabelle ist auf der nachfolgenden Seite zu finden.

Kurzbewertung: Die extensive und intensive Dachbegrünung haben einen hohen positiven Effekt auf die biologische Vielfalt, die jedoch in besonderem Maße von der jeweiligen Umsetzung der Dachbegrünung abhängt. Der Effekt auf das Stadtklima kann aufgrund der hohen Verdunstungsleistung sehr positiv sein, macht sich aber in der Regel nur bei niedrigen Dächern (z.B. Tiefgaragen) bemerkbar. Durch ihre abflusssdämpfende Wirkung reduziert die Dachbegrünung den hydraulischen Stress in Oberflächengewässern sowie die Häufigkeit und das Ausmaß von Mischwasserüberläufen. Der Aufwand hinsichtlich des Ressourcenverbrauchs und der Kosten wird insbesondere für die intensive Dachbegrünung als vergleichsweise hoch bewertet. Die Investitionen lassen sich jedoch deutlich reduzieren, wenn die Dachbegrünung im Zuge von ohnehin am Gebäude geplanten Baumaßnahmen umgesetzt wird.

Referenzen und weiterführende Literatur

- FLL (2008): Dachbegrünungsrichtlinie – Richtlinie für die Planung Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau e.V., Bonn.
- FLL (2014): Gebäude Begrünung Energie - Potenziale und Wechselwirkungen. Schriftenreihe „Forschungsvorhaben“, FV 2014/01. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau e.V., Bonn. ISBN 978-3-940122-46-9
- Matzinger et al. (2017): Multiple effects of measures for stormwater management in urban areas. Urban Water Journal (eingereicht).
- SenStadt (2010): Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung: Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung - Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin. ISBN 978-3-88961-140-6
- SenStadt (2011): Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur Bewertung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin.
- SenStadtUm und LaGeSo (2013): Handlungsempfehlungen zur Vermeidung der Umweltbelastung durch die Freisetzung des Herbizids Mecoprop aus wurzelfesten Bitumenbahnen. Stand 1.10.2013. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Landesamt für Gesundheit und Soziales, Berlin.

Effekte	Extensive Dachbegrünung					Intensive Dachbegrünung				
	Median	Min	Max	n	+/-	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene										
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%]	0 / 70	-	-	1	🟢	0 / 90	-	-	1	🟢
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	10	-	-	1	🟢	15	-	-	1	🟢
Freiraumqualität										
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren ¹ [-]	2,4	2,3	2,7	5	🟢	nicht quantifiziert				
Stadtklima										
Änderung Tropennächte ² [d/a]	0	-1	1	Sim.	🟢	0	-1	1	Sim.	🟢
Änderung Hitzestress (UTCI) ² [h/a]	-20	-80	-1	Sim.	🟢	-30	-80	-1	Sim.	🟢
Biodiversität										
α-Diversität (Flora) [-]	12,6	2	64	332	🟢	20,2	11	40	5	🟢
α-Diversität (Fauna) [-]	34,8	3	215	38	🟢	78,3	48	215	5	🟢
β-Diversität (Flora) [-]	32,6	0	206	127	🟢	1,3	1,3	1,4	3	🟢
Grundwasser / Bodenpassage										
Änderung des Versickerungsanteils [%]	-	-	-	0 ³	⊖	-	-	-	0 ³	⊖
Änderung der Zinkkonzentration [%]	-	-	-	0 ³	⊖	-	-	-	0 ³	⊖
Änderung der Chloridkonzentration [%]	-	-	-	0 ³	⊖	-	-	-	0 ³	⊖
Oberflächengewässer										
Reduktion des Regenabflusses [%]	55	13	80	33	🟢	66	50	84	6	🟢
Reduktion der Abflussspitze [%]	66	54	76	6	🟢	87	-	-	1	🟢
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	76	0	125	4	🟢	-	-	-	0 ⁴	🟢
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	-0,8	-1,2	1,7	5	🔴	0,6	0,4	0,8	2	🟢
Ressourcennutzung ⁵										
THG-Potenzial _{100 a} [kg CO ₂ -eq/(m ² ·a)]	0,15	-	-	1	🔴	0,52	0,48	0,56	2	🔴
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m ² ·a)]	1,98	-	-	1	🔴	7,49	6,71	8,27	2	🔴
Direkte Kosten ⁶										
Investitionen [€/(m ² ·a)]	1,32	0,52	5,36	133	🔴	2,44	0,22	21,63	28	🔴
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m ² ·a)]	1,50	0,50	5,50	76	🔴	4,00	3,60	6,00	14	🔴

Erläuterungen zur Tabelle:

- ¹ Einzelindikatoren: Komplexität, Kohärenz/Verständlichkeit, Lesbarkeit und Involution. Skala von 0 (niedrig) bis 5 (hoch).
- ² Effekt wurde durch Simulation in Modellgebieten auf 2 m über Dachniveau für je eine rasterzellengroße Dachbegrünung (8 x 8 m) quantifiziert. Min und Max repräsentieren 5%-und 95%-Quantile über alle (~20000) Rasterzellen. Der Effekt auf Straßenebene wird umso kleiner, je höher das Dach ist. Bei großflächiger Umsetzung würde sich die Wirkung verstärken.
- ³ Kein Effekt, da keine Versickerung.
- ⁴ Bewertung vom extensiven Gründach abgeleitet (abgeschätzt).
- ⁵ Lebenszyklusbewertung von Material- und Energieverbrauch; angenommene Nutzungsdauer: 40 Jahre; Flächenbezug über Gründachfläche.
- ⁶ Flächenbezug über begrünte Dachfläche; angenommene Nutzungsdauer: 40 Jahre; Diskontierungszinssatz: 3 %. Je nach Dachgröße, Dachneigung, Substratdicke, etc. können die spezifischen Investitionen erheblich variieren (Faktor 10 für extensive, Faktor 100 für intensive Dachbegrünung).

Bedeutung der verwendeten Symbole:

- | | | |
|------------------------------|------------------------------|---------------|
| 🟢 geringer positiver Effekt | 🔴 geringer negativer Effekt | ⊖ kein Effekt |
| 🟡 moderater positiver Effekt | 🔴 moderater negativer Effekt | |
| 🟢 hoher positiver Effekt | 🔴 hoher negativer Effekt | |

Steckbrief 2: Fassaden- und Wandbegrünung

Fassaden- und Wandbegrünung (erdgebunden, systemgebunden)	
Beschreibung	Begrünung der Hausfassade mit erdgebundenen Kletterpflanzen oder wand- bzw. systemgebundenen Techniken (Gabionen, horizontale Kübel, Wandmodule, flächiges Geovlies); Bewässerung mit Regenwasser
Anwendungsebene	Gebäude
Primäre Ziele	Verbesserung des Stadtklimas, Gebäudekühlung, Erhöhung der Freiraumqualität und der biologischen Vielfalt, architektonisches Gestaltungselement

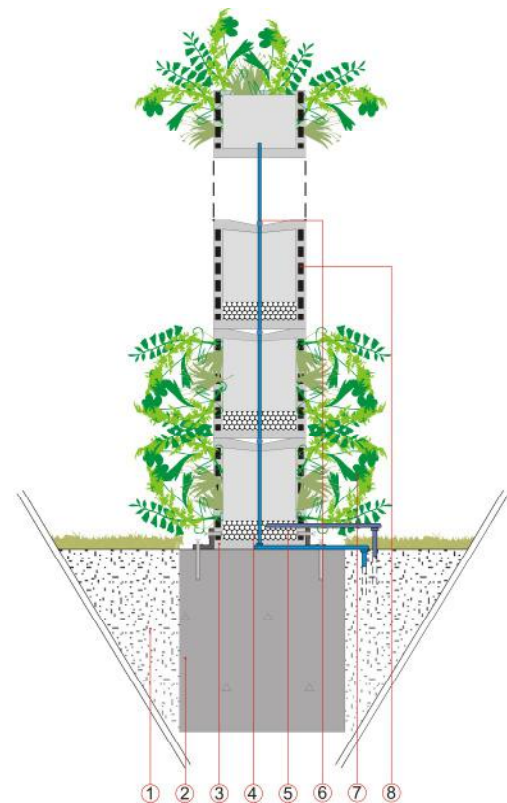
Umsetzungsbeispiele und Systemskizze



Erdgebundene Fassadenbegrünung mit wilden Wein in Berlin-Schöneberg (Foto: D. Kaiser)



Systemgebundene Fassadenbegrünung in Kübeln, Institut für Physik in Berlin Adlershof (Foto: M. Schmidt); Sonderform mit Anstaubewässerung und Kletterhilfe



- 1 - gewachsenes Erdreich
- 2 - Fundament
- 3 - Rahmenkonstruktion
- 4 - Drainlage und Substrat
- 5 - Entwässerungsrinne
- 6 - Bewässerungszulauf
- 7 - Bepflanzung
- 8 - bepflanzbare Wandstruktur

Seitenansicht einer systemgebundenen Fassadenbegrünung, hier mit Zusatz eines Fundamentes (aus Köhler et al. 2012)

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Der planmäßige und kontrollierte Bewuchs geeigneter oder speziell vorgerichteter Fassaden und Wände mit Pflanzen wird als Fassadenbegrünung bezeichnet. Sie kann für die Regenwasserbewirtschaftung genutzt werden, indem die Pflanzen gezielt mit unbelastetem Regenwasser bewässert werden. Man unterscheidet generell zwischen erdgebundenem Bewuchs (Kletterpflanzen wie Wilder Wein, Efeu, Kletterhortensie, in der Erde gepflanzt, ggf. mit Wuchsgerüst) und systemgebundenem Bewuchs in modularer Bauweise, d.h. in Pflanzsystemen direkt an der Wand oder vor einer Glasfassade wachsend. Dabei kommen sowohl aufgehängte Kübel und Kassetten als auch eine direkte Bepflanzung der Fassade in Frage. Die erdgebundene Fassadenbegrünung wird in der Regel direkt aus der bepflanzten Mulde heraus bewässert, d.h. das Regenwasser von versiegelten Flächen wird direkt am und im Wurzelraum versickert. Die systemgebundene Fassadenbegrünung braucht entsprechende Bewässerungssysteme (inkl. Düngung). Die Bewässerung sollte, insbesondere bei größeren Pflanzungen und bei Kübelpflanzung automatisch erfolgen. Um die Traglasten möglichst gering zu halten, werden bei der wand- bzw. systemgebundenen Fassadenbegrünung Substrate gewählt, die eine möglichst hohe Wasserspeicherfähigkeit bei möglichst geringem Gewicht aufweisen. Die Bewässerung und die Versorgung mit Nährstoffen erfolgt in der Regel über eine Tröpfchenbewässerung mit einer proportionalen Düngebeimischung. Bei der Verwendung von Zisternenwasser ist zu beachten, dass keine Flächen mit möglicher Herbizidauswaschung angeschlossen sind, was zu einem Absterben der Vegetation führen kann. Der Rücklauf des Gießwassers wird in der Regel gesammelt und in die Zisterne zurückgeführt. Der Nährstoffgehalt des Gießwassers sollte möglichst gering gehalten werden um ein Auswaschen der Nährstoffe aus dem Substrat zu vermeiden. Je nach Gestaltungsziel ist die Menge an zuzuführenden Nährstoffen zu berechnen und auf ein Minimum zu reduzieren.

Hinweise zu Planung, Bemessung und rechtlichen Aspekten

Kenndaten zur Bemessung	
Parameter	Werte
Bewässerungsbedarf	0,5 - 0,8 L/(m ² ,d) bei begrünter Fassadenfläche, je nach Exposition und Pflanzenart
Flächenbedarf	Grundfläche gering
Sonstige Anforderungen	Vorgereinigtes Regenwasser, pH-Wert < 7; regelmäßige Wartung und Pflege der Bewässerungstechnik und der Vegetation
Richtlinien und Leitfäden	FLL-Richtlinie für Fassadenbegrünungen (FLL 2016)

Natürlich sind für alle Fassadenbegrünungen primär die Ansprüche der Pflanzen an Licht, Boden und Klima wichtig. Die Sicherstellung geeigneter Bedingungen muss ganzjährig gewährleistet werden. Dies wird nur durch eine fachgerechte objektbezogene Pflanzenauswahl und angemessene funktionssichere Begrünungstechnik erreicht. Bei der Fassadenbegrünung mit Kletterpflanzen müssen darüber hinaus deren Klettertechnik und artspezifische Eigenschaften, wie Größe, Gewicht, Triebdurchmesser und Wuchsorientierung, zugunsten eines guten und dauerhaften Begrünungsergebnisses berücksichtigt werden. Die Eignung bestimmter Kletterpflanzen zum primären Erzielen bauphysikalischer Wirkungen (z.B. Kühlung durch Verdunstung und Beschattung) ist unter anderem abhängig von der Belaubung. Bei wandgebundenen Systemen werden die bauphysikalischen Wirkungen vor allem durch den Systemaufbau beeinflusst. Dieser kann als vorgehängte hinterlüftete Fassade beschrieben werden. Es wird empfohlen, die Bewässerung mit einer kontinuierlichen Überwachung des Wasserverbrauchs zu kombinieren.

Unterhaltung und Pflege

Die bei den erdgebundenen Begrünungen ein- bis zweimal jährlich durchzuführenden Pflegemaßnahmen beinhalten Rückschnitt, ggf. Einflechten in Kletterhilfen, Freihalten von bestimmten Gebäudeteilen (Fenster, Fensterläden, Dächer, Fallrohre, Blitzableiter, Markisen und Luftaustrittsöffnungen), Entfernen von abgestorbenen Pflanzenteilen sowie ggf. Düngen und Schädlingsbekämpfung. Bei systemgebundener

Begrünung sind fünf- bis zehnmal jährlich Pflegemaßnahmen wie Rückschnitt, Freihalten bestimmter Gebäudeteile, Ersetzen von ausgefallenen Pflanzen, Wartung der Wasser- und Nährstoffversorgungsanlage, Frostsicherung der Bewässerungsanlage vor dem Winter sowie Düngung (falls nicht automatisiert über die Wasserzufuhr) und ggf. eine Schädlingsbekämpfung durchzuführen.

Die Düngung muss, insbesondere bei größeren Pflanzungen und bei systemgebundener Bepflanzung automatisch erfolgen und ihr einwandfreies Funktionieren regelmäßig kontrolliert werden. Für die Auswahl der Dünger sind die Ansprüche der jeweiligen Pflanzen, die Eigenschaften des Substrates bzw. des anstehenden Bodens sowie die Qualität des Bewässerungswassers zu berücksichtigen.

Das Wasser zur Bewässerung sollte frei von Herbiziden sein und einen pH-Wert < 7 haben. Bei dem Einsatz von Tropfschläuchen ist eine Vorreinigung erforderlich, um ein Zusetzen der Tropfer zu verhindern. Im Fall der systemgebundenen Begrünung ist eine etwa tägliche Bewässerung über die gesamte Vegetationszeit (März bis November) erforderlich. Sollte kein Regenwasser verfügbar sein, ist das System mit Trinkwasser nachzubewässern. Außerhalb der Vegetationsperiode ist die Bewässerung außer Betrieb zu nehmen, um Wurzelfäule und Frostsprengung (bei Kübeln) zu vermeiden. Die Möglichkeit einer winterlichen Notbewässerung insbesondere für die Südfassade ist einzuplanen.

Um den Befall durch tierische und pilzliche Schadorganismen zu erfassen und fachlich korrekte Bekämpfungsmaßnahmen durchführen zu können, sind zwei bis drei Begehungen im Jahr von im Pflanzenschutz fachkundigen Personen erforderlich. Schnittmaßnahmen zur Unterhaltungspflege sind nach Zeitpunkt, Häufigkeit und Ausführung dem jeweiligen Begrünungsziel und den Pflanzenarten anzupassen.

Maßnahmenwirkung

Die Bewertung der Maßnahmenwirkung erfolgte in KURAS auf Grundlage von Literaturstudien („n“ - Anzahl zugrundeliegender Datensätze). Zur Erhebung von Kostendaten wurden ergänzend Umfragen durchgeführt. In ausgewählten Fällen wurde zudem auf Erfahrungswerte (Nutzen auf Gebäudeebene) und Simulationen (Stadtklima) zurückgegriffen. Für die Klassifizierung (geringer / moderater / hoher Effekt) wurde der Wertebereich jedes Indikators in der Regel in drei gleich große Klassen aufgeteilt (siehe Matzinger et al., 2017). Alle Werte beziehen sich auf die Umsetzung der Maßnahme im Bestand. Die Bewertungstabelle ist auf der nachfolgenden Seite zu finden.

Kurzbewertung: Die erd- und systemgebundene Fassadenbegrünung erhöht die Freiraumqualität und kann die Energieeffizienz steigern, wenn sie der Verschattung der Gebäudehülle (im Sommer) dient und durch die Verdunstungskühlung eine technische Gebäudekühlung ganz oder teilweise ersetzt. Das Auftreten von Hitzestress am Tag und in der Nacht lässt sich reduzieren. Besonders ausgeprägt, ist der Effekt in vollbegrüntem Innenhöfen. Als neuer Lebensraum für Pflanzen kann die Fassadenbegrünung die biologische Vielfalt erhöhen. Der Ressourcenverbrauch ist, insbesondere für die erdgebundene Fassadenbegrünung gering. Sowohl die Investitionen als auch Betriebs- und Instandhaltungskosten sind insbesondere für die systemgebundene Fassadenbegrünung im Median vergleichsweise hoch. Dennoch gibt es Umsetzungsbeispiele wie die erdgebundene Fassadenbegrünung mit Wildem Wein (ohne Rank- bzw. Kletterhilfen), bei der die Kosten deutlich niedriger ausfallen. Einige Effekte, z.B. auf das Oberflächengewässer, konnten aufgrund der mangelhaften Datenlage nicht bewertet werden.

Referenzen und weiterführende Literatur

- FLL (2015): Abschlussbericht Wandgebundene Begrünungen – Quantifizierungen einer neuen Bauweise in der Klima-Architektur, Endbericht, FLL-Schriftenreihe „Forschungsvorhaben“, FV 2015/01. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau e.V., Bonn.
- FLL (2016): Fassadenbegrünungsrichtlinie: Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Wand- und Fassadenbegrünung (Gelbdruck), Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau e.V., Bonn.
- Köhler (Hrsg.) (2012): Handbuch Bauwerksbegrünung – Planung, Konstruktion, Ausführung. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln.
- Matzinger et al. (2017): Multiple effects of measures for stormwater management in urban areas. Urban Water Journal (eingereicht).
- SenStadt (2010): Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung: Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung, Leitfadens für Planung, Bau, Betrieb und Wartung. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin. ISBN 978-3-88961-140-6

Effekte	Erdgebundene Fassadenbegrünung					Systemgebundene Fassadenbegrünung				
	Median	Min	Max	n	+/-	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene										
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%]	0 / 50	-	-	1	○	0 / 20	-	-	1	○
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	25	-	-	1	○	25	-	-	1	○
Freiraumqualität										
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren ¹ [-]	2,0	-	-	1	●	2,8	-	-	1	●
Stadtklima										
Änderung Tropennächte ² [d/a]	-	-	-	Sim.	○	-	-	-	Sim.	○
Änderung Hitzestress ² (UTCI) [h/a]	-	-	-	Sim.	●	-	-	-	Sim.	●
Biodiversität										
α-Diversität (Flora) [-]	11	11	11	2	●	nicht quantifiziert				
α-Diversität (Fauna) [-]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				
β-Diversität (Flora) [-]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				
Grundwasser / Bodenpassage										
Änderung des Versickerungsanteils [%]	nicht quantifiziert					-	-	-	0 ³	○
Änderung der Zinkkonzentration [%]	nicht quantifiziert					-	-	-	0 ³	○
Änderung der Chloridkonzentration [%]	nicht quantifiziert					-	-	-	0 ³	○
Oberflächengewässer										
Reduktion des Regenabflusses [%]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				
Reduktion der Abflussspitze [%]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				
Ressourcennutzung ⁴										
THG-Potenzial _{100 a} [kg CO ₂ -eq/(m ² ·a)]	0,02	-	-	1	○	0,26	0,15	0,37	2	●
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m ² ·a)]	0,23	-	-	1	○	3,00	1,81	4,26	2	●
Direkte Kosten ⁵										
Investitionen [€/m ² ·a]	1,51	0,02	4,11	5	● ⁶	30,28	9,95	86,52	32	●
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/m ² ·a]	15,00	10,00	20,00	3	● ⁶	38,50	5,00	110,0	18	●
<p>Erläuterungen zur Tabelle:</p> <p>¹ Einzelindikatoren: Komplexität, Kohärenz/Verständlichkeit, Lesbarkeit und Involution. Skala von 0 (niedrig) bis 5 (hoch).</p> <p>² Bewertung wurde von Simulationen für beispielhafte Maßnahmenkombinationen abgeleitet. Bei großflächiger Umsetzung würde sich die Wirkung verstärken.</p> <p>³ Kein Effekt, da keine Versickerung.</p> <p>⁴ Lebenszyklusbewertung von Material- und Energieverbrauch; angenommene Nutzungsdauer: 40 Jahre; Flächenbezug über angeschlossene versiegelte Fläche (Annahme: ein Fünftel der Fassadenfläche).</p> <p>⁵ Flächenbezug über begrünte Fassadenfläche; angenommene Nutzungsdauer: 40 Jahre; Diskontierungszinssatz: 3 %.</p> <p>⁶ Die vereinfachte Bewertung (Symbol) leitet sich vom Median ab (System mit Kletterhilfe in Form von Stäben, Seilen, und Gittern). Im Einzelfall können die Kosten um den Faktor 75 niedriger ausfallen (Bsp. Wilder Wein ohne Rank- oder Kletterhilfe).</p>										
<p>Bedeutung der verwendeten Symbole:</p> <p>○ geringer positiver Effekt ○ geringer negativer Effekt ○ kein Effekt</p> <p>● moderater positiver Effekt ● moderater negativer Effekt</p> <p>● hoher positiver Effekt ● hoher negativer Effekt</p>										

Steckbrief 3: Regenwassernutzung als Betriebswasser

Regenwassernutzung als Betriebswasser (im Gebäude und zur Bewässerung)	
Beschreibung	Sammlung und Aufbereitung von Niederschlagswasser zur Betriebswassernutzung im häuslichen, öffentlichen oder gewerblichen Bereich (Bewässerung, Toilettenspülung, Reinigungszwecke, etc.)
Anwendungsebene	Gebäude, Grundstück
Primäre Ziele	Senkung der Betriebskosten, Abflussreduktion

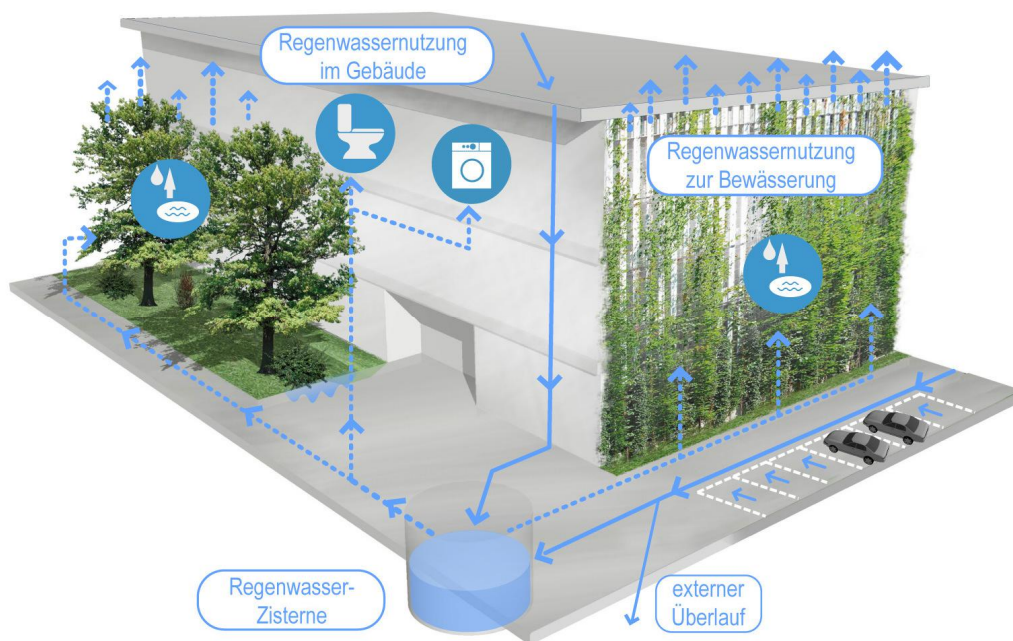
Umsetzungsbeispiele und Systemskizze



Zisterne zur Regenwassernutzung, Weibervirtschaft eG, Berlin (Foto: Andreas Süß)



Zisterne zur Regenwassernutzung, Olympiastadion Berlin (Foto: Andreas Süß)



Prinzip der Regenwassernutzung (Bild: Ramboll Studio Dreiseitl)

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Regenwasser wird in Zisternen gesammelt, mechanisch gefiltert und in Behältern gespeichert, in der Regel unterirdisch. Zur Entfernung fein verteilter Feststoffe ist in den Speicherbehältern eine Sedimentation vorgesehen. Das im Speicher gesammelte Wasser wird oberhalb der Sedimentationszone mittels Saugpumpe zu den einzelnen Verbrauchsstellen gefördert. Durch eine automatische Füllstandserfassung und Nachspeisung wird die Versorgung bei leerem Speicher durch die Einspeisung von Trinkwasser in freiem Einlauf sichergestellt. In der Regel sind die mechanische Filtration und die Sedimentation als Aufbereitungsmaßnahmen ausreichend. Falls es aufgrund eines erhöhten Betriebswasserbedarfs (z.B. in gewerblichen und öffentlichen Einrichtungen) sinnvoll ist, auch stärker verschmutzte Auffangflächen (z.B. Verkehrsflächen) zu nutzen, ist eine weitergehende Aufbereitung in Abhängigkeit von der Quelle des Regenwassers bzw. dem Grad der Verschmutzung und dessen Nutzung durchzuführen (z.B. Flockung, biologische Verfahren, UV-Desinfektion, Membranverfahren). Für die Betriebswasserversorgung ist ein separates Leitungsnetz erforderlich, das entsprechend zu kennzeichnen ist.

Hinweise zu Planung, Bemessung und rechtlichen Aspekten

Kenndaten zur Bemessung	
Parameter	Werte
Bemessung der Zisterne	Volumen entsprechend 2 bis 6% des jährlichen Regenwasserertrags der angeschlossenen Fläche (DIN 1989); dynamische Simulationsrechnung für größere Projekte in Abhängigkeit des Betriebswasserbedarfs sinnvoll
Flächenbedarf	0,5 - 1 m ² Grundfläche für 100 m ² Dach, entspricht 2-6 % Speichervolumen des Jahresniederschlags
Sonstige Anforderungen	Hygienische Anforderungen entsprechend EU-Badegewässerrichtlinie (EU 2006)
Richtlinien und Leitfäden	DIN 1989 (2002), DIN 1986-30 (2012) DVGW Technische Regel W255 (DVGW 2002) Leitfaden „Betriebswassernutzung in Gebäuden“ (SenStadt 2007) fbr Hinweisblatt H101 (fbr 2016)

Regenwassernutzungsanlagen sind nicht genehmigungspflichtig. Allerdings besteht nach Trinkwasserverordnung bzw. Abwasserverordnung eine Anzeigepflicht gegenüber dem Gesundheitsamt und dem Betreiber der Abwasserentsorgung (SenStadt 2003). Bei der Nutzung des Regenwassers ist generell die Quelle und Qualität des Regenwassers zu beachten. Beispielsweise ist bei der Nutzung zur Bewässerung darauf zu achten, dass bei Dachflächen mit Bitumenbahnen mit chemischem Durchwurzelungsschutz über die Auswaschung der Biozide (z.B. Mecoprop) Schädigungen der Pflanzen möglich sind (SenStadtUm und LaGeSo 2013).

Wenn konkrete Zielstellungen bezüglich des Niederschlagsrückhaltes, insbesondere starker Regenereignisse, bestehen, sollte für die Dimensionierung der Speicher eine Langzeitsimulation auf Grundlage einer örtlichen Regenreihe erfolgen.

Bei der Sammlung von stärker verschmutztem Niederschlagswasser, z.B. von Straßen- oder Gehwegflächen, kann durch die Installation eines sogenannten „externen Überlaufs“ die stoffliche Belastung der Oberflächengewässer im Starkregenfall minimiert werden. Der externe Überlauf bewirkt, dass im Falle einer Vollerfüllung der Zisterne tendenziell stärker belastetes Niederschlagswasser in der Zisterne zurückgehalten wird und nur der tendenziell weniger belastete Teil zum Überlauf kommt. Der externe Überlauf wird vor allem in Gebieten mit Trennkanalisation empfohlen, in denen der Niederschlagsabfluss ohne weitere Behandlung in den Vorfluter eingeleitet wird.

Unterhaltung und Pflege

Zisternen und die zugehörigen Anlagenteile müssen regelmäßig gewartet werden (DIN 1989, 2002). Zu den Aufgaben für Unterhaltung und Pflege gehören i) die Überprüfung der Pumpenanlagen und Rohrleitungen, ii) die Entschlammung des Sammelbehälters bei Bedarf und iii) die Säuberung der Abtrennung für Blätter.

Maßnahmenwirkung

Die Bewertung der Maßnahmenwirkung erfolgte in KURAS auf Grundlage von Literaturstudien („n“ - Anzahl zugrundeliegender Datensätze). Zur Erhebung von Kostendaten wurden ergänzend Umfragen durchgeführt. In ausgewählten Fällen wurde zudem auf Erfahrungswerte (Nutzen auf Gebäudeebene) zurückgegriffen. Für die Klassifizierung (geringer / moderater / hoher Effekt) wurde der Wertebereich jedes Indikators in der Regel in drei gleich große Klassen aufgeteilt (siehe Matzinger et al., 2017). Alle Werte beziehen sich auf die Umsetzung der Maßnahme im Bestand. Die Bewertungstabelle ist auf der nachfolgenden Seite zu finden.

Kurzbewertung: Durch die Regenwassernutzung im Gebäude lässt sich das Trink- und Abwasseraufkommen deutlich reduzieren. Wird das Betriebswasser ausschließlich zur Bewässerung eingesetzt, fallen die Einsparungen etwas niedriger aus, da sich die Nutzung auf die Sommermonate beschränkt. Da die Zisternen in der Regel unterirdisch platziert werden, bleiben viele Bereiche, z.B. die Freiraumqualität, das Stadtklima oder die Biodiversität, unbeeinflusst. Je nachdem, welche Flächentypen an die Zisternen angeschlossen sind, lässt sich die stoffliche Belastung der Oberflächengewässer leicht bis moderat reduzieren. Die Investitionen zeigen eine sehr große Spannbreite und sind im Median moderat. Die Betriebskosten sind durch den geringen Wartungsaufwand verhältnismäßig gering. Aufgrund des zweiten Leitungsnetzes und weiterer Gebäudetechnik (Zisternen, Pumpen) ist mit einem erhöhten Ressourcenverbrauch zu rechnen.

Referenzen und weiterführende Literatur

- DIN 1989 (2002): Regenwassernutzungsanlagen, Teil 1: Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung, Beuth-Verlag, Berlin.
- DIN 1986-30 (2012): Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke - Teil 30: Instandhaltung, Beuth-Verlag, Berlin.
- DVGW (2002): Technische Regel W255: Nutzung von Regenwasser (Dachablaufwasser) im häuslichen Bereich. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches. Beuth-Verlag, Berlin.
- EU (2006): Badegewässerrichtlinie - Richtlinie 2006/7/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Februar 2006 über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung und zur Aufhebung der Richtlinie 76/160/EWG.
- fbr (2007): Projektbeispiele zur Betriebs- und Regenwassernutzung – Öffentliche und gewerbliche Anlagen. Schriftenreihe fbr 6. Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.
- fbr (2016): Hinweisblatt H101 „Kombination der Regenwassernutzung mit der Regenwasserversickerung“. Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.
- Matzinger et al. (2017): Multiple effects of measures for stormwater management in urban areas. Urban Water Journal (eingereicht).
- SenStadt (2003): Innovative Wasserkonzepte – Betriebswassernutzung in Gebäuden. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin.
- SenStadtUm und LaGeSo (2013): Handlungsempfehlungen zur Vermeidung der Umweltbelastung durch die Freisetzung des Herbizids Mecoprop aus wurzelfesten Bitumenbahnen. Stand 1.10.2013. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Landesamt für Gesundheit und Soziales, Berlin.

Effekte	Regenwassernutzung als Betriebswasser (im Gebäude)					Regenwassernutzung als Betriebswasser (z. Bewässerung)				
	Median	Min	Max	n	+/-	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene										
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%] ¹	70 / 70	-	-	1	●	70 / 0	-	-	1	●
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	-	-	-	0 ²	○	nicht quantifiziert				
Freiraumqualität										
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren ³ [-]	-	-	-	0 ²	○	-	-	-	0 ²	○
Stadtklima										
Änderung Tropennächte [d/a]	-	-	-	0 ²	○	-	-	-	0 ²	○
Änderung Hitzeindex (UTCI) [h/a]	-	-	-	0 ²	○	-	-	-	0 ²	○
Biodiversität										
α-Diversität (Flora) [-]	-	-	-	0 ²	○	-	-	-	0 ²	○
α-Diversität (Fauna) [-]	-	-	-	0 ²	○	-	-	-	0 ²	○
β-Diversität (Flora) [-]	-	-	-	0 ²	○	-	-	-	0 ²	○
Grundwasser / Bodenpassage										
Änderung des Versickerungsanteils [%]	-	-	-	0 ²	○	-	-	-	0 ²	○
Änderung der Zinkkonzentration [%]	-	-	-	0 ²	○	nicht quantifiziert				
Änderung der Chloridkonzentration [%]	-	-	-	0 ²	○	nicht quantifiziert				
Oberflächengewässer										
Reduktion des Regenabflusses [%]	70	60	100	13	●	70	60	100	13	●
Reduktion der Abflussspitze [%]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	85	52	211	12	○	85	52	211	12	○
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	1,4	0,9	2,3	12	●	1,4	0,9	2,3	12	●
Ressourcennutzung ⁴										
THG-Potenzial _{100 a} [kg CO ₂ -eq/(m ² ·a)]	0,28	-	-	1	●	0,28	-	-	1	●
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m ² ·a)]	3,84	-	-	1	●	3,84	-	-	1	●
Direkte Kosten ⁵										
Investitionen [€/(m ² ·a)]	0,95	0,04	36,35	92	●	0,95	0,04	36,35	92	●
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m ² ·a)]	0,23	0,01	10,18	41	○	0,23	0,01	10,18	41	○

Erläuterungen zur Tabelle:

- ¹ Trinkwassereinsparung bezieht sich nur auf den Teil, der an die Regenwassernutzung angeschlossen ist. Abwassereinsparung (Regen) steht für den genutzten Teil des Niederschlags.
- ² Kein Effekt.
- ³ Einzelindikatoren: Komplexität, Kohärenz/Verständlichkeit, Lesbarkeit und Involution. Skala von 0 (niedrig) bis 5 (hoch).
- ⁴ Lebenszyklusbewertung von Material- und Energieverbrauch, inkl. Stromverbrauch für Pumpen; angenommene Nutzungsdauer: 40 Jahre; Flächenbezug über angeschlossene versiegelte Fläche.
- ⁵ Flächenbezug über angeschlossene versiegelte Fläche; angenommene Nutzungsdauer: 40 Jahre; Diskontierungszinssatz: 3 %. keine Differenzierung nach Verwendungszweck.

Bedeutung der verwendeten Symbole:

- | | | |
|------------------------------|------------------------------|---------------|
| ○ geringer positiver Effekt | ○ geringer negativer Effekt | ○ kein Effekt |
| ● moderater positiver Effekt | ● moderater negativer Effekt | |
| ● hoher positiver Effekt | ● hoher negativer Effekt | |

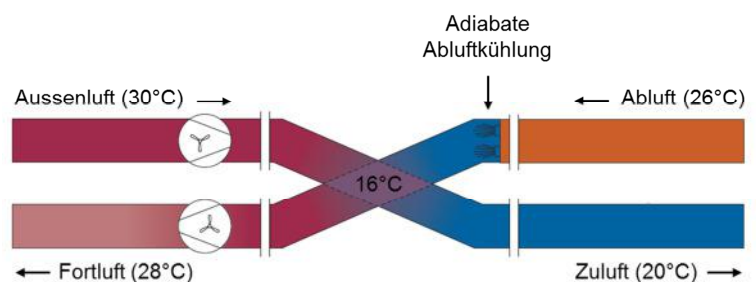
Steckbrief 4: Regenwassernutzung zur Gebäudekühlung

Regenwassernutzung zur Gebäudekühlung	
Beschreibung	Sammlung und Aufbereitung von Niederschlagswasser vorzugsweise von Dachflächen und Nutzung zur adiabaten Gebäudekühlung über Verdunstung
Anwendungsebene	Gebäude, Grundstück
Primäre Ziele	Senkung der Betriebskosten, wasser- und energieeffiziente Gebäudekühlung

Umsetzungsbeispiele und Systemskizze



Adiabate Abluftkühlung, Institut für Physik der HU Berlin, Adlershof (Foto: M. Schmidt)



Prinzip der adiabaten Abluftkühlung (nach SenStadt 2010)

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Im Gebäude kann gesammeltes Niederschlagswasser über adiabate Kühlung als indirekte Verdunstungskühlung zur Klimatisierung von Räumen eingesetzt werden. Dies geschieht nach dem Prinzip der „Kälterückgewinnung“ (Kältererzeugung über Verdunstungsprozesse), indem die Temperatur der zugeführten Frischluft über Wärmetauscher gesenkt wird. Hierbei wird die aus dem Raum abgeführte und als Fortluft vorgesehene Luft befeuchtet und abgekühlt. Diese Kühlung wird dann über ein Kreislaufverbundsystem oder über Plattenwärmetauscher aufgenommen und auf die wärmere Außenluft übertragen. Diese Art der Kühlung kann deshalb auch als „indirekte adiabate Befeuchtungskühlung“ bezeichnet werden (SenStadt 2010). Mit einem Kubikmeter Wasser erhält man etwa 700 kWh Kühlleistung. Zu beachten ist dabei die elektrische Leitfähigkeit (LF) des verwendeten Wassers, denn aus technischen Gründen sollten für die adiabate Kühlung 1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nicht überschritten werden. Da Niederschlagswasser nur eine geringe Leitfähigkeit hat (ca. 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$), ist es für die adiabate Kühlung sehr gut geeignet (SenStadt 2010).

Hinweise zu Planung, Bemessung und rechtlichen Aspekten

Bei der Planung einer Gebäudekühlung über eine Lüftungsanlage ist die DIN V 18599 (2013) sowie die DIN EN 13779 (DIN 2007) zu berücksichtigen. Für die adiabate Abluftkühlung mit Regenwasser existieren derzeit keine weitergehenden technischen Regeln. Weitere Hinweise zu Planung, Bau, Betrieb und Wartung von raumluftechnischen Anlagen sowie hygienische Anforderungen an die Anlagen sind den VDI-Richtlinien 3803 und 6022 (2010 ff., 2011 ff.) zu entnehmen.

Kenndaten zur Bemessung	
Parameter	Werte
Bemessung	Abhängig vom Nutzkältebedarf des Gebäudes sowie der Verluste bei Erzeugung und Verteilung des Kühlwassers; dynamische Simulationsrechnung zur Bemessung sinnvoll
Flächenbedarf	Zusätzlich zum Regenwasserspeicher (ca. 0,5 - 1 m ² Grundfläche für 100 m ² Dach) in den Lüftungsanlagen ca. 1-2 Meter Luftkanal für den Verdunster
Sonstige Anforderungen	Qualität entsprechend EU-Badegewässerrichtlinie (SenStadt 2010)
Richtlinien und Leitfäden	DIN V 18599 (2013), DIN EN 13779 (2007) VDI 3803 (2010 ff.), VDI 6022 (2011 ff.) Leitfaden „Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung“ (SenStadt 2010)

Aus Gründen der hygienischen Absicherung der adiabaten Abluftkühlung ist Vorsorge zu treffen, dass kein Kontakt des Betriebswassers und damit der Abluft zur Zuluft besteht. Grundsätzlich wird zusätzlich zur Sicherstellung der Trennung von Zu-/Abluft eine UV-Desinfektion des Betriebswassers mit DVGW-geprüften bzw. zertifizierten Anlagen empfohlen. Eine weitere UV-Entkeimung wird dezentral im Umlauf der Anlagen empfohlen, um eine mögliche Wiederaufkeimung auszuschließen. In die Anlagen zur adiabaten Kühlung sind Möglichkeiten zur Beprobung der Betriebswasserqualität einzubauen (kurzer Metallhahn mit Kugelventil). Diese Probenentnahmestelle kann gleichzeitig der manuellen Entleerung dienen (SenStadt 2010).

Bei kombinierter Regenwassernutzung als Betriebswasser und zur Gebäudekühlung sollte der Abluftkühlung durch eine intelligente Steuerung Vorzug gegenüber anderen Verbrauchern eingeräumt werden. Beispielsweise ist die Toilettenspülung oder Bewässerung von Grünanlagen vorzeitig auf Trinkwassernutzung umzustellen, um Regenwasser für einen längeren Zeitraum für die Abluftkühlung zur Verfügung zu stellen. Die Trennung der Verbraucher erfordert zwei getrennte Betriebswassersysteme mit unabhängigen Druckerhöhungsanlagen (SenStadt 2010). Zur Identifizierung von Fehlsteuerungen und zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Anlagen ist der Einbau von Wasser- und Energiemengenzählern bei der adiabaten Abluftkühlung zu empfehlen. Zur Reduzierung des Niederschlagswasserentgelts ist die Regenwassermenge zu erfassen, die als Betriebswasser für die Abluftkühlung genutzt wird.

Unterhaltung und Pflege

Sammeltanks sowie die zugehörigen Anlagenteile müssen regelmäßig gewartet werden. Der Betriebswasservorrat in der Lüftungsanlage sollte entleert werden, sobald die adiabate Abluftkühlung außer Betrieb geht.

Maßnahmenwirkung

Die Bewertung der Maßnahmenwirkung erfolgte in KURAS auf Grundlage von Literaturstudien („n“ - Anzahl zugrundeliegender Datensätze). Zur Erhebung von Kostendaten wurden ergänzend Umfragen durchgeführt. In ausgewählten Fällen wurde zudem auf Erfahrungswerte (Nutzen auf Gebäudeebene) zurückgegriffen. Für die Klassifizierung (geringer / moderater / hoher Effekt) wurde der Wertebereich jedes Indikators in der Regel in drei gleich große Klassen aufgeteilt (siehe Matzinger et al., 2017). Alle Werte beziehen sich auf die Umsetzung der Maßnahme im Bestand. Die Bewertungstabelle ist auf der nachfolgenden Seite zu finden.

Kurzbewertung: Durch die Regenwassernutzung zur Gebäudekühlung lässt sich auf Gebäudeebene Trinkwasser und Energie einsparen. Je nachdem, welche Flächentypen an die Zisternen angeschlossen sind, lässt sich die stoffliche Belastung der Oberflächengewässer leicht bis moderat reduzieren. Viele Bereiche, z.B. die Freiraumqualität, das Stadtklima oder die Biodiversität, bleiben von der Regenwassernutzung unbeeinflusst.

Referenzen und weiterführende Literatur

- DIN V 18599 (2013): Energetische Bewertung von Gebäuden: Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung. Beuth Verlag, 2013.
- DIN EN 13779 (2007): Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlagen und Raumkühlsysteme. Beuth Verlag, 2007, 72 S.
- fbr (2007): Projektbeispiele zur Betriebs- und Regenwassernutzung – Öffentliche und gewerbliche Anlagen. Schriftenreihe fbr 6. Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.
- fbr (2013): Energetische Nutzung von Regenwasser. Schriftenreihe fbr Band 16. Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V., 148 S.; ISBN 3-9811727-5-1
- Matzinger et al. (2017): Multiple effects of measures for stormwater management in urban areas. Urban Water Journal (eingereicht).
- SenStadt (2010): Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung: Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung, Leitfaden für Planung, Bau, Betrieb und Wartung. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin. ISBN 978-3-88961-140-6
- SenStadt (2011): Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur Bewertung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin.
- VDI (2010 ff.): Richtlinienreihe VDI 3803 „Raumluftechnik, Geräteanforderungen“. Beuth-Verlag, Berlin.
- VDI (2011 ff.): Richtlinienreihe VDI 6022 "Raumluftechnik, Raumlufqualität". Beuth-Verlag, Berlin.

Effekte	Regenwassernutzung zur Gebäudekühlung				
	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene					
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%] ¹	90 / 20	-	-	1	🟢
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	90	-	-	1	🟢
Freiraumqualität					
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren ² [-]	-	-	-	0 ³	○
Stadtklima					
Änderung Tropennächte [d/a]	-	-	-	0 ³	○
Änderung Hitzestress (UTCI) [h/a]	-	-	-	0 ³	○
Biodiversität					
α-Diversität (Flora) [-]	-	-	-	0 ³	○
α-Diversität (Fauna) [-]	-	-	-	0 ³	○
β-Diversität (Flora) [-]	-	-	-	0 ³	○
Grundwasser / Bodenpassage					
Änderung des Versickerungsanteils [%]	-	-	-	0 ³	○
Änderung der Zinkkonzentration [%]	-	-	-	0 ³	○
Änderung der Chloridkonzentration [%]	-	-	-	0 ³	○
Oberflächengewässer					
Reduktion des Regenabflusses [%]	nicht quantifiziert				
Reduktion der Abflussspitze [%]	nicht quantifiziert				
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	nicht quantifiziert				
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	nicht quantifiziert				
Ressourcennutzung					
THG-Potenzial _{100 a} [kg CO ₂ -eq/(m ² ·a)]	nicht quantifiziert				
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m ² ·a)]	nicht quantifiziert				
Direkte Kosten					
Investitionen [€/(m ² ·a)]	nicht quantifiziert				
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m ² ·a)]	nicht quantifiziert				

Erläuterungen zur Tabelle:

¹ Trinkwassereinsparung bezieht sich nur auf den Teil, der an die Regenwassernutzung angeschlossen ist. Abwassereinsparung (Regen) steht für den genutzten Teil des Niederschlags. Eine zusätzliche Abwassereinsparung ggü. der konventionellen Kühlung mit Trinkwasser ergibt sich durch den Wegfall der Wasseraufbereitung.

² Einzelindikatoren: Komplexität, Kohärenz/Verständlichkeit, Lesbarkeit und Involution. Skala von 0 (niedrig) bis 5 (hoch).

³ Kein Effekt.

Bedeutung der verwendeten Symbole:

- | | | | | | |
|---|----------------------------|---|----------------------------|---|-------------|
| 🟢 | geringer positiver Effekt | 🔴 | geringer negativer Effekt | ○ | kein Effekt |
| 🟡 | moderater positiver Effekt | 🟡 | moderater negativer Effekt | | |
| 🟠 | hoher positiver Effekt | 🔴 | hoher negativer Effekt | | |

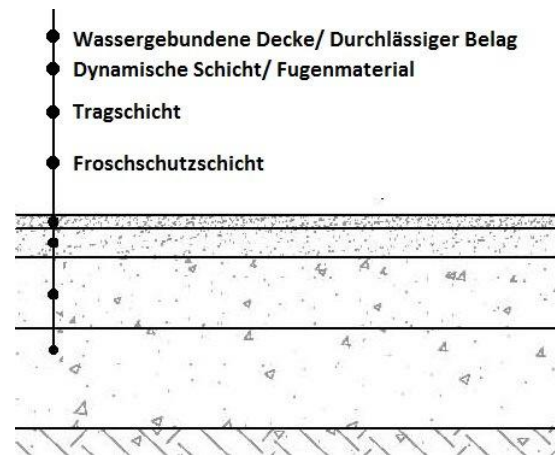
Steckbrief 5: Teilversiegelte Oberflächenbefestigungen

Teilversiegelte Oberflächenbefestigungen	
Beschreibung	Entsiegelung von versiegelten Flächen (z.B. Straßen, Parkplätze) durch Einbau von teilversiegeltem Oberflächenmaterial
Anwendungsebene	Grundstück, Quartier
Primäre Ziele	Hydraulische und stoffliche Entlastung der Kanalisation und der Gewässer, Anreicherung des Grundwassers, Verbesserung des Stadtklimas

Umsetzungsbeispiele und Systemskizze



Beispiele teilversiegelter Oberflächenbefestigung, Weiberwirtschaft eG, Berlin (Foto: Andreas Süß)



Schema zum Aufbau einer teilversiegelten Oberfläche (Bild: Sieker)

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Teilversiegelte Oberflächenbefestigungen als Ersatz für vollversiegelte Flächen (z.B. Asphalt) werden im Straßen- und Wegebau zur Verringerung der Flächenversiegelung und des Niederschlagsabflusses eingesetzt. Durch die alternativen Beläge (z.B. wassergebundene Deckschichten, Sickerpflaster, Fugenpflaster oder Rasengittersteine) kann die natürliche Bodenfunktion zumindest partiell wiederhergestellt werden. Teilversiegelte Flächen wie wenig befahrene Straßen, Parkplätze oder Gehwege können so zur Entlastung der Kanalisation und zur lokalen Anreicherung des Grundwassers beitragen. Die Wirkung einer Entsiegelungsmaßnahme auf das Abflussverhalten einer Fläche hängt entscheidend von der Art der Entsiegelung, der Bodenbeschaffenheit und der Geländeneigung ab. Der Aufbau von teilversiegelten Oberflächen orientiert sich in der Regel an einem Standardwegebau, bestehend aus Froschschutzschicht, Tragschicht, dynamischer Schicht bzw. Fugenmaterial, sowie dem Bodenbelag in den verschiedenen oben genannten Ausführungen.

Hinweise zu Planung, Bemessung und rechtlichen Aspekten

Kenndaten zur Bemessung	
Parameter	Werte
Bemessung / Flächenbedarf	Teilversiegelte Oberfläche entspricht angeschlossener Fläche
Sonstige Anforderungen	Nur außerhalb von Wasserschutzgebieten erlaubnisfrei möglich (NWFreiwV 2001)
Richtlinien und Leitfäden	FLL-Richtlinie „Begrünbare Flächenbefestigungen“ (2008) FLL-Richtlinie „Wasssergebundene Wegedecken“ (2007)

Wasserdurchlässige Deckschichten werden nach DWA A-138 nicht als eigenständige Maßnahme zur Versickerung angesehen, da die Möglichkeiten zum Anschluss von versiegelter Flächen begrenzt sind, und die Sickerleistung durch die Poren einem nicht kalkulierbaren Alterungsprozess unterliegt. Als flankierende Maßnahmen zur Reduktion des Oberflächenabflusses spielen teilversiegelte Oberflächen in urbanen Gebieten dennoch eine wichtige Rolle. Es sind die Vorgaben an die stoffliche Belastung des zu versickernden Niederschlagwassers nach Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG 1998), Grundwasserverordnung (GrwV 2010) und der Handlungsempfehlung zum Umgang mit Regenwasser (DWA M 153) zu beachten.

Um eine ordnungsgemäße Entwässerung einer Verkehrsfläche mit wasserdurchlässigen Pflasterbelägen, aber ohne Straßenabläufe, sicherzustellen, muss aus Gründen der Verkehrssicherheit eine Aufnahme-fähigkeit von 270 L/(s,ha) bzw. $2,7 \cdot 10^{-5}$ m/s dauerhaft gewährleistet sein (FGSV 1998). Da nur die Pflasterfuge die effektive Versickerungsfläche darstellt, muss die Versickerungsfähigkeit des Materials in den Fugen bzw. des Unterbaus deutlich höher liegen. Einem Zusetzen der Poren mit Feinmaterial („clogging“) kann durch einen geeigneten Aufbau des Unterbodens entgegengewirkt werden. Gänzlich ist dieser Prozess jedoch schwer zu vermeiden.

Unterhaltung und Pflege

Teilversiegelte Flächen haben generell vergleichbare Unterhaltskosten wie versiegelte Flächen, z.B. für Straßenreinigung. Darüber hinaus entstehen im Regelfall keine zusätzlichen Kosten. Pflasterfugen mit stark zurück gegangener Versickerungsleistung sind zu reinigen. Dies kann z.B. durch Absaugen des Splitts aus den Fugen und ersetzen mit frischem Splitt geschehen. Für versickerungsfähige Materialien stehen spezielle Pflasterreinigungsmaschinen zur Verfügung, die unter Einsatz von Wasser und Hilfsstoffen die Schmutzbelastung in der Tiefe der Poren reduziert und die Versickerungsleistung weitgehend wiederherstellt. Die Wiederherstellung der vollen Infiltrationsleistung ist jedoch auch dann nicht immer möglich.

Maßnahmenwirkung

Die Bewertung der Maßnahmenwirkung erfolgte in KURAS auf Grundlage von Literaturstudien („n“ - Anzahl zugrundeliegender Datensätze). Zur Erhebung von Kostendaten wurden ergänzend Umfragen durchgeführt. In ausgewählten Fällen wurde zudem auf Simulationen zurückgegriffen (Stadtklima). Für die Klassifizierung (geringer / moderater / hoher Effekt) wurde der Wertebereich jedes Indikators in der Regel in drei gleich große Klassen aufgeteilt (siehe Matzinger et al., 2017). Alle Werte beziehen sich auf die Umsetzung der Maßnahme im Bestand. Die Bewertungstabelle ist auf der nachfolgenden Seite zu finden.

Kurzbewertung: Teilversiegelte Oberflächenbefestigungen führen zu einer hydraulischen und stofflichen Entlastung der Oberflächengewässer. Sie erhöhen den Versickerungsanteil, führen aber trotz der teilweise vorhandenen Reinigungswirkung zu einem Stoffeintrag ins Grundwasser. Aufgrund der Vielfalt an möglichen Materialien und Fugenteilen kann die Wirkung stark variieren. Durch den erhöhten Verdunstungsanteil ist durch die Teilentsiegung mit einer leichten Reduktion des Hitzestresses zu rechnen. Zusätzlich führt der mit Vegetation bedeckte Boden zu geringerer nächtlicher Wärmeausstrahlung und damit zu weniger Tropennächten, vor allem bei großen und stark entsiegelten Flächen. Der Ressourcenverbrauch und die Investitionen sind aufgrund des erforderlichen Rückbaus des alten sowie Einbaus des neuen Materials (inkl.

Unterboden) vergleichsweise hoch. Hinzu kommt der Wartungs- und Pflegeaufwand für die langfristige Sicherung der Versickerungsleistung.

Referenzen und weiterführende Literatur

- BBodSchG (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG).
- DWA-M 153 (2007): Handlungsempfehlung zum Umgang mit Regenwasser. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- FGSV (1998): Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen. – Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen e.V.; Köln.
- FLL (2007): Wassergebundene Wegedecken: Fachbericht zu Planung, Bau und Instandhaltung von wassergebundenen Wegen, Forschungsgesellschaft Landschaftentwicklung Landschaftsbau e.V., Bonn.
- FLL (2008): Begrünbare Flächenbefestigungen: Richtlinie für die Planung, Ausführung und Unterhaltung von begrünbaren Flächenbefestigungen, Forschungsgesellschaft Landschaftentwicklung Landschaftsbau e.V., Bonn.
- GrwV (2010): Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung - GrwV).
- Matzinger et al. (2017): Multiple effects of measures for stormwater management in urban areas. Urban Water Journal (eingereicht).
- NWFreiV (2001): Berliner Verordnung über die Erlaubnisfreiheit für das schadlose Versickern von Niederschlagswasser (Niederschlagswasserfreistellungsverordnung), geändert im April 2016.

Effekte	Teilversiegelte Oberflächenbefestigungen				
	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene					
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%]	nicht quantifiziert				
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	nicht quantifiziert				
Freiraumqualität					
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren ¹ [-]	nicht quantifiziert				
Stadtklima					
Änderung Tropennächte ² [d/a]	0	-1	0	Sim.	○
Änderung Hitzestress (UTCI) ² [h/a]	-20	-80	0	Sim.	●
Biodiversität					
α-Diversität (Flora) [-]	nicht quantifiziert				
α-Diversität (Fauna) [-]	nicht quantifiziert				
β-Diversität (Flora) [-]	nicht quantifiziert				
Grundwasser / Bodenpassage					
Änderung des Versickerungsanteils ³ [%]	+31	-	-	46	-
Änderung der Zinkkonzentration ⁴ [%]	-87	-98	-39	16	○
Änderung der Chloridkonzentration ⁴ [%]	±0	-	-	1	●
Oberflächengewässer					
Reduktion des Regenabflusses [%]	39	8	100	22	●
Reduktion der Abflussspitze [%]	nicht quantifiziert				
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	244	89	600	22	○
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	1,7	0,6	4,0	25	●
Ressourcennutzung ⁵					
THG-Potenzial _{100 a} [kg CO ₂ -eq/(m ² ·a)]	0,34	0,10	0,58	2	●
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m ² ·a)]	3,05	1,59	4,51	2	●
Direkte Kosten ⁶					
Investitionen [€/(m ² ·a)]	1,26	0,09	3,61	80	●
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m ² ·a)]	nicht quantifiziert				

Erläuterungen zur Tabelle:

- ¹ Einzelindikatoren: Komplexität, Kohärenz/Verständlichkeit, Lesbarkeit und Involution. Skala von 0 (niedrig) bis 5 (hoch).
- ² Effekt wurde durch Simulation in Modellgebieten auf 2 m über Grund für je eine rasterzellengroße Maßnahme (8 x 8 m) quantifiziert. Min und Max repräsentieren 5%- und 95%-Quantile über alle (~50000) Rasterzellen, ausgenommen die bereits unversiegelten Flächen. Die betrachteten Flächen wurden um 30 % entsiegelt.
- ³ bezieht sich auf Änderung ggü. Situation ohne Maßnahme, d.h. Straßenfläche inkl. Gehwegen mit 12% Versickerungsanteil; Berechnung: $(V_{\text{ohne Maßnahme}} - V_{\text{mit Maßnahme}}) / V_{\text{mit Maßnahme}}$. Ob Effekt als positiv/negativ wahrgenommen wird, hängt von lokalen Randbedingungen und Zielstellungen ab.
- ⁴ Median, Min und Max beziehen sich auf Vergleich zwischen Zufluss und Ablauf (Versickerungsanteil) der Maßnahme; Berechnung: $(C_{\text{Zufluss}} - C_{\text{Abfluss}}) / C_{\text{Zufluss}}$. Bewertung (+/-) impliziert Einhaltung des Verschlechterungsverbots.
- ⁵ Lebenszyklusbewertung von Material- und Energieverbrauch, inkl. Entsorgung bestehender Versiegelung (Asphalt); angenommene Nutzungsdauer: 60 Jahre; Flächenbezug über Maßnahmenfläche.
- ⁶ Flächenbezug über Maßnahmenfläche; angenommene Nutzungsdauer: 60 Jahre; Diskontierungszinssatz: 3 %.

Bedeutung der verwendeten Symbole:

- | | | | | | |
|---|----------------------------|---|----------------------------|---|-------------|
| ○ | geringer positiver Effekt | ○ | geringer negativer Effekt | ○ | kein Effekt |
| ● | moderater positiver Effekt | ● | moderater negativer Effekt | | |
| ● | hoher positiver Effekt | ● | hoher negativer Effekt | | |

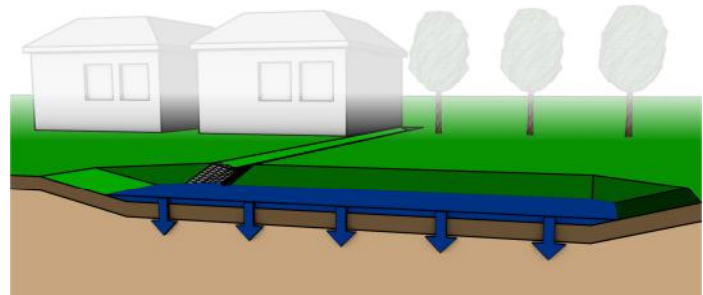
Steckbrief 6: Mulden- und Flächenversickerung

Versickerung über Mulden und Flächen	
Beschreibung	Einleitung von Regenwasser von versiegelten Flächen (Dächer, Straßen, Parkplätze, etc.) zur oberflächigen Versickerung in Mulden und auf Flächen
Anwendungsebene	Grundstück, Quartier
Primäre Ziele	Hydraulische und stoffliche Entlastung der Kanalisation und der Gewässer, Anreicherung des Grundwassers, Verbesserung des Stadtklimas

Umsetzungsbeispiele und Systemskizze



Versickerungsmulde an der Rummelsburger Bucht, Berlin (Foto: Sieker)



Schema der Muldenversickerung: mit Zulauf, oberirdischem Retentionsraum und Versickerung (Quelle: Sieker)

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Bei der Mulden- und Flächenversickerung wird das Niederschlagswasser von Dach-, Hof- und Verkehrsflächen über die belebte Bodenzone einer angrenzenden, natürlichen Fläche versickert. Entscheidend für die Wahl zwischen den beiden Verfahren ist der Bedarf an oberirdischem Retentionsraum. Dieser Bedarf ergibt sich aus der Menge des anfallenden Niederschlagswassers, der Raumverfügbarkeit und der Versickerungsfähigkeit des Bodens. Der Boden unterhalb von Mulden- oder Flächenversickerungen sollte daher gut durchlässig sein. Durch die Oberbodenpassage erfolgt eine Reinigung des Niederschlagswassers vor der Infiltration ins Grundwasser.

Bei der *Muldenversickerung* wird das Niederschlagswasser vor der Versickerung kurzzeitig zwischengespeichert. Die Entleerung der Mulde erfolgt durch Versickerung und Verdunstung. Erlaubt der anstehende Boden nicht die vollständige Versickerung innerhalb von 24 Stunden kann das Verfahren mit unterliegenden Rigolen kombiniert werden (siehe „Steckbrief 8: kombinierte Versickerungssysteme“).

Die *Flächenversickerung* erfolgt in der Regel durch bewachsenen Boden auf Rasenflächen oder unbefestigten Randstreifen von undurchlässigen oder teildurchlässigen Terrassen-, Hof- und Verkehrsflächen.

Hinweise zu Planung, Bemessung und rechtlichen Aspekten

Die Bemessung einer Mulde oder Versickerungsfläche erfolgt nach DWA A138 (2005) über das sogenannte vereinfachte Verfahren oder geeignete Langzeitsimulationen. Für Mulden sind Tiefen zwischen 10 und 30 cm üblich, um die Entleerungsdauer gering zu halten (< 24 h). Der Boden der Mulde sollte 20-30 cm mächtig sein, und einen humosen Anteil von 1-3 Masse-% besitzen. Erfüllt der gewachsene Boden diese Bedingungen nicht, ist eine entsprechende Mutterbodenschicht aufzutragen und zu profilieren. Vorgaben für die Mächtigkeit der belebten Bodenzone ergeben sich auch aus dem Verschmutzungsgrad des

Niederschlagswassers (DWA M 153). Beim Bau der Mulden ist die sorgfältige Ausarbeitung einer waagerechten Sohle wichtig, damit besonders bei kleineren Regenereignissen keine ungleichmäßige Verteilung des Wassers auf der Sohle stattfindet. Der Böschungsbereich sollte möglichst flach sein (Böschungsverhältnis 1:2,5 bis 1:5). Dies dient auch der optischen Integration in die Freiflächen.

Kenndaten zur Bemessung	
Parameter	Werte
Hydraulische Bemessung	Bemessung auf Überstauhäufigkeit $n = 0,2/a$ Nachweis der Entleerungszeit von max. 24 h
Flächenbedarf	Flächenversickerung: Versickerungsfläche sollte > 50% der zu entwässernden Fläche entsprechen Muldenversickerung: Muldenfläche sollte ca. 20% der zu entwässernden Fläche entsprechen; Muldentiefe in der Regel 30 cm, kann aber je nach Untergrund und Anschlussverhältnis variieren
Sonstige Anforderungen	Flächenversickerung: K_f -Wert: $1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-5}$ m/s Muldenversickerung: K_f -Wert: $1 \cdot 10^{-4} - 2 \cdot 10^{-6}$ m/s Nur außerhalb von Wasserschutzgebieten erlaubnisfrei möglich (Berliner NWFreiV 2001)
Richtlinien und Leitfäden	DWA A138 (2005); DWA M153 (2007) FLL-Broschüre „Versickerung und Wasserrückhaltung“ (FLL 2005)

Die Mulde bzw. Fläche hat eine geschlossene Vegetationsdichte (Rasen, ggf. mit Gehölzen oder Stauden). Eine Randbepflanzung mit Bodendeckern ist möglich. Der über und unter der Mulde befindliche Boden sollte eine gute Durchlässigkeit haben (über der Mulde: $k_f > 10^{-4}$ m/s, unter der Mulde: $k_f > 10^{-5}$ m/s) (Sieker 2006). Bei unzureichender Versickerungsfähigkeit des Unterbodens ist eine Kombination mit Rigolen möglich (siehe „Steckbrief 8: kombinierte Versickerungssysteme“). Ein ausreichender Abstand zu Gebäuden ist zum Schutz vor Vernässungsschäden einzuhalten. Als Faustregel kann hier das 1,5-fache der Kellertiefe als Mindestabstand herangezogen werden. Ggf. vorhandene Altlasten im Boden sind zu berücksichtigen. Die belebte Oberbodenzone muss den stofflichen Anforderungen der Zustandsklasse Z0 (uneingeschränkter Einbau) gemäß Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) genügen. Es sind die Vorgaben an die stoffliche Belastung des zu versickernden Niederschlagswassers nach Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG 1998), Grundwasserverordnung (GrwV 2010) und der Handlungsempfehlung zum Umgang mit Regenwasser (DWA M 153) zu beachten.

Unterhaltung und Pflege

Die Vegetationspflege (Rasen, Stauden, Gehölze) verhält sich entsprechend des sonst üblichen Aufwandes für Grünflächen. Wichtig ist das Freihalten der Versickerungsfläche und der Zuläufe von Laub u.ä. Bei Nachlassen der Versickerungsleistung sollte der Rasen vertikutiert werden. Andere Unterhaltungsmaßnahmen, wie z.B. Straßenreinigung können ebenfalls positive Effekte für den langfristigen Anlagenbetrieb bewirken.

Maßnahmenwirkung

Die Bewertung der Maßnahmenwirkung erfolgte in KURAS auf Grundlage von Literaturstudien und eigenen Messungen („n“ - Anzahl zugrundeliegender Datensätze). Zur Erhebung von Kostendaten wurden ergänzend Umfragen durchgeführt. In ausgewählten Fällen wurde zudem auf Simulationen zurückgegriffen (Stadtklima). Für die Klassifizierung (geringer / moderater / hoher Effekt) wurde der Wertebereich jedes Indikators in der Regel in drei gleich große Klassen aufgeteilt (siehe Matzinger et al., 2017). Alle Werte beziehen sich auf die Umsetzung der Maßnahme im Bestand. Die Bewertungstabelle ist auf der nachfolgenden Seite zu finden.

Kurzbewertung: Die Mulden- und Flächenversickerung wirkt sich aufgrund der Verdunstungsleistung und der in der Regel geringeren Wärmekapazität des natürlichen Bodens (im Vergleich zu asphaltierter Fläche) positiv auf das Stadtklima aus (geringer bis moderater Effekt). Die biologische Vielfalt kann deutlich erhöht werden. Der Effekt ist aber in besonderer Weise von der konkreten Umsetzung (d.h. der Bepflanzung) abhängig. Da die Anlagen entsprechend DWA A138 das Niederschlagswasser vollständig versickern, werden die Oberflächengewässer sowohl hydraulisch als auch stofflich deutlich entlastet. Die Mulden- und Flächenversickerung erhöht den Versickerungsanteil und führt trotz der Reinigungswirkung für Zink zu zusätzlichen Stoffeinträgen. Für Chlorid wird in Mulden teilweise sogar eine (vorübergehende) Anreicherung beobachtet. Sowohl der Ressourcenverbrauch als auch die Kosten der Maßnahme sind bezogen auf die angeschlossene Fläche gering. Auf Gebäudeebene entsteht kein zusätzlicher Nutzen.

Referenzen und weiterführende Literatur

- BBodSchG (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG).
- DWA-A 138 (2005): Arbeitsblatt DWA-A 138 - Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- DWA-M 153 (2007): Merkblatt DWA-M 153 - Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- FLL (2005): Broschüre: Empfehlungen zur Versickerung und Wasserrückhaltung, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., Bonn.
- GrwV (2010): Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung - GrwV).
- Matzinger et al. (2017): Multiple effects of measures for stormwater management in urban areas. Urban Water Journal (eingereicht).
- NWFreiV (2001): Berliner Verordnung über die Erlaubnisfreiheit für das schadlose Versickern von Niederschlagswasser (Niederschlagswasserfreistellungsverordnung), geändert im April 2016.
- Sieker, F.; Sieker, H.; Kaiser, M. (2006): Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung im privaten, gewerblichen und kommunalen Bereich. Grundlagen und Ausführungsbeispiele. 232 S., zahlr. farbige Abb., Tab., Gebunden, ISBN 3-8167-6975-6

Effekte	Muldenversickerung					Flächenversickerung				
	Median	Min	Max	n	+/-	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene										
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				
Freiraumqualität										
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren ¹ [-]	nicht quantifiziert					2,6	-	-	1	🟢
Stadtklima										
Änderung Tropennächte ² [d/a]	0	-1	0	Sim.	🟡	0	-1	1	Sim.	🟡
Änderung Hitzestress (UTCI) ² [h/a]	-25	-80	0	Sim.	🟢	-25	-80	0	Sim.	🟢
Biodiversität										
α-Diversität (Flora) [-]	23,4	1,3	34	27	🟢	23,4 ³	1,3 ³	34 ³	27 ³	🟢
α-Diversität (Fauna) [-]	64,5	-	-	1	🟢	64,5 ³	-	-	1 ³	🟢
β-Diversität (Flora) [-]	2,8	1,9	5,1	26	🟢	2,8 ³	1,9 ³	5,1 ³	26 ³	🟢
Grundwasser / Bodenpassage										
Änderung des Versickerungsanteils ⁴ [%]	+344	-	-	3	-	+381	- ⁶	- ⁶	1	-
Änderung der Zinkkonzentration ⁵ [%]	-91	-99	-18	30	🔴	-84	-99	-79	5	🔴
Änderung der Chloridkonzentration ⁵ [%]	+290	-36	+4410	9	🔴	±0	-	-	4	🔴
Oberflächengewässer										
Reduktion des Regenabflusses [%]	100	100	100	7	🟢	100	100	100	3	🟢
Reduktion der Abflussspitze [%]	100	100	100	5	🟢	100	-	-	1	🟢
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	826	130	1000	6	🟢	702	-	-	1	🟢
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	3,5	1,5	4,0	6	🟢	-	-	-	0	🟢
Ressourcennutzung ⁶										
THG-Potenzial _{100 a} [kg CO ₂ -eq/(m ² ·a)]	0,03	-	-	1	🔴	0,1	-	-	1	🔴
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m ² ·a)]	0,48	-	-	1	🔴	1,52	-	-	1	🔴
Direkte Kosten										
Investitionen ⁷ [€/m ² ·a]	0,17	0,04	0,43	10	🔴	0,22	0,00	0,43	6	🔴
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/m ² ·a]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				

Erläuterungen zur Tabelle:

- Einzelindikatoren: Komplexität, Kohärenz/Verständlichkeit, Lesbarkeit und Involution. Skala von 0 (niedrig) bis 5 (hoch).
- Effekt wurde durch Simulation in Modellgebieten auf 2 m über Grund für je eine rasterzellengroße Maßnahme (8 x 8 m) quantifiziert. Min und Max repräsentieren 5%- und 95%-Quantile über alle (~50000) Rasterzellen.
- Bewertung von Muldenversickerung übernommen.
- bezieht sich auf Änderung ggü. Situation ohne Maßnahme, d.h. Straßenfläche inkl. Gehwegen mit 12% Versickerungsanteil; Berechnung: $(V_{\text{ohne Maßnahme}} - V_{\text{mit Maßnahme}}) / V_{\text{mit Maßnahme}}$. Ob Effekt als positiv/negativ wahrgenommen wird, hängt von lokalen Randbedingungen und Zielstellungen ab.
- Median, Min und Max beziehen sich auf Vergleich zwischen Zufluss und Ablauf (Versickerungsanteil) der Maßnahme; Berechnung: $(C_{\text{Zufluss}} - C_{\text{Abfluss}}) / C_{\text{Zufluss}}$. Bewertung (+/-) impliziert Einhaltung des Verschlechterungsverbots.
- Lebenszyklusbewertung von Material- und Energieverbrauch; angenommene Nutzungsdauer: 40 Jahre; Flächenbezug über angeschlossene versiegelte Fläche.
- Investitionen pro m² angeschl. vers. Fläche; angenommene Nutzungsdauer: 40 Jahre; Diskontierungszinssatz: 3 %.

Bedeutung der verwendeten Symbole:

- | | | | | | |
|---|----------------------------|---|----------------------------|---|-------------|
| 🟡 | geringer positiver Effekt | 🔴 | geringer negativer Effekt | ⬜ | kein Effekt |
| 🟢 | moderater positiver Effekt | 🔴 | moderater negativer Effekt | | |
| 🟢 | hoher positiver Effekt | 🔴 | hoher negativer Effekt | | |

Steckbrief 7: Schacht- und Rigolenversickerung

Versickerung über Sickerschächte, Rigolen oder Rohrrigolen	
Beschreibung	Versickerung von Niederschlagswasser von gering verschmutzten Flächen über Sickerschächte oder unterirdische Systeme wie Rigolen und Rohrrigolen
Anwendungsebene	Grundstück, Quartier
Primäre Ziele	Reduzierung der hydraulischen und stofflichen Belastungen von Kanalnetzen und Vorflutern, Anreicherung des Grundwassers

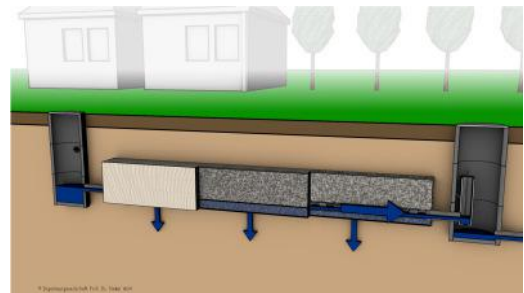
Umsetzungsbeispiele und Systemskizze



Blick auf die Sohle eines Sickerschachts (Foto: Sieker)



Bau einer Füllkörperrigole (Foto: Sieker)



Schema der Rigolenversickerung mit Absetzschacht im Zulauf und gedrosseltem Ablauf (Quelle: Sieker)

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Bei der Rigolen- und Schachtversickerung wird Niederschlagswasser 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, Filterkassetten, etc.) vorzusehen.

Bei der *Schachtversickerung* wird unbelastetes Regenwasser unterirdisch in einen Sickerschacht aus Beton oder Kunststoff eingeleitet, kurzzeitig zwischengespeichert und versickert. Die Versickerung erfolgt am Boden und seitlich durch perforierte Sickerringe im umgebenden Kiesbereich des Schachtes. Der punktuelle Charakter von Schachtversickerungen erlaubt in der Regel keine Reinigung des Niederschlagswassers durch eine Bodenpassage. Eine gedrosselte Ableitung ist in der Regel nicht vorhanden.

Bei der *Rigolenversickerung* wird das Niederschlagswasser unterirdisch in einen mit Kies oder Kunststoffblöcken gefüllten Graben (Rigole) bzw. einen in diesem Material gebetteten perforierten Rohrstrang (Rohrrigole) geleitet. Durch die unterirdische Versickerung mit kurzzeitiger Speicherung können Rigolen auch bei schlechter durchlässigen Böden eingesetzt werden. Durch die unterirdische Bauweise wird das Niederschlagswasser nicht über eine belebte Bodenzone gereinigt. Da die Versickerungsebene im Vergleich zu Mulden tiefer liegt (Einbautiefe: 1 - 1,4 m), muss der Grundwasserflurabstand entsprechend groß sein. Zum Schutz vor Verschlammung und Materialeintrag wird die Rigole von außen mit einem Geotextil bzw. Filtervlies ummantelt. Der Zulauf ist in der Regel mit einem Grobstofffilter für Laub, Äste, etc. ausgestattet. Bei teilweiser Ableitung in den Kanal erfolgt die verzögerte Entleerung des Speicherraumes über ein Dränrohr, an das ein Drosselschacht mit Anstau und Drosselorgan (z.B. Lochblende) angeschlossen ist. Die Anstauhöhe entspricht der Rigolenoberkante und wird durch das Überlaufrohr im Schacht bestimmt.

Hinweise zu Planung, Bemessung und rechtlichen Aspekten

Kenndaten zur Bemessung	
Parameter	Werte
Bemessung	300 - 400 m ³ /ha angeschlossene Fläche (abhängig von k_f -Wert des Bodens) Überstauhäufigkeit: 0,2/a (für Schacht- und Rigolenversickerung)
Flächenbedarf	Kein oberirdischer Flächenbedarf (außer Revisionsschächte)
Sonstige Anforderungen	Nur für Flächen mit geringer Verschmutzung (z.B. Fußwegflächen, nichtmetallische Dachflächen) Nur außerhalb von Wasserschutzgebieten erlaubnisfrei möglich (NWFreiwV 2001) Für Sickerschächte: Filterschicht mit karbonathaltigem Sand ($K_f = 10^{-3}$ m/s), ggf. mit Filtersack
Richtlinien und Leitfäden	DWA A138 (2005), DWA M153 (2007) DIN V 4034-1 (2004)

Die Bemessung einer *Rigole* erfolgt nach dem vereinfachten Verfahren des DWA-A 138 (2005) oder über eine Langzeitsimulation. Die einzuhaltende Überstauhäufigkeit liegt bei 0,2/a. Die Größe der Speicherräume hängt von der Durchlässigkeit des Bodens und der ggf. abzuführenden Drosselabflussmenge ab. Außerdem hängt die Gesamtgröße vom Füllmaterial ab. Während Kiesfüllungen einen Porenanteil von ca. 35% haben, können in Füllkörperrigolen aus Kunststoff 95% des Volumens zur Retention genutzt werden. Rigolen haben aufgrund der größerflächigen Versickerung eine höhere Gesamtversickerungsleistung (pro Zeit) als Schachtversickerungen. In der konstruktiven Gestaltung sind Rigolen deutlich flexibler. Somit können sie z.B. auch bei geringen Grundwasserflurabständen zum Einsatz kommen. Wichtig ist ein Abstand zwischen Rigolensohle und Grundwasser von mindestens 1 m.

Sickerschächte werden ebenfalls nach DWA A138 (2005) auf eine Überstauhäufigkeit von 0,2/a bemessen. Die Wasserdurchlässigkeit des Bodens ist z.B. durch Versickerungsversuche vor Ort zu überprüfen ($k_f > 10^{-5}$ m/s). Ein Mindestdurchmesser von DN1000 darf nicht unterschritten werden. Der Abstand zwischen Versickerungssohle und Grundwasser muss wie bei Rigolen mindestens 1 m betragen. Aufgrund der Bautiefe der Schachtsysteme ist jedoch in der Regel ein größerer Grundwasserflurabstand erforderlich als bei Rigolen. Es sind die Vorgaben an die stoffliche Belastung des zu versickernden Niederschlagwassers nach Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG 1998), Grundwasserverordnung (GrwV 2010) und der Handlungsempfehlung zum Umgang mit Regenwasser (DWA M 153) zu beachten. Sind bei Sickerschächten die Perforationen der Sickerlinge oberhalb der Filterschicht angeordnet, muss ein zusätzlicher Filtersack in die Anlagen gehängt werden.

Unterhaltung und Pflege

Zur Unterhaltung der *Sickerschächte* gehört die Kontrolle der Filter, Schächte, Zu- und Ableitungen zweimal pro Jahr und die Entfernung von Schmutzstoffen. Wenn die Sickerleistung nachlässt, ist die Kiesschicht an der Sickersohle auszutauschen.

Die Unterhaltung der *Rigolen* ist bei ausreichender Vorreinigung (Bodenpassage oder technische Anlage) weitgehend wartungsfrei. Eine Kontrolle der Schächte auf Verunreinigung/Verstopfung ebenso wie eine Beräumung des Systems von Schmutzstoffen sollte in regelmäßigen Abständen (mind. 1 mal pro Jahr) erfolgen. Gegebenenfalls sind die Schächte zu reinigen und das Drainrohrsystem zu spülen. Vor diesem Hintergrund sollte bei Drainrohren einen Rohrdurchmesser von mindestens DN 150 eingehalten werden.

Maßnahmenwirkung

Die Bewertung der Maßnahmenwirkung erfolgte in KURAS auf Grundlage von Literaturstudien („n“ - Anzahl zugrundeliegender Datensätze). Zur Erhebung von Kostendaten wurden ergänzend Umfragen durchgeführt. Für die Klassifizierung (geringer / moderater / hoher Effekt) wurde der Wertebereich jedes Indikators in der Regel in drei gleich große Klassen aufgeteilt (siehe Matzinger et al., 2017). Alle Werte beziehen sich auf die Umsetzung der Maßnahme im Bestand. Die Bewertungstabelle ist auf der nachfolgenden Seite zu finden.

Kurzbewertung: Aufgrund der unterirdischen Anordnung haben die Schacht- und Rigolenversickerung keinen Effekt auf das Stadtklima, die biologische Vielfalt oder die Freiraumqualität. Da die Anlagen das Niederschlagswasser in der Regel vollständig versickern (Ausnahmen: Rigolen mit Ableitung), werden die Oberflächengewässer sowohl hydraulisch als auch stofflich deutlich entlastet. Aus der vollständigen Versickerung ergibt sich ein deutlich erhöhter Versickerungsanteil mit zusätzlichen Stoffeinträgen ins Grundwasser. Sowohl der Ressourcenverbrauch als auch die Kosten der Maßnahme sind zwar höher als bei einfachen Muldensystemen aber bezogen auf die angeschlossene Fläche immer noch gering. Auf Gebäudeebene entsteht kein zusätzlicher Nutzen.

Referenzen und weiterführende Literatur








- BBodSchG (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG).
- DIN V 4034-1 (2004): Schächte aus Beton-, Stahlfaserbeton- und Stahlbetonfertigteilen für Abwasserleitungen und -kanäle - Typ 1 und Typ 2 - Teil 1: Anforderungen, Prüfung und Bewertung der Konformität.
- DWA-A 138 (2005): Arbeitsblatt DWA-A 138 - Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- DWA-M 153 (2007): Merkblatt DWA-M 153 - Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- GrwV (2010): Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung - GrwV).
- Matzinger et al. (2017): Multiple effects of measures for stormwater management in urban areas. Urban Water Journal (eingereicht).
- NWFreiV (2001): Berliner Verordnung über die Erlaubnisfreiheit für das schadloze Versickern von Niederschlagswasser (Niederschlagswasserfreistellungsverordnung), geändert im April 2016.

Effekte	Schachtversickerung					(Rohr)-Rigolenversickerung				
	Median	Min	Max	n	+/-	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene										
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Freiraumqualität										
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren ² [-]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Stadtklima										
Änderung Tropennächte [d/a]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Änderung Hitzestress (UTCI) [h/a]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Biodiversität										
α-Diversität (Flora) [-]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
α-Diversität (Fauna) [-]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
β-Diversität (Flora) [-]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Grundwasser / Bodenpassage										
Änderung des Versickerungsanteils ³ [%]	+518	-	-	1	-	+425	-	-	3	-
Änderung der Zinkkonzentration ⁴ [%]	-94	-	-	1	○	-86	-96	-66	3	○
Änderung der Chloridkonzentration ⁴ [%]	-	-	-	0	●	-	-	-	0	●
Oberflächengewässer										
Reduktion des Regenabflusses [%]	100	100	100	2	●	100 ⁵	100 ⁵	100 ⁵	2	●
Reduktion der Abflussspitze [%]	100	100	100	2	●	100 ⁵	100 ⁵	100 ⁵	2	●
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	681	-	-	1	●	-	-	-	0	●
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	-	-	-	0	●	-	-	-	0	●
Ressourcennutzung ⁶										
THG-Potenzial _{100 a} [kg CO ₂ -eq/(m ² ·a)]	0,07	-	-	1	○	0,14 ⁷	0,12 ⁷	0,15 ⁷	2	○
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m ² ·a)]	0,65	-	-	1	○	2,02 ⁷	1,83 ⁷	2,22 ⁷	2	○
Direkte Kosten										
Investitionen ⁸ [€/m ² ·a]	0,65	0,24	1,08	9	○	0,52 ⁹	0,15 ⁹	3,45 ⁹	13	○
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/m ² ·a]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				

Erläuterungen zur Tabelle:

- ¹ Kein Effekt.
- ² Einzelindikatoren: Komplexität, Kohärenz/Verständlichkeit, Lesbarkeit und Involution. Skala von 0 (niedrig) bis 5 (hoch).
- ³ bezieht sich auf Änderung ggü. Situation ohne Maßnahme, d.h. Straßenfläche inkl. Gehwegen mit 12% Versickerungsanteil; Berechnung: $(V_{\text{ohne Maßnahme}} - V_{\text{mit Maßnahme}}) / V_{\text{mit Maßnahme}}$. Ob Effekt als positiv/negativ wahrgenommen wird, hängt von lokalen Randbedingungen und Zielstellungen ab.
- ⁴ Median, Min und Max beziehen sich auf Vergleich zwischen Zufluss und Ablauf (Versickerungsanteil) der Maßnahme; Berechnung: $(C_{\text{Zufluss}} - C_{\text{Abfluss}}) / C_{\text{Zufluss}}$. Bewertung (+/-) impliziert Einhaltung des Verschlechterungsverbots.
- ⁵ gilt nur für Variante ohne Ableitung.
- ⁶ Lebenszyklusbewertung von Material- und Energieverbrauch; angenommene Nutzungsdauer: 40 Jahre; Flächenbezug über angeschlossene versiegelte Fläche.
- ⁷ Werte gelten für Rigolen. Für Rohrrigolen konnten keine Daten erhoben werden.
- ⁸ Investitionen pro m² angeschl. vers. Fläche. Angenommene Nutzungsdauer: 40 Jahre. Diskontierungszinssatz: 3 %.
- ⁹ Werte gelten für Rigolen. Die Investitionen für Rohrrigolen sind etwas geringer (Med: 0,22; Min: 0,15; Max: 0,65; n = 3).

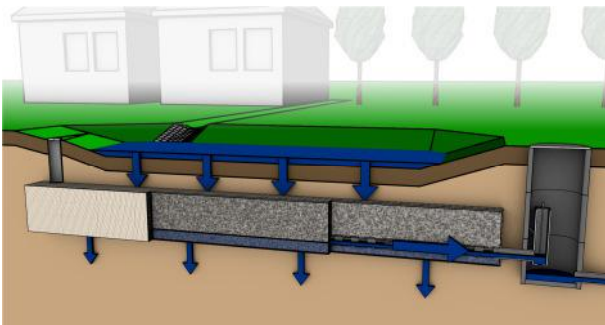
Bedeutung der verwendeten Symbole:

- | | | |
|--|--|---|
|  geringer positiver Effekt |  geringer negativer Effekt |  kein Effekt |
|  moderater positiver Effekt |  moderater negativer Effekt | |
|  hoher positiver Effekt |  hoher negativer Effekt | |

Steckbrief 8: kombinierte Versickerungssysteme

Kombinierte Versickerungssysteme: Mulden-Rigolen-System, Mulden-Rigolen-Tiefbeet, Baum-Rigolen	
Beschreibung	Sammlung von Niederschlagswasser von Dachflächen und Straßen zur Versickerung über kombinierte Systeme, z.B. Mulden mit unterhalb liegender Rigole (Mulden-Rigolen-System) oder Mulden-Rigolen-Tiefbeete
Anwendungsebene	Grundstück, Quartier
Primäre Ziele	Reduzierung der hydraulischen und stofflichen Belastungen von Kanalnetzen und Vorflutern, Anreicherung des Grundwassers, Verbesserung des Stadtklimas

Umsetzungsbeispiele und Systemskizze



Schema des Mulden-Rigolen-Systems mit gedrosselter Ableitung (Quelle: Sieker)



Mulden-Rigolen-Tiefbeet in Birkenstein, Brandenburg (Foto: Sieker)



Schema einer Baum-Rigole (Quelle: Sieker)

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Kombinierte Versickerungssysteme kommen vor allem dann zum Einsatz, wenn die Flächenverfügbarkeit und/oder das Versickerungspotenzial der Böden gering ist. Die Kombination verschiedener Maßnahmen erlaubt es, die Prozesse der Versickerung durch den Oberboden und die nachgeschaltete Zwischenspeicherung von Regenwasser in einer technischen Anlage nachzubilden. Kombinierte Systeme

zeichnen sich teilweise auch durch alternative Bepflanzungen aus (Sträucher, Bäume), die zu einer höheren Verdunstungsleistung der Anlage führen.

Beim *Mulden-Rigolen-System* bietet sowohl die oberirdische Mulde als auch die unterirdischen Rigole Speicherraum. In der Regel ermöglicht ein Notüberlauf von der Mulde in die Rigole die Entlastung des oberirdischen Muldenspeichers bei hydraulischer Spitzenlast. Am Ende des Dränrohres der Rigole sorgt ein Drosselorgan für eine gedrosselte Ableitung des nicht versickerten Regenwassers in die Kanalisation. Die Drosselspende wird gemäß der lokalen Gegebenheiten (z.B. natürliche Abflussspende des Vorfluters) festgelegt. Mulden-Rigolen-Systeme haben mit ca. 10% der angeschlossenen Fläche einen geringeren Platzbedarf als reine Flächen- oder Muldenversickerungen und werden typischerweise bei schlecht sickerfähigen Oberböden eingesetzt (k_f -Wert $< 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$, z.B. Lehmböden). In der Regel werden Versickerungsanteile von etwa 50% erreicht, während ca. 10% verdunsten und ca. 40% gedrosselt in den Kanal abgeleitet werden. Der Muldenkörper sorgt für eine weitgehende Reinigung des Niederschlagswassers. Nach unten gedichtete Ausführungen des Mulden-Rigolen-Systems ermöglichen den Einsatz bei kontaminierten Böden oder bei stärker verschmutzten Niederschlagsabflüssen, wobei der Niederschlagsabfluss gedrosselt fast vollständig in den Kanal abgeleitet wird.

Eine weitere Ausführung eines kombinierten Systems ist das *Mulden-Rigolen-Tiefbeet*. Es besteht aus bepflanzten Tiefbeeten mit belebter Bodenzone, integrierter Rigole, Dränrohr und einem Drosselablauf. Somit wird die Versickerungsfähigkeit des Bodens ausgenutzt, gleichfalls werden aber durch die gedrosselte Ableitung Vernässungsschäden verhindert sowie Abflussspitzen reduziert. Durch die Bepflanzung wird der Verdunstungsanteil gezielt erhöht. Den Tiefbeeten wird ein Absetzraum (z.B. normaler Straßenablauf) vorgeschaltet, um Feststoffe fernzuhalten. Mulden-Rigolen-Tiefbeete zeichnen sich im Vergleich zu Mulden-Rigolen-Systemen durch eine höhere Flächenbelastung aus, die bei ca. 4-5% der angeschlossenen Fläche liegt. Durch die Bauweise mit Betonrahmenelementen entfallen Bankett- und Böschungsbereiche. Mulden-Rigolen-Tiefbeete eignen sich daher besonders bei engen Platzverhältnissen, z.B. in Straßenräumen. Der Zulauf kann über oberflächige Zuläufe oder gefasst über Quelltöpfe erfolgen.

Bei der *Baum-Rigole*, einer Kombination aus Rigole und Baumpflanzung, wird durch die temporäre Speicherung von Wasser im System die Wasserverfügbarkeit für den Baum erhöht. Über den Bewuchs mit Baumvegetation wird der Verdunstungsanteil gegenüber anderen Systemen erhöht. Wesentlich für die Baum-Rigole ist das Bodensubstrat. Dieses muss eine gute hydraulische Leitfähigkeit besitzen, um die Entleerung der oberflächennahen Bodenschichten zu gewährleisten. Gleichzeitig muss es einen hohen Humusgehalt aufweisen, um die stoffliche Retentionswirkung zu gewährleisten. Für eine ausreichende Belüftung des Bodens muss ein hoher Anteil an Grobporen vorhanden sein. Zusätzlich sind technische Belüftungen wie bei normalen Baumstandorten vorzunehmen. Wie bei Mulden-Rigolen kann auch die Baum-Rigole über einen Drosselablauf entleert werden. Die Drosselspende richtet sich nach den örtlichen Gegebenheiten des Vorfluters. Die Integration der Bäume in die Versickerungssysteme ermöglicht es, auch in schmalen Straßenzügen sowohl Baumreihen als auch begleitende Mulden unterzubringen.

Hinweise zu Planung, Bemessung und rechtlichen Aspekten

Mulden-Rigolen-Systeme können mit einfachen Verfahren in Anlehnung an DWA A138 (2005) bzw. DWA A117 (2014) vordimensioniert werden. Der Aufbau eines Mulden-Rigolen-Systems beinhaltet folgende Bauteile:

- Mutterbodenschicht (30 cm) und Kiesschicht (5 cm) zwischen Mulde und Rigole,
- Rigole als mit Kies (Körnung 16/32) gefüllter Speicherkörper und Dränrohr oder Füllkörperrigole mit Kunststoffblöcken,
- Drosselschacht mit Anstau-/Drosselorgan am Ende des Dränrohres,
- Überlauf.

Bei der Planung ist zu beachten, dass Mulden und Rigolen gemäß der Randbedingungen und Vorgaben dimensioniert werden und nicht zwangsweise den gleichen Grundriss einnehmen müssen.

Auch *Mulden-Rigolen-Tiefbeete* werden nach dem vereinfachten Verfahren DWA-A 138 (2005) oder über Langzeitsimulationen dimensioniert. Der Aufbau eine Mulden-Rigolen-Tiefbeets beinhaltet folgende Bauteile:

- Mulden-Tiefbeet (Hartverschalung) mit humosen Oberboden (30 cm) und Vegetationsbedeckung (Kraut- und Strauchvegetation),
- Rigole als mit Kies (Körnung 16/32) gefüllter Speicherkörper und Dränrohr oder Füllkörperrigole mit Kunststoffblöcken,

- Drosselschacht mit Anstau-/Drosselorgan am Ende des Dränrohres,
- Überlauf,
- Ggf. Zulaufkonstruktion (Quelltopf).

Baum-Rigolen können nach einem vereinfachten Verfahren aufbauend auf der DWA-A 138 (2005) bemessen werden. Gleichzeitig sind die Ansprüche an Baumstandorte der FLL (2010, 2015) zu berücksichtigen. Dies betrifft vor allem das Bodensubstrat. Bei der Planung ist darauf zu achten, dass auch im Überstaufall ein ausreichendes Volumen des Wurzelraums ungesättigt ist.

Kenndaten zur Bemessung	
Parameter	Werte
Überstauhäufigkeit	Mulden-Rigolen-System: 0,2/a, wobei Teil Mulde: 1,0/a Mulden-Rigolen-Tiefbeet: 0,2/a, wobei Teil Mulde: 1,0/a Baum-Rigole: 0,2/a (Gesamtsystem)
Flächenbedarf	Oberflächenbedarf für Mulden-Rigolen-Systeme liegt bei ca. 10% der angeschlossenen, versiegelten Fläche. Oberflächenbedarf von Mulden-Rigolen-Tiefbeeten und Baum-Rigolen liegt bei ca. 5 % der angeschlossenen, versiegelten Fläche
Sonstige Anforderungen	Nur außerhalb von Wasserschutzgebieten erlaubnisfrei möglich (NWFriewV 2001)
Richtlinien und Leitfäden	DWA A138 (2005), DWA A117 (2014) FLL-Broschüre „Versickerung und Wasserrückhaltung“ (FLL 2005) FLL- Empfehlung für Baumpflanzungen (2010, 2015) Richtlinie für die Anlage von Straßen - Teil: Entwässerung (FGSV 2005)

Unterhaltung und Pflege

Für kombinierte Systeme mit einer gras- oder staudenbewachsenen Oberfläche (Mulden-Rigolen-Systeme und Mulden-Rigolen-Tiefbeete) verhält sich die Vegetationspflege entsprechend des sonst üblichen Aufwandes. Wichtig ist das Freihalten der Versickerungsfläche und des Einlaufbereiches von Laub, Sediment und ähnlichen Materialien. Bei Nachlassen der Versickerungsleistung sollte der Rasen vertikutiert werden. Bei Baum-Rigolen kommen baumpflegerische Maßnahmen zum Unterhaltungsaufwand dazu, welche dem optimalen Wuchs des Baums aber auch der Gewährleistung der Verkehrssicherheit dienen. Die Unterhaltung der Rigolen ist bei ausreichender Vorreinigung (Bodenpassage oder technische Anlage) weitgehend wartungsfrei. Eine Kontrolle der Schächte auf Verunreinigung/Verstopfung ebenso wie eine Entfernung der Schmutzstoffe aus dem System sollte in regelmäßigen Abständen (mind. 1 mal pro Jahr) erfolgen. Gegebenenfalls sind die Schächte zu reinigen und das Drainrohrsystem zu spülen. Vor diesem Hintergrund sollte bei Drainrohren ein Rohrdurchmesser von mindestens DN 150 eingehalten werden.

Maßnahmenwirkung

Die Bewertung der Maßnahmenwirkung erfolgte in KURAS auf Grundlage von Literaturstudien („n“ - Anzahl zugrundeliegender Datensätze). Zur Erhebung von Kostendaten wurden ergänzend Umfragen durchgeführt. In ausgewählten Fällen wurde zudem auf Simulationen zurückgegriffen (Stadtklima). Für die Klassifizierung (geringer / moderater / hoher Effekt) wurde der Wertebereich jedes Indikators in der Regel in drei gleich große Klassen aufgeteilt (siehe Matzinger et al., 2017). Alle Werte beziehen sich auf die Umsetzung der Maßnahme im Bestand. Die Bewertungstabelle ist auf der nachfolgenden Seite zu finden.

Kurzbewertung: Mulden-Rigolen-Systeme und Mulden-Rigolen-Tiefbeete erhöhen die Freiraumqualität, verbessern das Stadtklima und können die biologische Vielfalt erhöhen. Beide Maßnahmen führen zu einer hydraulischen und stofflichen Entlastung der Oberflächengewässer und einer Erhöhung des Versickerungs- und Verdunstungsanteils. Qualitative Daten zur Wirkung auf Grundwasser und Boden lagen nur in geringem Umfang vor. Für beide Maßnahmen kann dennoch von einem guten Rückhalt gegenüber Zink und keinem Rückhalt gegenüber Chlorid ausgegangen werden. In jedem Fall ist mit einem zusätzlichen Stoffeintrag ins Grundwasser zu rechnen. Der Ressourcenverbrauch liegt für beide Maßnahmen im mittleren Bereich. Die Investitionen sind für Mulden-Rigolen-Systeme gering, für Mulden-Rigolen-Tiefbeete liegen sie etwa fünfmal höher.

Die Bewertung für *Baum-Rigolen* konnte aufgrund der bisher wenigen Umsetzungsbeispiele nur für ausgewählte Bereiche (Stadtklima, Ressourcennutzung, z.T. auch Oberflächengewässer) und nur vorläufig vorgenommen werden. Eine besonders positive Wirkung wurde für das Stadtklima festgestellt. Durch die Schattenwirkung der Baumkronen kann je nach Standort eine deutliche Reduzierung des Hitzestresses am Tag erreicht werden (Median: -70 h/a, Min: -300 h/a, Max: 0 h/a). Die Anzahl an Tropennächten wird nur leicht verändert (Median: 0 d/a, Min: -1 d/a, Max: 1 d/a). Der Ressourcenverbrauch ist mit dem der Mulden-Rigolen-Tiefbeete vergleichbar (THG-Potenzial_{100 a}: 0,26 kg CO₂-eq/(m²·a), n = 1; Bedarf fossiler Energien: 2,25 MJ/(m²·a), n = 1). Bezüglich des Stoffrückhaltes aus Oberflächengewässern wurde bezüglich AFS ein sehr hoher Wirkungsgrad festgestellt (900 kg/(ha·a), n = 1). Allerdings lässt die geringe Anzahl an Datensätzen derzeit keine abschließende Bewertung der Effekte zu.

Referenzen und weiterführende Literatur

- BBodSchG (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG).
- DWA-A 138 (2005): Arbeitsblatt DWA-A 138 - Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- FGSV (2005): Richtlinien für die Anlage von Straßen - Teil: Entwässerung (RAS-Ew). Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen e.V.; Köln.
- FLL (2010, 2015): Empfehlungen für Baumpflanzungen – Teil 1 und 2. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau e.V.
- GrwV (2010): Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung - GrwV). DWA A117 (2006): Arbeitsblatt DWA-A 117 - Bemessung von Regenrückhalteräumen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- Herzer (2004): Einflüsse einer naturnahen Regenwasserbewirtschaftung auf den Städtebau – Räumliche, ökonomische und ökologische Aspekte, Fraunhofer IRB, Stuttgart.
- Matzinger et al. (2017): Multiple effects of measures for stormwater management in urban areas. *Urban Water Journal* (eingereicht).
- MLUR (2001): Leitfaden zur umweltverträglichen und kostengünstigen Regenwasserbewirtschaftung in Brandenburg, Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg.
- NWFreiV (2001): Berliner Verordnung über die Erlaubnisfreiheit für das schadloze Versickern von Niederschlagswasser (Niederschlagswasserfreistellungsverordnung), geändert im April 2016.

Effekte	Mulden-Rigolen-System					Mulden-Rigolen-Tiefbeet				
	Median	Min	Max	n	+/-	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene										
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				
Freiraumqualität										
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren ¹ [-]	2,3	1,8	3,1	3	🟢	2,5	2,3	2,7	3	🟢
Stadtklima										
Änderung Tropennächte ² [d/a]	0	-1	0	Sim.	🟡	0	-1	0	Sim.	🟡
Änderung Hitzestress (UTCI) ² [h/a]	-20	-80	0	Sim.	🟢	-20	-80	0	Sim.	🟢
Biodiversität										
α-Diversität (Flora) [-]	23,4 ³	1,3 ³	34 ³	27 ³	🟢	23,4 ³	1,3 ³	34 ³	27 ³	🟢
α-Diversität (Fauna) [-]	64,5 ³	-	-	1 ³	🟢	64,5 ³	-	-	1 ³	🟢
β-Diversität (Flora) [-]	2,8 ³	1,9 ³	5,1 ³	26 ³	🟢	2,8 ³	1,9 ³	5,1 ³	26 ³	🟢
Grundwasser / Bodenpassage										
Änderung des Versickerungsanteils ⁴ [%]	+200	-	-	2	-	+494			1	-
Änderung der Zinkkonzentration ⁵ [%]	-89	-100	-67	4	🔴	nicht quantifiziert				
Änderung der Chloridkonzentration ⁵ [%]	+140	-15	+245	4	🔴	nicht quantifiziert				
Oberflächengewässer										
Reduktion des Regenabflusses [%]	56	-	-	1	🟢	99	-	-	1	🟢
Reduktion der Abflussspitze [%]	nicht quantifiziert					100	-	-	1	🟢
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	578	452	704	2	🟢	790	-	-	1	🟢
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	2,3	-	-	1	🟢	3,9	-	-	1	🟢
Ressourcennutzung ⁶										
THG-Potenzial _{100a} [kg CO ₂ -eq/(m ² ·a)]	0,12	0,10	0,14	2	🔴	0,23	-	-	1	🔴
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m ² ·a)]	1,83	1,55	2,12	2	🔴	2,67	-	-	1	🔴
Direkte Kosten										
Investitionen ⁷ [€/(m ² ·a)]	0,30	0,15	1,19	3	🔴	1,51	1,08	2,41	3	🔴
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m ² ·a)]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				

Erläuterungen zur Tabelle:

- Einzelindikatoren: Komplexität, Kohärenz/Verständlichkeit, Lesbarkeit und Involution. Skala von 0 (niedrig) bis 5 (hoch).
- Effekt wurde durch Simulation in Modellgebieten auf 2 m über Grund für je eine rasterzellengroße Maßnahme (8 x 8 m) quantifiziert. Min und Max repräsentieren 5%- und 95%-Quantile über alle (~50000) Rasterzellen.
- Bewertung von Muldenversickerung übernommen.
- bezieht sich auf Änderung ggü. Situation ohne Maßnahme, d.h. Straßenfläche inkl. Gehwegen mit 12% Versickerungsanteil; Berechnung: $(V_{\text{ohne Maßnahme}} - V_{\text{mit Maßnahme}}) / V_{\text{mit Maßnahme}}$. Ob Effekt als positiv/negativ wahrgenommen wird, hängt von lokalen Randbedingungen und Zielstellungen ab.
- Median, Min und Max beziehen sich auf Vergleich zwischen Zufluss und Ablauf (Versickerungsanteil) der Maßnahme; Berechnung: $(C_{\text{Zufluss}} - C_{\text{Abfluss}}) / C_{\text{Zufluss}}$. Bewertung (+/-) impliziert Einhaltung des Verschlechterungsverbots.
- Lebenszyklusbewertung von Material- und Energieverbrauch; angenommene Nutzungsdauer: 40 Jahre; Flächenbezug über angeschlossene versiegelte Fläche.
- Investitionen pro m² angeschl. vers. Fläche; angenommene Nutzungsdauer: 40 Jahre; Diskontierungszinssatz: 3 %.

Bedeutung der verwendeten Symbole:

- | | | | | | |
|---|----------------------------|---|----------------------------|---|-------------|
| 🟡 | geringer positiver Effekt | 🔴 | geringer negativer Effekt | 🟡 | kein Effekt |
| 🟢 | moderater positiver Effekt | 🔴 | moderater negativer Effekt | | |
| 🟢 | hoher positiver Effekt | 🔴 | hoher negativer Effekt | | |

Steckbrief 9: Künstliche Wasserflächen

Künstliche Wasserflächen (Teiche oder wasserführende Gräben)	
Beschreibung	Sammlung und Aufbereitung des Niederschlagswassers von Dachflächen oder Straßen, Einleitung in offene Wasserflächen wie angestaute Teiche oder wasserführende Gräben
Anwendungsebene	Grundstück, Quartier
Primäre Ziele	Reduzierung der hydraulischen und stofflichen Belastungen von Kanalnetzen und Vorflutern, Erhöhung der biologischen Vielfalt und Freiraumqualität, Reduzierung des Hitzestresses am Tag durch Verdunstung

Umsetzungsbeispiele



Künstliches Gewässer zur Aufnahme des Regenwassers am Potsdamer Platz, Berlin (Foto: Andreas Süß)



Wasserführender Graben im Stadtquartier Arkadien, Winnenden (Foto: Ramboll Studio Dreiseitl)

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Künstliche Teiche und Gräben dienen dem Rückhalt und der Drosselung des Niederschlagswassers und bieten die Möglichkeit, aufgefangenes Niederschlagswasser erlebbar zu machen. Das Niederschlagswasser kann beispielsweise von Dach- oder Gehwegflächen gesammelt und unterirdisch oder direkt über offene Gräben dem Gewässer zugeführt werden. Durch eine Reinigung des zufließenden Regenwassers können der Algenaufwuch reduziert und die mikrobiologische Qualität verbessert werden. Für die Vorreinigung des Zulaufs können unter anderem abgetrennte Sedimentationsbereiche oder biologische Reinigungsbiotope eingesetzt werden. Bei Teichen wird das Wasser oft zusätzlich umgewälzt und gereinigt. Zur weitergehenden Reinigung kommen je nach Anforderungen naturnahe Verfahren (z.B. Schilfpassage, bewachsene Bodenfilter) oder technische Reinigungssysteme (z.B. Mikrosieb, Membranfiltration, UV-Desinfektion) zur Anwendung.

Durch die Verdunstung unterliegen künstliche, niederschlagswassergespeiste Teiche Schwankungen des Wasserstandes, der 30 cm nicht überschreiten sollte. Dies kann durch zusätzlichen Speicher (oft unterirdisch, z.B. Zisternen) ausgeglichen werden. Um bei intensiven und/oder langandauernden Regenfällen Überflutungen zu vermeiden, sollte je nach Auslegung ein Notüberlauf vorgesehen werden. Der Notüberlauf kann in den Kanal oder ein Oberflächengewässer münden. Alternativ kann auch auf die herkömmlichen Anlagen zur Versickerung zurück gegriffen werden. Zur gezielten Ableitung von nährstoffreichem Tiefenwasser kann der Überlauf auch als Steigrohr ausgeführt werden.

Hinweise zu Planung, Bemessung und rechtlichen Aspekten

Kenndaten zur Bemessung	
Parameter	Werte
Bemessung	keine einheitlichen Vorgaben
Flächenbedarf	In der Regel 5 - 20% des Einzugsgebiets
Richtlinien und Leitfäden	DWA A117 (2014) FLL-Gewässerabdichtungsrichtlinie (2005) FLL-Richtlinie für Freibäder mit biologischer Wasseraufbereitung (2011)

Im Allgemeinen sollte vermieden werden, Niederschlagsabfluss von gedüngten oder biozidbelasteten Gründächern an künstliche Wasserflächen anzuschließen. Bei der Einleitung stark verschmutzter Straßenabflüsse ist eine entsprechende Reinigung vorzusehen.

Bei künstlichen Gewässern ist darauf zu achten, dass der Naturschutz gewährleistet ist. Gegebenenfalls sind Amphibienleitern anzubringen, wenn der Teich keine Böschungen aufweist.

Bei einer aktiven Nutzung des Gewässers, zum Beispiel beim Betrieb von Wasserspielen, kann es vor allem in den heißen Monaten zu einem erhöhten Verbrauch an Regenwasser kommen. Eine zusätzliche Nachspeisung von Trinkwasser ist dann gegebenenfalls erforderlich, um den geplanten Betrieb aufrecht zu erhalten.

Wenn mit Regenwasser gespeiste Wasserflächen spielerisch oder sogar zum Baden genutzt werden sollen, muss sichergestellt werden, dass die hygienischen Anforderungen erfüllt werden. Hierzu sollte in jedem Fall eine Abstimmung mit dem Gesundheitsamt erfolgen. Bei der Planung der Böschungsneigungen und Wassertiefen im Flachwasser- und Uferbereich sowie der Kennzeichnung der Wassertiefen und Anbringung eventueller Rettungsmittel ist generell der Technische Überwachungsverein (TÜV) zu konsultieren. Darüber hinaus ist es wichtig, die Verwendung von Regenwasser entsprechend zu kennzeichnen und gegebenenfalls mit dem Hinweis „Kein Trinkwasser“ zu markieren.

Auch wenn künstliche Wasserflächen primär zur Regenwasserbewirtschaftung geschaffen wurden, so werden sie ab einer bestimmten Größe selbst als Gewässer eingestuft und unterliegen damit den Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU 2000). Für Teiche gilt dies ab einer Wasserfläche von 0,5 km² (Mindestgröße für Standgewässer), für wasserführende Gräben ab einer Einzugsgebietsgröße von 10 km² (Mindestgröße für Fließgewässer). In diesen Fällen ist ein besonderes Augenmerk auf die Einhaltung des guten ökologischen Potenzials und guten chemischen Zustands (für künstliche Gewässer), ggf. durch geeignete Reinigungssysteme, zu legen.

An die Schaffung künstlicher Wasserflächen können sich wasserrechtliche Gewässerbenutzungen des Grundwassers oder eines Oberflächengewässers anschließen, die besondere wasserbehördliche Zulassungen erfordern.

Unterhaltung und Pflege

Der Pflegeaufwand für künstliche Wasserflächen variiert in Abhängigkeit von der Nutzung des Gewässers und sollte vorab abgestimmt werden. Wenn beispielsweise besondere Anforderungen an die Sichttiefe des Gewässers gestellt werden (z.B. bei öffentlichen, repräsentativen Wasserflächen), kann das regelmäßige Abfischen von Biomasse erforderlich sein. Zu den regelmäßig durchzuführenden Reinigungsmaßnahmen zählen die Kontrolle der Zu- und Abläufe, die Wartung der technischen Ausstattung, z.B. der Aufbereitungsanlagen, sowie die Pflege der umliegenden Vegetation.

Maßnahmenwirkung

Die Bewertung der Maßnahmenwirkung erfolgte in KURAS auf Grundlage von Literaturstudien und eigenen Messungen („n“ - Anzahl zugrundeliegender Datensätze). Zur Erhebung von Kostendaten wurden ergänzend Umfragen durchgeführt. In ausgewählten Fällen wurde zudem auf Simulationen zurückgegriffen (Stadtklima). Für die Klassifizierung (geringer / moderater / hoher Effekt) wurde der Wertebereich jedes Indikators in der Regel in drei gleich große Klassen aufgeteilt (siehe Matzinger et al., 2017). Alle Werte beziehen sich auf die Umsetzung der Maßnahme im Bestand. Die Bewertungstabelle ist auf der nachfolgenden Seite zu finden.

Kurzbewertung: Künstliche Wasserflächen sind eine wirkungsvolle Maßnahme zur Reduktion von Hitzestress am Tag. Durch Wärmeabgabe in der Nacht, vor allem nach mehreren heißen Tagen, können sie aber gleichzeitig die Anzahl der Tropennächte erhöhen und sind entsprechend für Wohngebiete weniger geeignet. Als gestalterisches Landschaftselement können sie die Freiraumqualität und die biologische Vielfalt merklich erhöhen. Durch geeignete Ufergestaltung oder Besatz kann die biologische Vielfalt gezielt gefördert werden. Wenn die Wasserflächen als dauerhafter Rückhalteraum (ohne Abfluss) zur Verfügung stehen, können sie die Oberflächengewässer hydraulisch und stofflich erheblich entlasten. Da Teiche und wasserführende Gräben nach unten abgedichtet sind, bleibt die Grundwassermenge und -qualität unbeeinflusst, wenn keine Versickerungszone im oberen Bereich des Teiches vorhanden ist. Aufgrund des Bodenaushubs verursachen Teiche eine erhöhte Ressourcennutzung.

Referenzen und weiterführende Literatur

- Dreiseitl, H. & Grau, D. (2009): Recent Waterscapes - Planning, building and designing with water. Birkhäuser
- DWA-A 117 (2013): Arbeitsblatt DWA-A 117: Bemessung von Regenrückhalteräumen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- EU (2000): Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EC, European Parliament and Council, 23/10/2000.
- FLL (2005): Empfehlungen für Planung, Bau und Instandhaltung von Abdichtungssystemen für Gewässer im Garten-, Landschafts und Sportplatzbau. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau e.V., Bonn.
- FLL(2011): Richtlinien für Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb von Freibädern mit biologischer Wasseraufbereitung (Schwimm- und Badeteiche). Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau e.V., Bonn.
- Matzinger et al. (2017): Multiple effects of measures for stormwater management in urban areas. Urban Water Journal (eingereicht).

Effekte	Teiche					Wasserführende Gräben				
	Median	Min	Max	n	+/-	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene										
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				
Freiraumqualität										
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren ¹ [-]	2,1	1,9	2,8	3	🟢	nicht quantifiziert				
Stadtklima										
Änderung Tropennächte ² [d/a]	1	-1	3	Sim.	🔴	1	-1	3	Sim.	🔴
Änderung Hitzestress (UTCI) ² [h/a]	-70	-300	0	Sim.	🟢	-70	-300	0	Sim.	🟢
Biodiversität										
α-Diversität (Flora) [-]	7,1	0	45	30	🟢	7,1 ³	0 ³	45 ³	30 ³	🟢
α-Diversität (Fauna) [-]	34,1	2	82	55	🟢	34,1 ³	2 ³	82 ³	55 ³	🟢
β-Diversität (Flora) [-]	11,4	0	60	49	🟢	11,4 ³	0 ³	60 ³	49 ³	🟢
Grundwasser / Bodenpassage										
Änderung des Versickerungsanteils [%]	-	-	-	0 ⁴	⊖	-	-	-	0 ⁴	⊖
Änderung der Zinkkonzentration [%]	-	-	-	0 ⁴	⊖	-	-	-	0 ⁴	⊖
Änderung der Chloridkonzentration [%]	-	-	-	0 ⁴	⊖	-	-	-	0 ⁴	⊖
Oberflächengewässer										
Reduktion des Regenabflusses [%]	100	100	100	2	🟢	nicht quantifiziert				
Reduktion der Abflussspitze [%]	100	100	100	2	🟢	nicht quantifiziert				
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	802	-	-	1	🟢	nicht quantifiziert				
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	4,0	-	-	1	🟢	nicht quantifiziert				
Ressourcennutzung ⁵										
THG-Potenzial _{100 a} [kg CO ₂ -eq/(m ² ·a)]	0,3	-	-	1	🔴	nicht quantifiziert				
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m ² ·a)]	4,11	-	-	1	🔴	nicht quantifiziert				
Direkte Kosten										
Investitionen [€/(m ² ·a)]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m ² ·a)]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				

Erläuterungen zur Tabelle:

- ¹ Einzelindikatoren: Komplexität, Kohärenz/Verständlichkeit, Lesbarkeit und Involution. Skala von 0 (niedrig) bis 5 (hoch).
- ² Effekt wurde durch Simulation in Modellgebieten auf 2 m über der Wasseroberfläche für je eine rasterzellengroße Maßnahme (8 x 8 m) quantifiziert. Min und Max repräsentieren 5%- und 95%-Quantile über alle (~50000) Rasterzellen, ausgenommen den bereits vorhandenen Wasserflächen.
- ³ Bewertung von Teichen übernommen.
- ⁴ per se kein Effekt, da keine Versickerung. Annahme: vollständige Abdichtung des Teiches oder Grabens nach unten.
- ⁵ Lebenszyklusbewertung von Material- und Energieverbrauch, inkl. Rezirkulationspumpen; angenommene Nutzungsdauer: 40 Jahre; Flächenbezug über angeschlossene versiegelte Fläche.

Bedeutung der verwendeten Symbole:

- | | | |
|----------------------------|----------------------------|-------------|
| geringer positiver Effekt | geringer negativer Effekt | kein Effekt |
| moderater positiver Effekt | moderater negativer Effekt | |
| hoher positiver Effekt | hoher negativer Effekt | |

Steckbrief 10: Dezentrale Regenwasserbehandlung

Dezentrale Regenwasserbehandlung	
Beschreibung	Reinigung des Regenwassers über dezentrale Systeme, z.B. Filter am Straßenablauf oder Filterrinnen
Anwendungsebene	Grundstück, Quartiere
Primäre Ziele	Stoffliche Entlastung der Gewässer (insbesondere im Trennsystem)

Umsetzungsbeispiele



Verschiedene Systeme der dezentralen Regenwasserbehandlung an der Clayallee Berlin (Fotos: KWB, Sieker)

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Durch Niederschlagswasser, insbesondere von Straßen- und Gehwegsflächen, können erhebliche Stofffrachten in die Gewässer eingetragen werden. Bei der dezentralen Reinigung des Niederschlagsabflusses am Straßenablauf wird ein Teil der partikulären und der daran adsorbierten Stoffe zurückgehalten. Dabei kommen meist physikalische Verfahren wie Sedimentation oder Filtration zum Einsatz. Einige Systeme enthalten auch eine Adsorptionsstufe zur Entfernung von gelöstem Phosphor und gelösten Schwermetallen. Der Aufbau der Systeme besteht prinzipiell aus einer Grobreinigung (z.B. Grobschmutzeimer oder Schlammfang) und/oder einer Sedimentationsstufe. Häufig ist ein Filter mit carbonhaltigem Substrat nachgeschaltet. Der Ablauf der Sedimentationsstufe bzw. des Filtrats geht in den Kanal. Falls es zu Kolmationserscheinungen oder Verstopfungen kommt, kann das Wasser über einen internen Überlauf direkt in den Kanal abgeleitet werden. Im Falle einer nachgeschalteten Versickerung ist der interne Überlauf nach DIBt (2015) nicht zugelassen.

Die verschiedenen physikalischen Verfahren schlagen sich in einer Vielzahl von Bauweisen nieder. Neben eigens angepassten Schachtsystemen kommen diverse Einsätze und Filterkartuschen zur Anwendung. Darüber hinaus gibt es Anlagen zur Nachrüstung und zum Ersatz des vorhandenen Straßenablaufes. Rinnensysteme können zudem eine Retention des Niederschlagswassers nach Filtration über ein technisches Substrat bewirken. Die dezentrale Regenwasserbehandlung ist besonders in Trennsystemen sinnvoll, in denen der Regenabfluss ohne weitere Behandlung ins Gewässer eingeleitet wird und eine zentrale Behandlung nicht, oder nur mit großem Aufwand möglich ist.

Hinweise zu Planung, Bemessung und rechtlichen Aspekten

Kenndaten zur Bemessung	
Parameter	Werte
Hydraulische Bemessung	Bemessung i.d.R. auf eine kritische Regenspende, z.B. 15 L/(s,ha)
Flächenbedarf	Oberflächenbedarf in der Regel gleich dem Gitterrost eines Straßenablaufs
Richtlinien und Leitfäden	DWA-M 153 (2007), Bauartzulassung nach DiBt (2015), LANUV (2010), Richtlinie für die Anlage von Straßen - Teil: Entwässerung (FGSV 2005)

Es gibt keine einheitlichen Bemessungsvorgaben für Anlagen der dezentralen Regenwasserbehandlung.

Unterhaltung und Pflege

Neben der regelmäßigen Sichtkontrolle ist die Reinigung von Grobschmutzweimer und Schlammfang mindestens 2 mal jährlich und, falls vorhanden, der Austausch von Filtermaterialien mindestens 1 mal jährlich vorzunehmen. Durch regelmäßige Straßenreinigung können die Einträge an organischem Material (Laub, Blüten) und damit der Wartungsaufwand reduziert werden. Die Reinigungsintervalle sind den örtlichen Gegebenheiten anzupassen.

Maßnahmenwirkung

Die Bewertung der Maßnahmenwirkung erfolgte in KURAS auf Grundlage von Literaturstudien („n“ - Anzahl zugrundeliegender Datensätze). Zur Erhebung von Kostendaten wurden ergänzend Umfragen durchgeführt. Für die Klassifizierung (geringer / moderater / hoher Effekt) wurde der Wertebereich jedes Indikators in der Regel in drei gleich große Klassen aufgeteilt (siehe Matzinger et al., 2017). Alle Werte beziehen sich auf die Umsetzung der Maßnahme im Bestand. Die Bewertungstabelle ist auf der nachfolgenden Seite zu finden.

Kurzbewertung: Systeme der dezentralen Regenwasserbehandlung bieten einen Stoffrückhalt insbesondere für abfiltrierbare Stoffe, der je nach System und Verschmutzungsgrad der angeschlossenen Fläche stark schwanken kann (Faktor 20). Bis auf wenige Ausnahmen (Retentionsfiltersubstratrinnen) bleibt die Hydraulik des Regenabflusses unbeeinflusst. Der Ressourcenverbrauch und die Kosten sind vergleichsweise gering. Für die anderen Bereiche (Nutzen auf Gebäudeebene, Freiraumqualität, Stadtklima, Biodiversität und Grundwasser / Bodenpassage) sind keine Effekte zu erwarten.

Referenzen und weiterführende Literatur

- Barjenbruch, M., Heinzmann, B., Kober, P., Post, M., Remy, C., Rouault, P., Sommer, H., Sonnenberg, H., Weiß, B. (2016): Dezentrale Reinigung von Straßenabflüssen, Projekt im Berliner Umweltentlastungsprogramm UEP II/2, Abschlussbericht.
- DiBt (2015): Zulassungsgrundsätze für Niederschlagswasserbehandlungsanlagen. Teil 1: Anlagen zum Anschluss von Kfz-Verkehrsflächen bis 2.000 m² und Behandlung des Abwassers zur anschließenden Versickerung in Boden und Grundwasser. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin.
- DWA-M 153 (2007): Arbeitsblatt DWA-M 153 – Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- Estupinan, F., Post, M., Sommer, H. (2016): Dezentrale Behandlung von Straßenabflüssen, Übersicht vorhandener Anlagen, 4. Auflage, Stand 5/2016.
- FGSV (2005): Richtlinien für die Anlage von Straßen - Teil: Entwässerung (RAS-Ew). Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen e.V.; Köln.
- LANUV (2010): Dezentrale Niederschlagswassertrennung – Umsetzung des Trennerlasses, Landesamt für Natur-, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.
- Matzinger et al. (2017): Multiple effects of measures for stormwater management in urban areas. Urban Water Journal (eingereicht).

Effekte	Dezentrale Regenwasserbehandlung				
	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene					
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%]	-	-	-	0 ¹	○
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	-	-	-	0 ¹	○
Freiraumqualität					
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren ² [-]	-	-	-	0 ¹	○
Stadtklima					
Änderung Tropennächte ² [d/a]	-	-	-	0 ¹	○
Änderung Hitzestress (UTCI) ² [h/a]	-	-	-	0 ¹	○
Biodiversität					
α-Diversität (Flora) [-]	-	-	-	0 ¹	○
α-Diversität (Fauna) [-]	-	-	-	0 ¹	○
β-Diversität (Flora) [-]	-	-	-	0 ¹	○
Grundwasser / Bodenpassage					
Änderung des Versickerungsanteils [%]	-	-	-	0 ¹	○
Änderung der Zinkkonzentration [%]	-	-	-	0 ¹	○
Änderung der Chloridkonzentration [%]	-	-	-	0 ¹	○
Oberflächengewässer					
Reduktion des Regenabflusses [%]	0	0	0	35	○
Reduktion der Abflussspitze [%]	0	0	33	35	○
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	467	60	1215	27	●
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	1,5	-	-	1	●
Ressourcennutzung³					
THG-Potenzial _{100 a} [kg CO ₂ -eq/(m ² ·a)]	0,04	0,03	0,05	2	○
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m ² ·a)]	0,5	0,40	0,59	2	○
Direkte Kosten⁴					
Investitionen [€/(m ² ·a)]	0,23	0,01	1,69	25	○
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m ² ·a)]	0,44	0,21	1,18	7	○

Erläuterungen zur Tabelle:

¹ Kein Effekt.

² Einzelindikatoren: Komplexität, Kohärenz/Verständlichkeit, Lesbarkeit und Involition. Skala von 0 (niedrig) bis 5 (hoch).

³ Lebenszyklusbewertung von Material- und Energieverbrauch; angenommene Nutzungsdauer: 20 Jahre; Flächenbezug über angeschlossene versiegelte Fläche.

⁴ Flächenbezug über angeschlossene versiegelte Fläche; angenommene Nutzungsdauer: 20 Jahre; Diskontierungszinssatz: 3 %.

Bedeutung der verwendeten Symbole:

- | | | |
|------------------------------|------------------------------|---------------|
| ○ geringer positiver Effekt | ○ geringer negativer Effekt | ○ kein Effekt |
| ● moderater positiver Effekt | ● moderater negativer Effekt | |
| ● hoher positiver Effekt | ● hoher negativer Effekt | |

Steckbrief 11: Regenklärbecken und Schrägkläreranlagen

Regenklärbecken und Schrägkläreranlagen	
Beschreibung	Reinigung des Regenwassers in zentral angeordneten Becken, in der Regel durch Sedimentation
Anwendungsebene	Quartier, Kanaleinzugsgebiet
Primäre Ziele	Stoffliche Entlastung der Gewässer

Umsetzungsbeispiele und Systemskizze



Regenklärbecken Schlierseestrasse, Berlin-Köpenick
(Foto: BWB)

Schrägkläreranlage (Lamellenabscheider) am Fennsee
(Foto: BWB)

Schema eines Regenklärbeckens (BWB)

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Durch die Ableitung von Niederschlagswasser, insbesondere von Straßen- und Gehwegsflächen, können erhebliche Stofffrachten in die Gewässer eingetragen werden. Zur Reinigung des Niederschlagsabfluss im Trennsystem können zentrale Systeme nach dem Sedimentationsprinzip (Regenklärbecken und Schrägkläreranlagen) eingesetzt werden.

Regenklärbecken (RKB) können in geschlossener und in offener Bauweise z. B. als naturnahes Erdbecken ausgeführt werden. In Berlin wurden bisher nur Anlagen in geschlossener Bauweise errichtet. Im Allgemeinen werden Regenklärbecken nach ihrer Betriebsweise in Anlagen im Dauerstau (RKBmD) und ohne Dauerstau (RKBoD) unterschieden. Anlagen im Dauerstau sind ständig mit Wasser gefüllt, d.h. bei jedem neuen Regenereignis wird das Volumen des vorangegangenen Regenereignisses aus dem Becken verdrängt. Die Sedimente werden während der Reinigungsintervalle abgezogen und entsorgt. In der Regel erfolgt dies ein- bis zweimal pro Jahr. Anlagen ohne Dauerstau werden nach jedem Einstau vollständig entleert. Die Entleerung des oberen Speichervolumens kann dabei optional direkt in das Gewässer oder in den Schmutzwasserkanal erfolgen. Das untere Speichervolumen mit den abgesetzten Sedimenten wird in der Regel in den Schmutzwasserkanal entleert und anschließend zur Kläranlage gepumpt.

Eine Sonderform des Regenklärbeckens stellen sogenannte *Schrägläreranlagen* (z.B. Lamellenfilter) dar, bei denen der Absetzvorgang durch Einbauten wie Lamellen verbessert und gleichzeitig der Raumbedarf minimiert wird. Der Sedimentationsprozess aller Beckentypen benötigt eindeutig definierte Strömungsverhältnisse im Sedimentationsraum. Aus diesem Grund wird der Zufluss über ein Trennbauwerk (Beckenüberlauf) begrenzt.

Hinweise zu Planung, Bemessung und rechtlichen Aspekten

Kenndaten zur Bemessung	
Parameter	Werte
Hydraulische Bemessung	Regenklärbecken, Schrägläreranlagen: Zuflussbegrenzung auf 15 l/(s,ha) Beckenüberlauf: Bemessung entsprechend DWA-A 118 (2006)
Flächenbedarf	ca. 0,2 % der angeschlossenen versiegelten Fläche (Schrägläreranlagen als Sonderform etwas weniger)
Richtlinien und Leitfäden	DWA-A 166 (2013), DWA-M 176 (2013)

Bemessungskriterium für den Sedimentationsprozess ist die Oberflächenbeschickung q_a , die bei einer kritischen Regenspende von 15 l/(s,ha) ≤ 10 m/h betragen soll. Des Weiteren sind bei der konstruktiven Gestaltung Angaben zur Geometrie entsprechend des Arbeitsblattes DWA-A 166 (2013) zu berücksichtigen.

Bei Anlagen mit Dauerstau besteht die Gefahr, dass abgesetzte Schmutzstoffe mit dem nachfolgenden Regenereignis wieder ausgespült werden. Dies ist durch entsprechende konstruktive Gestaltung (und regelmäßige Sedimententnahme, siehe unten) zu verhindern. In geschlossenen Becken im Dauerstau verschlechtert sich während der Trockenphasen zudem die Qualität des zurückgehaltenen Wassers (Absenkung der Sauerstoffkonzentration durch organischen Abbau, Phosphorrücklösung). Aus diesem Grund wird dieser Anlagentyp in Berlin nicht mehr gebaut.

Unterhaltung und Pflege

Damit die abgesetzten Schmutzstoffe mit dem nachfolgenden Regenereignis nicht wieder ausgespült werden, ist der Sedimentationsraum bei Anlagen mit Dauerstau in regelmäßigen Abständen (in der Regel ein- bis zweimal pro Jahr) zu beräumen. Alle Anlagenanteile sind im jährlichen Zyklus auf ihre Funktionalität zu überprüfen.

Maßnahmenwirkung

Die Bewertung der Maßnahmenwirkung erfolgte in KURAS auf Grundlage von Literaturstudien („n“ - Anzahl zugrundeliegender Datensätze). Zur Erhebung von Kostendaten wurden ergänzend Umfragen durchgeführt. Für die Klassifizierung (geringer / moderater / hoher Effekt) wurde der Wertebereich jedes Indikators in der Regel in drei gleich große Klassen aufgeteilt (siehe Matzinger et al., 2017). Alle Werte beziehen sich auf die Umsetzung der Maßnahme im Bestand. Die Bewertungstabelle ist auf der nachfolgenden Seite zu finden.

Kurzbewertung: Regenklärbecken bieten einen moderaten Stoffrückhalt für Partikel und daran adsorbierte Stoffe (mittlerer Wirkungsgrad für AFS: 50%). Die Abflussspitze wird nur bei Becken ohne Dauerstau (Entleerung nach jedem Regenereignis) reduziert, die unter den untersuchten Anlagen nicht vorkamen. Die Abflusskomponente der Wasserbilanz wird aufgrund der vollständigen Ableitung ins Gewässer oder den Schmutzkanal nicht beeinflusst. Der spezifische Ressourcenverbrauch sowie Investitionen, Betriebs- und Instandhaltungskosten sind aufgrund der großen angeschlossenen Fläche vergleichsweise niedrig. Unter der Annahme einer geschlossenen Bauweise und einer Abdichtung nach unten sind keine Effekte auf die biologische Vielfalt, das Stadtklima, die Freiraumqualität oder das Grundwasser zu erwarten.

Schrägkläreranlagen als Sonderform der Regenklärbeckens bieten einen leicht verbesserten Stoffrückhalt (Wirkungsgrad für AFS: 69%). Der Ressourcenverbrauch ist aufgrund der kompakten Bauweise geringer als bei Regenklärbecken.

Referenzen und weiterführende Literatur

- DWA-A 118 (2006): Arbeitsblatt DWA-A 118: Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- DWA-A 166 (2013): Arbeitsblatt DWA-A 166: Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung – Konstruktive Gestaltung und Ausrüstung, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- DWA M-176 (2013): Merkblatt DWA-M 176: Hinweise zur konstruktiven Gestaltung und Ausrüstung von Bauwerken der zentralen Regenwasserbehandlung, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- Matzinger et al. (2017): Multiple effects of measures for stormwater management in urban areas. Urban Water Journal (eingereicht).

Effekte	Regenklärbecken (geschlossene Bauweise)					Schrägläreranlagen				
	Median	Min	Max	n	+/-	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene										
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Freiraumqualität										
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren ² [-]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Stadtklima										
Änderung Tropennächte [d/a]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Änderung Hitzeindex (UTCI) [h/a]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Biodiversität										
α-Diversität (Flora) [-]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
α-Diversität (Fauna) [-]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
β-Diversität (Flora) [-]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Grundwasser / Bodenpassage										
Änderung des Versickerungsanteils [%]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Änderung der Zinkkonzentration [%]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Änderung der Chloridkonzentration [%]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Oberflächengewässer										
Reduktion des Regenabflusses [%]	0	0	0	13	○	0	-	-	1	○
Reduktion der Abflussspitze [%]	0 ³	0	0	4	○	0 ³	-	-	1	○
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	333	15	732	23	●	548	360	717	4	●
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	1,4	0,1	5,5	6	●	2,0	1,5	2,2	3	●
Ressourcennutzung ⁴										
THG-Potenzial _{100 a} [kg CO ₂ -eq/(m ² ·a)]	0,06	0,04	0,08	2	○	0,02 ⁵	-	-	1	○
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m ² ·a)]	0,42	0,30	0,55	2	○	0,14 ⁵	-	-	1	○
Direkte Kosten ⁶										
Investitionen [€/(m ² ·a)]	0,42	0,05	1,02	9	○	nicht quantifiziert				
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m ² ·a)]	0,08	0,03	0,15	6	○	nicht quantifiziert				
Erläuterungen zur Tabelle:										
¹ Kein Effekt.										
² Einzelindikatoren: Komplexität, Kohärenz/Verständlichkeit, Lesbarkeit und Involition. Skala von 0 (niedrig) bis 5 (hoch).										
³ Bei Anlagen ohne Dauerstau ist eine Reduktion der Abflussspitze prinzipiell möglich, konnte aber aufgrund fehlender Daten nicht quantifiziert werden.										
⁴ Lebenszyklusbewertung von Material- und Energieverbrauch; angenommene Nutzungsdauer: 60 Jahre; Flächenbezug über angeschlossene versiegelte Fläche.										
⁵ bezieht sich auf Neubau eines Schräglärers in kompakter Bauweise, nicht auf Umbau eines bestehenden Regenklärbeckens.										
⁶ Flächenbezug über angeschlossene versiegelte Fläche; angenommene Nutzungsdauer: 60 Jahre; Diskontierungszinssatz: 3 %.										
Bedeutung der verwendeten Symbole:										
○ geringer positiver Effekt			○ geringer negativer Effekt			○ kein Effekt				
● moderater positiver Effekt			● moderater negativer Effekt							
● hoher positiver Effekt			● hoher negativer Effekt							

Steckbrief 12: Retentionsbodenfilter

Retentionsbodenfilter	
Beschreibung	Reinigung des Regenwassers und Drosselung des Regenabflusses in mit Schilf bepflanzten Bodenfiltern durch Filtration, Adsorption und biologischen Abbau
Anwendungsebene	Quartier, Kanaleinzugsgebiet
Primäre Ziele	Stoffliche und hydraulische Entlastung der Gewässer

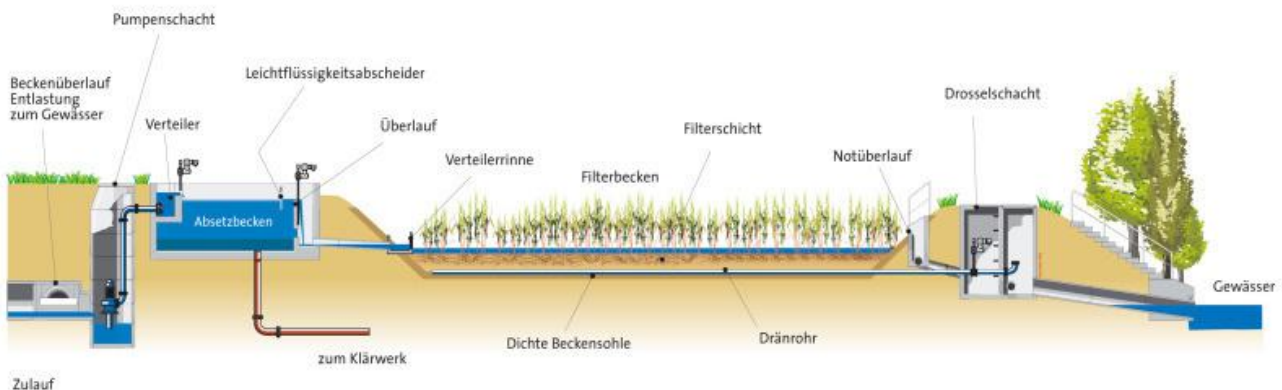
Umsetzungsbeispiele und Systemskizze



Retentionsbodenfilter Halensee (Foto: Andreas Süß)



Retentionsbodenfilter Adlershof (Foto: Andreas Süß)



Schema eines Retentionsbodenfilters (BWB)

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Retentionsbodenfilter (RBF) werden zur weitergehenden Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem sowie für die Straßenentwässerung eingesetzt. Retentionsbodenfilter werden in der Regel zweistufig, bestehend aus einer Vorstufe (Absetzbecken) und einem gegen den Untergrund abgedichteten, gedrosselt betriebenen, vertikal durchstömten und mit Schilf bepflanzten Retentionsbodenfilter, ausgeführt. Durch ein Dränagesystem wird das Wasser dem Ablaufbauwerk zugeleitet.

Primärer Reinigungsprozess ist die Filtration, die einen nahezu vollständigen Rückhalt von Feststoffen und daran gebundenen Schadstoffen an der Filteroberfläche gewährleistet. Der sich im Filter und den abgeschiedenen Sedimenten bildende Biofilm bewirkt, dass gelöste Abwasserinhaltsstoffe mit hohem Wirkungsgrad durch Sorptions- und Umlagerungsprozesse zurückgehalten und teilweise eliminiert werden. Als Filtersubstrate kommen üblicherweise Sande mit geringem Kiesanteil zum Einsatz. Durch die Verwendung spezieller Filtersubstrate lässt sich die Keim-, Schwermetall- und Phosphorelimination (z.B. durch Beimischung von Eisenhydroxid) zusätzlich verbessern.

Hinweise zu Planung, Bemessung und rechtlichen Aspekten

Kenndaten zur Bemessung	
Parameter	Werte
Hydraulische Bemessung	Überstauhäufigkeit des Filters: $n = 0,1/a$ (bei Vollstrombehandlung); Vorentlastung über Trennbauwerk im Zulauf der Vorstufe Die Drosselabflussspende des Filters wird nach dem Behandlungsziel gewählt und liegt typischerweise zwischen 0,01 und 0,05 L/(s,m ² Filteroberfläche) (MUNLV 2015)
Flächenbedarf	ca. 2 % der angeschlossenen versiegelten Fläche
Richtlinien und Leitfäden	DWA-M 178 (2005), DWA-A 178 (in Bearbeitung), DWA-A 118 (2006), DWA-A 117 (2013)

Retentionsbodenfilter werden üblicherweise iterativ über Langzeitsimulationen dimensioniert. Die Feststoffbelastung des Filters sollte nicht über 7 kg AFS₆₃/(m²,a) liegen. Zudem ist eine mittlere Beschickungshäufigkeit $\geq 10/a$ und eine einjährige Einstaudauer ≤ 48 h einzuhalten (MUNLV 2015).

Ein zu hoher Eintrag von feinpartikulären mineralischen Feststoffen, zu lange Einstaudauern, zu geringe Trockenzeiten zur Regeneration (z.B. Fremdwasserzufluss) und zu hohe organische Belastungen des Zuflusses stellen Überlastungen des Bodenfilters dar und können zur Kolmation der Anlage führen. Bei zu geringer Belastung verkümmert die Schilfvegetation und wird durch Fremdbewuchs verdrängt. Zusätzlich besteht die Gefahr der Filterzerstörung durch wühlende Tiere.

Im Trennsystem ist bei Neubau die Vorstufe als Grobstoffrückhalt auszuführen, um die Kies- und Sandfraktion von Bodenfilter fern zu halten. Die Feinpartikelanteile sollen dem Filter zugeführt werden. In KURAS durchgeführte Untersuchungen am Retentionsbodenfilter Halensee zeigen jedoch, dass im Trennsystem auch bei einstufigem Betrieb (ohne Vorstufe) eine gleichbleibend hohe Reinigungsleistung erreicht werden kann (AFS-Rückhalt > 99%, P-Rückhalt: 95%).

Da fehlende bzw. verminderte Abtrocknung der aufgebrachten Sedimente zur vollständigen Kolmation an der Filteroberfläche führen kann, müssen diese trocknen und unter aeroben Bedingungen mineralisiert und strukturiert werden. Aus diesem Grunde ist die Filterfläche in hydraulisch getrennte Teilflächen zu unterteilen, die alternierend zu beschicken sind. Um einen größtmöglichen Wirkungsgrad der Anlage zu erzielen, ist eine Vollstrombehandlung zu bevorzugen.

Unterhaltung und Pflege

Die Filtervegetation sollte nicht gemäht und beräumt werden. Der Bestandsabfall des Schilfes unterstützt den Aufbau einer sekundären Filterschicht. Intermittierender Betrieb unterstützt die Umsetzungsprozesse und beugt einer Kolmation vor. Die Vorstufe und die Zulaufrinne ist in regelmäßigen Abständen von Sedimenten zu reinigen.

Maßnahmenwirkung

Die Bewertung der Maßnahmenwirkung erfolgte in KURAS auf Grundlage von Literaturstudien und eigenen Messungen („n“ - Anzahl zugrundeliegender Datensätze). Zur Erhebung von Kostendaten wurden ergänzend Umfragen durchgeführt. Für die Klassifizierung (geringer / moderater / hoher Effekt) wurde der Wertebereich

jedes Indikators in der Regel in drei gleich große Klassen aufgeteilt (siehe Matzinger et al., 2017). Alle Werte beziehen sich auf die Umsetzung der Maßnahme im Bestand. Die Bewertungstabelle ist auf der nachfolgenden Seite zu finden.

Kurzbewertung: In erster Linie bewirken Retentionsbodenfilter einen sehr guten Stoffrückhalt für partikuläre und zum Teil auch für gelöste Stoffe (Wirkungsgrad bzgl. AFS bzw. Phosphor: 93% bzw. 86%, Mediane über 16 bzw. 7 Anlagen). Auch organische Spurenstoffe lassen sich teilweise entfernen (Wirkungsgrad bzgl. Mecoprop: 53%, gemessen am RBF Halensee). Neben der hohen Reinigungswirkung dämpfen Retentionsbodenfilter durch den gedrosselten Ablauf die Abflussspitze deutlich und können so hydraulischen Stress im Gewässer reduzieren. Aufgrund der gedichteten Ausführung besteht keine Wechselwirkung zum Grundwasser. Retentionsbodenfilter können aufgrund des hohen Anteils an natürlichem Boden und ihrer Verdunstungsleistung zu einer Verbesserung des Stadtklimas beitragen. Zudem können sie die Freiraumqualität erhöhen. Der Ressourcenverbrauch und die Kosten (Investitionen und Betrieb) sind aufgrund der großen angeschlossenen Fläche vergleichsweise gering.

Referenzen und weiterführende Literatur

- DWA-A 117 (2013): Arbeitsblatt DWA-A 117: Bemessung von Regenrückhalteräumen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- DWA-A 118 (2006): Arbeitsblatt DWA-A 118: Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- DWA-A 178 (in Bearbeitung): Arbeitsblatt DWA-A 178: Planung, Bau und Betrieb von Retentionsbodenfiltern. DWA-Regelwerk, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
- DWA-M 178 (2005): Arbeitsblatt DWA-M 178: Empfehlungen für Planung, Bau und Betrieb von Retentionsbodenfiltern zur weitergehenden Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- Matzinger et al. (2017): Multiple effects of measures for stormwater management in urban areas. *Urban Water Journal* (eingereicht).
- MUNLV (2015): Retentionsbodenfilter, Handbuch für Planung, Bau und Betrieb. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes Nordrhein-Westfalen, 2. Auflage. ISBN 3-9808617-1-6.

Effekte	Retentionsbodenfilter				
	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene					
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%]	-	-	-	0 ¹	○
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	-	-	-	0 ¹	○
Freiraumqualität					
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren ² [-]	2,3	2,0	2,6	3	●
Stadtklima					
Änderung Tropennächte [d/a] ³	0	-1	0	Sim.	○
Änderung Hitzestress (UTCI) [h/a] ³	-20	-70	0	Sim.	●
Biodiversität					
α-Diversität (Flora) [-]	nicht quantifiziert				
α-Diversität (Fauna) [-]	nicht quantifiziert				
β-Diversität (Flora) [-]	nicht quantifiziert				
Grundwasser / Bodenpassage					
Änderung des Versickerungsanteils [%]	-	-	-	0 ¹	○
Änderung der Zinkkonzentration [%]	-	-	-	0 ¹	○
Änderung der Chloridkonzentration [%]	-	-	-	0 ¹	○
Oberflächengewässer					
Reduktion des Regenabflusses [%]	5,0	4,9	6,0	3	○
Reduktion der Abflussspitze [%]	68	49	80	4	●
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	608	75	776	15	●
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	3,1	1,8	6,0	6	●
Ressourcennutzung ⁴					
THG-Potenzial _{100 a} [kg CO ₂ -eq/(m ² ·a)]	0,02	-	-	1	○
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m ² ·a)]	0,2	-	-	1	○
Direkte Kosten ⁵					
Investitionen [€/(m ² ·a)]	0,16	0,11	0,42	13	○
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m ² ·a)]	0,09	0,06	0,12	4	○

Erläuterungen zur Tabelle:

¹ Kein Effekt.

² Einzelindikatoren: Komplexität, Kohärenz/Verständlichkeit, Lesbarkeit und Involution. Skala von 0 (niedrig) bis 5 (hoch).

³ Effekt wurde durch Simulation in Modellgebieten auf 2 m über Grund für je eine rasterzellengroße Maßnahme (8 x 8 m) quantifiziert. Min und Max repräsentieren 5%-und 95%-Quantile über alle (~50000) Rasterzellen.

⁴ Lebenszyklusbewertung von Material- und Energieverbrauch; angenommene Nutzungsdauer: 60 Jahre; Flächenbezug über angeschlossene versiegelte Fläche. Aufwand für das Absetzbecken zur Vorbehandlung ist nicht enthalten.

⁵ Flächenbezug über angeschlossene versiegelte Fläche; angenommene Nutzungsdauer: 60 Jahre; Diskontierungszinssatz: 3 %. Das Absetzbecken zur Vorbehandlung wurde nicht mitbilanziert.

Bedeutung der verwendeten Symbole:

○ geringer positiver Effekt	○ geringer negativer Effekt	○ kein Effekt
● moderater positiver Effekt	● moderater negativer Effekt	
● hoher positiver Effekt	● hoher negativer Effekt	

Steckbrief 13: Regenrückhaltebecken

Regenrückhaltebecken	
Beschreibung	Rückhalt des Regenwassers in zentral angeordneten Becken zur hydraulischen Entlastung von Gewässer, Kanalnetz oder Kläranlage
Anwendungsebene	Quartier, Kanaleinzugsgebiet
Primäre Ziele	Reduzierung des hydraulischen Stresses; Verhinderung der stoßweisen Schmutzfrachtbelastung von Oberflächengewässern oder Klärwerken

Umsetzungsbeispiele



Regenrückhaltebecken im Business Park Berlin-Bohnsdorf (Foto: BWB)



Regenrückhaltebecken Pillgramer Straße, Berlin-Mahlsdorf (Foto: BWB)

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Bei intensiven Niederschlägen mit ausgeprägten Abflussspitzen kann es zu einer hydraulischen Überlastung des Vorfluters, des Kanals oder des Klärwerks kommen. Zur Vergleichmäßigung des Regenabflusses und zur Verminderung der stoßweisen Schmutzfrachtbelastung werden Regenrückhaltebecken (RRB) innerhalb oder am Ende eines Kanalnetzes angeordnet. Sie kommen sowohl im Trennsystem als auch im Mischsystem zum Einsatz.

Regenrückhaltebecken können in geschlossener und in offener Bauweise z.B. als naturnahes Erdbecken ausgeführt werden. Die Anordnung ist im Hauptschluss (Führung des weiterführenden Ablaufes durch das Becken) oder im Nebenschluss (Führung des weiterführenden Ablaufes am Becken vorbei) möglich. Regenrückhaltebecken sollen in erster Linie die hydraulische und stoffliche Stoßbelastung durch hohe Abflussspitzen reduzieren. Durch die Senkung der Fließgeschwindigkeit im Retentionsraum und die dadurch stattfindenden Absetzvorgänge erfüllen sie jedoch in vielen Fällen auch eine Reinigungsfunktion. Diese Absetzwirkung wird in Sonderformen wie Hochleistungssedimentationsanlagen (HLS) oder Schilfpoldern durch gezielten Einstau bewusst gesteuert.

Grundsätzlich bestehen Regenrückhaltebecken aus dem Retentionsbecken und einer Drosseleinrichtung. Der Regenabfluß aus dem oberhalb liegenden Kanalnetz wird ungedrosselt in das Becken eingeleitet. Über eine am Auslauf befindliche Drossel erfolgt die Entleerung. Die Drosselmenge wird bemessen nach der hydraulischen Leistungsfähigkeit des Gewässers bzw. des unterhalb gelegenen Kanalnetzes. Ein Überlauf findet nur in Ausnahmefällen (bei Überschreitung des Bemessungsregens) statt.

Hinweise zu Planung, Bemessung und rechtlichen Aspekten

Kenndaten zur Bemessung	
Parameter	Werte
Hydraulische Bemessung	Bemessung auf Überstauhäufigkeit $n = 0,1/a$
Flächenbedarf	5 - 10% der angeschlossenen versiegelten Fläche (abhängig von Tiefe und Böschungsneigung)
Richtlinien und Leitfäden	DWA-A 117 (2013), DWA-A 166 (2013)

Unterhaltung und Pflege

Die Drosseleinrichtung ist nach großen Regenereignissen, mindestens aber einmal im Jahr, auf ihre Funktion zu überprüfen. Bei offenen Becken ist das im Retentionsraum befindliche Gras zu mähen und die Böschungen sind auf Standsicherheit zu prüfen. Die abgelagerten Sedimente sind nur dann zu beräumen, wenn sie das zur Verfügung stehende Speichervolumen wesentlich reduzieren oder die Funktionalität der Drosseleinrichtung einschränken.

Maßnahmenwirkung

Die Bewertung der Maßnahmenwirkung erfolgte in KURAS auf Grundlage von Literaturstudien („n“ - Anzahl zugrundeliegender Datensätze). Zur Erhebung von Kostendaten wurden ergänzend Umfragen durchgeführt. Für die Klassifizierung (geringer / moderater / hoher Effekt) wurde der Wertebereich jedes Indikators in der Regel in drei gleich große Klassen aufgeteilt (siehe Matzinger et al., 2017). Alle Werte beziehen sich auf die Umsetzung der Maßnahme im Bestand. Die Bewertungstabelle ist auf der nachfolgenden Seite zu finden.

Kurzbewertung: Regenrückhaltebecken haben eine dämpfende Wirkung auf die Abflussspitze und eignen sich daher, den hydraulischen Stress im Gewässer zu minimieren. Stoffrückhalt und Effekte auf biologische Vielfalt, Stadtklima oder Freiraumqualität (bei offener Bauweise) konnten anhand der vorliegenden Daten nicht quantifiziert werden. Die Investitionen sind vergleichsweise gering.

Referenzen und weiterführende Literatur

DWA-A 117 (2013): Arbeitsblatt DWA-A 117: Bemessung von Regenrückhalteräumen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

DWA-A 166 (2013): Arbeitsblatt DWA-A 166: Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung – Konstruktive Gestaltung und Ausrüstung, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

Matzinger et al. (2017): Multiple effects of measures for stormwater management in urban areas. Urban Water Journal (eingereicht).

Effekte	Regenrückhaltebecken				
	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene					
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%]	-	-	-	0 ¹	○
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	-	-	-	0 ¹	○
Freiraumqualität					
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren ² [-]	nicht quantifiziert				
Stadtklima					
Änderung Tropennächte [d/a]	nicht quantifiziert				
Änderung Hitzestress (UTCI) [h/a]	nicht quantifiziert				
Biodiversität					
α-Diversität (Flora) [-]	nicht quantifiziert				
α-Diversität (Fauna) [-]	nicht quantifiziert				
β-Diversität (Flora) [-]	nicht quantifiziert				
Grundwasser / Bodenpassage					
Änderung des Versickerungsanteils [%]	-	-	-	0 ¹	○
Änderung der Zinkkonzentration [%]	-	-	-	0 ¹	○
Änderung der Chloridkonzentration [%]	-	-	-	0 ¹	○
Oberflächengewässer					
Reduktion des Regenabflusses [%]	nicht quantifiziert				
Reduktion der Abflussspitze [%]	98	84	98	3	●
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	nicht quantifiziert				
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	nicht quantifiziert				
Ressourcennutzung					
THG-Potenzial _{100 a} [kg CO ₂ -eq/(m ² ·a)]	nicht quantifiziert				
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m ² ·a)]	nicht quantifiziert				
Direkte Kosten					
Investitionen ³ [€/m ² ·a]	0,36	0,24	1,07	20	○
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/m ² ·a]	nicht quantifiziert				

Erläuterungen zur Tabelle:

¹ Kein Effekt.

² Einzelindikatoren: Komplexität, Kohärenz/Verständlichkeit, Lesbarkeit und Involution. Skala von 0 (niedrig) bis 5 (hoch).

³ Flächenbezug über angeschlossene versiegelte Fläche; angenommene Nutzungsdauer: 60 Jahre; Diskontierungszinssatz: 3 %.

Bedeutung der verwendeten Symbole:

○ geringer positiver Effekt	○ geringer negativer Effekt	○ kein Effekt
◐ moderater positiver Effekt	◑ moderater negativer Effekt	
● hoher positiver Effekt	● hoher negativer Effekt	

Steckbrief 14: Rückhalt und Reinigung im Mischsystem

Rückhalt und Reinigung im Mischsystem: Regenüberlaufbecken, Stauraumkanal, Stauraumaktivierung, Sonderformen der Reinigung	
Beschreibung	Vorrübergehender Rückhalt und/oder Reinigung von Mischwasser im Kanalnetz bzw. am Auslass ins Gewässer
Anwendungsebene	Kanaleinzugsgebietsebene
Primäre Ziele	Reduzierung von Mischwasserüberläufen, stoffliche Entlastung der Gewässer

Umsetzungsbeispiele



Regenüberlaufbecken in Berlin-Wedding (Foto: BWB)

Senkwehr zur Stauraumaktivierung in Berlin-Wedding (Foto: BWB)

Funktionsbeschreibung und Aufbau

Zur Zwischenspeicherung des Mischwasserabflusses werden in der Mischkanalisation Rückhalteräume (Regenüberlaufbecken, Stauraumkanäle oder vorübergehend durch Einstau des Kanals aktivierter Stauraum) geschaffen, mit denen eine Verringerung der Entlastungsrate und -häufigkeit erreicht wird und die nach Ende des Niederschlagsereignisses eine Behandlung auf der Kläranlage ermöglichen. Darüber hinaus können Sonderformen der Reinigung, z.B. Filtrationssysteme, am Auslass ins Gewässer eingesetzt werden, die eine teilweise Behandlung des entlasteten Mischwassers ermöglichen.

Die bekannteste Form des Mischwasserspeichers sind *Regenüberlaufbecken* (RÜB). Sie werden in Fangbecken und Durchlaufbecken bzw. Verbundbecken als Kombination unterschieden. Beide Varianten können im Hauptschluss (Führung des weiterführenden Ablaufes durch das Becken) oder im Nebenschluss (Führung des weiterführenden Ablaufes am Becken vorbei) angeordnet werden. Unterschieden werden weiterhin Fangbecken, bei denen die Entlastung über ein vor dem Becken angeordnetes Regenüberlauf erfolgt, und Durchlaufbecken, bei denen das Becken über eine dem Zulauf gegenüberliegende Überlaufschwelle entlastet wird. Fangbecken dienen zum Auffangen eines Spülstoßes, der eher bei kleinen Einzugsgebieten zu erwarten ist. Durchlaufbecken werden in größeren oder vorentlasteten Einzugsgebieten oder bei längeren Fließzeiten im Kanalnetz angeordnet, da dann in der Regel keine ausgeprägten Spülstoße mehr zu erwarten sind (ATV A128, 1992). Über die Speicherung hinaus wird bei Durchlaufbecken z.T. auch ein Reinigungseffekt durch Sedimentation erzielt. Dies wird in Berlin bei der überwiegenden Anzahl der Regenüberlaufbecken durch eine konstante Beschickung mit einer definierten Zulaufmenge mittels Pumpen oder Hebern erreicht.

Anstelle von Becken können zur Mischwasserspeicherung auch *Stauraumkanäle* (SRK) errichtet werden. Stauraumkanäle unterscheiden sich in ihrer Wirkung durch die Lage des Entlastungsbauwerkes. Stauraumkanäle mit oben liegender Entlastung wirken wie Fangbecken, bei unten liegender Entlastung wie Durchlaufbecken, jeweils im Hauptschluss (ATV A128, 1992).

Bei Einzugsgebieten mit geringem Gefälle und hydraulisch ausreichend dimensionierten Querschnitten kann durch Erhöhung der Wehrschwellen in den Regenüberlaufbauwerken zusätzliches Speichervolumen im Kanal geschaffen werden. Darüber hinaus können feste oder variable Wehre, Drosseln oder Schütze im Mischwasser- oder Regenüberlaufkanal zur vorübergehenden *Aktivierung von Stauraum im Kanal* genutzt werden. Bei Anlagen im Mischwasserkanal muss immer die Ableitung des Trockenwetterabflusses gewährleistet sein.

Bei besonders empfindlichen Gewässern kommen zur Verhinderung hygienischer oder ästhetischer Beeinträchtigungen gelegentlich *Sonderformen der Reinigung* zum Einsatz. Die Systeme können an Regenüberläufen oder Gewässerauslässen installiert sein und reichen von einfachen Filtrationseinheiten (z.B. Trommelsiebe) bis hin zu weitergehenden Reinigungsverfahren wie Sedimentation und Flockung. Die Anlagen benötigen in der Regel einen Pufferspeicher und haben hohe betriebliche Anforderungen.

In Berlin wurde in den letzten Jahren stark auf die Stauraumaktivierung gesetzt. Zudem gibt es zahlreiche Regenüberlaufbecken (v.a. Durchlaufbecken im Nebenschluss) und Stauraumkanäle, wobei noch weitere Bauvorhaben geplant sind. Sonderformen der Reinigung wurden in Berlin bisher nur im Pilotbetrieb getestet.

Hinweise zu Planung, Bemessung und rechtlichen Aspekten

Kenndaten zur Bemessung	
Parameter	Werte
Hydraulische Bemessung	keine klaren Anforderungen hinsichtlich Überlaufhäufigkeit oder -dauer
Flächenbedarf	Hängt von baulichen Gegebenheiten vor Ort ab
Richtlinien und Leitfäden	ATV-A 128 (1992), DWA-A 102 (Gelbdruck, 2016)

Maßgebend für die Dimensionierung von Stauraumkanälen und Regenüberlaufbecken ist das ATV-Arbeitsblatt 128 (1992), welches die zeitliche Abfolge von Niederschlägen mit einbezieht und zumindest für Stauraumkanäle und Regenüberlaufbecken mit größeren Einzugsgebieten die Langzeitsimulation als Nachweisverfahren empfiehlt. Die erforderlichen Volumina werden durch die statistische Auswertung des modellierten Einstauverhaltens (Nachweisverfahren) ermittelt.

Unterhaltung und Pflege

Regelmäßige Begehungen sind, insbesondere nach starken Niederschlagsereignissen, durchzuführen. Die Beräumung der Becken oder Kanalstauräume erfolgt in der Regel automatisch durch Wirbeljets oder Spüleinrichtungen. Bei beweglichen Wehren können Ablagerungen vor dem Wehr durch eine Kombination aus Einstau und schnellem Absinken fortgespült werden (Spülbetrieb des Wehrs). Bewegliche Anlagenteile (z.B. Stauwehre, Drosseln, Kippschwellen) sind ständig zu überwachen und regelmäßig zu warten. Pegelmessungen während des Nachtminimums oberhalb von Stauanlagen können dazu genutzt werden, um eine Zunahmen von Sedimentablagerungen zu erkennen.

Maßnahmenwirkung

Die Bewertung der Maßnahmenwirkung erfolgte in KURAS auf Grundlage von Literaturstudien („n“ - Anzahl zugrundeliegender Datensätze). Zur Erhebung von Kostendaten wurden ergänzend Umfragen durchgeführt. Für die Klassifizierung (geringer / moderater / hoher Effekt) wurde der Wertebereich jedes Indikators in der Regel in drei gleich große Klassen aufgeteilt (siehe Matzinger et al., 2017). Alle Werte beziehen sich auf die Umsetzung der Maßnahme im Bestand. Die Bewertungstabellen sind auf den nachfolgenden Seiten zu finden.

Kurzbewertung: Der flächenspezifische Stoffrückhalt durch die Stauraumerweiterung (durch Regenüberlaufbecken oder Stauraumkanäle) oder die Stauraumaktivierung (durch variable Wehre) lässt sich aufgrund der vielfältig vernetzten Kanaleinzugsgebiete für Einzelanlagen im Allgemeinen schwer quantifizieren. Dennoch wurde vielerorts eine deutliche Reduzierung der entlasteten Schmutzfrachten nachgewiesen. Simulationen zufolge wurde durch die Erweiterung der Berliner Mischkanalisation zwischen den Jahren 2010 und 2020 (ca. 100000 m³ zusätzlicher Stauraum) beispielsweise eine Reduktion des Überlaufvolumens um 17% und eine Reduktion der AFS- bzw. Phosphorfracht ins Gewässer um 21% bzw. 27% erreicht (Riechel et al. 2016). Der Ressourcenverbrauch und die Investitionen sind aufgrund der meist großen angeschlossenen Flächen sehr gering. Für die Sonderformen der Reinigung wurde im Einzelfall ein moderater bis hoher Stoffrückhalt beobachtet. Aufgrund der wenigen Anwendungsbeispiele ist hier aber keine detaillierte Bewertung möglich.

Referenzen und weiterführende Literatur

- ATV-A 128 (1992): Arbeitsblatt ATV-A 128: Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen, Abwassertechnische Vereinigung e.V.
- DWA-A 102 (2016): Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer, Gelbdruck (Oktober 2016). Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- Matzinger et al. (2017): Multiple effects of measures for stormwater management in urban areas. Urban Water Journal (eingereicht).
- Riechel, M., Matzinger, A., Pawlowsky-Reusing, E., Sonnenberg, H., Uldack, M., Heinzmann, B., Caradot, N., von Seggern, D., Rouault, P. (2016): Impacts of combined sewer overflows on a large urban river - Understanding the effect of different management strategies. Water Research 105 (10).

Effekte	Regenüberlaufbecken					Stauraumkanal				
	Median	Min	Max	n	+/-	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene										
Einsparung Trink- / Abwasser (Regen) [%]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Freiraumqualität										
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren ² [-]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Stadtklima										
Änderung Tropennächte [d/a]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Änderung Hitzestress (UTCI) [h/a]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Biodiversität										
α-Diversität (Flora) [-]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
α-Diversität (Fauna) [-]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
β-Diversität (Flora) [-]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Grundwasser / Bodenpassage										
Änderung des Versickerungsanteils [%]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Änderung der Zinkkonzentration [%]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Änderung der Chloridkonzentration [%]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Oberflächengewässer										
Reduktion des Regenabflusses [%]	0	0	0	2	○	0	0	0	2	○
Reduktion der Abflussspitze [%]	-	-	-	0 ³	⊖ ³	-	-	-	0 ³	⊖ ³
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	-	-	-	0 ³	⊖ ³	-	-	-	0 ³	⊖ ³
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	-	-	-	0 ³	⊖ ³	-	-	-	0 ³	⊖ ³
Ressourcennutzung ⁴										
THG-Potenzial _{100 a} [kg CO ₂ -eq/(m ² ·a)]	0,04	0,04	0,04	1	○	0,03	0,03	0,03	1	○
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m ² ·a)]	0,32	0,32	0,32	1	○	0,21	0,21	0,21	1	○
Direkte Kosten ⁵										
Investitionen [€/(m ² ·a)]	0,07	0,04	0,37	31	○	0,11	0,05	0,69	14	○
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m ² ·a)]	0,02	0,02	0,03	3	○	nicht quantifiziert				

Erläuterungen zur Tabelle:

¹ kein Effekt.

² Einzelindikatoren: Komplexität, Kohärenz/Verständlichkeit, Lesbarkeit und Involution. Skala von 0 (niedrig) bis 5 (hoch).

³ Die Reduktion der Abflussspitze und der flächenspezifische Stoffrückhalt sind für Einzelanlagen aufgrund der Wirkung auf Kanaleinzugsgebietsebene schwer quantifizierbar. Vereinfachte Bewertung wurde aus Erfahrungswerten abgeleitet. Allgemein gilt: je kleiner das Einzugsgebiet und je größer der Stauraum desto größer die Wirkung.

⁴ Lebenszyklusbewertung von Material- und Energieverbrauch; angenommene Nutzungsdauer: 60 Jahre; Flächenbezug über angeschlossene versiegelte Fläche.

⁵ Flächenbezug über angeschlossene versiegelte Fläche; angenommene Nutzungsdauer: 60 Jahre; Diskontierungszinssatz: 3 %.

Bedeutung der verwendeten Symbole:

- | | | | | | |
|---|----------------------------|---|----------------------------|---|-------------|
| ○ | geringer positiver Effekt | ○ | geringer negativer Effekt | ○ | kein Effekt |
| ⊖ | moderater positiver Effekt | ⊖ | moderater negativer Effekt | | |
| ● | hoher positiver Effekt | ● | hoher negativer Effekt | | |

Effekte	Stauraumaktivierung					Sonderform der Reinigung				
	Median	Min	Max	n	+/-	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene										
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Freiraumqualität										
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren ² [-]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Stadtklima										
Änderung Tropennächte [d/a]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Änderung Hitzestress (UTCI) [h/a]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Biodiversität										
α-Diversität (Flora) [-]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
α-Diversität (Fauna) [-]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
β-Diversität (Flora) [-]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Grundwasser / Bodenpassage										
Änderung des Versickerungsanteils [%]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Änderung der Zinkkonzentration [%]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Änderung der Chloridkonzentration [%]	-	-	-	0 ¹	○	-	-	-	0 ¹	○
Oberflächengewässer										
Reduktion des Regenabflusses [%]	0 ³	0	0	2	○	0	0	0	2	○
Reduktion der Abflussspitze [%]	-	-	-	0 ³	● ³	0	0	0	2	○
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	-	-	-	0 ³	● ³	315	315	315	1	●
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	-	-	-	0 ³	● ³	2,7	2,7	2,7	1	●
Ressourcennutzung ⁴										
THG-Potenzial _{100 a} [kg CO ₂ -eq/(m ² ·a)]	0,017	0,007	0,027	2	○	nicht quantifiziert				
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m ² ·a)]	0,20	0,04	0,36	2	○	nicht quantifiziert				
Direkte Kosten ⁵										
Investitionen [€/(m ² ·a)]	0,08	0,01	0,25	15	○	nicht quantifiziert				
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m ² ·a)]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				

Erläuterungen zur Tabelle:

¹ kein Effekt.

² Einzelindikatoren: Komplexität, Kohärenz/Verständlichkeit, Lesbarkeit und Involution. Skala von 0 (niedrig) bis 5 (hoch).

³ Die Reduktion der Abflussspitze und der flächenspezifische Stoffrückhalt sind für Einzelanlagen aufgrund der Wirkung auf Kanaleinzugsgebiete schwer quantifizierbar. Vereinfachte Bewertung wurde aus Erfahrungswerten abgeleitet. Allgemein gilt: je kleiner das Einzugsgebiet und je größer der Stauraum desto größer die Wirkung.

⁴ Lebenszyklusbewertung von Material- und Energieverbrauch; angenommene Nutzungsdauer: 60 Jahre; Flächenbezug über angeschlossene versiegelte Fläche.

⁵ Flächenbezug über angeschlossene versiegelte Fläche; angenommene Nutzungsdauer: 60 Jahre; Diskontierungszinssatz: 3 %.

Bedeutung der verwendeten Symbole:

○	geringer positiver Effekt	○	geringer negativer Effekt	○	kein Effekt
●	moderater positiver Effekt	●	moderater negativer Effekt		
●	hoher positiver Effekt	●	hoher negativer Effekt		