Realisierungskonzept 'IndustriePark Oberelbe'

im Auftrag der Städte Pirna / Dohna / Heidenau

Bereich II

Teil 2: Siedlungswasserwirtschaft

Auftraggeber: **Stadt Pirna, Stadt Heidenau, Stadt Dohna**

vertreten durch Stadtverwaltung Pirna, Am Markt 1-2, 01796 Pirna

in Begleitung durch: **Stadtentwicklungsgesellschaft Pirna mbH**

Breite Straße 2, 01796 Pirna

Auftragnehmer: **Kasparetz – Kuhlmann GmbH**

Architektur- und Ingenieurbüro
02681 Schirgiswalde-Kirschau, Schirgiswalder Str. 30
Tel.: 03592 / 500 515, Fax: 03592 / 500 516, www.kasparetz.de

Subunternehmer Siedlungs-wasser-wirtschaft: **Ingenieurbüro Ulrich Karsch, Inhaber Sebastian Karsch**

Bergstr. 11, 01796 Pirna, www.ib-uk.de

Subunternehmer Hydronumerische Simulation: **Planungsgesellschaft Scholz + Lewis**

01277 Dresden, An der Pikardie 8
Tel.: 0351/216 83-30, Fax: 0351/216 83-31

Pirna/Schirgiswalde-Kirschau, den 31.10.2019

Diese Maßnahme wird mitfinanziert mit Steuermitteln auf Grundlage des von den Abgeordneten des Sächsischen Landtages beschlossenen Haushaltes. Die Mitfinanzierung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie erfolgt auf der Grundlage des von den Abgeordneten des Deutschen Bundestages beschlossenen Haushaltes.

Inhaltsverzeichnis

BEREICH II – TEIL 2: SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT 3

1 EINLEITUNG 3

2 ERGEBNISSE FACHGUTACHTEN/ RAHMENBEDINGUNGEN 6

2.1 HYDRONUMERISCHE MODELLIERUNG 6

2.1.1 IST-ZUSTAND 6
2.1.2 PLAN-ZUSTAND OHNE RÜCKHALTUNG 8
2.1.3 ZUSAMMENFASSUNG HYDRONUMERISCHE MODELLIERUNG 12

2.2 SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT 13

2.2.1 BAUFLÄCHEN 13
2.2.2 STRAßENENTWÄSSERUNG 18
2.2.3 ZUSAMMENFASSUNG SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT 19

3 UMSETZUNG UND REALISIERUNGSMÖGLICHKEITEN 21

3.1 ÜBERGREIFENDES BEWIRTSCHAFTUNGSKONZEPT 21

3.2 GEPLANTE MAßNAHMEN IM 'INDUSTRIEPARK OBERELBE' 23

3.2.1 VERSICKERUNG VON NIEDERSCHLAGSWASSER 23
3.2.2 DACHBEGRÜNUNG 26
3.2.3 FASSADENBEGRÜNUNG 27
3.2.4 REGENWASSERNUTZUNG 29
3.2.5 KÜNSTLICHE WASSERFLÄCHEN 30
3.2.6 STAURAUMANLAGEN 31
3.2.7 ALTERNATIVE FLÄCHENBEFESTIGUNGEN 31
3.2.8 RÄUMLICHE ANORDNUNG DER RÜCKHALTEMAßNAHMEN 32
3.2.9 SONSTIGE MAßNAHMEN 34

4 LITERATUR/ QUELLEN 36

5 ANHANG: ZIELORIENTIERTE PLANUNG VON MAßNAHMEN ZUR REGENWASSERBEWIRTSCHAFTUNG (STECKBRIEFE AUS KURAS LEITFADEN [6]) 37

Bereich II – Teil 2: Siedlungswasserwirtschaft

1 Einleitung

Ziel Fachteil Siedlungswasser-wirtschaft

Ziel der Betrachtung der siedlungswasserwirtschaftlichen Bedingungen ist insbesondere die Absicherung der Niederschlagswasserbeseitigung für die Flächen des geplanten 'IndustrieParks Oberelbe', inkl. aller Verkehrs-, Bau- und Grünflächen. Vor dem Hintergrund einer geplanten Versiegelung von insgesamt rund 112 ha einerseits und den Überflutungsereignissen der vergangenen zwei Jahrzehnte andererseits ist zu prüfen:

- Welcher Niederschlagsabfluss besteht derzeit auf den Flächen?
- Mit welchem geänderten Abfluss ist durch Inanspruchnahme der Ackerflächen zu rechnen?
- Welche Möglichkeiten bestehen, zur Kompensation möglicher Gefahren durch ungewollten Abfluss von Regenwasser?

Die Betrachtungen beziehen sich inhaltlich auf den stetig fortgeschriebenen Entwicklungsplan zum Realisierungskonzept [1] und bilden unmittelbar die Grundlage für den 2019 in Aufstellung befindlichen Bebauungsplan Nr. 1 für das gesamte Zweckverbandsgebiet 'IndustriePark Oberelbe' [2].

Wasser-rahmenrichtlinie (WRRL),

Wasserhaushalts-gesetz (WHG) "Verschlechte-rungsverbot"

Für Grund- und Oberflächengewässer gilt ein 'Verschlechterungsverbot' (vgl. EU-WRRL Art. 4, §27 u. § 47 WHG). Das Verschlechterungsverbot bezieht sich auf die in Anhang V der Wasserrahmenrichtlinie beschriebenen biologischen, hydromorphologischen und physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten für die Kategorisierung des Gewässerzustandes. Sowohl der ökologische Zustand eines Wasserkörpers als auch die einzelnen Qualitätskomponenten werden in fünf Zustandsklassen eingeteilt und dürfen sich nicht verändern. Dazu zählen insbesondere der Abfluss und die Abflussdynamik des Niederschlagswassers in den angrenzenden Vorflutern.

Fachgutachten Hydronumerik

Dem Fachteil Siedlungswasserwirtschaft liegen zwei Untersuchungen zu Grunde:

Die hydronumerische Modellierung der Oberflächenabflüsse durch Planungsgesellschaft Scholz & Lewis, Dresden [3]: Hiermit wird ermittelt,

1. wie der derzeitige Oberflächenabfluss stattfindet (Status quo) und wohin wieviel Niederschlagswasser unter der Maßgabe verschiedener Regenereignisse fließt.
2. Welche Änderungen sich durch das Vorhaben für die Ableitung des Niederschlagswassers ergeben, wenn die geplante Bebauung (wie in Geländemodell und Visualisierung dargestellt) umgesetzt wird.

Zudem wurden

3. Abstimmung mit der Unteren Wasserbehörde des Landkreises Sächsische Schweiz-Osterzgebirge durchgeführt.

Die hydronumerische Betrachtung und Modellierung erfolgt über das Zweckverbandsgebiet hinaus auf rund 350 ha. Die Abflüsse in die angrenzenden Niederungen Merbitzens Gründel, Lindigt-Gründel, Knickwitz-Gründel sowie Hospital- und Schlosserbusch werden dabei betrachtet.

Fachgutachten Siedlungswasser-wirtschaft

Auf Basis der hydronumerischen Modellierung sind siedlungswasserwirtschaftliche Maßnahmen für das Vorhaben zu benennen. Diese sind durch die Untersuchung des Ingenieurbüros Ulrich Karsch [3], Abteilung Siedlungswasserwirtschaft beispielhaft betrachtet:

1. Wie erfolgen Entwässerung und Regenrückhaltung auf öffentlichen Flächen?
2. Welche Rückhaltungen sind – konzeptionell betrachtet – für die Ansiedlungsflächen erforderlich?
3. Welche Kosten entstehen für die öffentlichen Maßnahmen?

Plangebiet

Das Planungsgebiet umfasst 4 Teilflächen:

- Fläche A in Dohna, rund 17 ha brutto
- Fläche B in Großsedlitz, Heidenau, rund 15 ha brutto
- Fläche C in Pirna, rund 21 ha nördlich der B172a und
- Fläche D in Pirna, rund 84 hasüdlich der B172a.

Die Teilflächen werden durch die BAB A17 und die B172 a geschnitten, die somit das infrastrukturelle Rückgrat des 'IndustrieParks' bilden. Die vier Teilflächen sind mit A bis D West und Ost gekennzeichnet:

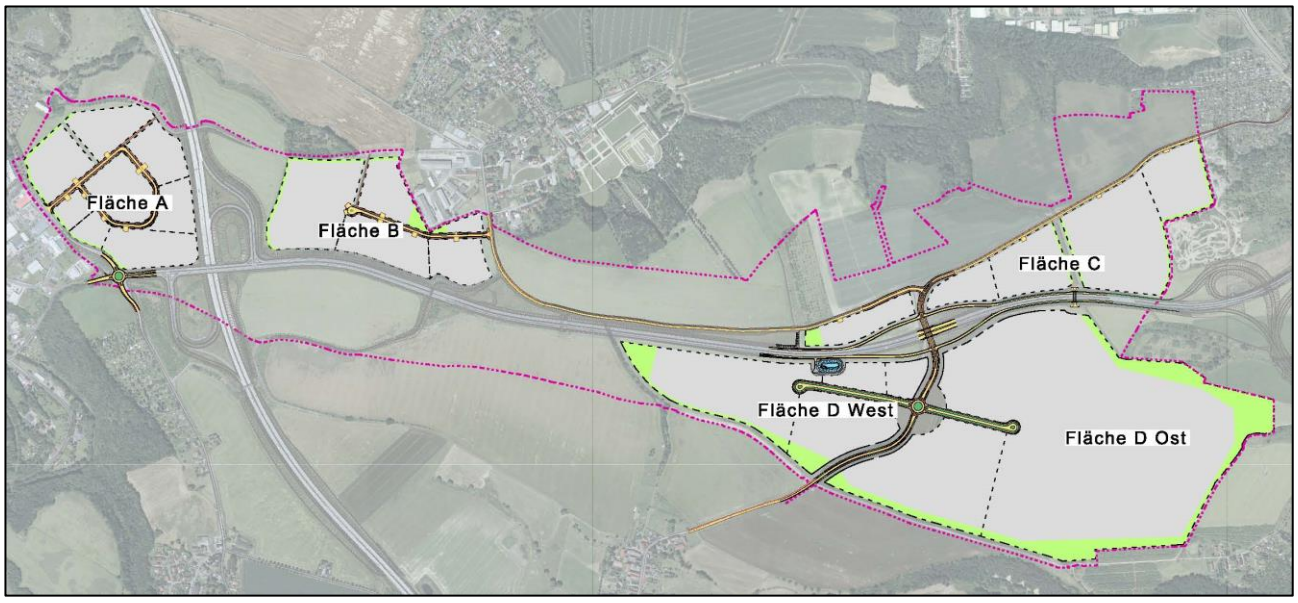


Abb. 1: Übersicht Teilflächen A bis D (rote Linie: Grenze Zweckverbandsgebiet)

Die Flächen A bis D wurden in Teilflächen A1 bis A7, B1 bis B6, C1 bis C5 und D1 bis D5 gegliedert, um für die geplanten Ansiedlungsflächen konkrete Festlegungen formulieren zu können (vgl. Index-Plan IV).

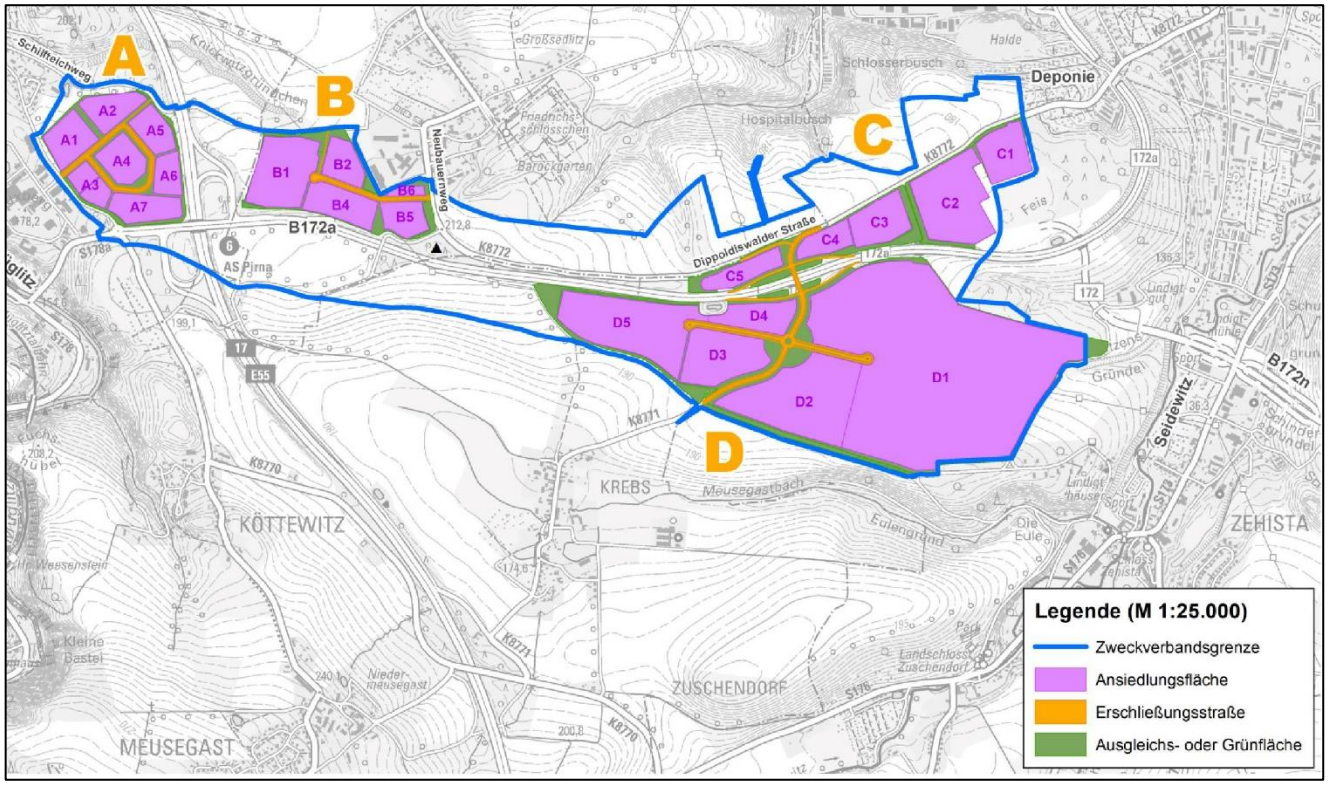


Abb. 2: Übersicht untergliederte Teilflächen A bis D [4]

2 Ergebnisse Fachgutachten/ Rahmenbedingungen

2.1 Hydronumerische Modellierung

2.1.1 Ist-Zustand

Das Fachgutachten zur hydronumerischen Simulation [3] klärt:

Frage nach Bestandsituation

Die Feststellung des Status Quo: **Welche Oberflächenabflüsse treten derzeit bei Starkregen ohne den 'Industriepark Oberelbe' auf?** Beim statistischen Bemessungsfall von einmal in 100 Jahren (**HQ (100)**).

Abfluss vorrangig oberirdisch

"Das Untersuchungsgebiet ist topografisch als Kuppe zu betrachten, von der Hanglagen in alle Richtungen ausgehen. Ständig Wasser führende Gräben oder Bäche existieren nicht. Lediglich die talartigen Einschnitte des **Lindigt- und des Merbitzens-Gründels** sowie einige **Zuflüsse zum Hospital-/ Schlosserbusch** fungieren zeitweise als Vorfluter. Das Gebiet wird bei Regen vorrangig durch oberflächigen Abfluss entwässert."[3]

Eingangswerte:

größte Menge,

HQ (100),

7 'Niederschlagsdauern'

4 Verteilungsarten

"Weil im Untersuchungsgebiet die kurzen Niederschlagsdauern ≤ 1 Stunde die größten Abflüsse hervorrufen und weil die Unterschiede zwischen den Niederschlagsmengen bei Dauern > 1 Stunde gering sind, wurden jeweils die größten Niederschlagsmengen P(T, D) angesetzt". Es erfolgten somit 36 Testrechnungen für Bemessungsniederschläge mit dem Wiederkehrintervall T = 100 a und sieben variablen Niederschlagsdauern D zwischen 5 und 120 Minuten. Innerhalb der Regendauer wurden jeweils eine anfangs-, mitten- und endbetonte Niederschlagsverteilung sowie eine Blockregenverteilung simuliert." [3]

Höchster Abfluss bei 90 min Dauer, endbetonter Regen

"Die höchsten Abflussscheitel treten bei Regendauern im Bereich von 60 bis 90 Minuten jeweils mit einer endbetonten Niederschlagsverteilung auf" [3]. Die Modellierung erfolgte daher für den ungünstigsten Fall: im Ist- und auch im untersuchten virtuellen Planzustand wurde die Regendauer 90 Minuten mit der endbetonten Niederschlagsverteilung simuliert.

Geringe Versickerungsfähigkeit der Böden

Auf Basis der Bodenbeschaffenheiten und Geologie ist festzuhalten, dass im Gebiet überwiegend Böden mit geringem bis sehr geringem Versickerungsvermögen vorhanden sind. Unter Beachtung der Landnutzung sind folglich große Abflussspenden bereits im Status quo zu erwarten.

Status quo

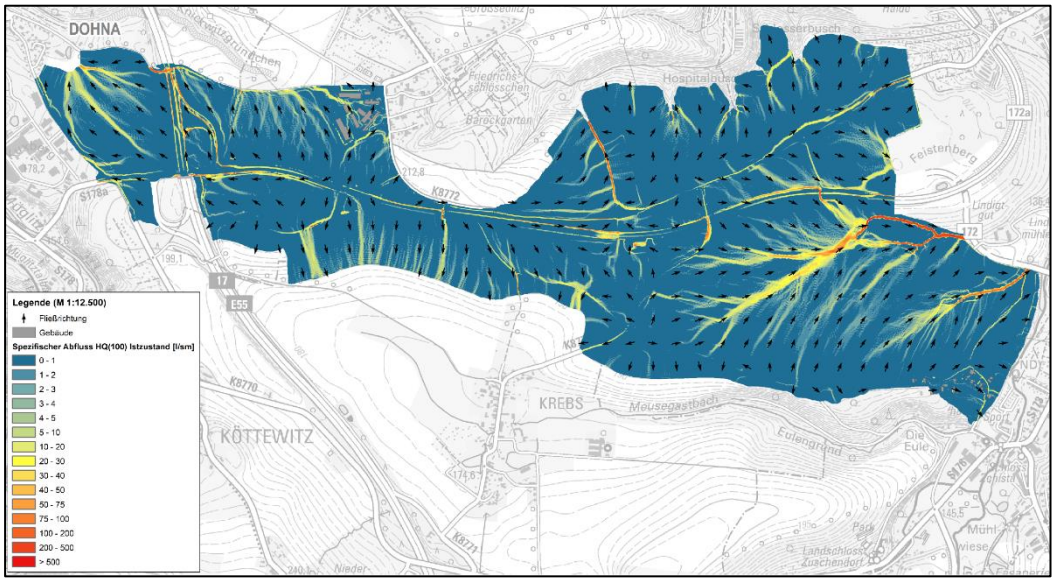


Abb. 3: Abflussmodellierung des IST-Zustandes bei HQ (100), Regendauer 1,5 h [3]

Die Abbildung zeigt die maximalen spezifischen Abflüsse und ihre Strömungsrichtungen beim untersuchten HQ(100) für den Ist-Zustand. Demnach bilden sich bevorzugte Abflussbahnen insbesondere in Richtung des Lindigt- und des Merbitzens-Gründel im Osten, in einem markanten Taleinschnitt des Hospitalbuschs nach Norden sowie nach Dohna im Nordwesten entlang des Schilfteichwegs bzw. zum Gebiet 'An der Bodlitz' aus.

Nach Süden zum Meusegastbach bzw. nach Krebs ergießt sich das Wasser aus Richtung des Höhenrückens, auf dem die B172a verläuft, eher gleichmäßig. Es zeigen sich aber auch einige Bereiche, in denen sich das Wasser zunächst entlang von Verkehrswegen sammelt und dann, an Stellen mit flacherem Gefälle, konzentriert wieder auf das freie Gelände nach Süden abfließt [3].

2.1.2 Plan-Zustand ohne Rückhaltung

Zur Abschätzung des Rückhalteerfordernisses wird der Planstand ohne Rückhaltungsmaßnahmen untersucht. "Dieser soll einen Eindruck von den Abflusszunahmen liefern, die durch das Vorhaben potenziell drohen, wenn keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden" [3].

Frage nach Planstand ohne Rückhaltung

Welche potenziellen Zunahmen der Oberflächenabflüsse ergeben sich bei Umsetzung des Vorhabens ohne künstliche Rückhaltung?

Eckdaten Planstand

In den Planstand für die hydronumerische Modellierung wurden einbezogen:

- Die vorgesehenen Geländeprofilierungen (vgl. Mappe 3 – Bereich III- Teil 3)
- Neuversiegelungen/Entsiegelungen, Flächenumnutzungen, Entwürfe der Parzellierung (vgl. Digitales Geländemodell in Mappe 0, Anhang)
- Verkehrlichen Erschließung der Flächen A bis D (vgl. Mappe 1, Bereich I- Teil 2)
- Durchschnittlicher Versiegelungsgrad von 72%[1]

Gleiche Ausgangsdaten

Für die Simulation wurden die gleichen Eckwerte angesetzt: HQ (100), 1,5 h Regendauer, endbetonter Regen. Weitere Parameter sind dem Fachgutachten zu entnehmen (siehe Mappe 2, Bereich II- Teil 2).

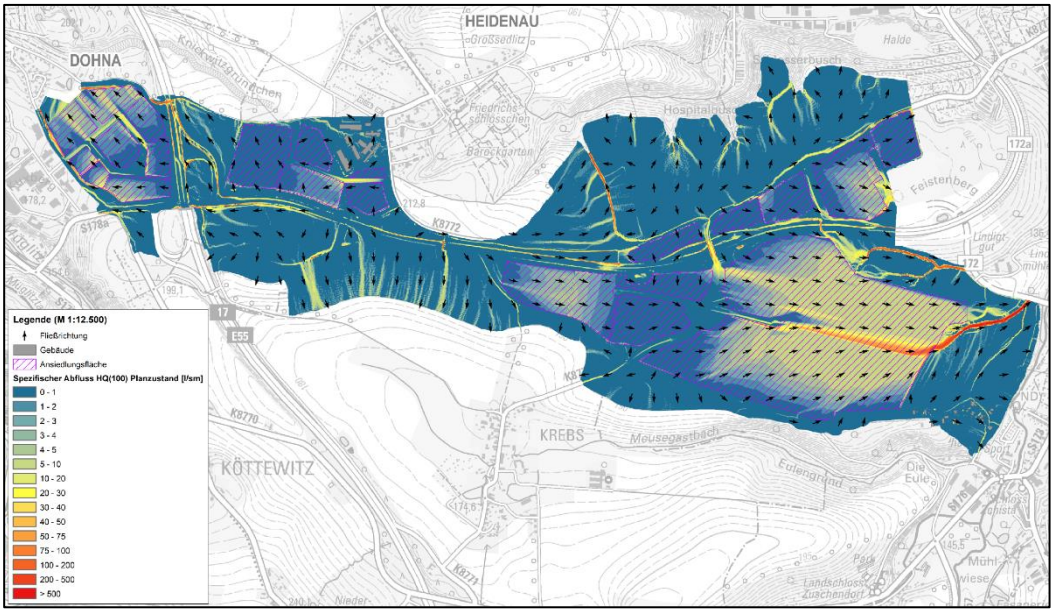


Abb. 4: Abflussmodellierung des Plan-Zustandes ohne Rückhaltemaßnahmen bei HQ (100), Regendauer 1,5 h [3]

[1] Der Versiegelungsgrad von 72 % stammt aus dem SCS-Verfahren der hydronumerischen Simulation zur Bestimmung der Abflussbeiwerte bzw. CN-Werte (siehe [3]). Diese wurden in den USA bei der Entwicklung des Verfahrens empirisch mit Beregnungsversuchen bestimmt und dabei wurden Industrieflächen mit (wahrscheinlich mittlerer) Versiegelung = 72% betrachtet.

Im Planzustand ohne Rückhaltung verändert sich der Oberflächenabfluss in den Eingriffsbereichen sowie in Gebieten, die hangabwärts daran angrenzen. Neu oder stärker versiegelte Flächen führen naturgemäß zu größeren Nettoregenmengen als im Ist-Zustand [3]. Den Oberflächenabfluss beeinflussend wirken eine veränderte, tw. geringere Geländeneigung und damit die Verringerung des bestehenden Spitzenabflusses im Vergleich zu der Situation vor der Maßnahme sowie die verlagerte Entwässerung in ein anderes Einzugsgebiet.

Verbesserungen ohne Rückhaltemaßnahmen

Verbesserungen im Plan-Fall ohne Rückhaltemaßnahmen wären:

- Die zum Meusegastbach bzw. zur Ortslage Krebs gerichteten Abflüsse würden geringer, weil das heute aus dem Gebiet der geplanten Teilfläche D3 nach Süden strömende Wasser wegen der in D3 vorgesehenen Flächenneigung nach Osten und damit in ein anderes Einzugsgebiet umgeleitet würde.
- Das Lindigtgründel im Osten, weil der Großteil seines Einzugsgebiets über die vorgesehenen Neigungen der geplanten Teilflächen D1 und D2 dem Lindigtgründel verloren ginge.
- Die Nachbargebiete der Teilfläche B, weil die geplante Flächenneigung dort geringer als im Ist-Zustand wäre und damit trotz stärkerer Versiegelung kleinere Oberflächenabflüsse in die umliegenden Bereiche abgegeben würden. Etwa für die Flächen am Schilfteichweg würde der maximale Spitzenausfluss aus dem Gebiet von 1,4 auf 0,6 m³/s stark gedämpft. Die während des Regens und danach insgesamt abzuleitende Wassermenge würden aber wegen der stärkeren Versiegelung größer als im Ist-Zustand ausfallen.

Verschlechterung ohne Rückhaltemaßnahmen

- 'An der Bodlitz' in Dohna würden die Oberflächenabflüsse zunehmen, weil die geplanten Neigungen der Teilfläche A in Verbindung mit der stärkeren Versiegelung eine Zunahme der Nettoregenmenge und gleichzeitig eine Konzentration des Oberflächenabflusses nach Dohna bewirken würden. Der Spitzenabfluss würde von 1,5 auf 2,5 m³/s zunehmen.
- Der Spitzenabfluss im Merbitzens-Gründel würde von 1,4 auf 6,4 m³/s steigen, da große Teile des Einzugsgebiets des Lindigtgründels und auch des Meusegastbachs durch die Geländeprofilierung der Teilfläche D dem Merbitzens-Gründel zugeschlagen und zudem stärker versiegelt würden.
- Am Feistenberg im Nordosten würde der Spitzenabfluss von 1,4 auf 2,1 m³/s steigen, weil die Geländeprofilierung und Versiegelung der Teilfläche C eine Zunahme der Nettoregenmenge und gleichzeitig eine Konzentration des Oberflächenabflusses bewirken würde.

Fläche A

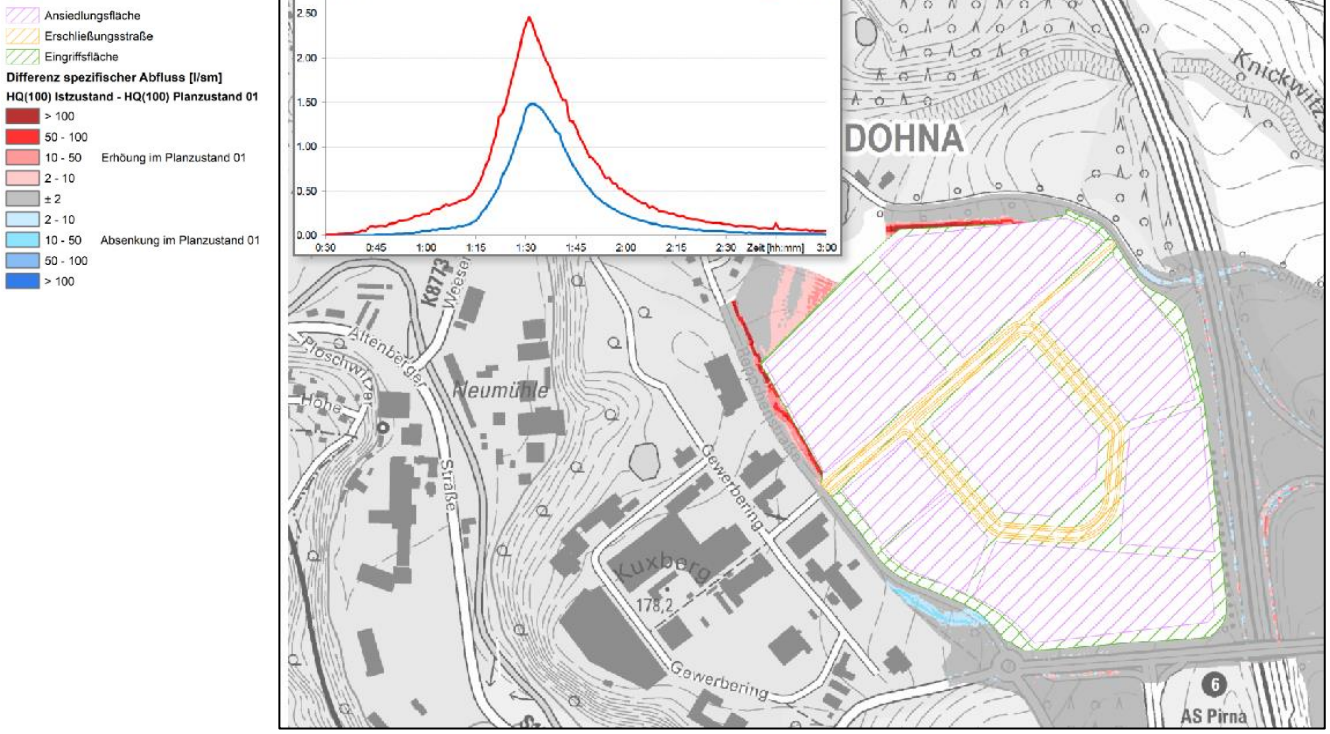


Abb. 5: Differenzdarstellung zwischen Ist- und Plan-Zustand ohne Rückhaltemaßnahmen für Fläche A [3]

Das Diagramm über 3 Stunden in der obigen Abbildung zeigt den höheren Spitzenabfluß nach Dohna, Richtung 'An der Bodlitz' um rund 1 m³/s deutlich. Das entspricht einer potenziellen Erhöhung von rund 70 %.

Fläche B

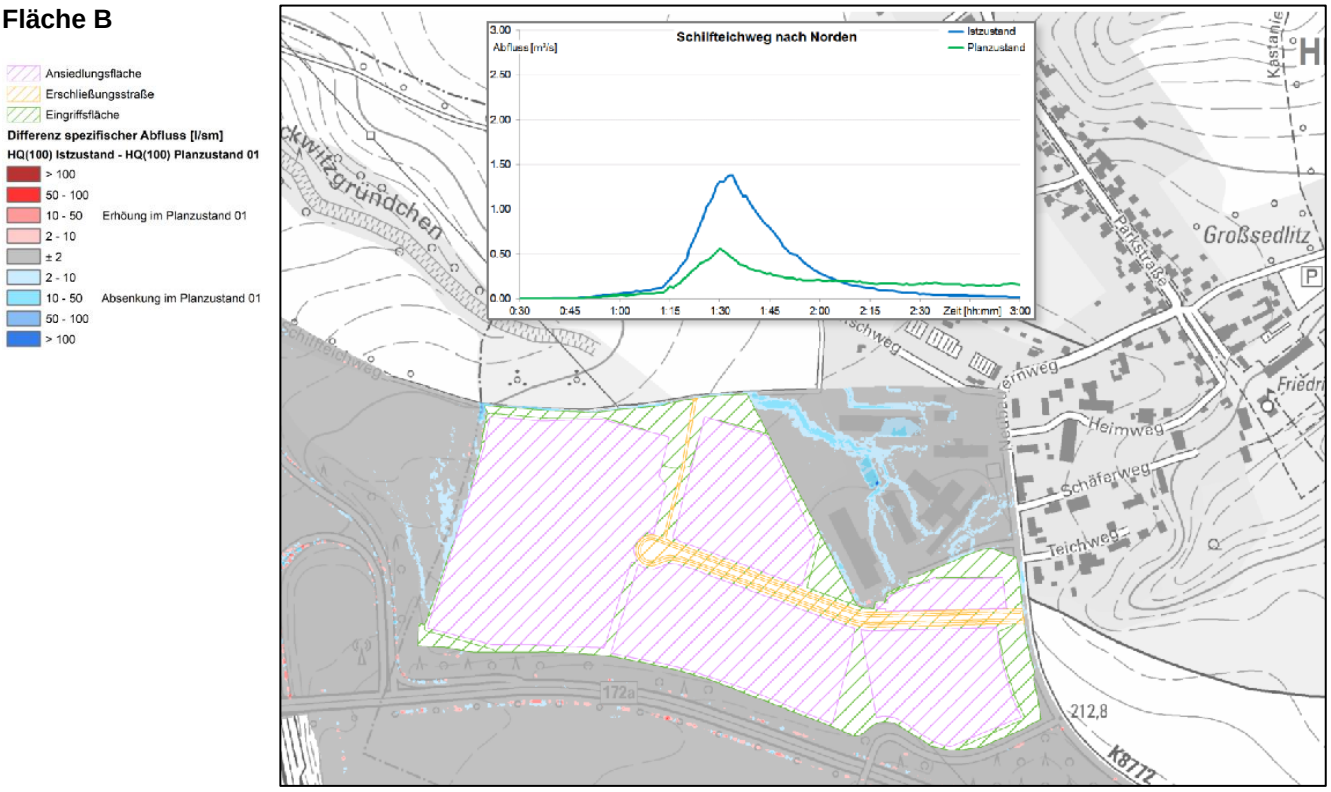


Abb. 6: Differenzdarstellung zwischen Ist- und Plan-Zustandes ohne Rückhaltemaßnahmen für Fläche B [3]

Die Abbildung, insbesondere das Abflussdiagramm zeigt, dass die Abflussspitze durch die verringerte Reliefenergie der geplanten Fläche B deutlich geringer ausfallen und verzögerter abfließen würde. Gegenüber dem Ist-Zustand (1,5 m²/s) würde nur ein Drittel (0,5 m³/s) des Spitzenwertes abgeleitet, dafür umso länger.

Fläche C

Abb. 7: Differenzdarstellung zwischen Ist- und Plan-Zustandes ohne Rückhaltemaß-nahmen für Fläche C [3]

Die Abbildung verdeutlicht die potenziell höhere Abflussmenge im Osten der Fläche C, die sich von rund 1,4 m²/s auf 2,1 m³/s um rund 50 % erhöhen würde. Insbesondere zum östlich gelegenen Gelände der Motorcross-Strecke würden sich erhöhte Abfluss-mengen ergeben, wenngleich durch das geringere Geländegefälle die Abflussspitzen auch hier gekappt werden.

Fläche D

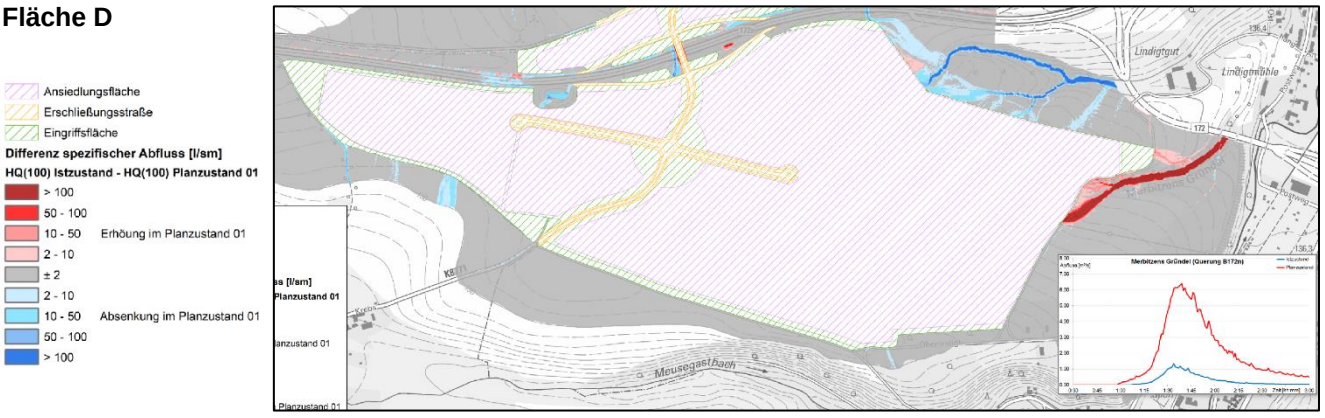


Abb. 8: Differenzdarstellung zwischen Ist- und Plan-Zustandes ohne Rückhaltemaß-nahmen für Fläche D [3]

Die Abbildung zeigt, dass im Bereich der Fläche D West Abflussentlastungen auftreten würden, insbesondere die bislang hangabwärts gerichteten Strömungen nach Krebs würden durch die Neuprofilierung des Geländes verringert werden.

Ebenso würde das nordöstlich gelegene Lindigt-Gründel durch die Geländeverände-rung von D Ost entlastet werden, die Abflussströme und Mengen hier wären deutlich geringer. Das Merbitzens-Gründel hingegen wäre deutlich stärker betroffen, der Spit-zenabfluss würde sich von 1,4 auf 6,4 m³/s um das Viereinhalbfache erhöhen.

2.1.3 Zusammenfassung Hydronumerische Modellierung

Allgemeine Schlussfolgerung

"Es ist prinzipiell möglich, die beschriebenen Verschlechterungen für Nachbargebiete durch geeignete Rückhalte- bzw. Entwässerungseinrichtungen vollständig zu kompensieren" [3]. Konkrete und geeignete Maßnahmen sind nachfolgend zu treffen.

Aus den Modellberechnungen ergibt sich, dass die Entwässerungen der Teilflächen A und B jeweils separat betrachtet werden können. Änderungen an den Teilflächen C, D West oder D Ost haben keinen Einfluss auf die Fläche A bzw. B.

Die Teilflächen C und D sind wegen ihrer räumlichen Nähe und der daraus resultierenden gegenseitigen Beeinflussung für die Planung von Rückhalte-/ Entwässerungsmaßnahmen zusammenhängend zu betrachten. Von den Teilflächen A und B werden die Flächen C und D nicht beeinflusst.

Konkrete Schlussfolgerung

- Im nördlichen Bereich der Fläche A sind Rückhaltungen zwingend herzustellen, um abfließendes Niederschlagswasser zurückzuhalten.
- Das Merbitzens-Gründel ist durch Rückhaltungen zu schützen. Die durch die geplante Geländenivellierung bedingte Entlastung des Lindigt-Gründels ist auszugleichen bzw. anzuheben, um biotische Verschlechterungen u.a. für Boden und Vegetation zu vermeiden.
- Der Spitzenabfluss östlich der Fläche C am Feistenberg ist durch Rückhaltungen zurückzuhalten.

Regenwasserbewirtschaftungskonzept erforderlich

Um eine 'scheibchenweise Entwicklung' mit evtl. negativen Einflüssen in der Niederschlagswasserbeseitigung zu verhindern, ist in Abstimmung mit der Untere Wasserbehörde die Erstellung eines Regenwasserbewirtschaftungskonzeptes für das gesamte Gebiet erforderlich.

"In diesem Konzept sollten Kompensationsmaßnahmen ausschließlich außerhalb der Ansiedlungsflächen entworfen werden, um unabhängig von den künftigen Nutzungen im 'IndustriePark Oberelbe' die Neutralität des Vorhabens bezüglich der Oberflächenabflüsse bei Starkregen nachweisen zu können. Dabei sollten sowohl der **Übergangszustand**, in dem die Erschließungsstraßen und Ansiedlungsflächen hergestellt sind, aber noch keine Ansiedlung stattgefunden hat, als auch der hinsichtlich der Entwässerungsproblematik **ungünstigste Endzustand mit voller Auslastung** und maximal in Anspruch genommenem Versiegelungsgrad von 80% betrachtet werden.

Um im Zuge des Ansiedlungsprozesses flexibel darauf reagieren zu können, dass durch eigene Maßnahmen der Gewerbebetriebe unter Umständen weniger Wasser zurückzuhalten ist, sollten die Maßnahmen möglichst modular ausgelegt werden." [3]

2.2 Siedlungswasserwirtschaft

2.2.1 Bauflächen

Welche Abflussspitzen und -mengen?

Die Untersuchung zur Siedlungswasserwirtschaft [4] prüft[2] auf Basis der Ausgangswerte der hydronumerischen Modellberechnung:

Welche Abflussspitzen und -mengen ergeben sich für die bebauten Flächen?

Eckdaten

Da die konkrete Bebauung derzeit nicht bekannt ist, kann in diesem Planungsstadium nur eine 'schematische Berechnung' erfolgen. Die Ermittlung erfolgt daher für **1 ha große Referenzflächen mit 75 % Versiegelungsgrad**, in denen

a) Die Geländeneigung variiert in zwei Stufen ≤1% und 2-3 %. Die Geländeneigung beeinflusst im Berechnungsprogramm für die Siedlungswasserwirtschaft die Höhe des Oberflächenabflusses.

b) der Anteil Dachflächen mit Rückhaltesystem variiert (25% oder 50 % Flächenanteil)

c) das Regenereignis 10 jähr./ 30 jähr./ 100 -jährlicher Regen berechnet wird.

Als Referenz wird eine unbebaute, unbefestigte Fläche (Ref.-Flächen 3 + 6 in [4]) mit der Geländeneigung ≤1% und 2-3 %. dargestellt (vgl. nachfolgende Abbildung, Modell rechts).

Konzept der Rückhaltung

Grundlage des Gesamtkonzeptes ist, dass die **Abflüsse von den Dachflächen** primär **in Rückhaltebecken** zur Brauchwasserbereitstellung und als Löschreserve zurückgehalten werden sollen. Sie sollen in offenen Speicherbecken zwischengepuffert werden und sowohl für die zunehmend erforderliche Bewässerung von Grünflächen, als Reserve für die Feuerwehr sowie über Verdunstung der klimatischen Verbesserung dienen. Sie können als offene Teiche oder Becken mit einem Dauerstau auf den privaten Bauflächen errichtet werden.

Die **Oberflächenabflüsse von den privaten Park-/Stell-/Umladeflächen** sollen über belebte Bodenschichten **einer Rigole** zugeführt werden. Die Rigole dient als Puffer zur Abschwächung der Abflussspitze. Eine Versickerung ist nicht vorrangig vorgesehen, da der anstehende Boden nur bedingt dazu geeignet ist. Die Abgabe in das Kanalnetz erfolgt erst über das bautechnisch definierte Einstauvolumen der Rigole hinaus. Die vollständige Leerung der Speicher erfolgt über Verdunstung bzw. Versickerung. Diese unterirdischen Rigolen sind auf den privaten Bauflächen, vorzugsweise unter den Verkehrsflächen, zu errichten. Die belebte Bodenschicht über der Rigole dient auch auf den privaten Bauflächen zum Abbau von Schadstoffen, zur Regenwasserbehandlung und flächenhaften Versickerung über eine Bodenpassage.

Die Abflüsse von den **öffentlichen Verkehrsflächen und sonstigen Flächen** sollen breitflächig über die belebte Bodenzone einer Mulde in eine Rigole abgeleitet werden. Mit der Durchleitung durch die belebte Bodenzone erfolgt ein Abbau der Schadstoffe. Diese Entwässerungssysteme und Rigolen werden auf öffentlichen Flächen errichtet.

[2] Angaben sind dem Fachgutachten Mappe 2, Bereich II - Teil 2 'Konzept Siedlungswasserwirtschaft' zu entnehmen.

Grundlagen zur Bemessung der Rückhaltesysteme

Die modellhafte Berechnung der Rückhaltesysteme geht davon aus, dass

a) beim 30-jährigen Regen kein Überstau der Rückhaltebecken eintritt,

b) eine Abflusssteuerung nicht erfolgt, sondern Regelbauwerke errichtet werden.

Rückschluss zur Bemessung der Rückhaltesysteme

Im Ergebnis der modellhaften Berechnung ergeben sich unter den gesetzten Eckdaten (s.o.) Abflussspitzenwerte und -mengen für die geplanten Flächen A bis D, die zu den Werten der unbefestigten Referenzflächen ins Verhältnis zu setzen sind.

Beispiel zur Erläuterung: die Parameter 50% Dachfläche mit Rückhaltung, 25 % Verkehrsfläche mit Rigole, 1 % Geländegefälle und **10jähriges Regenereignis** ergeben eine Abflussspitze von 35 l/s und ein Gesamtabflussvolumen von 48 m³/s für 1 ha Fläche. Hochgerechnet z.B. auf die Gesamtfläche B (B1 bis B 6) ohne Verkehrsflächen ergibt sich ein Gesamtabfluss von 0,54 m³/s. Dieser liegt unterhalb des ermittelten Wertes für die unbefestigte Referenzfläche. Damit ist unter diesen Parametern keine Verschlechterung eingetreten.

Betrachtet man das **100jährige Regenereignis**, verdoppelt sich der Regenwasserabfluss, eine Verschlechterung ist nicht auszuschließen.

Gemessen an den von der Kommune (auch als Beteiligte am 'Zweckverband IndustriePark Oberelbe') festgelegten Bemessungswerte, sind die Regenrückhaltekapazitäten entsprechend zu vergrößern.

Der Ermittlung für die Referenzflächen 1 und 2 ergibt dabei:

Modell-berechnung	**Ref.-Flä. 1**	**Ref.-Flä. 2**	**Flächennutzung nach [4]**
für 1 % Flächenneigung	25 %	50%	Dachfläche mit Regenrückhalte- und Speicherbecken (RRB)
	50 %	25%	Park-/Stell-/Umladefläche mit Rigole (unterirdischer Speicher)
	25 %	25%	unbefestigte Fläche

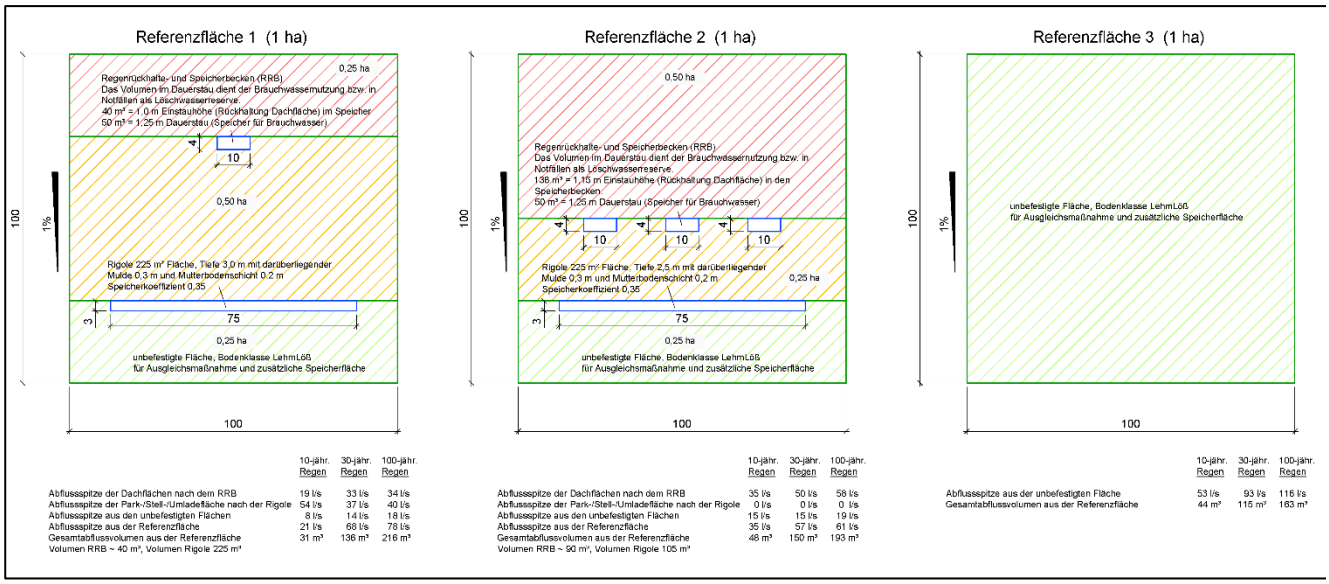


Abb. 9: Modellberechnung Abflusswerte für Referenzfläche 1 (links, 25% Dachanteil) und 2 (Mitte, 50 % Dachanteil) gegenüber der unbefestigten Referenzfläche 3 rechts; bei 1 % Gefälle, Ausschnitt aus Plan RK-03 [4]

Obenstehende Abbildung verdeutlicht die modellhafte Berechnung für zwei verschiedene Rückhaltesysteme: In **Referenzfläche 1** wird der Niederschlag von den 2.500 m² Dachflächen in einem 50 m³ Speicherbecken zurückgehalten und von den 5.000 m² befestigten Fläche in einer 225 m³ Rigole gesammelt.

In **Referenzfläche 2** wurde der Dachanteil verdoppelt, das Speicherbecken auf 138 m³ vergrößert und die Verkehrsfläche halbiert bei gleichbleibender Größe der Rigole.

Die Referenzfläche 3 zeigt eine unbebaute Grünfläche zum Vergleich.

Günstige Konstellation:

Im Ergebnis der Betrachtung [4] dieser 1 % geneigten Fläche (vgl. [4] Plan RK-03) ergeben sich für die beiden Referenzflächen 1 und 2 (bei Betrachtung des günstigsten Regenereignisses 10-jährlicher Regen) folgende Werte gegenüber der unbefestigten Referenzfläche 3:

10jähriges Regenereignis	Abfluss-spitze	Abfluss-menge	Dachanteil	Veränderung
Ref.-Fläche 3	53 l/s	44 m³	Unbefestigte Fläche	
Ref.-Fläche 1	21 l/s	31 m³	25 % Dachfläche	Abflussspitze auf 40% verringert Gesamtabfluss auf 70% verringert
Ref.-Fläche 2	35 l/s	57 m³	50 % Dachfläche	Abflussspitze auf 66% verringert Gesamtabfluss um 30% erhöht

Die Ergebnisse dieser Modellierung zeigen, dass die angenommenen Rückhalte-Bemessungen bei dieser günstigsten Konstellation ausreichend sind: das 10jährige Regenereignis kann bei 1% Geländegefälle, 2.500 m² Dachfläche mit 50 m³ Rückhaltung, 5.000 m² Verkehrsfläche mit 225 m³ Rigolenvolumen ausreichend zurückgehalten werden, da der Abfluss- und Spitzenwert unterhalb der Werte für die unbefestigten Fläche liegt.

Bei einer größeren Dachfläche (50%) liegt die Abflussmenge bereits 30 % über der unbefestigten Referenzfläche, daher sind bereits hier zusätzliche Speicherkapazitäten erforderlich.

Die Betrachtung der ungünstigsten Konstellation zeigt folgende Modellrechnung der Referenzflächen 4 und 5:

Modell-berechnung	**Ref.-Flä. 4**	**Ref.-Flä. 5**	**Flächennutzung nach [4]**
für 2-3 % Flächenneigung	25 %	50%	Dachfläche mit Regenrückhalte- und Speicherbecken (RRB)
	50 %	25%	Park-/Stell-/Umladefläche mit Rigole (unterirdischer Speicher)
	25 %	25%	unbefestigte Fläche

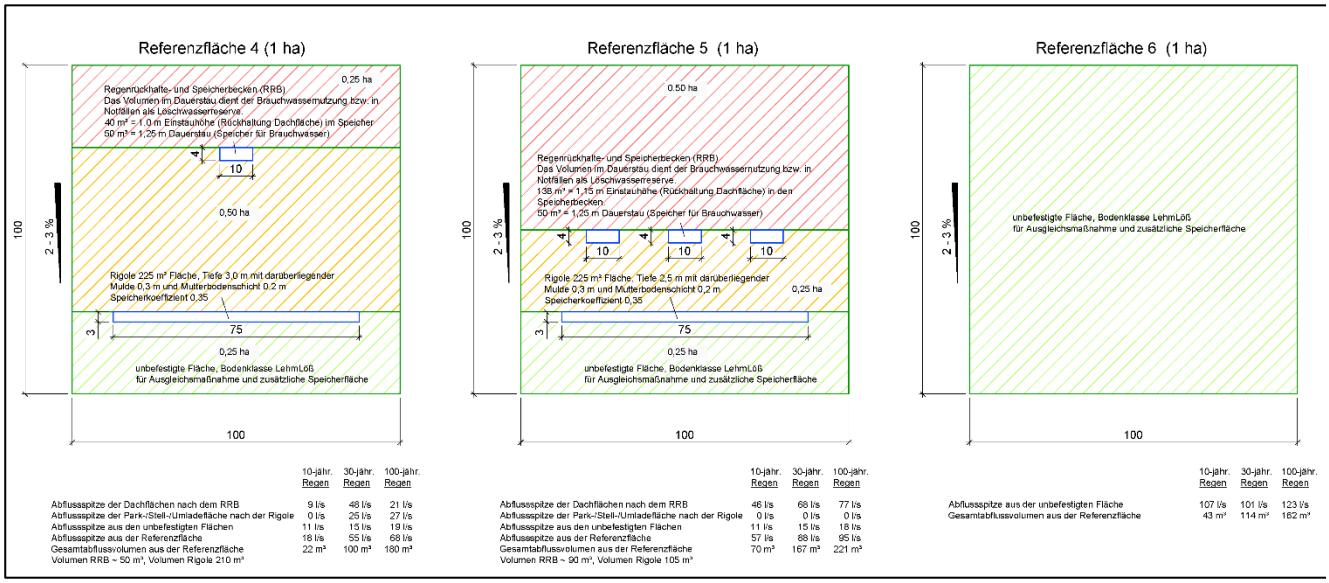


Abb. 10: Modellberechnung Abflusswerte für Referenzfläche 4 (links, 25% Dachanteil) und 5 (Mitte, 50 % Dachanteil) gegenüber der unbefestigten Referenzfläche 6 rechts; Ausschnitt aus Plan RK-03 [4]

Obenstehende Abbildung verdeutlicht die modellhafte Berechnung für zwei verschiedene Rückhaltesysteme: In **Referenzfläche 4** wird der Niederschlag von den 2.500 m² Dachflächen in einem 50 m³ Speicherbecken zurückgehalten und von den 5.000 m² befestigten Fläche in einer 225 m³ Rigole gesammelt.

In **Referenzfläche 5** wurde der Dachanteil verdoppelt, das Speicherbecken auf 138 m³ vergrößert und die Verkehrsfläche halbiert bei gleichbleibender Größe der Rigole.

Die Referenzfläche 6 zeigt eine unbebaute Grünfläche zum Vergleich.

Ungünstige Konstellation:

Im Ergebnis der Betrachtung [4] dieser 2-3 % geneigten Fläche (vgl. [4] Plan RK-03) ergeben sich für die beiden Referenzflächen 4 und 5 (bei Betrachtung der ungünstigsten Regenereignisse 30 und 100-jährlicher Regen) folgende Werte gegenüber der unbefestigten Referenzfläche 6:

30jähriges Regenereignis	**Abfluss-spitze**	**Abfluss**	**Dachanteil**	**Veränderung**
Ref.-Fläche 6	101 l/s	114 m³	Unbefestigte Fläche	
Ref.-Fläche 4	55 l/s	100 m³	25 % Dachfläche	Abflussspitze auf 54% verringert Gesamtabfluss auf 88% verringert
Ref.-Fläche 5	88 l/s	167 m³	50 % Dachfläche	Abflussspitze auf 87% verringert Gesamtabfluss um 46% erhöht
100jähriges Regenereignis	**Abfluss-spitze**	**Abfluss**	**Dachanteil**	**Veränderung**
Ref.-Fläche 6	123 l/s	162 m³	Unbefestigte Fläche	
Ref.-Fläche 4	68 l/s	180 m³	25 % Dachfläche	Abflussspitze auf 55% verringert Gesamtabfluss um 11% erhöht
Ref.-Fläche 5	95 l/s	221 m³	50 % Dachfläche	Abflussspitze auf 77% verringert Gesamtabfluss um 36% erhöht

Auswertung

1. Die **Abflussspitzen** werden durch die Rückhaltesysteme bei allen Berechnungsmodellen **deutlich verringert.** Dies gilt unabhängig vom Verkehrsflächen- oder Dachanteil oder Regenereignis!
2. Das **10jährige Regenereignis** kann rechnerisch unter den angenommenen Eckdaten der **Referenzfläche 1 abgefangen und schadlos abgeführt** werden.
3. Der **Gesamtabfluss** aus den Referenzflächen ist bei einem 30 oder 100jährigem Regenereignis **deutlich höher. Die Rückhaltesysteme sind deutlich in den Volumina anzupassen.**

Die Hochrechnung der Abflusswerte auf den Teilflächen A bis D erfolgte in [4] entsprechend der jeweiligen geplanten Flächenneigung – in Varianten für 25 oder 50 % Dachflächenanteil – für 3 verschiedene Regenereignisse (vgl. Unterlage 2 zu [4]).

Folgende Endwerte sind für den ungünstigsten Fall (theoretischer Spitzenabfluss, alle Flächen eines Planungsgebietes entwässern ohne Fließverzögerung zeitgleich auf diesen Punkt) ermittelt worden:

	Abfluss-spitze	
A	1,75 m³/s	100jähriges Regenereignis mit 50 % Dachfläche
B	1,21 m³/s	100jähriges Regenereignis mit 25 % Dachfläche
C	2,05 m³/s	100jähriges Regenereignis mit 50 % Dachfläche
D	7,14 m³/s	100jähriges Regenereignis mit 50 % Dachfläche

Die Rückhaltesysteme sind im Zuge eines Regenwasserbewirtschaftungskonzeptes bzw. der konkreten Erschließungsplanung entsprechend anzupassen. Die in [4] eingeplanten Rückhaltebecken (vgl. Kap. 2.2.2 Straßenentwässerung) bieten zusätzlich ins-

besondere vor dem Hintergrund der hohen Abflussspitze von Fläche D ein rechnerisch ausreichendes Rückhaltevolumen.

2.2.2 Straßenentwässerung

Mulden-Rigolen-Versickerung

Entgegen den zukünftigen Nutzungen auf den Bauflächen stehen für die geplanten öffentlichen Verkehrsanlagen genaue Angaben zu Lage, Größe und Ausführung vor (vgl. Mappe 1: Bereich I - Teil 2).

Neben dem Entwurf der Straßenanlagen liegen Bemessungen zur Niederschlagswasserbeseitigung vor. Grundsätzlich soll die Entwässerung der Straßen über die belebte Bodenzone in eine Rigolen als Rückhaltung erfolgen. Damit sollen die Abflussspitzen aus den Oberflächenabflüssen der Straßen reduziert und die zu erwartenden Schadstoffeinträge in die Straßenentwässerungskanäle und nachfolgenden Gewässer minimiert werden. Die Versickerung in der Rigole wird beim anstehenden Baugrund gering ausfallen, eher wird eine flächige Verdunstung über die Mulde erfolgen. Die Überläufe der Rigolen sind an die Regenwasserkanäle angeschlossen. Zusätzlich sind Volumen im Kanalnetz zur Sicherstellung des Feuerlöschbedarfs geplant.

Nachstehende Abbildung zeigt den Straßenquerschnitt als Planausschnitt:

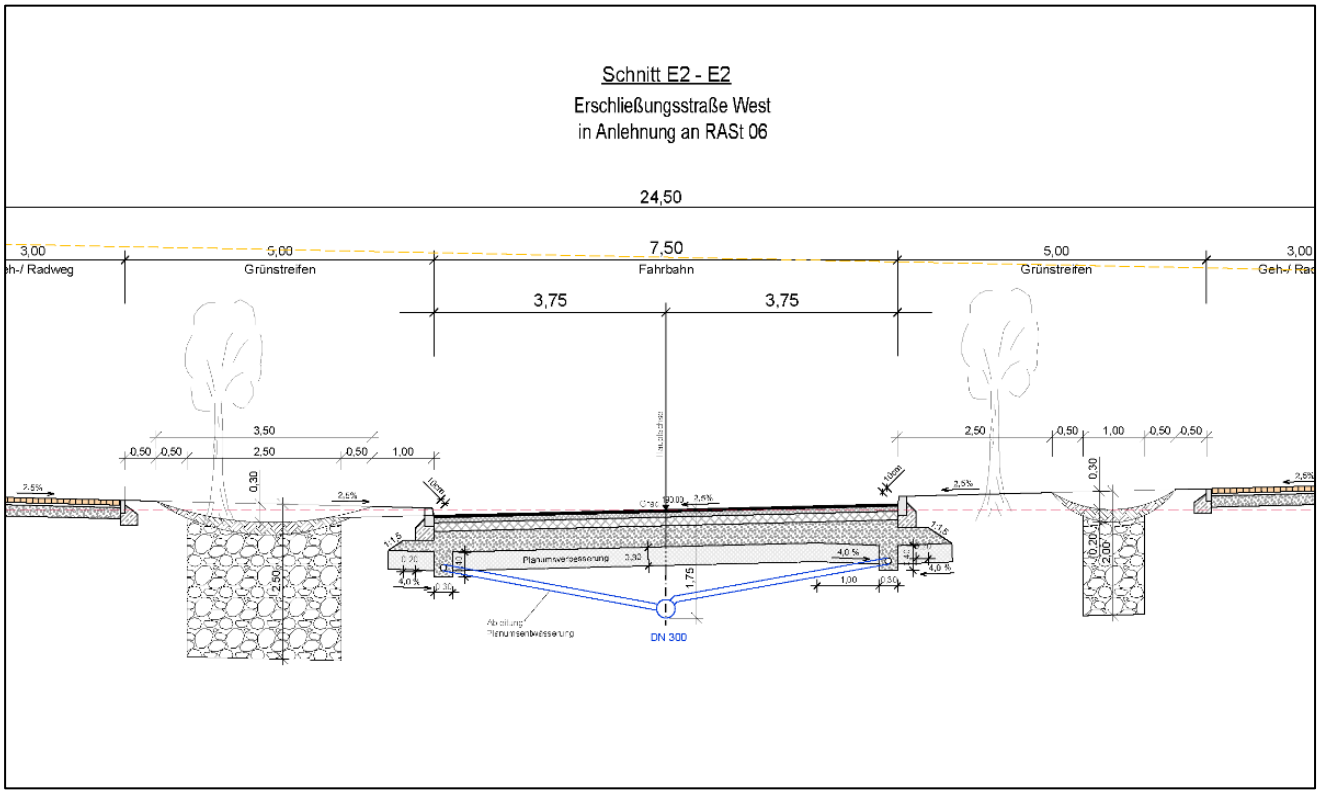


Abb. 11: Schnitt Erschließungsstraße mit Rigolen, Ausschnitt aus Plan RK-02 [4]

Der Zulauf von der Verkehrsfläche in die seitlichen Mulden mit untergelagerter Rigole erfolgt dem Gefälle entsprechend rund 60 bis 80 m tiefer (vgl. RK 04 aus [3]).

Rückhaltebecken für öffentliche Flächen

Die Straßenentwässerung muss ebenso Rückhalte- wie Speicherfunktionen für das anfallende Oberflächenwasser erfüllen. Diese erfolgt neben den straßenbegleitende Rigolen mittels Regenrückhaltebecken (RRB) an den Grenzen des 'IndustriePark Oberelbe'. Nach vorliegender Berechnung [4] sind Stauräume für Fläche B (150 m³) und an der Grenze der Fläche D (rund 4.000 m³ Volumen) zur Dämpfung der Abflussspitzen vorgesehen. Im Zentrum des Kreisverkehrs der Fläche D ist ein Regenrückhaltebecken in geschlossener Bauweise von rund 300 m³ Volumen zur Drosselung des Abflusses in Richtung Erschließungsstraße D Ost und weiter in Richtung Merbitzens-Gründel sowie zur Löschwasserbereitstellung geplant.

Weiterhin sollen zur Aufnahme des gedrosselten Niederschlagsabflusses aus den Bauflächen die Durchmesser der Kanäle erhöht werden.

Offene Regenrückhaltebecken mit naturnahen Bereichen und Böschungsbepflanzung erhöhen die Verdunstungsrate und verbessern das siedlungsökologische Klima in Industrie- und Gewerbegebieten.

Abb. 12: Beispiel für Regenrückhaltebecken, aus [6]

2.2.3 Zusammenfassung Siedlungswasserwirtschaft

Die Bemessung der Rückhaltesysteme aus den Ansiedlungsflächen kann aufgrund fehlender konkreter Bebauung nur schematisch mittels Referenzflächen ermittelt werden. In die Berechnung fließen u.a. zwei verschiedene geplante Geländeneigungen (1%, 2-3%), zwei Variationen an Dachflächenanteilen (25 oder 50%) mit offenen Rückhaltebecken sowie 3 Regenereignisse (10, 30 und 100jährig) ein.

Konzeptionell soll auf den Bauflächen das **Niederschlagswasser von den privaten Dachflächen** in Regenrückhaltebecken (zur Verdunstung, Brauchwasser, Bewässerung, Löschwasser) zurückgehalten werden.

Der **Abfluss von den privaten Verkehrsflächen** soll über ein Mulden-Rigolen-System behandelt, zwischengespeichert, verdunstet, teilversickert und im Überstau an das Kanalnetz abgegeben werden.

Niederschlag von öffentlichen Straßenflächen soll über ein Mulden-Rigolen-System verdunstet, teilversickert und im Überstau an das Kanalnetz abgegeben werden. Zudem werden Rückhaltebecken zur Minderung der Abflussspitzen errichtet.

Auswertung

1. Die **Abflussspitzen** werden durch die einkalkulierten Rückhaltesysteme bei allen Berechnungsmodellen **deutlich verringert.** Dies gilt unabhängig vom Verkehrsflächen- oder Dachanteil oder Regenereignis! Diese Rückhaltesysteme sind Teil der privaten Erschließungsmaßnahmen auf den Bauflächen.
2. Die Behandlung der Oberflächenabflüsse nach der 'Handlungsempfehlung zum Umgang mit Regenwasser' (DWA-M 153) erfolgt auf den privaten Bauflächen in den **Speicherbauwerken** und den **Mulden-Rigolen-Systemen**. Die anfallenden Niederschlagwässer der Straße werden durch das Mulden-Rigolen-System behandelt.
3. Nur das **10jährige Regenereignis** kann rechnerisch unter den angenommenen Eckdaten der **Referenzfläche 1 abgefangen und schadlos abgeführt** werden.
4. Der **Gesamtabfluss** aus den Referenzflächen ist bei einem 30 oder 100jährigen Regenereignis **deutlich höher als der Status quo. Die Rückhaltesysteme auf den privaten Flächen sind deutlich in den Volumina anzupassen.**
5. Die eingeplanten öffentlichen Rückhaltebecken bieten zusätzlich insbesondere für die hohe Abflussspitze von Fläche D ein rechnerisch ausreichendes Rückhaltevolumen. Die Abflussmenge dagegen kann nicht öffentlich kompensiert werden, es sind entsprechende Rückhaltemaßnahmen auf den privaten Flächen erforderlich.

Die Hochrechnung der Abflusswerte auf den Teilflächen A bis D ergibt im ungünstigsten Fall:

	Abflussmenge	
A	1,75 m³/s	100jähriges Regenereignis mit 50 % Dachfläche
B	1,21 m³/s	100jähriges Regenereignis mit 25 % Dachfläche
C	2,05 m³/s	100jähriges Regenereignis mit 50 % Dachfläche
D	7,83 m³/s	100jähriges Regenereignis mit 50 % Dachfläche

Kosten

Die Baukosten inkl. Baustelleneinrichtung und Verkehrssicherung für **die öffentlichen Rückhaltemaßnahmen** werden von [4] wie folgt benannt:

	Baukosten brutto	
A	1.026.000 €	
B	552.000 €	
C	-	Keine zusätzliche Erschließungsstraße
D	2.763.000 €	
Gesamt	4.341.000 €	

Die vorläufigen Gesamtkosten für die öffentlichen siedlungswasserwirtschaftlichen Anlagen betragen rund 4,35 Mio. € für das Gesamtgebiet des 'IndustriePark Oberelbe'.

Die genauere Kostenzusammenstellung ist in Mappe 2, Bereich II - Teil 2: Konzept Siedlungswasserwirtschaft enthalten.

3 Umsetzung und Realisierungsmöglichkeiten

Die Zunahme von extremen Starkregenereignissen in den letzten Jahrzehnten zeigt, dass sich nur mit einem wirkungsvollen und nachhaltigen Regenwassermanagement die Zukunftsfähigkeit neuer Baugebiete verwirklichen lässt. "Diesen Anforderungen stellt sich der 'Zweckverband IndustriePark Oberelbe', indem er eine Begrenzung des abzuleitenden Regenwassers auf ein 'natürliches Maß' anstrebt. Durch die Neubebauung soll jegliche negative Beeinträchtigung durch Oberflächenabflüsse auf Flächen außerhalb des IPO vermieden werden. Dieser Ansatz der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung wird von der unteren Wasserbehörde begrüßt und befürwortet. Das Ziel ist: Weg von einer Ableitung und hin zu einer Bewirtschaftung des Regenwassers vor Ort durch Versickerung, Speicherung, Verdunstung und Nutzung." [9]

3.1 Übergreifendes Bewirtschaftungskonzept

Ausgangs-situation

Um eine gebietsübergreifende Gesamtkonzeption für alle Planungsflächen und den davon beeinflussten Bereichen zu erlangen, ist ein **Konzept zur Regenwasserbewirtschaftung (RWK) erforderlich**. Im Gegensatz zu einer siedlungswasserwirtschaftlichen Berechnung für geplante Teilflächen soll ein RWK eine umfassende und übergreifende Betrachtung und Festlegung der erforderlichen Maßnahmen und Planungen erbringen.

Die zwingende Ausgangsbasis für die Lösungen und Bemessungsansätze für die Regenwasserbewirtschaftung stellt das hydronumerische Modell dar [10].

Der Grundsatz, dass für umliegende Gebiete keine Verschlechterungen gegenüber dem aktuellen Zustand zu befürchten sind, "ist als Minimalanspruch zu sehen. Zur Erfüllung dieser Anforderung ist der Abfluss-Rückhalt auf den betreffenden Flächen selbst und nicht erst an einem tiefergelegenen Standort vorzusehen" [ebd.].

Ohne ein flächenumspannendes Regenwasser-Bewirtschaftungskonzept für alle Flächen des 'IndustriePark Oberelbe' ist **die Absicherung des schadlosen Abführens von Niederschlagswasser** nicht abzusichern. Teillösungen für einzelne Bau- oder Entwicklungsflächen, auch in der Übergangs- bzw. Ansiedlungsphase, könnten zur Verschlechterung der Abflusssituation führen.

Anforderungen an Regenwasser-bewirtschaftungs-konzept (RWK)

Das RWK muss **konkrete Lösungsansätze** aufzeigen, die durch eine nachfolgende Erschließungsplanung umzusetzen sind. Dazu gehören, u.a.:

- Betrachtung der **Abflussspenden für den Endzustand** der maximal zulässigen Inanspruchnahme und Versiegelung des Gebietes. **Varianten** bei geringfügiger Versiegelung oder stärkeren Regenwassernutzung sind zu diskutieren.
- Die Darstellung **konkreter Rückhaltebauwerke mit Bemessung**, Standort und Ausführungsart sowie die Abstimmung der Rückhaltung für alle Bauwerke in der Zusammenschau.
- Bemessung der verschiedenen **Drosselabgaben** und Darstellung konkreter **Einleitungsstellen** oder Zuflußpunkte in die Einzugsgebiete.
- Die Nutzung des Regenwassers zur **Deckung des Feuerlöschwasserbedarfes** (Anzahl, Größe, Bauweise, Standortwahl der Speicher) in Abstimmung mit den örtlichen Feuerwehren der betroffenen Gemeinden.

- Folgen und Maßnahmen bei **Überschreitung des Bemessungsfalls** (Hochwasserschutz).
- Betrachtung des **Übergangszustandes der Flächen A bis D** bei Realisierung in Bauabschnitten und z.B. einer schrittweisen Umsetzung der Geländenivellierung.
- Betrachtung von **minimierenden Maßnahmen auf privaten Grundstücken** im Zuge der Bebauung/Nutzung.

Erst ein flächenumfassendes Konzept zur Regenwasserbewirtschaftung, bestehend aus verschiedenen ineinandergreifenden und sich ergänzenden Maßnahmen, wird dem nachhaltigen und vorsorgenden Ansatz des 'IndustriePark Oberelbe gerecht. Zahlreiche Grundlagen und Beispiele werden durch aktuelle Projekte untersetzt und publiziert, u.a. das Verbundprojekt KURAS[3] [6], aus dem nachfolgend Beispiele zitiert werden. Dabei stellt vor allem die praxisorientierte Ausrichtung der Beispiele, in Steckbriefen in [6] zusammengefasst (vgl. Anhang) für den 'IndustriePark Oberelbe' eine wegweisende Orientierung dar.

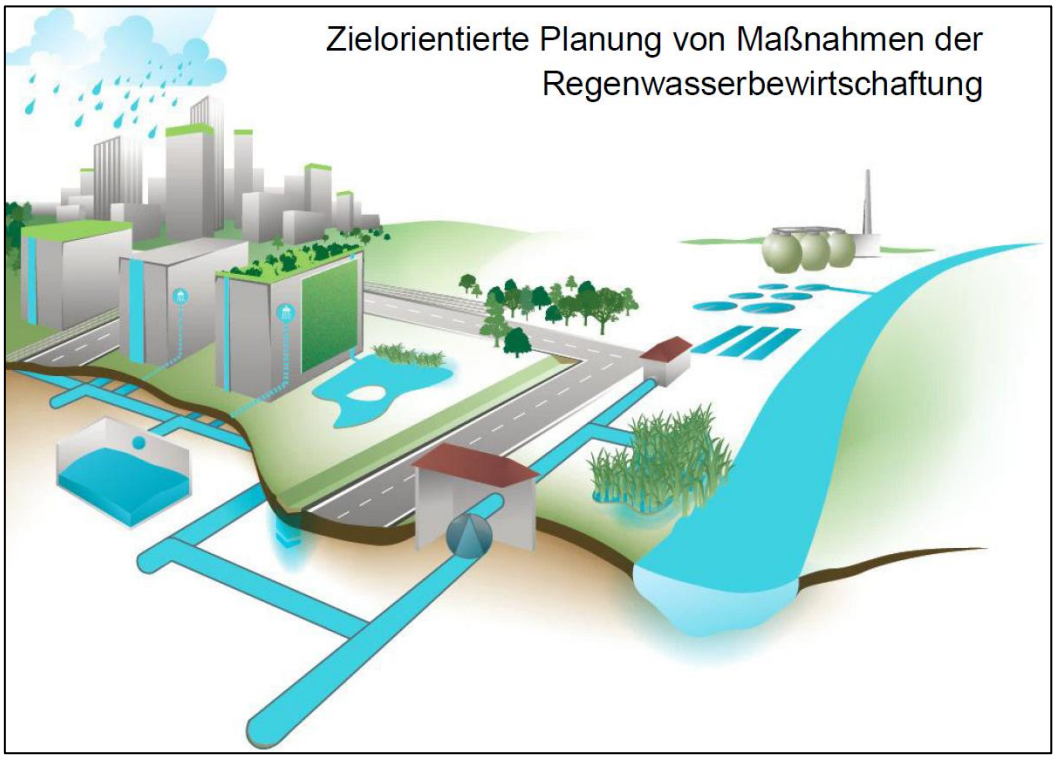


Abb. 13: schematische Darstellung zur Regenwasserbewirtschaftung, aus [6]

[3] Das Verbundprojektes KURAS wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Fördermaßnahme Intelligente und nachhaltige Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung (INIS) gefördert. Die involvierten Unternehmen beteiligten sich zudem durch Eigenanteile. Die Fördermaßnahme ist ein Teil des BMBF Förderschwerpunkts „Nachhaltiges Wassermanagement“ [6]

3.2 Geplante Maßnahmen im 'IndustriePark Oberelbe'

Technische Rückhalte-maßnahmen

Zur Minderung von Abflussmengen und Spitzenabfluss von Regenwasser sind verschiedene technische Lösungen möglich. Dazu zählen die bereits in [3] und [4] benannten unterirdischen Stauräume, Versickerungsanlagen/ Rigolen und oberflächige Regenrückhaltebecken. Für den 'IndustriePark Oberelbe' sind verschiedene Beispiele zu nennen, die für das Vorhaben im Regenwasser-Bewirtschaftungskonzept bzw. in den nachfolgenden Erschließungsplanungen zu konkretisieren sind:

Abb. 14: Maßnahmenbündel der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung auf Gebäude/ Grundstücksebene, Beispiel aus [6]

3.2.1 Versickerung von Niederschlagswasser

Varianten der Versickerung

Zu prüfen ist die Versickerungsfähigkeit des Bodens (Durchlässigkeitsbeiwert, kf-Wert) für die jeweils geplante Anlage. In Anbetracht der lößbestimmten Bodenarten (vgl. Mappe 3 - Bodengutachten) bestehen grundsätzlich ungünstige Voraussetzungen, die jedoch für den Einzelfall jeder Versickerungsanlage zu prüfen sind.

Ideal sind Durchlässigkeitsbeiwerte im Bereich von 10^{-4} (0,1 mm/s). Bei weniger durchlässigen Böden kann es je nach Platzverhältnissen erforderlich sein, das Niederschlagswasser zwischen zu speichern. Das Speichervolumen muss umso größer sein, je geringer die Durchlässigkeit des Bodens ist. Für Werte von $<10^{-5}$ sind in der Regel nur Anlagen mit einem zusätzlichen Langzeitspeicher geeignet. Schluff- und tonreiche Böden mit kf-Werten von 10^{-6} und kleiner sind hingegen für die Versickerung von Niederschlagswasserabläufen ungeeignet. In solchen Fällen geht es nicht ohne einen Bodenaustausch bis auf sickerfähige Schichten [5]. Unter Umständen sind Sickerversuche durchzuführen.

Zudem ist ein ausreichender Grundwasserflurabstand zu beachten (im Zweckverbandsgebiet rund 10 m) und die mögliche Verunreinigung des Grundwassers auszuschließen.

Verschiedene Versickerungsanlagen bieten sich an [5]:

- **Muldenversickerung** (offene Versickerung über eine Bodenvertiefung mit Bewuchs)
- **Mulden-Rigolen-Versickerung** (offene Versickerung mit Einlauf in Mulde mit darunterliegender Kiespackung)
- **Rigolen- und Rohrversickerung** (Versickerung über einen mit Kies gefüllten Graben, mit Sickerrohren zur linienhaften Verteilung des Wassers)
- **Mulden-Rigolen-Tiefbeet** [6, 7] in Straßenräumen ohne Böschung

- **Baum-Rigolen** [6] mit verstärkter Verdunstungsrate über Bäume
- **Sickerkästen** aus Fertigteilen [8]

Grundsätzlich führt eine Bepflanzung der offenen Mulden und Gräben mit Gehölzen oder Stauden zu einer erhöhten Verdunstung über die Vegetation.

Mulden-versickerung

Abb. 15: Beispiel zur Muldenversickerung, aus [6]

Mulden-Rigolen-Versickerung

Abb. 16: Beispiel für Mulden-Rigolensystem, aus [6]

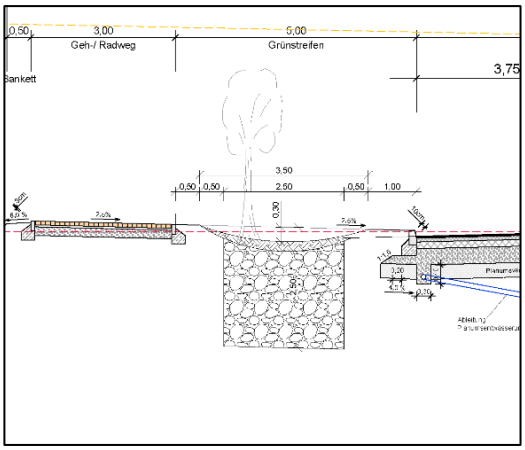


Abb. 17: Querschnitt geplantes Mulden-Rigolensystem in Erschließungsstraße 'IndustriePark Oberelbe', aus [4]

Rigolen- und Rohrversickerung

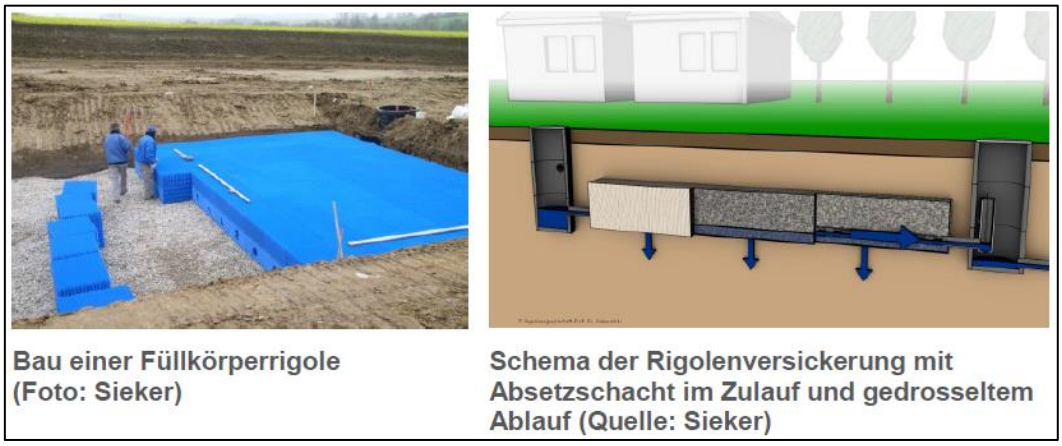


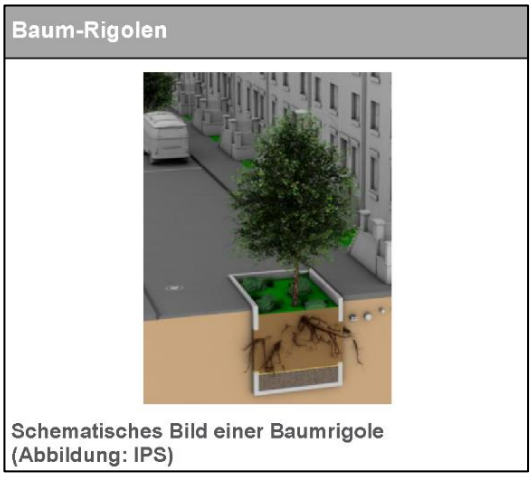
Abb. 18: Beispiele für Rigolenversickerung, aus [6]

Mulden-Rigolen-Tiefbeet

Mulden-Rigolen-Tiefbeete bieten neben den Speicher-, Reinigungs- und Verdunstungsfunktionen aus gestalterische Aspekte. Bei straßennahem Standorten ist eine Streusalztoleranz der Bepflanzung erforderlich.

Abb. 19: Beispiele für Mulden-Rigolen-Tiefbeet, aus [6]

Baum-Rigolen



Die Baum-Rigole kann direkt in den Straßenraum eingesetzt werden. Die eingesetzten Baumarten, die eine breite Toleranz hinsichtlich Bodenfeuchte besitzen sollten, verdunsten zusätzlich Regenwasser aus den Rigolen.

Abb. 20: Beispiele für Baum-Rigolen-Tiefbeet, aus [6]

Sickerkästen aus Fertigteilen

Abb. 21: Beispiele für Sickerkästen aus Betonfertigteilen, aus [8]

3.2.2 Dachbegrünung

Arten der Dach-begrünung

"Die Begrünung von Dächern und Tiefgaragen ist eine dem Stand der Technik entsprechende, vergleichsweise einfache Maßnahme der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung, um den Niederschlagswasserabfluss wirkungsvoll zu reduzieren und den natürlichen Wasserkreislauf über Verdunstungsprozesse zu schließen" [6]. Zu nennen sind:

- extensive Dachbegrünung, ohne nennenswerte gärtnerische Pflege wie Düngung oder Bewässerung
- intensive Dachbegrünung, die in der Nutzung und Pflege einer konventionellen Grünfläche entspricht.

Je nach Ausformung der Dachbegrünung kann zwischen 50% und 100% des Jahresniederschlags zurückgehalten werden. Durch die Verdunstungsleistung von Substrat und Pflanzen hat diese Maßnahme auch Auswirkung auf das Mikroklima; zudem fördert sie die Biodiversität, wirkt staubbindend, reduziert Lärm und kann bei entsprechender Ausformung auch die Freiraumqualität verbessern [ebd.]

Klimatisch sind Dachbegrünungen von Vorteil: Statt das Regenwasser ungenutzt abfließen zu lassen, speichern es Gründächer, um es an heißen Tagen zu verdunsten. Eine einfache und billige Art, das Kleinklima zu verbessern. Eine nur 15 cm starke Dachbegrünung ist in der Lage ca. 50 % der Niederschlagsmenge zu speichern, entlastet also das Kanalsystem und die verringerte Höhe der Niederschlagswassergebühr. [8]

Eine Kombination mit Photovoltaikanlagen ist realisierbar und führt aufgrund der Verdunstungskälte der Vegetation zu Synergieeffekten [ebd].

Bei beengten Verhältnissen, wenn kein Platz für eine Versickerungsmulde verfügbar ist, kann direkt in eine unterirdische Rigole eingeleitet werden.

Abb. 22: allgemeines Beispiel für extensive Dachbegrünung einer Gewerbehalle

Abb. 23: Visualisierung möglicher Dachbegrünung im 'IndustriePark Oberelbe' (vgl. Visualisierung im Anhang Mappe 0)

Abb. 24: allgemeines Beispiel für intensive Dachbegrünung [6]

Abb. 25: Beispiel für Dachbegrünung mit Photovoltaikelementen [8]

3.2.3 Fassadenbegrünung

Möglichkeiten der Fassaden-begrünung

Fassadenbegrünung als Maßnahme der Regenwasserbewirtschaftung gliedert sich in

- erdgebundene Systeme (klassische Begrünung mit Kletterpflanzen, ggf. auch mit Rankhilfen)
- systemgebunde Fassadenbegrünung, sogenannte „Living Walls“, bei denen die Fassaden direkt bepflanzt werden.

"Die Vorteile liegen in der Verbesserung des Mikroklimas und der visuellen Aufwertung des Gebäudes/ Freiraumes. Der Pflegeaufwand ist bei der klassischen Kletterpflanzenbegrünung als relativ gering anzusehen (ca. 1-2 Pflegegänge im Jahr). Die aufwändigere Begrünung mit den sogenannten 'Living Walls' ist pflegeintensiv (5-10 Pflegegänge im Jahr), bietet aber die Möglichkeit, Fassadenflächen ohne Zeitverzögerung zu begrünen, einhergehend mit einer hohen Verdunstungsleistung von Beginn an.

Eine an Kletterseilen geführte Begrünung vor Glasfassaden stellt eine preisgünstige Methode im Vergleich zu einem konventionellen Sonnenschutz dar" [6].

Eine Fassadenbegrünung erfordert ausreichenden Wurzelraum, eine sichere Wasserversorgung und eine auf Dauer stabile Rankkonstruktion (z.B. Seile, Gitter, Stäbe und Netze aus (Edel-)Stahl. Ein ausreichender Abstand zur Fassade ist empfehlenswert Geeignete, weil robuste Arten, sind i.d.R. nicht heimisch: Schlingknöterich, Blauregen, Clematis, Wilder Wein, Kletterhortensie, Trompetenwinde [9]. Ebenfalls geeignet sind Efeu, Waldrebe und bis in Höhen von 4-5 m auch Kletterrosen.

Neben den positiven Effekten für die Biodiversität, die Verdunstung, das Mikroklima im Gebäude, wie auch im Quartier ist der Wohlfahrtseffekt auf den Menschen, Arbeitnehmer wie Besucher, zu benennen.

Erdgebundenes Fassadenbegrünung	Begrünung vor Glasfassade
UFA Fabrik Berlin-Tempelhof (Foto: Andreas Süß)	Institut für Physik, HU Berlin (Foto: Andreas Süß)

Abb. 26: Beispiele für Fassadenbegrünung, aus [6]

Eine Vielzahl von Herstellern bieten individuelle, auf den jeweiligen Zweck zugeschnittene Lösungen an. Beispielhaft, weil schnell, kostengünstig und auch für den Gewerbebau einsetzbar sind direkt angebrachte modulare Systeme:

Abb. 27: Systemhersteller für Fassadenbegrünung

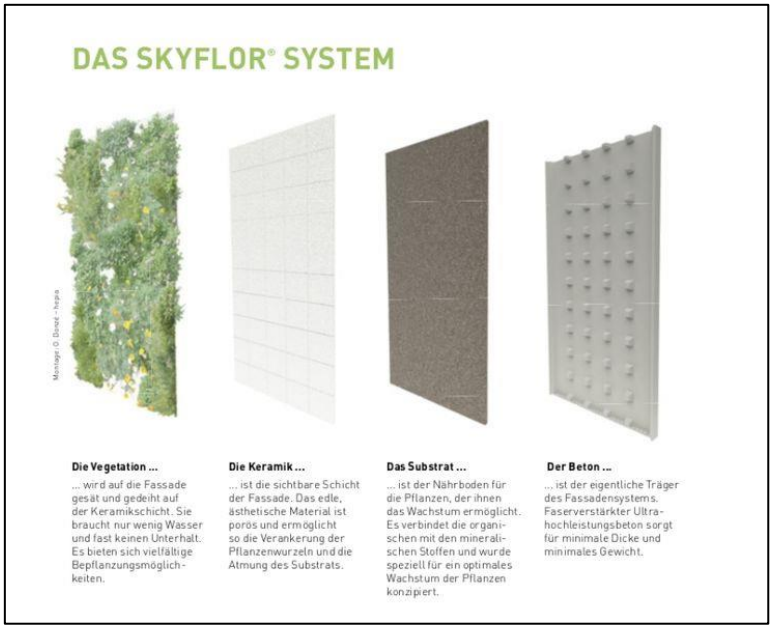


Abb. 28: Schichtenprinzip eines Systemhersteller für Fassadenbegrünung

3.2.4 Regenwassernutzung

Bewässerung, Betriebswasser

Eine dezentrale Regenwasserbewirtschaftung ist die Nutzung als Betriebswasser bzw. zur Bewässerung. Im Fokus liegen hier die Sammlung und ggf. die Aufbereitung des Regenwasserabflusses, bevorzugt von Dachflächen. Bei der Verwendung weiterer Niederschlagswasserquellen, z.B. von Verkehrsflächen, ist eine Aufbereitung des Wassers, je nach Grad der Verschmutzung nötig. Die Nutzung als Betriebswasser zur Toilettenspülung, zu Reinigungszwecken und zur Bewässerung kann den Trinkwasserbedarf für diese Nutzungsformen substituieren, ein getrenntes/ zweites Leitungsnetz ist erforderlich und zu kennzeichnen. [6]

Den zusätzliche Aufwendungen für Pflege und Wartung stehen Einsparungen bei Trinkwasserkosten und vor allem bei eigenen Leitungssystemen auch Abwasserkosten ausgleichend gegenüber.

Regenwassernutzung als Betriebswasser

Regenwassernutzungsanlage Weiberwirtschaft, Zisternen (Foto: Andreas Süß)

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

Abb. 29: Beispiele für Regenwassernutzung als Betriebswasser [6]

Gebäudekühlung

Die adiabate Gebäudekühlung wird als indirekte Verdunstungskühlung zur Klimatisierung von Gebäuden eingesetzt. Niederschlagswasser wird gesammelt, aufbereitet und beispielsweise in der Abluft des Gebäudes versprüht. Der Energiebedarf zur Gebäudeklimatisierung kann hierbei deutlich reduziert werden. Bei der Verdunstung von einem Kubikmeter Wasser entsteht eine Verdunstungskälte von etwa 700 kWh. [6]

Regenwassernutzung zur Gebäudekühlung

Adiabate Abluftkühlung mit Regenwasser (Foto Marco Schmidt)

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

Abb. 30: Beispiele für Kühlungsverfahren mit Regenwasser, aus [6]

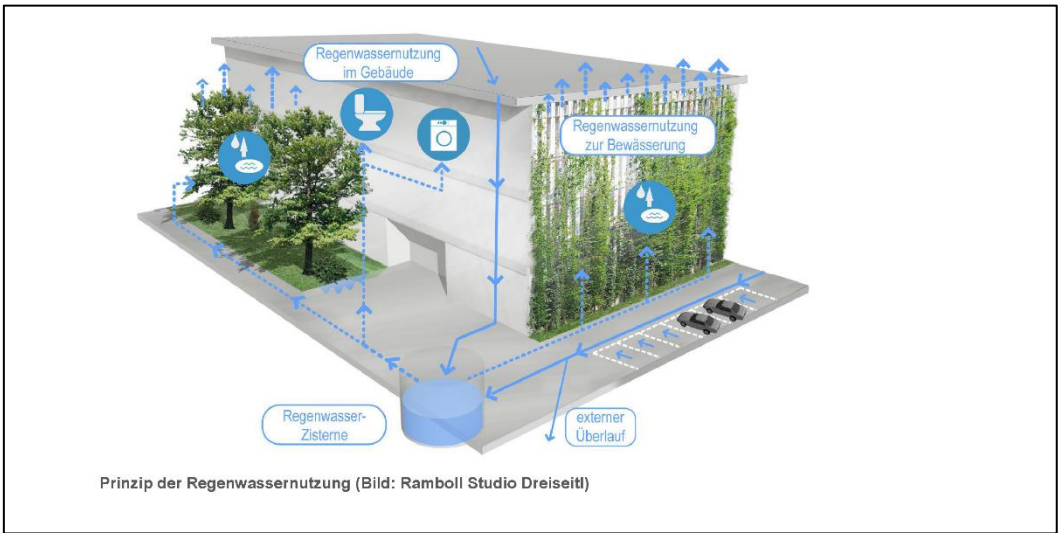


Abb. 31: Varianten der Regenwassernutzung, aus [6]

Regenwassernutzungen sind heute bereits vielfältig erprobt und Stand der Technik.

3.2.5 Künstliche Wasserflächen

Teiche, Becken

Künstliche Wasserflächen können Regenwasser kurz- oder langfristig speichern und zur Verdunstung bringen, als temporär wasserführende Gräben oder dauerhafte Teiche. Kombinationen mit nachgeschalteter Versickerung sind sinnvoll. Wichtig ist ein ausreichendes Platzangebot. Die Ausgestaltung hängt stark von der angestrebten Nutzung ab. Bei hohen Anforderungen an die Wasserqualität kann ein Umwälz-/Filtersystem notwendig sein. [6]

Der gestalterische wie siedlungsökologische Effekt von künstlichen Wasserflächen ist für viele Unternehmen insbesondere in der Imagepflege ein Anreiz für die Anlage von Wasserflächen.

Abb. 32: Beispiele für künstliche Teiche, aus [6]

Abb. 33: Beispiel Officepark 'Green Park Reading, GB, aus [8]

Abb. 34: Beispiel 'Forum Autovision', Wolfsburg AG, aus [8]

3.2.6 Stauraumanlagen

Kanalstauraum

Bei Starkregen können die Kapazitätsgrenzen eines Mischkanals erreicht werden, was zu Mischwasserüberläufen in Gewässer führen kann. Durch eine Erhöhung des Stauraums im Kanal kann die Aufnahmekapazität bei Regenwetter erhöht und die Menge des überlaufenden Mischwassers reduziert werden. Zusätzlicher Stauraum kann zur Verhinderung einer Überlastung des Kanals oder des Klärwerks eingesetzt werden. Im Prinzip sind die Stauraumkanäle gestreckte unterirdische Regenüberlaufbecken. [6]

Abb. 35: Beispiel für Regenüberlaufbecken [6]

3.2.7 Alternative Flächenbefestigungen

Teildurchlässige Belege

Schotterrasen
Rasenfugen
Splittfugen

"Poröse Oberflächenbeläge, begrünbare und teildurchlässige Beläge nehmen das anfallende Regenwasser von angrenzenden oder nur der befestigten Flächen auf und versickern es großflächig ohne dabei einen Einstau der Bewirtschaftungsfläche zu erzeugen. Die Zuleitung kann linienhaft über die Straßenböschung oder punktuell über offene Rinnen erfolgen. Dabei muss sichergestellt werden, dass eine gleichmäßige Beschickung der gesamten Versickerungsfläche stattfindet.

Je nach verbautem Material hält die Fläche hoher Druckbelastung stand und kann auch als Feuerwehrzufahrt oder für Schwerlastverkehr angelegt werden. Je nach Produkt können auch Scherkräfte durch Befahrung ohne Schädigung des Belages in den Untergrund abgeleitet werden.

Wasserdurchlässige Beläge unterscheiden sich im Gegensatz zur Flächenversickerung

mit bewachsenem Oberboden in der dauerhaften Wirkungsweise, da deren Oberfläche sich im Laufe der Zeit mit Feinpartikeln zusetzt. Sie tragen daher zur Versickerung bei, wenngleich auf Dauer nur von einer Abflussminderung ausgegangen wird.

Die Verdunstung und Versickerung sind die Hauptkomponenten bei dieser Regenwasserbewirtschaftungsart. Bereits bei der durchlässigen Pflasterung verdunsten im Jahresmittel 33% (ca. 1/3). Weitere 64% (ca. 2/3) versickern. Ein Anschluss an einen Kanal oder ein Gewässer entfällt". [7]

Auch ökologisch sind unversiegelte Flächen hochwertiger: Versiegelter Boden verliert seine Funktion als Speicher und Puffer, als Ausgleich im Wasserkreislauf, als Standort für natürliche Vegetation und Kulturpflanzen. Offener Boden lebt, bietet Tieren und Pflanzen die Möglichkeit, sich anzusiedeln. Daher sollten Schotterrasen (z.B. bei Feuerwehrzufahrten), Pflaster mit Splittfugen (u.a. bei dauergenutzte Stellflächen) oder Rasenfugenpflaster bei der Befestigung von privaten wie öffentlichen Flächen bei geeigneter Nutzung den Vorzug erhalten.

Rasengittersteine	Haufwerksporiger Beton mit Rasenfuge	Pflaster

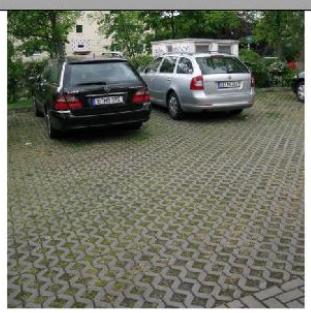



Foto: KWB	Foto: Marco Schmidt	Foto: Andreas Süß

Abb. 36: Beispiele für teilversiegelte Flächen, aus [6]

3.2.8 Räumliche Anordnung der Rückhaltemaßnahmen

Anordnung Rückhaltemaßnahmen

Die Speicher- und Überleitungseinrichtungen sind so anzuordnen, dass überschüssiges Niederschlagswasser zu ihnen hingeleitet, zwischengespeichert und nach dem Regenende auf ein verträgliches Maß gedrosselt wieder abgegeben werden kann. Dafür müssen verschiedene technische Voraussetzungen, beispielsweise die Flächen-/ Raumverfügbarkeit und bei Rigolenlösungen die ausreichende Versickerungsfähigkeit des anstehenden Bodens, erfüllt sein. Dies bedeutet:

- Nutzung der öffentlichen Grünflächen für Speicheranlagen durch ökologisch verträgliche Kombination
- Konzeptionelle Abklärung der Lage offener Speicherbecken, die auch zur Löschwasserversorgung genutzt werden können.

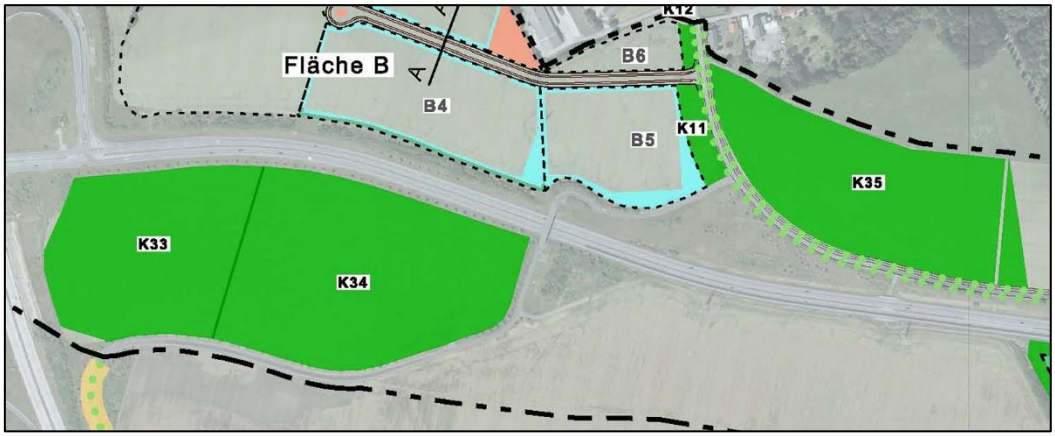


Abb. 37: Auszug Vorentwurf Grünordnungsplan zum Bebauungsplan Nr. 1 'Industrie-Park Oberelbe' mit Darstellung möglichen ortsnaher Kompensationsflächen

Private Rückhalte- und Versickerungs-einrichtungen

In der Gliederung des Gesamtgebietes 'IndustriePark Oberelbe' wurden private Grünflächen (vgl. Entwicklungsplan Index IV) so an den Außenflächen angeordnet, dass sowohl Maßnahmen zur Gebietseingrünung als auch Anlage von künstlichen Wasserflächen und begrünten Rückhalte- und Versickerungsanlagen Raum finden.

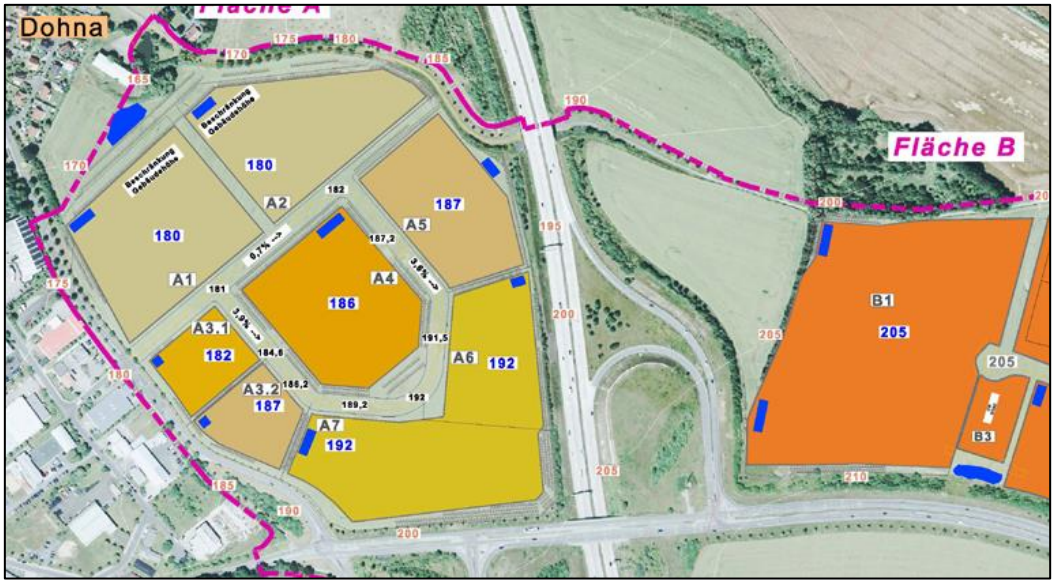


Abb. 38: Beispielhafte Anordnung von Rückhalteanlagen auf privaten Bauflächen, Studie zum INDEX-Plan, Januar 2019.

Lage

Rückhaltungen sind auf den Ansiedlungsflächen durch die Unternehmen selbst oder vom Zweckverband außerhalb dieser Bauflächen zu installieren. Die Lage der geplanten öffentlichen Grünflächen als Grüngürtel um die Bauflächen bietet gute Voraussetzungen. Dies bedeutet:

- Nutzung der Kompensationsflächen, z.B. für ökologisch sinnvolle Vernässungsmaßnahmen

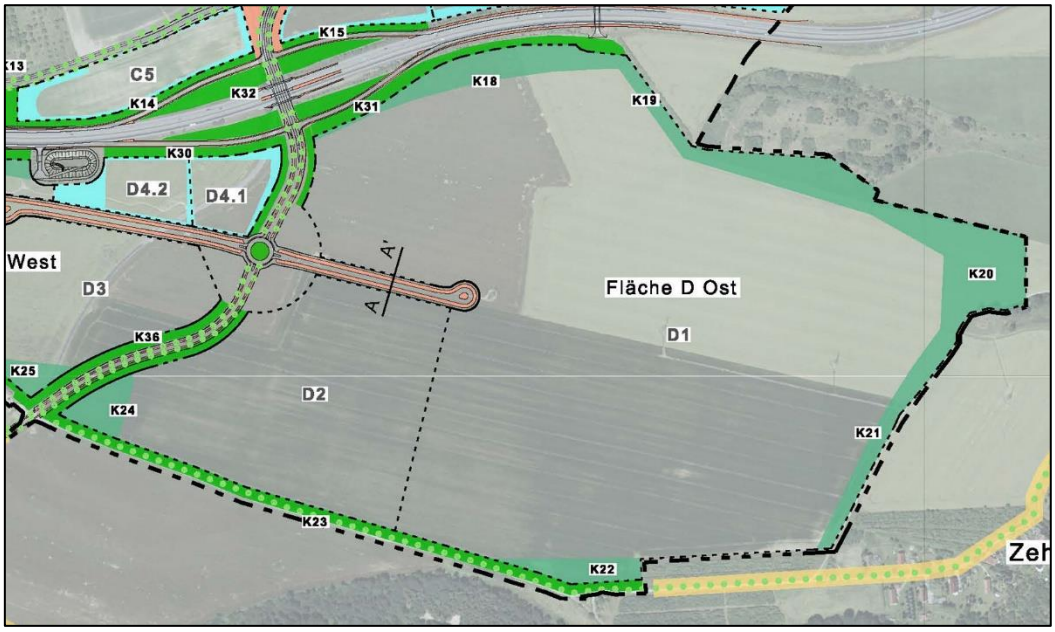


Abb. 39: Auszug Vorentwurf Grünordnungsplan zum Bebauungsplan Nr. 1 'Industrie-Park Oberelbe' mit Darstellung privater Kompensationsflächen - Fläche K20 umfasst rund 20.000 m², die für Pflanzungen und Rückhaltemaßnahmen zu nutzen sind.

3.2.9 Sonstige Maßnahmen

Ausgleich zwischen Einzugsgebieten

Die bestehenden Vorflut-Verhältnisse sind Maßstab für die Ableitung des Niederschlagswassers. Dies bedeutet:

- Im Bereich Lindigt-Gründel und Merbitzens-Gründel könnte sich durch die geplante Flächenneunivellierung eine Verschiebung der Abflussmengen ergeben. Daher ist es erforderlich, dass das (gemäß hydronumerischer Modellierung) stärker beaufschlagte Merbitzens-Gründel in der Planung der Anlagen entlastet wird und dem Lindigt-Gründel (als ursprüngliches Einzugsgebiet) trotz der Geländeregulierung ausreichend Wasser zugeleitet wird, um hier drohende Abflussabnahmen auszugleichen.

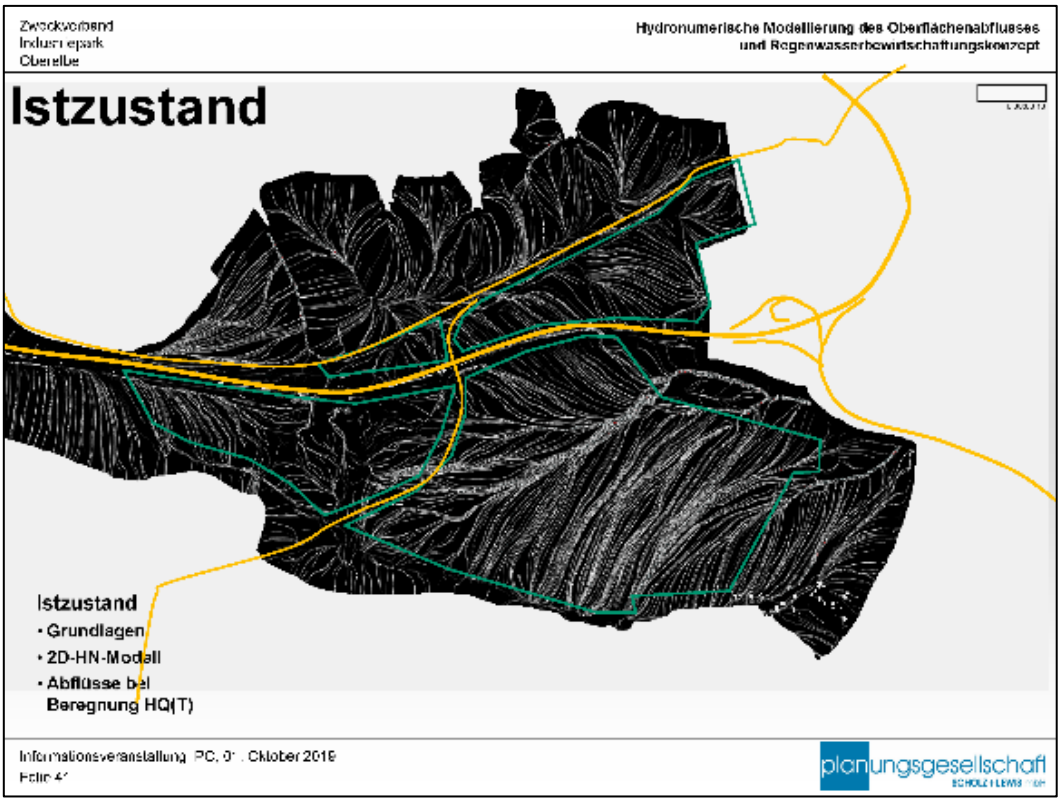


Abb. 40: Auszug Hydronumerisches Modell [3]; Ist-Zustand der Abflussrichtungen

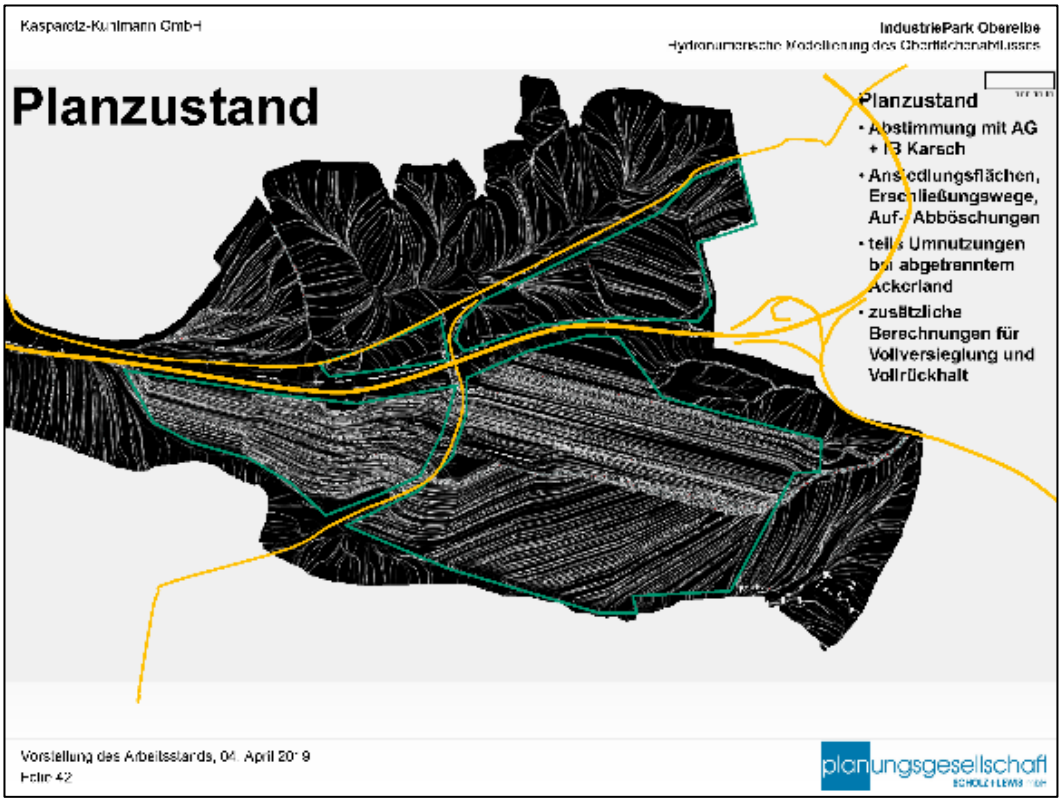


Abb. 41: Auszug Hydronumerisches Modell [3]; Plan-Zustand ohne Rückhaltung mit deutlich veränderter Abflussrichtung in Richtung der südöstlich gelegenen Bereiche (Merbitzens Gründel)

4 Literatur/ Quellen

[1] Entwicklungsplan Index IV. Ergebnis und Konsensplan zum Realisierungskonzept 'IndustriePark Oberelbe', Arbeitsstand. Oktober 2019.

[2] Zweckverband IndustriePark Oberelbe 2018: Bebauungsplan Nr. 1 des Zweckverbandes IndustriePark Oberelbe, Vorentwurfsfassung. Oktober 2019.

[3] Hydronumerische Modellierung der Oberflächenabflüsse. Planungsgesellschaft Scholz + Lewis mbH, Dresden. Oktober 2019.

[4] Konzept Siedlungswasserwirtschaft. Ingenieurbüro Ulrich Karsch, Pirna. Oktober 2019.

[5] Regenwasserversickerung. Leitfaden für den Bauherren. Stadt Krefeld, Fachbereich Umwelt, 6. Auflage November 2015.

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

[7] Planungshilfe für dezentrale Straßenentwässerung. Erläuterungsbericht und Anlagen. Ing.-Ges. Sieker, Berlin 2018.

[8] Moderne Unternehmen im Einklang mit der Natur. Leitfaden für ein naturnahes Betriebsgelände. LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. Karlsruhe, Januar 2015.

[9] Konstruktive und vegetationstechnische Entscheidungsparameter zur Fassadenbegrünung. Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V., Saarbrücken. September 2011.

[10] Stellungnahme der Unteren Wasserbehörde im Landkreis Sächsische Schweiz-Osterzgebirge vom 24.06.2019 zum 1. Zwischenbericht der IPO Vorplanung /Hydronumerische Modellierung des Oberflächenwasserabflusses/ Siedlungswasserwirtschaft – Realisierungskonzept Mai 2019. Pirna, Juni 2019.

5 Anhang: Zielorientierte Planung von Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung (Steckbriefe aus KURAS Leitfaden [6])

kuras

KURAS-Leitfaden

Zielorientierte Planung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung

Verbundpartner

gefördert durch

www.kuras-projekt.de

ZIELORIENTIERTE PLANUNG VON MAßNAHMEN DER REGENWASSERBEWIRTSCHAFTUNG

ERGEBNISSE DES PROJEKTES KURAS

A. Matzinger, M. Riechel, C. Remy, H. Schwarzmüller, P. Rouault, M. Schmidt, M. Offermann, C. Strehl, D. Nickel, M. Pallasch, H. Sieker, M. Köhler, D. Kaiser, C. Möller, B. Büter, D. Leßmann, R. von Tils, I. Säumel, L. Pille, A. Winkler, H. Bartel, S. Heise, B. Heinzmann, K. Joswig, M. Rehfeld-Klein, B. Reichmann

30.04.2017

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

Autoren und beteiligte Institutionen

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

Förderung

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

Verwendung

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

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

Berlin, April 2017

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

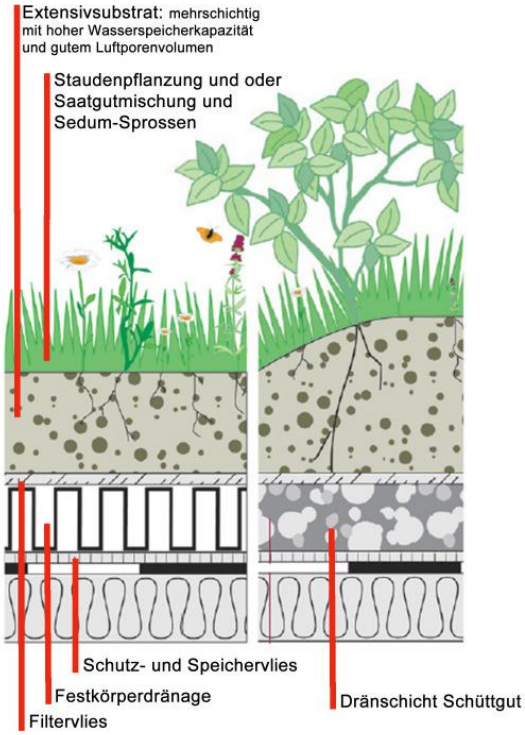
Steckbrief 1: Dachbegrünung

Dachbegrünung (extensiv und intensiv)	
Beschreibung	Begrünung der Dachfläche unterschieden in: – 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 eigenen 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 Sumpfzonen reichen. Sie werden auch als Ausgleich für fehlende Freiflächen genutzt. Insbesondere bei intensiven Gründächern mit dicken Substratschichten kann ein weitgehender Rückhalt des Regenwassers erreicht werden. Die verbleibenden Abflüsse werden in der Substratschicht zwischengespeichert und gedrosselt abgegeben. Der Anteil der Verdunstung und das Maß der Retention werden von der Höhe und der Art der Substratschicht, der Anstauhöhe im System, der Art der Bepflanzung und der Dachneigung bestimmt.

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

Hinweise zu Planung, Bemessung und rechtlichen Aspekten

Kenndaten zur Bemessung	
Parameter	**Werte**
Substratdicke	8-15 cm für extensive Gründächer, einschichtig 15-100 cm für intensive Gründächer, mehrschichtig
Traglast (wassergesättigt)	90-180 kg/m² für extensive Gründächer ab 180 kg/m² 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 zugrundliegender 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 abflussdämpfende 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 fur Stadtentwicklung Berlin.

SenStadtUm und LaGeSo (2013): Handlungsempfehlungen zur Vermeidung der Umweltbelastung durch die Freisetzung des Herbizids Mecoprop aus wurzelfesten Bitumenbahnen. Stand 1.10.2013. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Landesamt für Gesundheit und Soziales, Berlin.

Effekte	Extensive Dachbegrünung					Intensive Dachbegrünung				
	Median	Min	Max	n	+/-	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene										
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%]	0 / 70	-	-	1	◑	0 / 90	-	-	1	◑
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	10	-	-	1	○	15	-	-	1	○
Freiraumqualität										
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren [1] [-]	2,4	2,3	2,7	5	◑	nicht quantifiziert				
Stadtklima										
Änderung Tropennächte [2] [d/a]	0	-1	1	Sim.	○	0	-1	1	Sim.	○
Änderung Hitzestress (UTCI) [2] [h/a]	-20	-80	-1	Sim.	◑	-30	-80	-1	Sim.	◑
Biodiversität										
α-Diversität (Flora) [-]	12,6	2	64	332	●	20,2	11	40	5	●
α-Diversität (Fauna) [-]	34,8	3	215	38	●	78,3	48	215	5	●
β-Diversität (Flora) [-]	32,6	0	206	127	●	1,3	1,3	1,4	3	◑
Grundwasser / Bodenpassage										
Änderung des Versickerungsanteils [%]	-	-	-	0 [3]	○	-	-	-	0 [3]	○
Änderung der Zinkkonzentration [%]	-	-	-	0 [3]	○	-	-	-	0 [3]	○
Änderung der Chloridkonzentration [%]	-	-	-	0 [3]	○	-	-	-	0 [3]	○
Oberflächengewässer										
Reduktion des Regenabflusses [%]	55	13	80	33	◑	66	50	84	6	◑
Reduktion der Abflussspitze [%]	66	54	76	6	◑	87	-	-	1	●
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	76	0	125	4	○	-	-	-	0 [4]	○
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	-0,8	-1,2	1,7	5	◯	0,6	0,4	0,8	2	○
Ressourcennutzung [5]										
THG-Potenzial $_{100\ a}$ [kg CO_2-eq/(m²·a)]	0,15	-	-	1	◑	0,52	0,48	0,56	2	●
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m²·a)]	1,98	-	-	1	◑	7,49	6,71	8,27	2	●
Direkte Kosten [6]										
Investitionen [€/(m²·a)]	1,32	0,52	5,36	133	●	2,44	0,22	21,63	28	●
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m²·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
◑ moderater positiver Effekt
● hoher positiver Effekt
◯ geringer negativer Effekt
◑ moderater negativer Effekt
● hoher negativer Effekt
○ kein Effekt

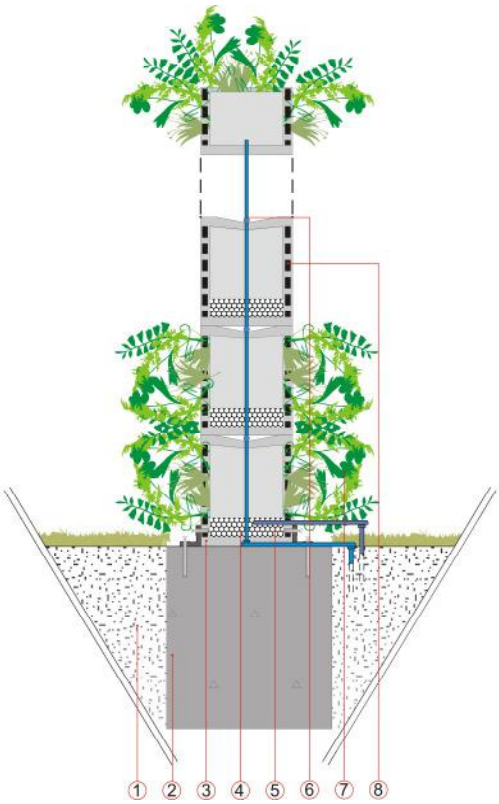
Steckbrief 2: Fassaden- und Wandbegrünung

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 Freiraum-qualität und der biologischen Vielfalt, architektonisches Gestaltungselement

Umsetzungsbeispiele und Systemskizze

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

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



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

Seitenansicht einer systemgebunden 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/(m²,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 ausgefallen Pflanzen, Wartung der Wasser- und Nährstoffversorgungsanlage, Frostsicherung der Bewässerungsanlage vor dem Winter sowie Düngung (falls nicht automatisiert über die Wasserzufuhr) und ggf. eine Schädlingsbekämpung 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 Zusetzten 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 zugrundliegender 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 vollbegrünten Innenhöfen. Als neuer Lebensraum für Pflanzen kann die Fassadenbegrünung die biologische Vielfalt erhöhen. Der Ressourcenverbrauch ist, insbesondere für die erdgebundene Fassadenbegrünung gering. Sowohl die Investionen 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 fur Stadtentwicklung Berlin. ISBN 978-3-88961-140-6

Effekte	Erdgebundene Fassadenbegrünung					Systemgebundene Fassadenbegrünung				
	Median	Min	Max	n	+/-	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene										
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%]	0 / 50	-	-	1	○	0 / 20	-	-	1	○
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	25	-	-	1	○	25	-	-	1	○
Freiraumqualität										
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren [1] [-]	2,0	-	-	1	◑	2,8	-	-	1	◑
Stadtklima										
Änderung Tropennächte [2] [d/a]	-	-	-	Sim.	○	-	-	-	Sim.	○
Änderung Hitzestress [2] (UTCI) [h/a]	-	-	-	Sim.	◑	-	-	-	Sim.	◑
Biodiversität										
α-Diversität (Flora) [-]	11	11	11	2	◑		nicht quantifiziert			
α-Diversität (Fauna) [-]		nicht quantifiziert					nicht quantifiziert			
β-Diversität (Flora) [-]		nicht quantifiziert					nicht quantifiziert			
Grundwasser / Bodenpassage										
Änderung des Versickerungsanteils [%]		nicht quantifiziert				-	-	-	0 [3]	○
Änderung der Zinkkonzentration [%]		nicht quantifiziert				-	-	-	0 [3]	○
Änderung der Chloridkonzentration [%]		nicht quantifiziert				-	-	-	0 [3]	○
Oberflächengewässer										
Reduktion des Regenabflusses [%]		nicht quantifiziert					nicht quantifiziert			
Reduktion der Abflussspitze [%]		nicht quantifiziert					nicht quantifiziert			
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]		nicht quantifiziert					nicht quantifiziert			
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]		nicht quantifiziert					nicht quantifiziert			
Ressourcennutzung [4]										
THG-Potenzial $_{100\ a}$ [kg CO_2-eq/(m²·a)]	0,02	-	-	1	○	0,26	0,15	0,37	2	◑
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m²·a)]	0,23	-	-	1	○	3,00	1,81	4,26	2	◑
Direkte Kosten [5]										
Investitionen [€/(m²·a)]	1,51	0,02	4,11	5	● [6]	30,28	9,95	86,52	32	●
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m²·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
◑ moderater positiver Effekt
● hoher positiver Effekt
○ geringer negativer Effekt
◑ moderater negativer Effekt
● hoher negativer Effekt
○ kein Effekt

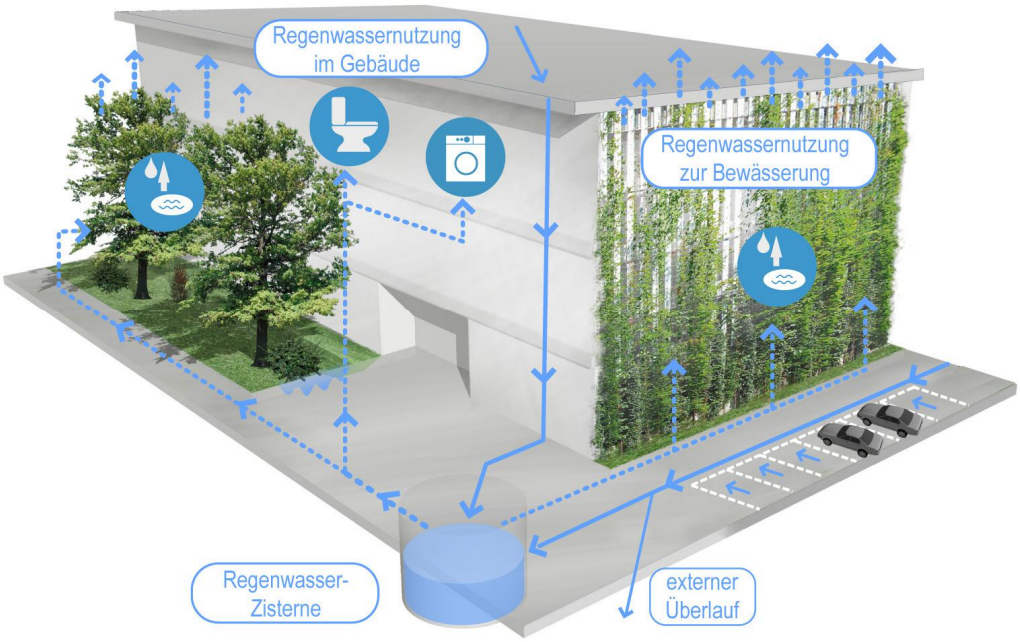
Steckbrief 3: Regenwassernutzung als Betriebswasser

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, Weiberwirtschaft eG, Berlin (Foto: Andreas Süß)

Zisterne zur Regenwassernutzung, Olympistadion 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 m² Grundfläche für 100 m² Dach, entspricht 2-6 % Speichervolumen des Jahresniederschlags
Sonstige Anforderungen	Hygienische Anforderungen entsprechend EU-Badegewässerrichtlinie (EU 2006)
Richtlinien und Leitfäden	DIN 1989 (2002), DIN 1986-30 (2012) DVGW Technische Regel W255 (DVGW 2002) Leitfaden „Betriebswassernutzung in Gebäuden“ (SenStadt 2007) fbr Hinweisblatt H101 (fbr 2016)

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

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

Bei der Sammlung von stärker verschmutztem Niederschlagswasser, z.B. von Straßen- oder Gehwegsflächen, 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 Vollfüllung 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 zugrundliegender Datensätze). Zur Erhebung von Kostendaten wurden ergänzend Umfragen durchgeführt. In ausgewählten Fällen wurde zudem auf Erfahrungswerte (Nutzen auf Gebäudeebene) zurückgegriffen. Für die Klassifizierung (geringer / moderater / hoher Effekt) wurde der Wertebereich jedes Indikators in der Regel in drei gleich große Klassen aufgeteilt (siehe Matzinger et al., 2017). Alle Werte beziehen sich auf die Umsetzung der Maßnahme im Bestand. Die Bewertungstabelle ist auf der nachfolgenden Seite zu finden.

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

Referenzen und weiterführende Literatur

DIN 1989 (2002): Regenwassernutzungsanlagen, Teil 1: Planung, Ausführung, Betrieb und Wartung, Beuth-Verlag, Berlin.

DIN 1986-30 (2012): Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke - Teil 30: Instandhaltung, Beuth-Verlag, Berlin.

DVGW (2002): Technische Regel W255: Nutzung von Regenwasser (Dachablaufwasser) im häuslichen Bereich. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches. Beuth-Verlag, Berlin.

EU (2006): Badegewässerrichtlinie - Richtlinie 2006/7/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Februar 2006 über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung und zur Aufhebung der Richtlinie 76/160/EWG.

fbr (2007): Projektbeispiele zur Betriebs- und Regenwassernutzung – Öffentliche und gewerbliche Anlagen. Schriftenreihe fbr 6. Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.

fbr (2016): Hinweisblatt H101 „Kombination der Regenwassernutzung mit der Regenwasserversickerung“. Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V.

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

SenStadt (2003): Innovative Wasserkonzepte – Betriebswassernutzung in Gebäuden. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin.

SenStadtUm und LaGeSo (2013): Handlungsempfehlungen zur Vermeidung der Umweltbelastung durch die Freisetzung des Herbizids Mecoprop aus wurzelfesten Bitumenbahnen. Stand 1.10.2013. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Landesamt für Gesundheit und Soziales, Berlin.

Effekte	Regenwassernutzung als Betriebswasser (im Gebäude)					Regenwassernutzung als Betriebswasser (z. Bewässerung)				
	Median	Min	Max	n	+/-	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene										
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%] [1]	70 / 70	-	-	1	●	70 / 0	-	-	1	◑
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	-	-	-	0 [2]	○	nicht quantifiziert				
Freiraumqualität										
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren [3] [-]	-	-	-	0 [2]	○	-	-	-	0 [2]	○
Stadtklima										
Änderung Tropennächte [d/a]	-	-	-	0 [2]	○	-	-	-	0 [2]	○
Änderung 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-Potenzial $_{100\ a}$ [kg CO_2-eq/(m²·a)]	0,28	-	-	1	◑	0,28	-	-	1	◑
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m²·a)]	3,84	-	-	1	●	3,84	-	-	1	●
Direkte Kosten [5]										
Investitionen [€/(m²·a)]	0,95	0,04	36,35	92	◑	0,95	0,04	36,35	92	◑
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m²·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:

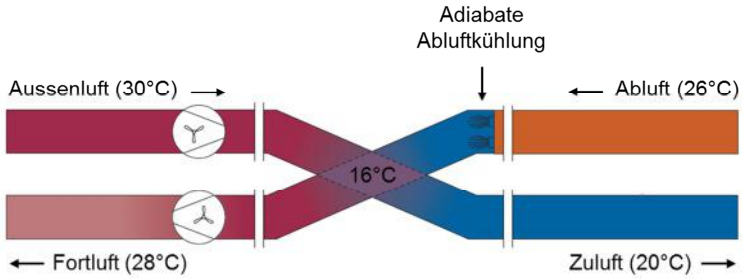
○ geringer positiver Effekt
◑ moderater positiver Effekt
● hoher positiver Effekt
○ geringer negativer Effekt
◑ moderater negativer Effekt
● hoher negativer Effekt
○ kein Effekt

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 µS/cm nicht überschritten werden. Da Niederschlagswasser nur eine geringe Leitfähigkeit hat (ca. 50 µS/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 raumlufttechnischen 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 m² Grundfläche für 100 m² 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 zugrundliegender 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 fur Stadtentwicklung Berlin. ISBN 978-3-88961-140-6

SenStadt (2011): Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur Bewertung von Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung. Senatsverwaltung fur Stadtentwicklung Berlin.

VDI (2010 ff.): Richtlinienreihe VDI 3803 „Raumlufttechnik, Geräteanforderungen“. Beuth-Verlag, Berlin.

VDI (2011 ff.): Richtlinienreihe VDI 6022 "Raumlufttechnik, Raumluftqualität". Beuth-Verlag, Berlin.

Effekte	Regenwassernutzung zur Gebäudekühlung				
	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene					
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%] [1]	90 / 20	-	-	1	◑
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	90	-	-	1	●
Freiraumqualität					
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren [2] [-]	-	-	-	0 [3]	○
Stadtklima					
Änderung Tropennächte [d/a]	-	-	-	0 [3]	○
Änderung Hitzestress (UTCI) [h/a]	-	-	-	0 [3]	○
Biodiversität					
α-Diversität (Flora) [-]	-	-	-	0 [3]	○
α-Diversität (Fauna) [-]	-	-	-	0 [3]	○
β-Diversität (Flora) [-]	-	-	-	0 [3]	○
Grundwasser / Bodenpassage					
Änderung des Versickerungsanteils [%]	-	-	-	0 [3]	○
Änderung der Zinkkonzentration [%]	-	-	-	0 [3]	○
Änderung der Chloridkonzentration [%]	-	-	-	0 [3]	○
Oberflächengewässer					
Reduktion des Regenabflusses [%]	nicht quantifiziert				
Reduktion der Abflussspitze [%]	nicht quantifiziert				
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	nicht quantifiziert				
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	nicht quantifiziert				
Ressourcennutzung					
THG-Potenzial $_{100\ a}$ [kg CO_2-eq/(m²·a)]	nicht quantifiziert				
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m²·a)]	nicht quantifiziert				
Direkte Kosten					
Investitionen [€/(m²·a)]	nicht quantifiziert				
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m²·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:

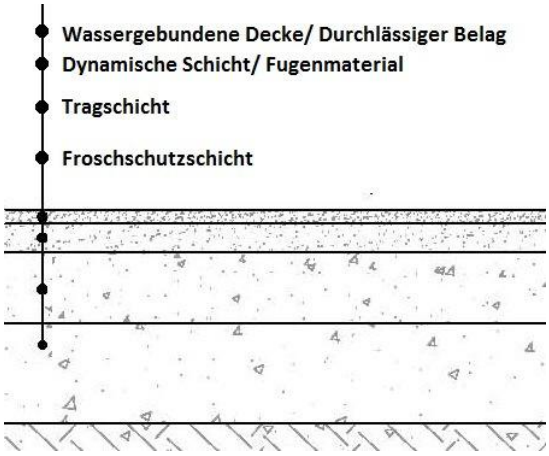
○ geringer positiver Effekt
◑ moderater positiver Effekt
● hoher positiver Effekt
○ geringer negativer Effekt
◑ moderater negativer Effekt
● hoher negativer Effekt
○ kein Effekt

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 Standardwegeaufbau, bestehend aus Froschschutzschicht, Tragschicht, dynamischer Schicht bzw. Fugenmaterial, sowie dem Bodenbelag in den verschiedenen oben genannten Ausführungen.

Hinweise zu Planung, Bemessung und rechtlichen Aspekten

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

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

Um eine ordnungsgemäße Entwässerung einer Verkehrsfläche mit wasserdurchlässigen Pflasterbelägen, aber ohne Straßenabläufe, sicherzustellen, muss aus Gründen der Verkehrssicherheit eine Aufnahmefähigkeit 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 zugrundliegender 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 Fugenanteilen kann die Wirkung stark variieren. Durch den erhöhten Verdunstungsanteil ist durch die Teilentsieglung mit einer leichten Reduktion des Hitzestresses zu rechnen. Zusätzlich führt der mit Vegetation bedeckte Boden zu geringerer nächtlicher Wärmeausstrahlung und damit zu weniger Tropennächten, vor allem bei großen und stark entsiegelten Flächen. Der Ressourcenverbrauch und die Investitionen sind aufgrund des erforderlichen Rückbaus des alten sowie Einbaus des neuen Materials (inkl.

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

Referenzen und weiterführende Literatur

BBodSchG (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG).

DWA-M 153 (2007): Handlungsempfehlung zum Umgang mit Regenwasser. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

FGSV (1998): Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen. – Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen e.V.; Köln.

FLL (2007): Wassergebundene Wegedecken: Fachbericht zu Planung, Bau und Instandhaltung von wassergebundenen Wegen, Forschungsgesellschaft Landschaftentwicklung Landschaftsbau e.V., Bonn.

FLL (2008): Begrünbare Flächenbefestigungen: Richtlinie für die Planung, Ausführung und Unterhaltung von begrünbaren Flächenbefestigungen, Forschungsgesellschaft Landschaftentwicklung Landschaftsbau e.V., Bonn.

GrwV (2010): Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung - GrwV).

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

NWFreiV (2001): Berliner Verordnung über die Erlaubnisfreiheit für das schadlose Versickern von Niederschlagswasser (Niederschlagswasserfreistellungsverordnung), geändert im April 2016.

Effekte	Teilversiegelte Oberflächenbefestigungen				
	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene					
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%]	nicht quantifiziert				
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	nicht quantifiziert				
Freiraumqualität					
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren [1] [-]	nicht quantifiziert				
Stadtklima					
Änderung Tropennächte [2] [d/a]	0	-1	0	Sim.	○
Änderung Hitzestress (UTCI) [2] [h/a]	-20	-80	0	Sim.	◑
Biodiversität					
α-Diversität (Flora) [-]	nicht quantifiziert				
α-Diversität (Fauna) [-]	nicht quantifiziert				
β-Diversität (Flora) [-]	nicht quantifiziert				
Grundwasser / Bodenpassage					
Änderung des Versickerungsanteils [3] [%]	+31	-	-	46	-
Änderung der Zinkkonzentration [4] [%]	-87	-98	-39	16	○
Änderung der Chloridkonzentration [4] [%]	±0	-	-	1	◑
Oberflächengewässer					
Reduktion des Regenabflusses [%]	39	8	100	22	◑
Reduktion der Abflussspitze [%]	nicht quantifiziert				
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	244	89	600	22	○
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	1,7	0,6	4,0	25	◑
Ressourcennutzung [5]					
THG-Potenzial $_{100\ a}$ [kg CO_2-eq/(m²·a)]	0,34	0,10	0,58	2	●
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m²·a)]	3,05	1,59	4,51	2	●
Direkte Kosten [6]					
Investitionen [€/(m²·a)]	1,26	0,09	3,61	80	●
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m²·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_{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:

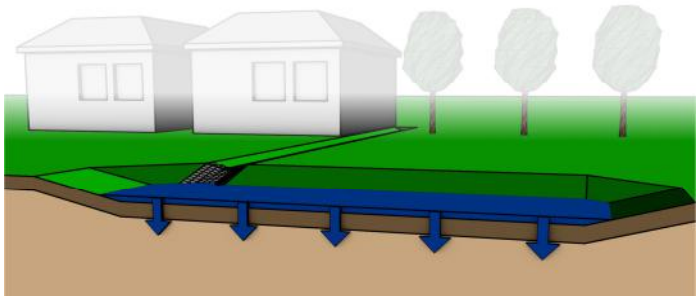
○ geringer positiver Effekt
◑ moderater positiver Effekt
● hoher positiver Effekt
○ geringer negativer Effekt
◑ moderater negativer Effekt
● hoher negativer Effekt
○ kein Effekt

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 ensprechen 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: $1*10^{-4}$ – $1*10^{-5}$ m/s Muldenversickerung: K_f-Wert: $1*10^{-4}$ – $2*10^{-6}$ m/s Nur außerhalb von Wasserschutzgebieten erlaubnisfrei möglich (Berliner NWFreiwV 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 Niederschlagwassers 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 zugrundliegender Datensätze). Zur Erhebung von Kostendaten wurden ergänzend Umfragen durchgeführt. In ausgewählten Fällen wurde zudem auf Simulationen zurückgegriffen (Stadtklima). Für die Klassifizierung (geringer / moderater / hoher Effekt) wurde der Wertebereich jedes Indikators in der Regel in drei gleich große Klassen aufgeteilt (siehe Matzinger et al., 2017). Alle Werte beziehen sich auf die Umsetzung der Maßnahme im Bestand. Die Bewertungstabelle ist auf der nachfolgenden Seite zu finden.

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

Referenzen und weiterführende Literatur

BBodSchG (1998): Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG).

DWA-A 138 (2005): Arbeitsblatt DWA-A 138 - Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

DWA-M 153 (2007): Merkblatt DWA-M 153 - Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

FLL (2005): Broschüre: Empfehlungen zur Versickerung und Wasserrückhaltung, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V., Bonn.

GrwV (2010): Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung - GrwV).

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

NWFreiV (2001): Berliner Verordnung über die Erlaubnisfreiheit für das schadlose Versickern von Niederschlagswasser (Niederschlagswasserfreistellungsverordnung), geändert im April 2016.

Sieker, F.; Sieker, H.; Kaiser, M. (2006): Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung im privaten, gewerblichen und kommunalen Bereich. Grundlagen und Ausführungsbeispiele. 232 S., zahlr. farbige Abb., Tab., Gebunden, ISBN 3-8167-6975-6

Effekte	Muldenversickerung					Flächenversickerung				
	Median	Min	Max	n	+/-	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene										
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				
Freiraumqualität										
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren [1] [-]	nicht quantifiziert					2,6	-	-	1	◑
Stadtklima										
Änderung Tropennächte [2] [d/a]	0	-1	0	Sim.	○	0	-1	1	Sim.	○
Änderung Hitzestress (UTCI) [2] [h/a]	-25	-80	0	Sim.	◑	-25	-80	0	Sim.	◑
Biodiversität										
α-Diversität (Flora) [-]	23,4	1,3	34	27	●	23,4 [3]	1,3 [3]	34 [3]	27 [3]	●
α-Diversität (Fauna) [-]	64,5	-	-	1	●	64,5 [3]	-	-	1 [3]	●
β-Diversität (Flora) [-]	2,8	1,9	5,1	26	●	2,8 [3]	1,9 [3]	5,1 [3]	26 [3]	●
Grundwasser / Bodenpassage										
Änderung des Versickerungsanteils [4] [%]	+344	-	-	3	-	+381	- [6]	- [6]	1	-
Änderung der Zinkkonzentration [5] [%]	-91	-99	-18	30	○	-84	-99	-79	5	○
Änderung der Chloridkonzentration [5] [%]	+290	-36	+4410	9	●	±0	-	-	4	◑
Oberflächengewässer										
Reduktion des Regenabflusses [%]	100	100	100	7	●	100	100	100	3	●
Reduktion der Abflussspitze [%]	100	100	100	5	●	100	-	-	1	●
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	826	130	1000	6	●	702	-	-	1	●
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	3,5	1,5	4,0	6	●	-	-	-	0	●
Ressourcennutzung [6]										
THG-Potenzial $_{100\ a}$ [kg CO_2-eq/(m²·a)]	0,03	-	-	1	○	0,1	-	-	1	○
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m²·a)]	0,48	-	-	1	○	1,52	-	-	1	◑
Direkte Kosten										
Investitionen [7] [€/(m²·a)]	0,17	0,04	0,43	10	○	0,22	0,00	0,43	6	○
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m²·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 Grund für je eine rasterzellengroße Maßnahme (8 x 8 m) quantifiziert. Min und Max repräsentieren 5%-und 95%-Quantile über alle (~50000) Rasterzellen.

[3] Bewertung von Muldenversickerung übernommen.

[4] bezieht sich auf Änderung ggü. Situation ohne Maßnahme, d.h. Straßenfläche inkl. Gehwegen mit 12% Versickerungsanteil; Berechnung: ($V_{ohne\ Maßnahme}$ - $V_{mit\ Maßnahme}$) / $V_{mit\ Maßnahme}$. Ob Effekt als positiv/negativ wahrgenommen wird, hängt von lokalen Randbedingungen und Zielstellungen ab.

[5] Median, Min und Max beziehen sich auf Vergleich zwischen Zufluss und Ablauf (Versickerungsanteil) der Maßnahme; Berechnung: ($c_{Zufluss}$ - $c_{Abfluss}$) / $c_{Zufluss}$. Bewertung (+/-) impliziert Einhaltung des Verschlechterungsverbots.

[6] Lebenszyklusbewertung von Material- und Energieverbrauch; angenommene Nutzungsdauer: 40 Jahre; Flächenbezug über angeschlossene versiegelte Fläche.

[7] Investitionen pro m² angeschl. vers. Fläche; angenommene Nutzungsdauer: 40 Jahre; Diskontierungszinssatz: 3 %.

Bedeutung der verwendeten Symbole:

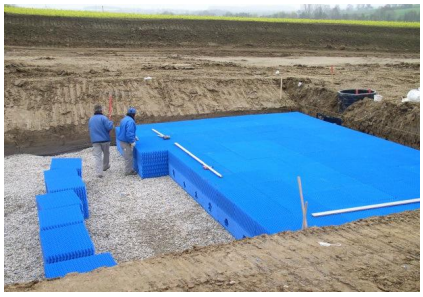
○ geringer positiver Effekt
◑ moderater positiver Effekt
● hoher positiver Effekt
○ geringer negativer Effekt
◑ moderater negativer Effekt
● hoher negativer Effekt
○ kein Effekt

Steckbrief 7: Schacht- und Rigolenversickerung

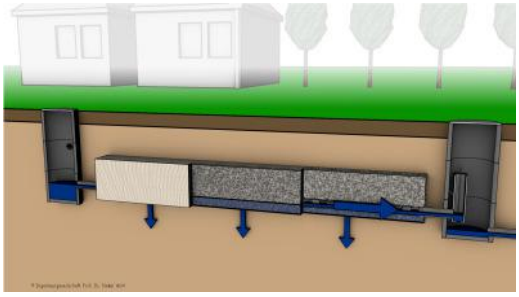
Versickerung über Sickerschächte, Rigolen oder Rohrrigolen	
Beschreibung	Versickerung von Niederschlagswasser von gering verschmutzten Flächen über Sickerschächte oder unterirdische Systeme wie Rigolen und Rohrrigolen
Anwendungsebene	Grundstück, Quartier
Primäre Ziele	Reduzierung der hydraulischen und 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 signifkante 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, Filterkatuschen, 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 Verschlämmung 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 m³/ha angeschlossene Fläche (abhängig von k_f-Wert des Bodens) Überstauhäufigkeit: 0,2/a (für Schacht- und Rigolenversickerung)
Flächenbedarf	Kein oberirdischer Flächenbedarf (außer Revisionsschächte)
Sonstige Anforderungen	Nur für Flächen mit geringer Verschmutzung (z.B. Fußwegflächen, nichtmetallische Dachflächen) Nur außerhalb von Wasserschutzgebieten erlaubnisfrei möglich (NWFreiwV 2001) Für Sickerschächte: Filterschicht mit karbonathaltigem Sand ($K_f = 10^{-3}$ m/s), ggf. mit Filtersack
Richtlinien und Leitfäden	DWA A138 (2005), DWA M153 (2007) DIN V 4034-1 (2004)

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

Sickerschächte werden ebenfalls nach DWA A138 (2005) auf eine Überstauhäufigkeit von 0,2/a bemessen. Die Wasserdurchlässigkeit des Bodens ist z.B. durch Versickerungsversuche vor Ort zu überprüfen ($k_f > 10^{-5}$ m/s). Ein Mindestdurchmesser von DN1000 darf nicht unterschritten werden. Der Abstand zwischen Versickerungssohle und Grundwasser muss wie bei Rigolen mindestens 1 m betragen. Aufgrund der Bautiefe der Schachtsysteme ist jedoch in der Regel ein größerer Grundwasserflurabstand erforderlich als bei Rigolen. Es sind die Vorgaben an die stoffliche Belastung des zu versickernden Niederschlagwassers nach Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchG 1998), Grundwasserverordnung (GrwV 2010) und der Handlungsempfehlung zum Umgang mit Regenwasser (DWA M 153) zu beachten. Sind bei Sickerschächten die Perforationen der Sickerringe 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 zugrundliegender 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 schadlose Versickern von Niederschlagswasser (Niederschlagswasserfreistellungsverordnung), geändert im April 2016.

Effekte	Schachtversickerung					(Rohr)-Rigolenversickerung				
	Median	Min	Max	n	+/-	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene										
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	-	-	-	0 [1]	○	-	-	-	0 [1]	○
Freiraumqualität										
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren [2] [-]	-	-	-	0 [1]	○	-	-	-	0 [1]	○
Stadtklima										
Änderung Tropennächte [d/a]	-	-	-	0 [1]	○	-	-	-	0 [1]	○
Änderung Hitzestress (UTCI) [h/a]	-	-	-	0 [1]	○	-	-	-	0 [1]	○
Biodiversität										
α-Diversität (Flora) [-]	-	-	-	0 [1]	○	-	-	-	0 [1]	○
α-Diversität (Fauna) [-]	-	-	-	0 [1]	○	-	-	-	0 [1]	○
β-Diversität (Flora) [-]	-	-	-	0 [1]	○	-	-	-	0 [1]	○
Grundwasser / Bodenpassage										
Änderung des Versickerungsanteils [3] [%]	+518	-	-	1	-	+425	-	-	3	-
Änderung der Zinkkonzentration [4] [%]	-94	-	-	1	○	-86	-96	-66	3	○
Änderung der Chloridkonzentration [4] [%]	-	-	-	0	◑	-	-	-	0	◑
Oberflächengewässer										
Reduktion des Regenabflusses [%]	100	100	100	2	●	100 [5]	100 [5]	100 [5]	2	●
Reduktion der Abflussspitze [%]	100	100	100	2	●	100 [5]	100 [5]	100 [5]	2	●
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	681	-	-	1	●	-	-	-	0	●
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	-	-	-	0	●	-	-	-	0	●
Ressourcennutzung [6]										
THG-Potenzial $_{100\ a}$ [kg CO_2-eq/(m²·a)]	0,07	-	-	1	○	0,14 [7]	0,12 [7]	0,15 [7]	2	◑
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m²·a)]	0,65	-	-	1	○	2,02 [7]	1,83 [7]	2,22 [7]	2	◑
Direkte Kosten										
Investitionen [8] [€/(m²·a)]	0,65	0,24	1,08	9	○	0,52 [9]	0,15 [9]	3,45 [9]	13	○
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m²·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: ($V_{ohne\ Maßnahme}$ - $V_{mit\ Maßnahme}$) / $V_{mit\ Maßnahme}$. 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: ($c_{Zufluss}$ - $c_{Abfluss}$) / $c_{Zufluss}$. 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).

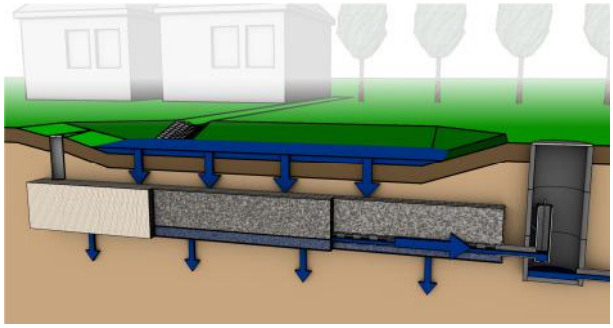
Bedeutung der verwendeten Symbole:

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

Steckbrief 8: kombinierte Versickerungssysteme

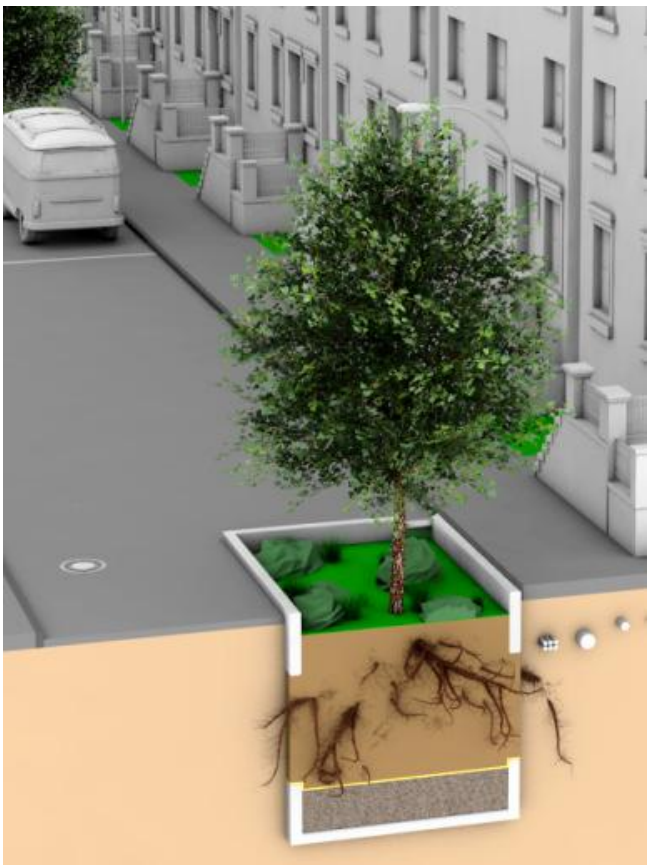
Kombinierte Versickerungssysteme: Mulden-Rigolen-System, Mulden-Rigolen-Tiefbeet, Baum-Rigolen	
Beschreibung	Sammlung von Niederschlagswasser von Dachflächen und Straßen zur Versickerung über kombinierte Systeme, z.B. Mulden mit unterhalb liegender Rigole (Mulden-Rigolen-System) oder Mulden-Rigolen-Tiefbeete
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 Versickerungspotenzial der Böden gering ist. Die Kombination verschiedener Maßnahmen erlaubt es, die Prozesse der Versickerung durch den Oberboden und die nachgeschaltete Zwischenspeicherung von Regenwasser in einer technischen Anlage nachzubilden. Kombinierte Systeme

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

Beim *Mulden-Rigolen-System* bietet sowohl die oberirdische Mulde als auch die unterirdischen Rigole Speicherraum. In der Regel ermöglicht ein Notüberlauf von der Mulde in die Rigole die Entlastung des oberirdischen Muldenspeichers bei hydraulischer Spitzenlast. Am Ende des Dränrohres der Rigole sorgt ein Drosselorgan für eine gedrosselte Ableitung des nicht versickerten Regenwassers in die Kanalisation. Die Drosselspende wird gemäß der lokalen Gegegenheiten (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} 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 oberflächenahen 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 zugrundliegender Datensätze). Zur Erhebung von Kostendaten wurden ergänzend Umfragen durchgeführt. In ausgewählten Fällen wurde zudem auf Simulationen zurückgegriffen (Stadtklima). Für die Klassifizierung (geringer / moderater / hoher Effekt) wurde der Wertebereich jedes Indikators in der Regel in drei gleich große Klassen aufgeteilt (siehe Matzinger et al., 2017). Alle Werte beziehen sich auf die Umsetzung der Maßnahme im Bestand. Die Bewertungstabelle ist auf der nachfolgenden Seite zu finden.

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

Die Bewertung für *Baum-Rigolen* konnte aufgrund der bisher wenigen Umsetzungsbeispiele nur für ausgewählte Bereiche (Stadtklima, Ressourcennutzung, z.T. auch Oberflächengewässer) und nur vorläufig vorgenommen werden. Eine besonders positive Wirkung wurde für das Stadtklima festgestellt. Durch die Schattenwirkung der Baumkronen kann je nach Standort eine deutliche Reduzierung des Hitzestresses am Tag erreicht werden (Median: -70 h/a, Min: -300 h/a, Max: 0 h/a). Die Anzahl an Tropennächten wird nur leicht verändert (Median: 0 d/a, Min: -1 d/a, Max: 1 d/a). Der Ressourcenverbrauch ist mit dem der Mulden-Rigolen-Tiefbeete vergleichbar (THG-Potenzial $_{100\,a}$: 0,26 kg CO_2-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 schadlose Versickern von Niederschlagswasser (Niederschlagswasserfreistellungsverordnung), geändert im April 2016.

Effekte	Mulden-Rigolen-System					Mulden-Rigolen-Tiefbeet				
	Median	Min	Max	n	+/-	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene										
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				
Freiraumqualität										
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren [1] [-]	2,3	1,8	3,1	3	◑	2,5	2,3	2,7	3	◑
Stadtklima										
Änderung Tropennächte [2] [d/a]	0	-1	0	Sim.	○	0	-1	0	Sim.	○
Änderung Hitzestress (UTCI) [2] [h/a]	-20	-80	0	Sim.	◑	-20	-80	0	Sim.	◑
Biodiversität										
α-Diversität (Flora) [-]	23,4 [3]	1,3 [3]	34 [3]	27 [3]	●	23,4 [3]	1,3 [3]	34 [3]	27 [3]	●
α-Diversität (Fauna) [-]	64,5 [3]	-	-	1 [3]	●	64,5 [3]	-	-	1 [3]	●
β-Diversität (Flora) [-]	2,8 [3]	1,9 [3]	5,1 [3]	26 [3]	●	2,8 [3]	1,9 [3]	5,1 [3]	26 [3]	●
Grundwasser / Bodenpassage										
Änderung des Versickerungsanteils [4] [%]	+200	-	-	2	-	+494			1	-
Änderung der Zinkkonzentration [5] [%]	-89	-100	-67	4	○	nicht quantifiziert				
Änderung der Chloridkonzentration [5] [%]	+140	-15	+245	4	●	nicht quantifiziert				
Oberflächengewässer										
Reduktion des Regenabflusses [%]	56	-	-	1	◑	99	-	-	1	●
Reduktion der Abflussspitze [%]	nicht quantifiziert					100	-	-	1	●
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	578	452	704	2	◑	790	-	-	1	●
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	2,3	-	-	1	◑	3,9	-	-	1	●
Ressourcennutzung [6]										
THG-Potenzial $_{100\ a}$ [kg CO_2-eq/(m²·a)]	0,12	0,10	0,14	2	◑	0,23	-	-	1	◑
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m²·a)]	1,83	1,55	2,12	2	◑	2,67	-	-	1	◑
Direkte Kosten										
Investitionen [7] [€/(m²·a)]	0,30	0,15	1,19	3	○	1,51	1,08	2,41	3	●
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m²·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 Grund für je eine rasterzellengroße Maßnahme (8 x 8 m) quantifiziert. Min und Max repräsentieren 5%-und 95%-Quantile über alle (~50000) Rasterzellen.

[3] Bewertung von Muldenversickerung übernommen.

[4] 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.

[5] Median, Min und Max beziehen sich auf Vergleich zwischen Zufluss und Ablauf (Versickerungsanteil) der Maßnahme; Berechnung: (c_{Zufluss} - c_{Abfluss}) / c_{Zufluss}. Bewertung (+/-) impliziert Einhaltung des Verschlechterungsverbots.

[6] Lebenszyklusbewertung von Material- und Energieverbrauch; angenommene Nutzungsdauer: 40 Jahre; Flächenbezug über angeschlossene versiegelte Fläche.

[7] Investitionen pro m² angeschl. vers. Fläche; angenommene Nutzungsdauer: 40 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 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 Gehwegsflächen 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 abgetrente 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-Gewässerabdichtungssrichtlinie (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 zugrundliegender Datensätze). Zur Erhebung von Kostendaten wurden ergänzend Umfragen durchgeführt. In ausgewählten Fällen wurde zudem auf Simulationen zurückgegriffen (Stadtklima). Für die Klassifizierung (geringer / moderater / hoher Effekt) wurde der Wertebereich jedes Indikators in der Regel in drei gleich große Klassen aufgeteilt (siehe Matzinger et al., 2017). Alle Werte beziehen sich auf die Umsetzung der Maßnahme im Bestand. Die Bewertungstabelle ist auf der nachfolgenden Seite zu finden.

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

Referenzen und weiterführende Literatur

Dreiseitl, H. & Grau, D. (2009): Recent Waterscapes - Planning, building and designing with water. Birkhäuser

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

EU (2000): Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EC, European Parliament and Council, 23/10/2000.

FLL (2005): Empfehlungen für Planung, Bau und Instandhaltung von Abdichtungssystemen für Gewässer im Garten-, Landschafts und Sportplatzbau. Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau e.V., Bonn.

FLL(2011): Richtlinien für Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb von Freibädern mit biologischer Wasseraufbereitung (Schwimm- und Badeteiche). Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung und Landschaftsbau e.V., Bonn.

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

Effekte	Teiche					Wasserführende Gräben				
	Median	Min	Max	n	+/-	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene										
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				
Freiraumqualität										
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren [1] [-]	2,1	1,9	2,8	3	◑	nicht quantifiziert				
Stadtklima										
Änderung Tropennächte [2] [d/a]	1	-1	3	Sim.	○	1	-1	3	Sim.	○
Änderung Hitzestress (UTCI) [2] [h/a]	-70	-300	0	Sim.	●	-70	-300	0	Sim.	●
Biodiversität										
α-Diversität (Flora) [-]	7,1	0	45	30	◑	7,1 [3]	0 [3]	45 [3]	30 [3]	◑
α-Diversität (Fauna) [-]	34,1	2	82	55	●	34,1 [3]	2 [3]	82 [3]	55 [3]	●
β-Diversität (Flora) [-]	11,4	0	60	49	●	11,4 [3]	0 [3]	60 [3]	49 [3]	●
Grundwasser / Bodenpassage										
Änderung des Versickerungsanteils [%]	-	-	-	0 [4]	○	-	-	-	0 [4]	○
Änderung der Zinkkonzentration [%]	-	-	-	0 [4]	○	-	-	-	0 [4]	○
Änderung der Chloridkonzentration [%]	-	-	-	0 [4]	○	-	-	-	0 [4]	○
Oberflächengewässer										
Reduktion des Regenabflusses [%]	100	100	100	2	●	nicht quantifiziert				
Reduktion der Abflussspitze [%]	100	100	100	2	●	nicht quantifiziert				
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	802	-	-	1	●	nicht quantifiziert				
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	4,0	-	-	1	●	nicht quantifiziert				
Ressourcennutzung [5]										
THG-Potenzial $_{100\ a}$ [kg CO_2-eq/(m²·a)]	0,3	-	-	1	◑	nicht quantifiziert				
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m²·a)]	4,11	-	-	1	●	nicht quantifiziert				
Direkte Kosten										
Investitionen [€/(m²·a)]	nicht quantifiziert					nicht quantifiziert				
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m²·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
◑ moderater positiver Effekt
● hoher positiver Effekt
○ geringer negativer Effekt
◑ moderater negativer Effekt
● hoher negativer Effekt
○ kein 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 zugrundliegender 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	◑
Ressourcennutzung[3]					
THG-Potenzial $_{100\ a}$ [kg CO_2-eq/(m²·a)]	0,04	0,03	0,05	2	◯
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m²·a)]	0,5	0,40	0,59	2	◯
Direkte Kosten[4]					
Investitionen [€/(m²·a)]	0,23	0,01	1,69	25	◯
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m²·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 Schlierseestrasse, Berlin-Köpenick (Foto: BWB)

Schrägkläreranlage (Lamellenabscheider) am Fennsee (Foto: BWB)

Schema eines Regenklärbeckens (BWB)

Funktionsbeschreibung und Aufbau

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

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

Eine Sonderform des Regenklärbeckens stellen sogenannte *Schrägkläreranlagen* (z.B. Lamellenfilter) dar, bei denen der Absetzvorgang durch Einbauten wie Lamellen verbessert und gleichzeitig der Raumbedarf minimiert wird. Der Sedimentationprozess 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 zugrundliegender 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-Potenzial $_{100\ a}$ [kg CO_2-eq/(m²·a)]	0,06	0,04	0,08	2	○	0,02[5]	-	-	1	○
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m²·a)]	0,42	0,30	0,55	2	○	0,14[5]	-	-	1	○
Direkte Kosten[6]										
Investitionen [€/(m²·a)]	0,42	0,05	1,02	9	○	nicht quantifiziert				
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m²·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

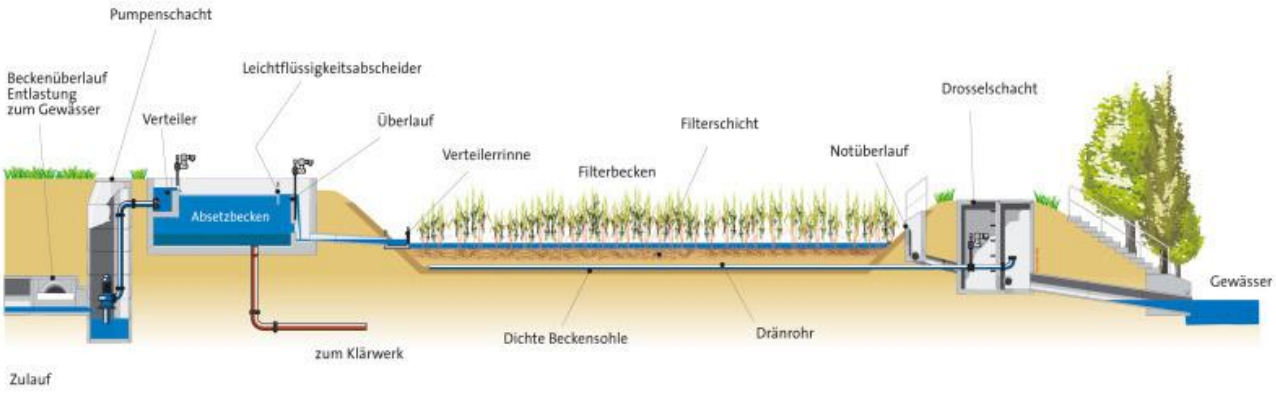
Steckbrief 12: Retentionsbodenfilter

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 eleminiert werden. Als Filtersubstrate kommen üblicherweise Sande mit geringem Kiesanteil zum Einsatz. Durch die Verwendung spezieller Filtersubstrate lässt sich die Keim-, Schwermetall- und Phosphorelemination (z.B. durch Beimischung von Eisenhydroxid) zusätzlich verbessern.

Hinweise zu Planung, Bemessung und rechtlichen Aspekten

Kenndaten zur Bemessung	
Parameter	**Werte**
Hydraulische Bemessung	Überstauhäufgkeit 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,m² Filter-oberfläche) (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 Feststoff-belastung des Filters sollte nicht über 7 kg AFS_{63}/(m²,a) liegen. Zudem ist eine mittlere Beschickungs-häufigkeit ≥ 10/a und eine einjährliche 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 Abtrockung der aufgebrachten Sedimente zur vollständigen Kolmation an der Filteroberfläche führen kann, müssen diese trocknen und unter aeroben Bedingungen mineralisiert und strukturiert werden. Aus diesem Grunde ist die Filterfläche in hydraulisch getrennte Teilflächen zu unterteilen, die alternierend zu beschicken sind. Um einen größtmöglichen Wirkungsgrad der Anlage zu erzielen, ist eine Vollstrombehandlung zu bevorzugen.

Unterhaltung und Pflege

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

Maßnahmenwirkung

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

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

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

Referenzen und weiterführende Literatur

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

DWA-A 118 (2006): Arbeitsblatt DWA-A 118: Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

DWA-A 178 (in Bearbeitung): Arbeitsblatt DWA-A 178: Planung, Bau und Betrieb von Retentionsbodenfiltern. DWA-Regelwerk, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.

DWA-M 178 (2005): Arbeitsblatt DWA-M 178: Empfehlungen für Planung, Bau und Betrieb von Retentionsbodenfiltern zur weitergehenden Regenwasserbehandlung im Misch- und Trennsystem, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

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

MUNLV (2015): Retentionsbodenfilter, Handbuch für Planung, Bau und Betrieb. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MUNLV) des Landes Nordrhein-Westfalen, 2. Auflage. ISBN 3-9808617-1-6.

Effekte	Retentionsbodenfilter				
	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene					
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%]	-	-	-	0[1]	○
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	-	-	-	0[1]	○
Freiraumqualität					
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren[2] [-]	2,3	2,0	2,6	3	◑
Stadtklima					
Änderung Tropennächte [d/a][3]	0	-1	0	Sim.	○
Änderung Hitzestress (UTCI) [h/a][3]	-20	-70	0	Sim.	◑
Biodiversität					
α-Diversität (Flora) [-]	nicht quantifiziert				
α-Diversität (Fauna) [-]	nicht quantifiziert				
β-Diversität (Flora) [-]	nicht quantifiziert				
Grundwasser / Bodenpassage					
Änderung des Versickerungsanteils [%]	-	-	-	0[1]	○
Änderung der Zinkkonzentration [%]	-	-	-	0[1]	○
Änderung der Chloridkonzentration [%]	-	-	-	0[1]	○
Oberflächengewässer					
Reduktion des Regenabflusses [%]	5,0	4,9	6,0	3	○
Reduktion der Abflussspitze [%]	68	49	80	4	●
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	608	75	776	15	●
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	3,1	1,8	6,0	6	●
Ressourcennutzung[4]					
THG-Potenzial $_{100\ a}$ [kg CO_2-eq/(m²·a)]	0,02	-	-	1	○
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m²·a)]	0,2	-	-	1	○
Direkte Kosten[5]					
Investitionen [€/(m²·a)]	0,16	0,11	0,42	13	○
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m²·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 zugrundliegender 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 Investionen sind vergleichsweise gering.

Referenzen und weiterführende Literatur

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

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

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

Effekte	Regenrückhaltebecken				
	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene					
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%]	-	-	-	0[1]	○
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	-	-	-	0[1]	○
Freiraumqualität					
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren[2] [-]	nicht quantifiziert				
Stadtklima					
Änderung Tropennächte [d/a]	nicht quantifiziert				
Änderung Hitzestress (UTCI) [h/a]	nicht quantifiziert				
Biodiversität					
α-Diversität (Flora) [-]	nicht quantifiziert				
α-Diversität (Fauna) [-]	nicht quantifiziert				
β-Diversität (Flora) [-]	nicht quantifiziert				
Grundwasser / Bodenpassage					
Änderung des Versickerungsanteils [%]	-	-	-	0[1]	○
Änderung der Zinkkonzentration [%]	-	-	-	0[1]	○
Änderung der Chloridkonzentration [%]	-	-	-	0[1]	○
Oberflächengewässer					
Reduktion des Regenabflusses [%]	nicht quantifiziert				
Reduktion der Abflussspitze [%]	98	84	98	3	●
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	nicht quantifiziert				
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	nicht quantifiziert				
Ressourcennutzung					
THG-Potenzial $_{100\ a}$ [kg CO_2-eq/(m²·a)]	nicht quantifiziert				
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m²·a)]	nicht quantifiziert				
Direkte Kosten					
Investitionen[3] [€/(m²·a)]	0,36	0,24	1,07	20	○
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m²·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 angeordneten 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 Spülstöße 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 Speichervolumem 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 hisichtlich 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 zugrundliegender Datensätze). Zur Erhebung von Kostendaten wurden ergänzend Umfragen durchgeführt. Für die Klassifizierung (geringer / moderater / hoher Effekt) wurde der Wertebereich jedes Indikators in der Regel in drei gleich große Klassen aufgeteilt (siehe Matzinger et al., 2017). Alle Werte beziehen sich auf die Umsetzung der Maßnahme im Bestand. Die Bewertungstabellen sind auf den nachfolgenden Seiten zu finden.

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

Referenzen und weiterführende Literatur

ATV-A 128 (1992): Arbeitsblatt ATV-A 128: Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen, Abwassertechnische Vereinigung e.V.

DWA-A 102 (2016): Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer, Gelbdruck (Oktober 2016). Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

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

Riechel, M., Matzinger, A., Pawlowsky-Reusing, E., Sonnenberg, H., Uldack, M., Heinzmann, B., Caradot, N., von Seggern, D., Rouault, P. (2016): Impacts of combined sewer overflows on a large urban river - Understanding the effect of different management strategies. Water Research 105 (10).

Effekte	Regenüberlaufbecken					Stauraumkanal				
	Median	Min	Max	n	+/-	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene										
Einsparung Trink- / Abwasser (Regen) [%]	-	-	-	0[1]	○	-	-	-	0[1]	○
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	-	-	-	0[1]	○	-	-	-	0[1]	○
Freiraumqualität										
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren[2] [-]	-	-	-	0[1]	○	-	-	-	0[1]	○
Stadtklima										
Änderung Tropennächte [d/a]	-	-	-	0[1]	○	-	-	-	0[1]	○
Änderung Hitzestress (UTCI) [h/a]	-	-	-	0[1]	○	-	-	-	0[1]	○
Biodiversität										
α-Diversität (Flora) [-]	-	-	-	0[1]	○	-	-	-	0[1]	○
α-Diversität (Fauna) [-]	-	-	-	0[1]	○	-	-	-	0[1]	○
β-Diversität (Flora) [-]	-	-	-	0[1]	○	-	-	-	0[1]	○
Grundwasser / Bodenpassage										
Änderung des Versickerungsanteils [%]	-	-	-	0[1]	○	-	-	-	0[1]	○
Änderung der Zinkkonzentration [%]	-	-	-	0[1]	○	-	-	-	0[1]	○
Änderung der Chloridkonzentration [%]	-	-	-	0[1]	○	-	-	-	0[1]	○
Oberflächengewässer										
Reduktion des Regenabflusses [%]	0	0	0	2	○	0	0	0	2	○
Reduktion der Abflussspitze [%]	-	-	-	0[3]	◑[3]	-	-	-	0[3]	◑[3]
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	-	-	-	0[3]	◑[3]	-	-	-	0[3]	◑[3]
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	-	-	-	0[3]	◑[3]	-	-	-	0[3]	◑[3]
Ressourcennutzung[4]										
THG-Potenzial $_{100\ a}$ [kg CO_2-eq/(m²·a)]	0,04	0,04	0,04	1	○	0,03	0,03	0,03	1	○
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m²·a)]	0,32	0,32	0,32	1	○	0,21	0,21	0,21	1	○
Direkte Kosten[5]										
Investitionen [€/(m²·a)]	0,07	0,04	0,37	31	○	0,11	0,05	0,69	14	○
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m²·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
◑ moderater positiver Effekt
● hoher positiver Effekt
○ geringer negativer Effekt
◑ moderater negativer Effekt
● hoher negativer Effekt
○ kein Effekt

Effekte	Stauraumaktivierung					Sonderform der Reinigung				
	Median	Min	Max	n	+/-	Median	Min	Max	n	+/-
Nutzen auf Gebäudeebene										
Einsparung Trink-/Abwasser (Regen) [%]	-	-	-	0 [1]	○	-	-	-	0 [1]	○
Energieeinsparpotenzial Gebäudekühlung [%]	-	-	-	0 [1]	○	-	-	-	0 [1]	○
Freiraumqualität										
Mittelwert aus vier Einzelindikatoren [2] [-]	-	-	-	0 [1]	○	-	-	-	0 [1]	○
Stadtklima										
Änderung Tropennächte [d/a]	-	-	-	0 [1]	○	-	-	-	0 [1]	○
Änderung Hitzestress (UTCI) [h/a]	-	-	-	0 [1]	○	-	-	-	0 [1]	○
Biodiversität										
α-Diversität (Flora) [-]	-	-	-	0 [1]	○	-	-	-	0 [1]	○
α-Diversität (Fauna) [-]	-	-	-	0 [1]	○	-	-	-	0 [1]	○
β-Diversität (Flora) [-]	-	-	-	0 [1]	○	-	-	-	0 [1]	○
Grundwasser / Bodenpassage										
Änderung des Versickerungsanteils [%]	-	-	-	0 [1]	○	-	-	-	0 [1]	○
Änderung der Zinkkonzentration [%]	-	-	-	0 [1]	○	-	-	-	0 [1]	○
Änderung der Chloridkonzentration [%]	-	-	-	0 [1]	○	-	-	-	0 [1]	○
Oberflächengewässer										
Reduktion des Regenabflusses [%]	0 [3]	0	0	2	○	0	0	0	2	○
Reduktion der Abflussspitze [%]	-	-	-	0 [3]	◑ [3]	0	0	0	2	○
AFS-Rückhalt [kg/(ha·a)]	-	-	-	0 [3]	◑ [3]	315	315	315	1	◑
Phosphor-Rückhalt [kg/(ha·a)]	-	-	-	0 [3]	◑ [3]	2,7	2,7	2,7	1	●
Ressourcennutzung [4]										
THG-Potenzial $_{100\ a}$ [kg CO_2-eq/(m²·a)]	0,017	0,007	0,027	2	○	nicht quantifiziert				
Bedarf fossiler Energien [MJ/(m²·a)]	0,20	0,04	0,36	2	○	nicht quantifiziert				
Direkte Kosten [5]										
Investitionen [€/(m²·a)]	0,08	0,01	0,25	15	○	nicht quantifiziert				
Betriebs- / Instandhaltungskosten [€/(m²·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 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
◑ moderater positiver Effekt
● hoher positiver Effekt
○ geringer negativer Effekt
◑ moderater negativer Effekt
● hoher negativer Effekt
○ kein Effekt