

Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung

Gebäude- und Grundstücksebene:

1. Dachbegrünung
2. Fassaden- und Wandbegrünung
3. Regenwassernutzung als Betriebswasser
4. Regenwassernutzung zur Gebäudekühlung

Quartiersebene:

5. Teilversiegelte Oberflächenbefestigungen
6. Mulden- und Flächenversickerung
7. Schacht- und Rigolenversickerung
8. Kombinierte Versickerungssysteme
9. künstliche Wasserflächen
10. Dezentrale Regenwasserbehandlung

Kanaleinzugsgebietsebene:

11. Regenklärbecken und Schrägkläreranlagen
12. Retentionsbodenfilter
13. Regenrückhaltebecken
14. Rückhalt und Reinigung im Mischsystem



Verbundpartner



gefördert durch



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

| | |
|--|---|
| M. Riechel, C. Remy, A. Matzinger, 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 |
| C. Möller | Ramboll Studio Dreiseitl, Überlingen |
| B. Büter, D. Leßmann | GEO-NET Umweltconsulting, Hannover |
| R. von Tils | Leibniz Universität Hannover, Institut für Meteorologie und Klimatologie, Hannover |
| I. Säumel, L. Pille | Technische Universität Berlin, Institut für Ökologie, Berlin |
| A. Winkler | Freie Universität Berlin, Arbeitsbereich Hydrogeologie, Berlin |
| H. Bartel, S. Heise | Umweltbundesamt, Berlin |
| B. Heinzmann, K. Joswig | Berliner Wasserbetriebe, Berlin (BWB) |
| M. Rehfeld-Klein, B. Reichmann | Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Land Berlin, 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 beteiligen 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:

Riechel, M., Remy, C., Matzinger, A., 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., Reichmann, B., Rehfeld-Klein, M. (2017): Maßnahmensteckbriefe der Regenwasserbewirtschaftung - Ergebnisse des Projektes KURAS. Berlin.

Berlin, Februar 2017

Einleitung

Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung können Probleme der versiegelten Stadt wie die Belastung von Oberflächengewässern und städtische Hitzeinseln vermindern und gleichzeitig die biologische Vielfalt und die Freiraumqualität verbessern. Um dieses Potenzial gezielt einsetzen zu können, wurden im Rahmen des Projektes KURAS die Effekte und der Aufwand dieser Maßnahmen quantitativ bewertet.

In den folgenden Steckbriefen wird diese Bewertung für 27 verschiedene Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung vorgestellt. 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.

Bei der Maßnahmenauswahl wurde der Begriff „Regenwasserbewirtschaftung“ weit gefasst und beinhaltet unterschiedliche technische und naturnahe Lösungen, bei denen Regenwasser verdunstet, versickert, zwischengespeichert und / oder gereinigt wird. Zum Teil fassen die Steckbriefe mehrere Einzelmaßnahmen zusammen.

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 detaillierter Form im KURAS-Leitfaden „Zielorientierte Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung“ (<http://kuras-projekt.de/downloads/erzeugnisse-regenwasserbewirtschaftung>) 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) |

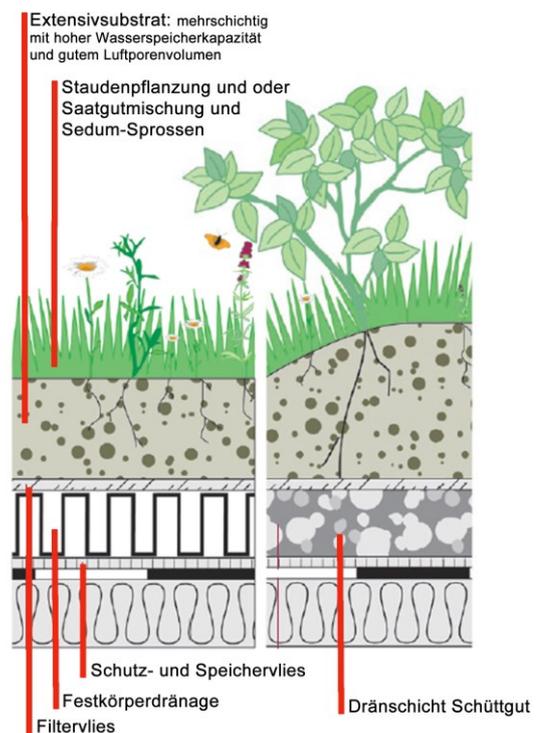
Umsetzungsbeispiele und Systemskizze



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 Drainage. 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-Potential _{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 |

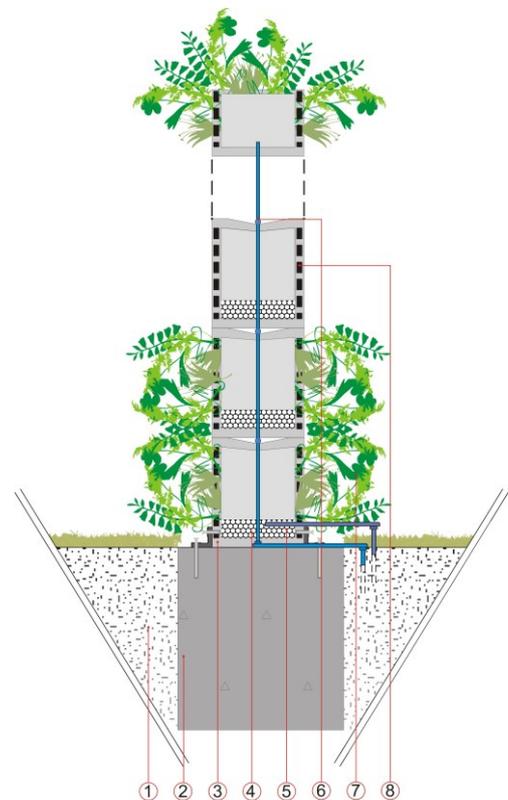
Umsetzungsbeispiele und Systemskizze



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 Anstaubbewässerung 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, Leitfaden 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-Potential _{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 | ● |
| Erläuterungen zur Tabelle: ¹ Einzelindikatoren: Komplexität, Kohärenz/Verständlichkeit, Lesbarkeit und Involution. Skala von 0 (niedrig) bis 5 (hoch). ² Bewertung wurde von Simulationen für beispielhafte Maßnahmenkombinationen abgeleitet. Bei großflächiger Umsetzung würde sich die Wirkung verstärken. ³ Kein Effekt, da keine Versickerung. ⁴ Lebenszyklusbewertung von Material- und Energieverbrauch; angenommene Nutzungsdauer: 40 Jahre; Flächenbezug über angeschlossene versiegelte Fläche (Annahme: ein Fünftel der Fassadenfläche). ⁵ Flächenbezug über begrünte Fassadenfläche; angenommene Nutzungsdauer: 40 Jahre; Diskontierungszinssatz: 3 %. 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). | | | | | | | | | | |
| 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 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 |

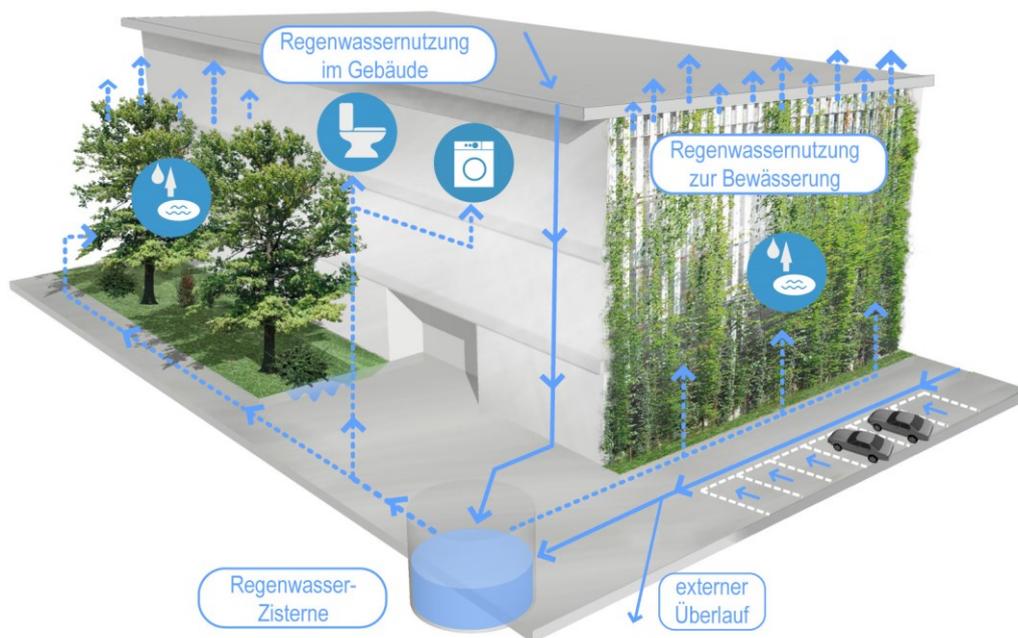
Umsetzungsbeispiele und Systemskizze



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. Abwasserordnung 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 Spannweite 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 Hitzestress (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-Potential _{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 | | |

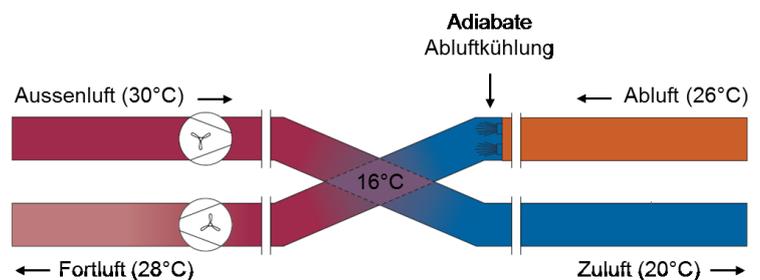
Steckbrief 4: Regenwassernutzung zur Gebäudekühlung

| 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-Potential _{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
- 🟡 moderater positiver Effekt
- 🟠 hoher positiver Effekt
- ⊖ geringer negativer Effekt
- 🔴 moderater negativer Effekt
- 🔴 hoher negativer Effekt
- ⊖ kein Effekt

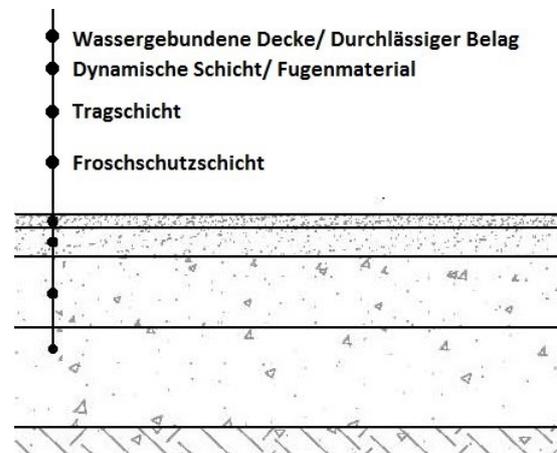
Steckbrief 5: Teilversiegelte Oberflächenbefestigungen

| 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 Froschschuttschicht, 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 Teilentsiegelung mit einer leichten Reduktion des Hitzestresses zu rechnen. Zusätzlich führt der mit Vegetation bedeckte Boden zu geringerer nächtlicher Wärmeabstrahlung 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-Potential _{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 | | |

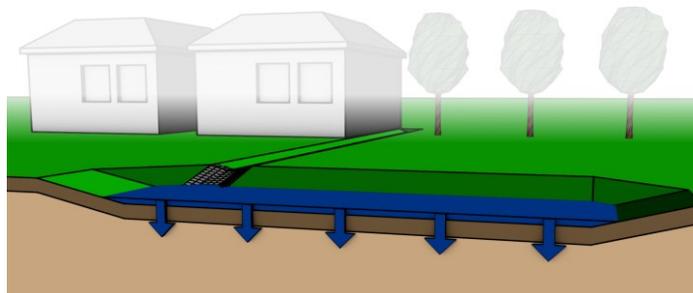
Steckbrief 6: Mulden- und Flächenversickerung

| 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 schadloze 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-Potential _{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 |

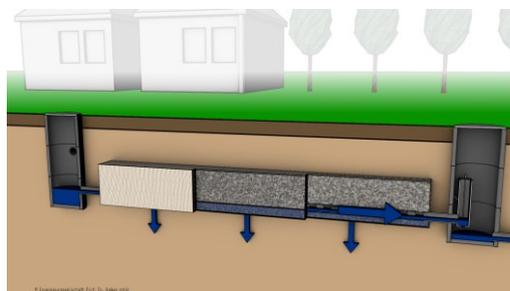
Umsetzungsbeispiele und Systemskizze



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 Verschlämzung 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 Revisionschächte) |
| 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-Potential _{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

◐ moderater positiver Effekt

● hoher positiver Effekt

○ geringer negativer Effekt

◐ moderater negativer Effekt

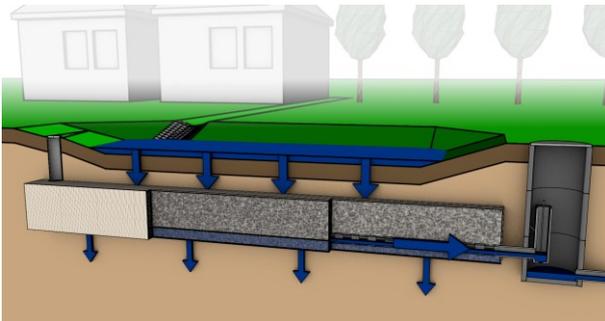
● hoher negativer Effekt

○ kein 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 Versickerungspotential 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 (NWFreiwV 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-Potential_{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-Potential _{100 a} [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-Potential _{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 Grobschmutzeimer 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-Potential _{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 Involution. 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
-

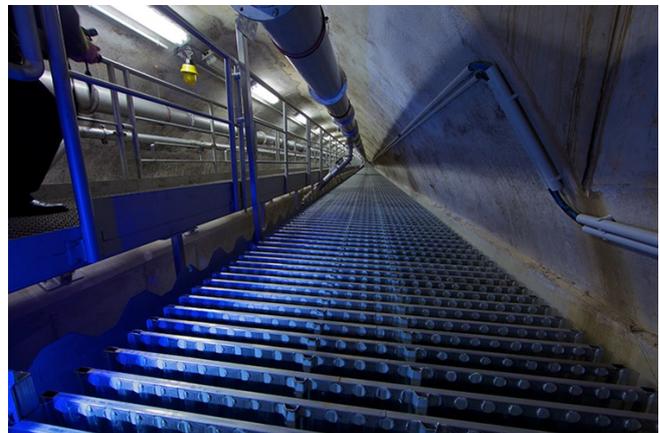
Steckbrief 11: Regenklärbecken und Schrägkläreranlagen

| 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 |

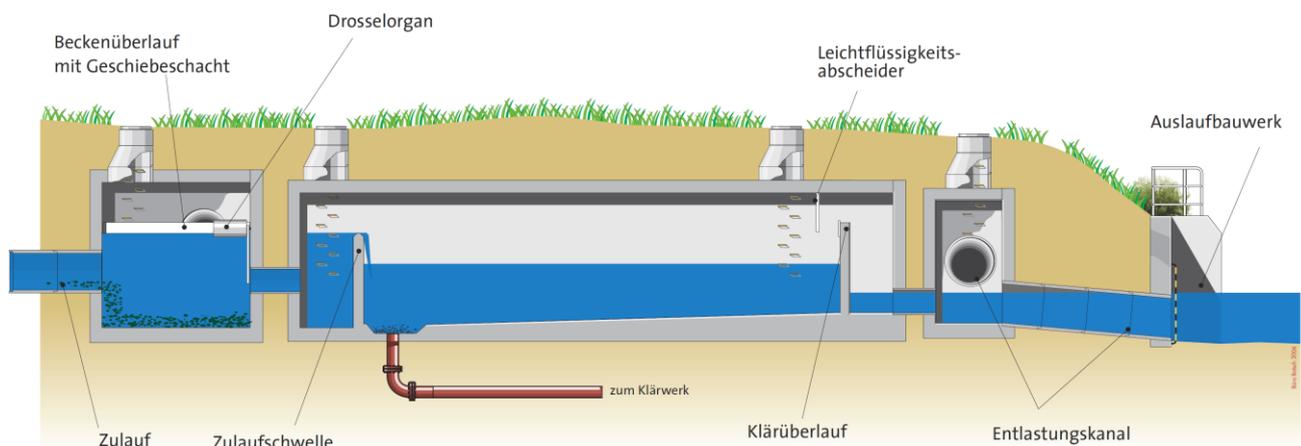
Umsetzungsbeispiele und Systemskizze



Regenklärbecken Schlierseeestrasse, 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 *Schrägkläreranlagen* (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, Schrägkläreranlagen: Zuflussbegrenzung auf 15 l/(s,ha) Beckenüberlauf: Bemessung entsprechend DWA-A 118 (2006) |
| Flächenbedarf | ca. 0,2 % der angeschlossenen versiegelten Fläche (Schrägkläreranlagen 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) | | | | | Schrägkläreranlagen | | | | |
|---|--|------|------|----------------|-----|---------------------|-----|-----|----------------|-----|
| | 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 | 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-Potential _{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 Involution. 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 Schrägklärers 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

● moderater positiver Effekt

● hoher positiver Effekt

○ geringer negativer Effekt

● moderater negativer Effekt

● hoher negativer Effekt

○ kein 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 |

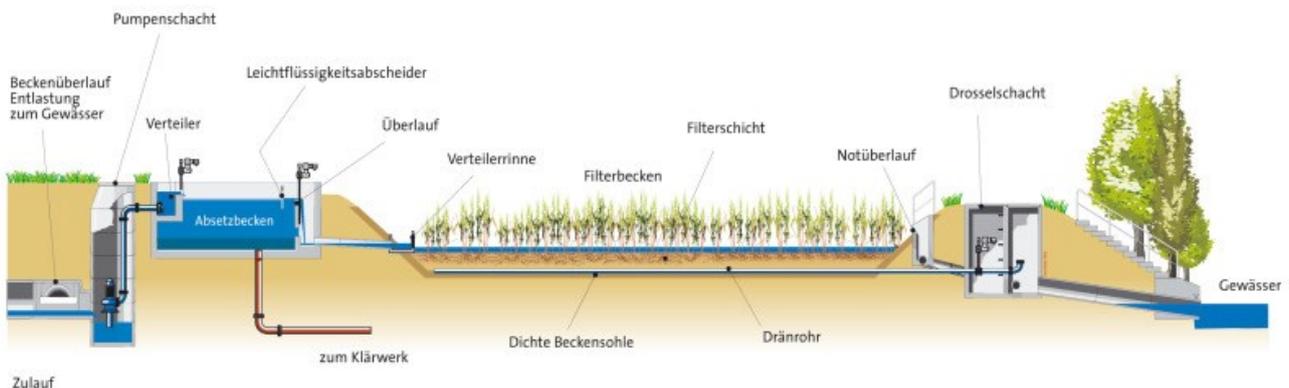
Umsetzungsbeispiele und Systemskizze



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 aufgebrauchten 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 | ● |
| Ressourcennutzung⁴ | | | | | |
| THG-Potential _{100 a} [kg CO ₂ -eq/(m ² ·a)] | 0,02 | - | - | 1 | ○ |
| Bedarf fossiler Energien [MJ/(m ² ·a)] | 0,2 | - | - | 1 | ○ |
| Direkte Kosten⁵ | | | | | |
| 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

● moderater positiver Effekt

● hoher positiver Effekt

○ geringer negativer Effekt

● moderater negativer Effekt

● hoher negativer Effekt

○ kein 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-Potential _{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-Potential _{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-Potential _{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

● moderater positiver Effekt

● hoher positiver Effekt

○ geringer negativer Effekt

● moderater negativer Effekt

● hoher negativer Effekt

○ kein Effekt