

Handlungsempfehlung für die Umsetzung des Boden-Rohr-Systems



**Die Handlungsempfehlung wurde im Rahmen des
BMBF-Verbundforschungsprojekts**

**BoRSiS – Boden-Rohr-System als innovatives Element der klimaangepassten
Stadtentwässerung (Förderkennzeichen 13FH002KA0) im
Zeitraum 01.10.2021 – 31.12.2024 von folgenden Projektbeteiligten erarbeitet**

Prof. Dr. Markus Quirnbach (Verbundkoordinator), Henrike Walther, Saphira Schnaut
(Hochschule Ruhr West, Lehrgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Hydrologie und Wasserbau)

Prof. Dr. René Schäfer, Recep Molla Hasan (Hochschule Ruhr West, Lehrgebiet Geotechnik)

Prof. Dr. Mark Oelmann (Hochschule Ruhr West, Lehrgebiet Infrastruktur und Netze)

Prof. Dr. Christoph Mudersbach, Felix Simon (Hochschule Bochum, Lehrgebiet Wasserbau
und Hydromechanik)

Christoph Benerscheidt (European Association for Ductile Iron Pipe Systems EADIPS® /
Fachgemeinschaft Guss-Rohrsysteme (FGR®) e. V.

Dirk Jan Boudeling, Dave Sevriens (Rockflow – Rockwool Rainwater Systems)

Dr. Markus Streckenbach (Sachverständigenbüro für urbane Vegetation)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



FORSCHUNG AN
FACHHOCHSCHULEN

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	V
Haftungsausschluss für externe Links.....	VI
Glossar	VI
1 Einführung.....	1
2 Funktionsweise des Boden-Rohr-Systems	2
3 Standortauswahl und Bestandsaufnahme	8
3.1 Potenzielle Standorte und deren Nutzung	8
3.2 Bestandsaufnahme des ausgewählten Standorts.....	8
4 Planung und Dimensionierung	10
4.1 Belastungsklasse der Straße/ In-situ Feldversuche.....	11
4.2 Dimensionierungen	14
4.2.1 Niederschlagswasserspeicher des BRS	14
4.2.2 Dimensionierung des Wurzelraums des BRS.....	16
4.3 Auswahl der Baumarten.....	18
4.4 Ausführung des Boden-Rohr-Systems: Baumaßnahme im Detail.....	18
4.4.1 Rohrsysteme.....	20
4.4.2 Niederschlagswasser-Speicherelemente allgemein	21
4.4.3 Steinwolle (Rockflow) als innovatives dezentrales Entwässerungssystem	21
4.4.4 Einbauanleitung für BRS-Elemente im Leitungsgraben	23
4.4.5 Niederschlagswasser sammeln und vorbehandeln	24
5 Kosten und Nutzen des Systems	26
5.1 Akteure und Rahmenbedingungen	26
5.2 Kosten und Nutzen	27
5.3 Finanzierung und Fördermittel	28
6 Genehmigungen.....	29
7 Unterhaltung und Wartung	30
8 Bewusstseinsbildung und Partnerschaften	31
9 Pilotprojekte	32
9.1 Pilotprojekt Köln	32
9.2 Pilotprojekt Leichlingen	33

10	Literaturverzeichnis	35
Anhang		39

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Draufsicht auf das Boden-Rohr-System mit angeschlossenem Baumstandort (oberflächennahe Zufuhr des Niederschlagswassers)	3
Abbildung 2:	Querschnitt B-B durch das Boden-Rohr-System mit angeschlossenem Baumstandort (oberflächennahe Zufuhr des Niederschlagswassers)	3
Abbildung 3:	Draufsicht auf das Boden-Rohr-System mit angeschlossenem Baumstandort (tiefliegende Zufuhr des Niederschlagswassers).....	4
Abbildung 4:	Querschnitt B-B durch das Boden-Rohr-System mit angeschlossenem Baumstandort (tiefliegende Zufuhr des Niederschlagswassers).....	4
Abbildung 5:	Aufbau des Boden-Rohr-Systems im Leitungsgraben	7
Abbildung 6:	Asphalttragschicht auf Frostschutzschicht (FGSV, 2012).....	11
Abbildung 7:	Beispielhafter Aufbau einer befestigten Straße (FGSV, 2012)	12
Abbildung 8	Diagramm zur Bestimmung des Verformungsmoduls E_{v2} für verschiedene Gesteinsschichtdicken	14
Abbildung 9	Bei der Dimensionierung des BRS nicht berücksichtigte Bereiche (rot markiert).....	15
Abbildung 10:	Zusammenhang zwischen Baumgröße und durchwurzelbarem Bodenvolumen auf Grundlage der Formel von Bakker/ Kopinga.....	17
Abbildung 11	Aufbau und Elemente eines Leitungsgrabens Bettungstyp 1 nach EN 1610	19
Abbildung 12	Rockflow Steinwollelemente in verschiedenen Bauhöhen	22
Abbildung 13	Schematische Darstellung des Anlagenaufbaus mit Rockflow Steinwolle, mit Wasserzufuhr und Entlüftung mittels gefräster Rohrkanäle in der Steinwolle	22
Abbildung 14	Einbau der BRS-Elemente im Leitungsgraben	23
Abbildung 15	Fest- bzw. Schadstoffeintrag über den Eintragspfad Niederschlagswasser	25
Abbildung 16:	a) Übersichtsplan des Marktplatzes an der Kemperwiese; b) Teilprojekt BoRSiS im Projekt An der Kemperwiese, Übersichtsplan (Stand: Entwurfsplanung 2024, StEB Köln, 2024).....	32
Abbildung 17:	Teilprojekt BoRSiS im Projekt An der Kemperwiese, Querschnitt (Stand: Entwurfsplanung 2024, StEB Köln, 2024).....	33
Abbildung 18:	Draufsicht auf die Örtlichkeiten in Leichlingen, Datenbasis: Google Maps (Google, o.J.), eigene Überarbeitung.....	34

Abbildung 19: Längsschnitt der Systemskizze am Standort Friedensstraße in Leichlingen.....	34
---	----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Porenanteil n der Bodengemische 0/2; 2/4; 16/32	6
Tabelle 2:	Mögliche Belastungsklassen für die typischen Entwurfssituation nach Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV, 2012)	11
Tabelle 3:	Versuchsergebnisse für die Steinwollvariante WM 2005	13
Tabelle 4:	Nennweiten und Außendurchmesser sowie Volumen pro Meter Rohrleitung für duktile Gussrohre nach EN 598 mit Zementmörtel-Umhüllungen nach EN 15542	16
Tabelle 5:	Anforderungen für die Auswahl der Speicher-/ Versickerungskörper	21

Haftungsausschluss für externe Links

Bitte beachten Sie, dass Verweise auf externe Links in dieser Handlungsempfehlung nicht aktualisiert werden. Für die Inhalte der verlinkten Seiten sind ausschließlich deren Betreiber verantwortlich. Die Autor:innen übernehmen keine Haftung für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität der dort bereitgestellten Informationen.

Glossar

Im Folgenden werden zentrale Begriffe definiert, die ein einheitliches Verständnis unterstützen sollen. Diese Definitionen orientieren sich an den Vorgaben der FGSV_939 (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) et al., 2013) und den FLL-Empfehlungen für Baumpflanzungen (Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), 2010).

- **Anstehender Boden / Untergrund:** Der natürliche Boden, der vor Beginn von Bau- oder Pflanzmaßnahmen vorhanden war.
- **Baumscheibe:** Die begrenzte Fläche um den Baumstamm, die aus der Vegetationstragschicht besteht. Diese Fläche kann offen, befestigt oder begrünt sein, muss aber dauerhaft luft- und wasserdurchlässig bleiben.
- **Deckschicht:** Die oberste Schicht von Verkehrsflächen, z. B. Pflasterdecken, Plattenbeläge oder Asphalt, die als Abschluss des Straßenaufbaus dient.
- **Erweiterter Wurzelraum:** Ein durch Baumaßnahmen vergrößerter Bodenbereich, der dem Baum zusätzlichen Wurzelraum bietet.
- **Leitungsgraben:** Ein Graben, der für den Einbau von unterirdischen Leitungen dient.
- **Leitungszone:** Der Bereich um unterirdische Leitungen, der aus Bettung, Seitenverfüllung und Abdeckung besteht.
- **Oberbau:** Der Teil einer Verkehrsfläche, der unmittelbar auf dem Planum des Baugrundes liegt und aus Tragschichten und Deckschichten besteht.
- **Pflanzgrube:** Ein großvolumiger Raum, in dem der anstehende Boden durch geeignete Substrate oder Böden ersetzt werden kann, um in den ersten Standjahren optimale Wachstumsbedingungen für Bäume zu schaffen.
- **Planum:** Eine technisch bearbeitete Oberfläche des Baugrunds oder anderer Schichten, die definierte Anforderungen wie Gefälle, Höhenlage und Ebenheit erfüllt.
- **Sanierungsmaßnahme:** Eine Maßnahme, die der wesentlichen Verbesserung oder Umgestaltung eines Gebiets dient, um städtebauliche Missstände zu beheben (§ 136 Abs. 2 Satz 1 BauGB).

- **Substrat:** Ein speziell hergestelltes Bodenersatzmaterial, das aus verschiedenen Stoffen oder aufbereiteten Böden gemäß festgelegten Anforderungen besteht.
- **Tragschicht:** Der untere Teil des Oberbaus, der zwischen der Deckschicht und dem Baugrund liegt und zur Lastverteilung dient.
- **Unterbau:** Eine Aufschüttung auf dem Untergrund, die als tragende Schicht für Verkehrsflächen dient.
- **Unterirdische Leitungen:** Sammelbegriff für unterirdische Kanäle und Leitungen, die der Ver- und Entsorgung von Gas, Wasser, Fernwärme, Abwasser, Strom und Telekommunikation dienen.
- **Vegetationstragschicht:** Eine Bodenschicht, die aufgrund ihrer Zusammensetzung und Eigenschaften für den Bewuchs mit Pflanzen geeignet ist.
- **Wurzelraum:** Der Bodenbereich, der von einem Baum zukünftig durchwurzelt werden kann. Bei gut belüfteten Böden, kann dieser mehrere Meter in die Tiefe reichen.
- **Wurzelfest:** Eigenschaft von Materialien und Bauteilen, die verhindern, dass Wurzeln in sie eindringen.
- **Wurzelgraben:** Ein Graben, der dazu dient, Wurzeln gezielt zu anderen durchwurzelbaren Bereichen außerhalb der Pflanzgrube zu leiten.

Im Rahmen des Schlussberichtes sowie der Handlungsempfehlung wird der untere Bereich, in dem das Leitungsrohr liegt und der mit grobkörnigem Material verfüllt ist, gemäß DIN EN 1610 (2015) als **Leitungszone** bezeichnet. Diese Leitungszone soll den angeschlossenen Bäumen als **erweiterter Wurzelraum** dienen. Das gesamte System, bestehend aus Steinwoollement, Sandschicht und darunter liegender Leitungszone entspricht einem **Leitungsgraben**. Das Gesamtkonstrukt (inkl. der Übergangsbereiche zu den Baumstandorten) wird nachfolgend als **Boden-Rohr-System (BRS)** bezeichnet.

1 Einführung

Die Auswirkungen des Klimawandels können nicht länger ignoriert werden. Eine angemessene Anpassung an die erwarteten Veränderungen ist in nahezu allen Lebensbereichen erforderlich (Zhang et al., 2023). Angesichts der Tatsache, dass Städte einen zunehmend großen Anteil der Weltbevölkerung beherbergen und Zentren der Wirtschaft bilden, wird die Anpassung in städtischen Gebieten besondere Bedeutung erlangen (European Environment Agency (EEA), 2012). Die Konzepte der Schwammstadt, der wasserbewussten Stadtentwicklung und der Blau-Grünen Infrastruktur verfolgen ein gemeinsames Ziel: Städte widerstandsfähiger gegenüber den Folgen des Klimawandels zu machen, indem der natürliche Wasserkreislauf in urbanen Gebieten gefördert und integriert wird. Diese Ansätze adressieren eine Reduzierung der negativen Auswirkungen der Urbanisierung, insbesondere die durch Versiegelung bedingte Zunahme des Oberflächenabflusses und der urbanen Hitzeinsel. Durch die Bereitstellung von Flächen, die Wasser aufnehmen, speichern und langsam wieder freisetzen sowie die Integration von Vegetation und Grünflächen in die Stadtplanung, können Überschwemmungsrisiken verringert, urbane Hitzeinseln gemildert und das Mikroklima verbessert werden. Gleichzeitig tragen diese Flächen zur Stabilisierung des Wasserhaushalts bei, indem Regenwasser vor Ort zurückgehalten und wiederverwendet wird. Diese Ansätze fördern eine nachhaltige und umweltbewusste Stadtentwicklung, die sowohl die Lebensqualität der Stadtbewohner steigert, als auch die ökologischen Funktionen urbaner Räume erhält (Becker et al., 2015; Oke, 1973; Transforming Cities, 2020; Virgil, 2022).

Das vom BMBF geförderte Verbundprojekt „Boden-Rohr-System als innovatives Element der klimaangepassten Stadtentwässerung“ (BoRSiS) stellt eine innovative Lösung für die Anpassung von Städten an den Klimawandel im Sinne der Blau-Grünen Infrastrukturen dar. Dieses System vereint mehrere Anpassungsstrategien, indem es Baumstandorte mit existierenden Leitungsgräben und Regenwasser-Speicherelementen verbindet. Das Boden-Rohr-System schafft einen Speicherraum für Niederschlagswasser bei (Stark-)Regen, der gleichzeitig als erweiterter Wurzelraum für Bäume dient. Dadurch wird eine nachhaltige Lösung zur Verbesserung der Baumvitalität ermöglicht, ohne zusätzlichen Platzbedarf an der Oberfläche zu schaffen. Das gespeicherte Wasser wird zeitverzögert zur Verdunstung über die Bäume bereitgestellt, was sowohl die Wasserspeicherung als auch die Versorgung der Vegetation unterstützt und gleichzeitig die Kanalisation bei Starkregenfällen entlastet.

2 Funktionsweise des Boden-Rohr-Systems

Die nachfolgende Variante des Boden-Rohr-Systems (BRS) stellt eine Vorzugsvariante dar, die individuell je nach den örtlichen Randbedingungen modifiziert werden kann. Da das Projektende von BoRSiS und die Veröffentlichung des neuen DWA-A 138-1 (DWA, 2024b) zur Niederschlagswasserversickerung fast zeitgleich Ende 2024 stattgefunden haben, bestand bei der Erstellung des Abschlussberichtes sowie der hier vorliegenden Handlungsempfehlung eine Unsicherheit, wie in Zukunft mit der Reinigung bzw. Vorbehandlung von Dachwasser (Flächengruppe D) in der praktischen Umsetzung umgegangen wird. Abbildung 1 (Draufsicht) und Abbildung 2 (Querschnitt im Schnitt B-B) zeigen daher zunächst exemplarisch, anhand der idealen Vorstellung des Konsortiums, wie die Umsetzung des BRS aussehen kann, wenn das Niederschlagswasser der angeschlossenen Dächer oberflächennah dem Baumstandort zugeführt wird. In dieser Variante wird eine Reinigungsleistung des eingesetzten Substrates am Baumstandort angenommen. Abbildung 3 (Draufsicht) und Abbildung 4 (Querschnitt im Schnitt B-B) zeigen exemplarisch, wie die Umsetzung des BRS aussehen kann, wenn eine tiefliegende Zuführung des Niederschlagswassers erfolgt. Bei dieser Variante sind im Einzelfall die Behandlungsanforderungen des Niederschlagswassers mit der zuständigen Behörde abzustimmen. Alle vier Abbildungen sind zudem in einer größeren Ansicht im Anhang zu finden.

Aus dem Systemquerschnitt wird deutlich, dass zwischen dem Baumstandort und dem BRS unterschieden wird. Dabei ist zu beachten, dass sich Baumstandorte unterschiedlicher Bauweisen sowie Bestandsbäume an das BRS anschließen lassen.

2 Funktionsweise des Boden-Rohr-Systems

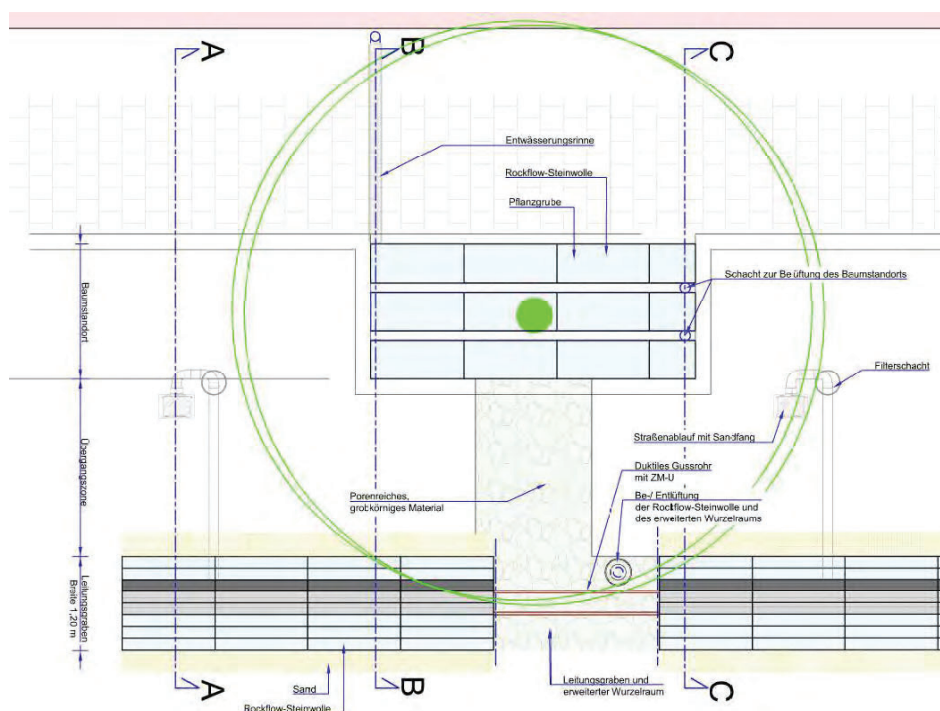


Abbildung 1: Draufsicht auf das Boden-Rohr-System mit angeschlossenem Baumstandort (oberflächennahe Zufuhr des Niederschlagswassers)

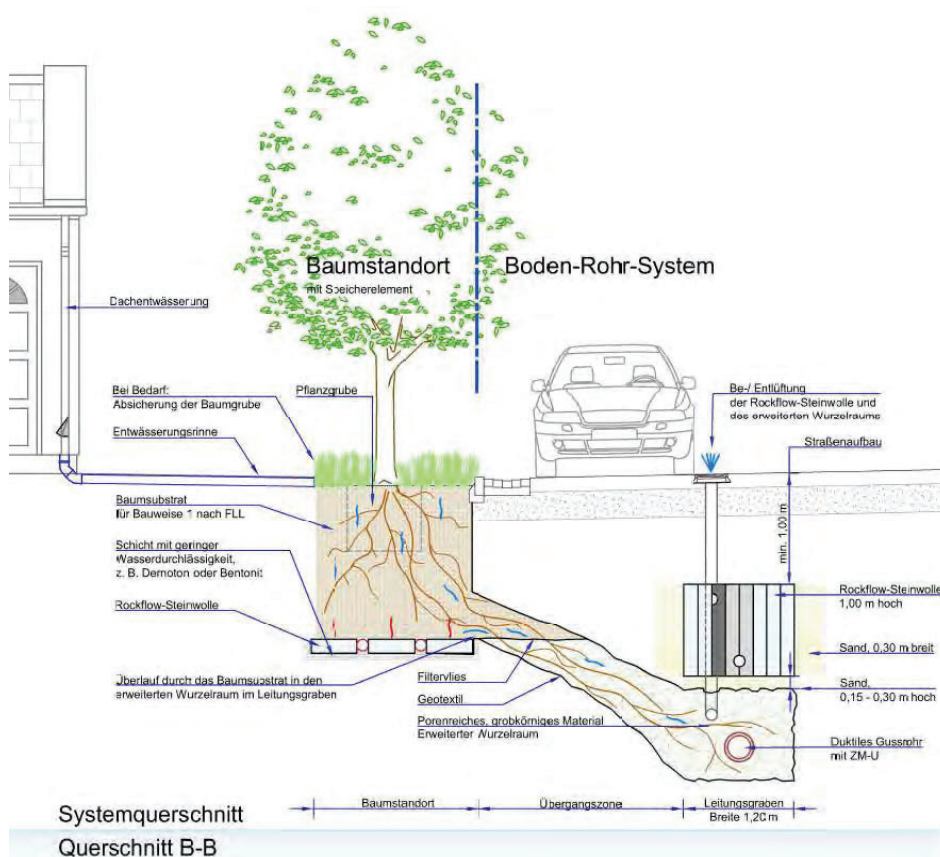


Abbildung 2: Querschnitt B-B durch das Boden-Rohr-System mit angeschlossenem Baumstandort (oberflächennahe Zufuhr des Niederschlagswassers)

2 Funktionsweise des Boden-Rohr-Systems

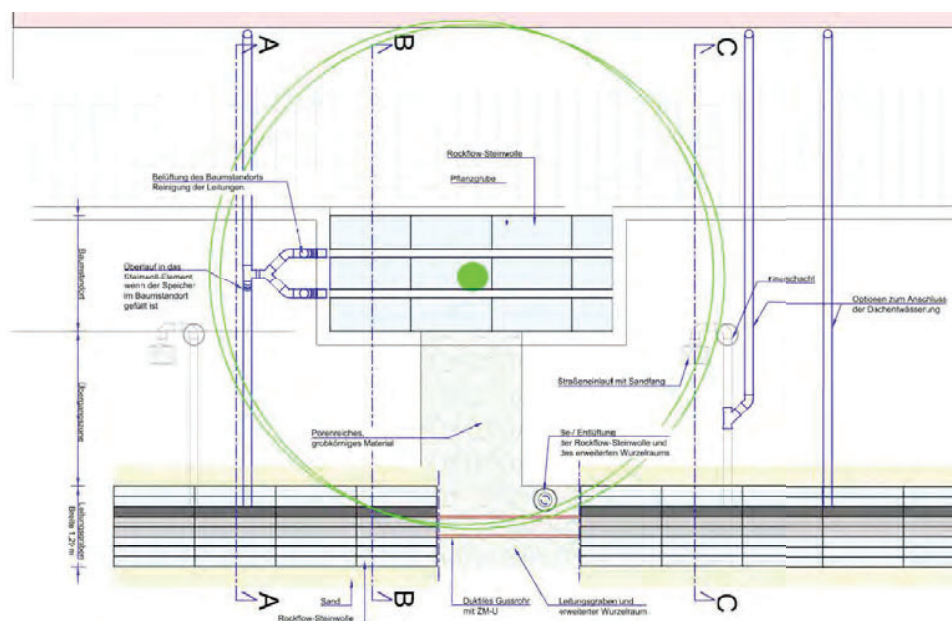


Abbildung 3: Draufsicht auf das Boden-Rohr-System mit angeschlossenem Baumstandort (tiefliegende Zufuhr des Niederschlagswassers)

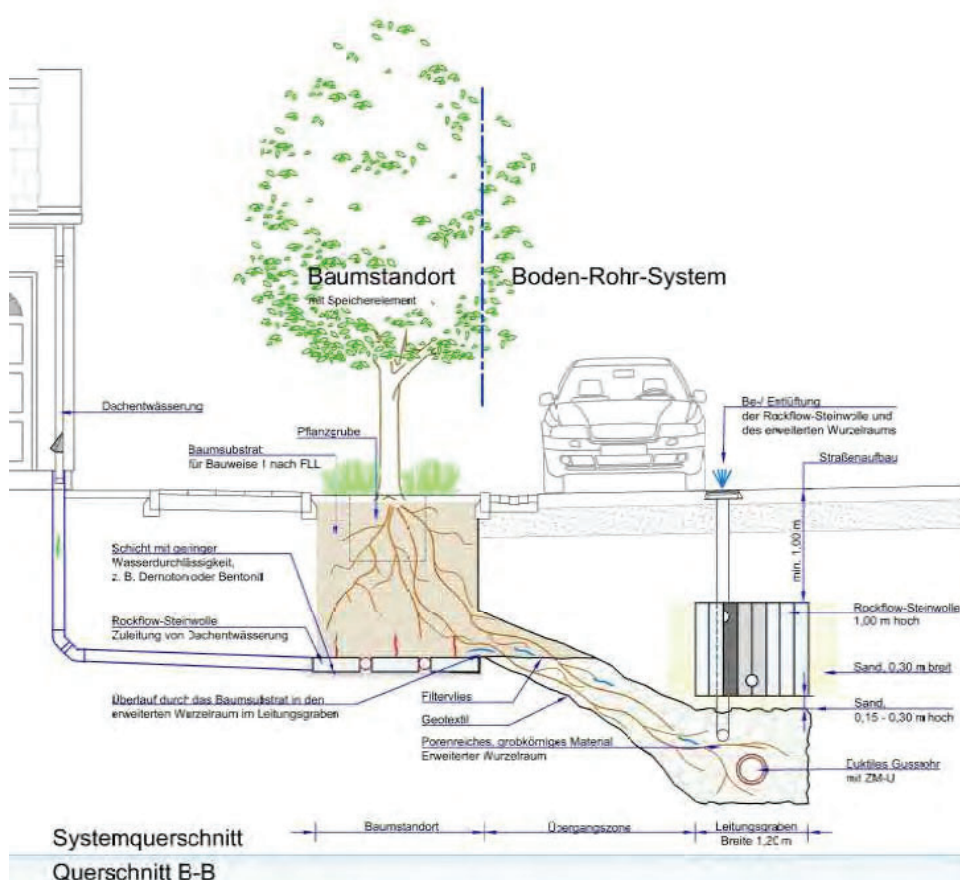


Abbildung 4: Querschnitt B-B durch das Boden-Rohr-System mit angeschlossenem Baumstandort (tiefliegende Zufuhr des Niederschlagswassers)

2 Funktionsweise des Boden-Rohr-Systems

In der Vorzugsvariante wird die Kombination aus einem neu angepflanzten Baum mit optimierter Pflanzgrube, dem BRS und der Übergangszone zwischen Pflanzgrube und BRS betrachtet. Die Pflanzgrube in der betrachteten Variante ist nach den Vorgaben der FLL (FLL, 2010) auszuführen und wird zusätzlich auf der Sohle mit einem Steinwollelement ausgestattet (Abbildung 2, Abbildung 4). Das darin speicherbare Niederschlagswasser soll dem Jungbaum, in den ersten Jahren nach der Pflanzung, zusätzlich kapillar aufsteigendes Wasser, z. B. in Trockenzeiten zur Verfügung stellen. In die optimierte Pflanzgrube wird Niederschlagswasser zur Bewässerung des Baumes eingeleitet; vorzugsweise Niederschlagswasser von Dachflächen. Eine Vernässung der Pflanzgrube wird durch die Wahl eines porenreichen und gut belüftbaren Substrats im Übergangsbereich zwischen Pflanzgrube und BRS vermieden. Diese Zone hat somit eine Doppelfunktion. Sie fungiert zum einen als Wurzelgraben und zum anderen als Überlauf für Bodenwasser in der Pflanzgrube bei stärkeren Niederschlagsereignissen. Die Fließrichtung des Wassers wird im Systemquerschnitt durch die geschlängelten blauen Pfeile verdeutlicht. In dieser Übergangszone werden sowohl das Baumsubstrat aus dem Baumstandort als auch das grobkörnige Material der Leitungszone verbaut. Damit sich die Materialien nicht mit dem anstehenden Boden vermischen, wird ein durchwurzelbares Filtervlies vorgesehen. Über das duktile Gussrohr mit Zementmörtel-Umhüllung wird, je nach System, Misch-, Schmutz- oder Regenwasser abgeleitet. Als Bettungsmaterial des duktilen Gussrohres, das als Baumstandort verbindender Wurzelgraben ausgeführt ist, wird grobkörniges Material verwendet. Dieses kann durch die Grobporen gut belüftet werden und durch die Kombination aus Luft und Wasser das Wurzelwachstum in der Tiefe fördern. Weitere Elemente des BRS sind deshalb Bauteile zur Be- und Entlüftung des Wurzelraums. Diese Bauteile werden möglichst weit von den Baumstandorten angeordnet. Die Kombination aus grobporenreichem Substrat und dauerhafter Belüftung sind für die langfristige Vitalität der Wurzeln im BRS von entscheidender Bedeutung.

Der oberhalb des Wurzelraums angeordnete Regenwasserspeicher aus Steinwolle in Kombination mit einer Zwischenschicht aus Sand hat mehrere Funktionen. Dieses, ebenfalls linienförmig angeordnete Element, dient als Speicherelement insbesondere bei Starkregen. Dies trägt zur Entlastung der Kanalisation bei. Die Steinwolle hat ein Porenvolumen von 95 % für die Aufnahme großer Wassermengen und kann das gespeicherte Wasser schnell wieder abgeben. Im Rahmen des BoRSiS-Verbundprojekts wurden maßstabsgetreue Versuche durchgeführt, welche eine detaillierte Untersuchung der Befüll- und Entleerungsprozesse ermöglichten. Innerhalb eines Zeitraums von sechs bis zwölf Stunden nach einem Regenereignis können etwa 60 % bis 70 % der Niederschlagsmenge vom Steinwollelement in den darunter liegenden Wurzelraum (Leitungszone) abgegeben werden. Nach 24 Stunden werden in der Regel bereits 75 % bis 80 % abgegeben. Die restlichen 20 % bis 25 % verbleiben bis zu zwei Wochen in der Sandschicht unterhalb des Steinwollelements und befeuchten den umliegenden Boden. Somit kann eine verbesserte Wasserversorgung des Baumes über diesen Zeitraum auch bei anschließenden Trockenzeiten erzielt werden.

Als alternative Regenwasser-Speichermedien wurden sieben mineralische Gemische mit unterschiedlichen Körnungen betrachtet. Vier Körnungen (0/11; 0/16; 0/22; 0/32) wurden unter

2 Funktionsweise des Boden-Rohr-Systems

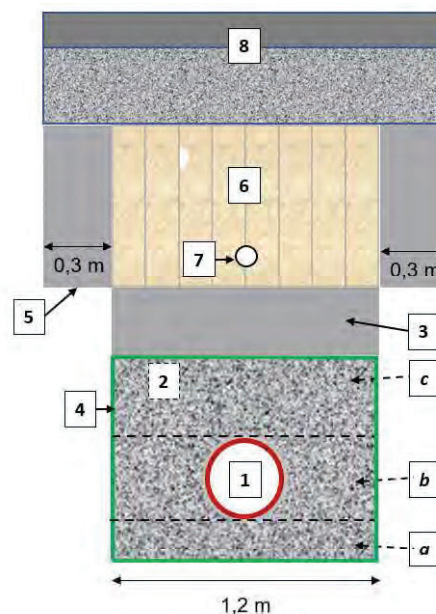
der Voraussetzung untersucht, dass das Material einheitlich im gesamten Leitungsgraben eingesetzt werden kann. Dabei wurden die Körnungen unter Einbeziehung von straßenbaulichen (FGSV) und vegetationstechnischen (FLL-Richtlinien) Anforderungen ausgewählt: Die Tragfähigkeit, das Speichervolumen n und die Wasserdurchlässigkeit k_f waren die Bewertungskriterien. Aufgrund des zonierten Aufbaus (Abbildung 5) wurden die Restriktionen erfüllt, weshalb das Bodengemisch ausschließlich unter der Bewertung eines hohen Porenanteils untersucht werden konnte. Die Ergebnisse der Versuche werden in der folgenden Tabelle 1 zusammengefasst. Aufgrund des hohen Luftporenanteils und des entsprechend großen Speicherraums für Regenwasser sind grobkörnige Gemische ($\geq 16/32$) bevorzugt zu verwenden.

Der in Abbildung 5 dargestellte Aufbau orientiert sich am Bettungstyp 1 nach DIN EN 1610 (2015). Dieser Aufbau darf für jede Leitungszone angewendet werden, die eine Unterstützung der Rohre über deren gesamte Länge zulässt und die unter Beachtung der geforderten Schichtdicken a , und b hergestellt wird. Dies gilt für jede Größe und Form von Rohren, z. B. kreisförmig, nicht kreisförmig und mit Fuß. Die duktilen Gussrohre nach EN 598 können bei diesem Aufbau in dem Material, Korngruppe 16/32 (Tabelle 1) oder in Material 32/64 gebettet werden. Abbildung 5 zeigt detailliert, wie das BRS im Bereich des Leitungsgraben aufgebaut werden kann.

Tabelle 1: Porenanteil n der Bodengemische 0/2; 2/4; 16/32

Kriterien	Korngruppen		
	0/2	2/4	16/32
Porenanteil n	35,74%	35,58%	36%
Luftgesättigter Porenanteil n_a	14%	31%	34%

1. *Duktiles Gussrohr nach EN 598 mit Zementmörtel-Umhüllung nach EN 15542*
2. (a) *Rohrbettung*
(b) *Seitenverfüllung*
(c) *Überdeckung, jeweils nach EN 1610 aus zugelassenem porenreichen, grobkörnigen Material (z. B. 32/64 mm)*
3. *Ausgleichsschicht, Schichtdicke 0,15 bis 0,3 m mit Sand*
4. *Geotextil umschließt den Wurzelraum und dient als Übergang zu den Rockflow-Elementen*
5. *Seitenverfüllung aus Sand, 0,3 m*
6. *Rockflow-Elemente*
7. *Sickerrohr*
8. *Straßenaufbau*



Skizze nicht maßstäblich!

Abbildung 5: Aufbau des Boden-Rohr-Systems im Leitungsgraben

Beim Verbau des Systems muss sichergestellt werden, dass das Gussrohr 1 (Abwasserkanal) korrekt in das grobkörnige Material 2 eingebettet wird. Zunächst muss eine Rohrbettung 2a unterhalb des Rohres angelegt werden, gefolgt von der seitlichen Auffüllung 2b, um die Position des Rohres zu stabilisieren. Abschließend wird das Rohr, durch die Überdeckung 2c, vollständig von dem grobkörnigen Material umschlossen. Dieses Material fungiert auch als Durchlüftungsschicht des Leitungsgrabens. Darüber wird die zuvor beschriebene Sandschicht 3 aufgebracht, deren Stärke zwischen 15 und 30 cm variieren kann. Diese Sandschicht dient als Speicherraum für die zeitverzögerte Abgabe des Niederschlagswassers an den darunter liegenden Leitungsgraben und sorgt zudem für eine gleichmäßige Bettung der darüber liegenden Steinwollelemente 6. Die Leitungszone wird vollständig mit einem geeigneten Geotextil 4 umhüllt. Das Geotextil sollte so ausgewählt werden, dass es hinsichtlich seiner Filter- und Rückhalteeigenschaften optimal auf die Korngrößenzusammensetzung des anstehenden, gewachsenen Bodens sowie der Zonen 2 und 3 abgestimmt ist. Diese Maßnahme ist erforderlich, da das grobkörnige Material in der Leitungszone weder gegenüber dem anstehenden, gewachsenen Boden noch gegenüber der oberhalb angeordneten Ausgleichsschicht aus Sand eine ausreichende Filterstabilität besitzt. Eine alternative Sicherstellung der Filterstabilität durch die Auswahl von kornabgestuften Materialien ist in diesem Fall aufgrund der Vielfalt der eingesetzten Materialien nicht praktikabel. Die Steinwollelemente 6 müssen so verlegt werden, dass auf beiden Seiten mindestens 30 cm Platz für die anschließende Seitenverfüllung mit Sand 5 bleibt. Diese Bereiche werden nach dem Einbau der Elemente verdichtet. In den Steinwollelementen ist ein Kanal für die Wasserbeschickung vorgefertigt, in welchen zusätzlich ein Sickerrohr 7 eingebaut werden kann, um eine gleichmäßige Wasserverteilung sicherzustellen (Empfehlung). Ein weiterer

kleinerer Kanal im oberen Bereich des Steinwollelements ist zur Entlüftung der Elemente vorgesehen. Abschließend erfolgt ein Straßenaufbau 8 über den eingebauten Elementen.

3 Standortauswahl und Bestandsaufnahme

Das BRS stellt eine von vielen Möglichkeiten zur Umsetzung Blau-Grüner Infrastrukturen dar. Es ist jeweils individuell zu prüfen, welche Maßnahme bzw. welche Kombination von Maßnahmen zum größtmöglichen Erfolg führt. Im Folgenden werden Rahmenbedingungen beschrieben, unter denen die Umsetzung des BRS besonders zu empfehlen ist.

3.1 Potenzielle Standorte und deren Nutzung

Da das BRS eine Abkehr von herkömmlichen Bauweisen von Leitungsgräben darstellt, ist eine Umsetzung des BRS nur bei Neubauten oder Sanierungsmaßnahmen im Bestand mit Austausch des Kanalrohrs möglich. Das System erfordert zwingend eine grobkörnige, porenreiche Leitungszone, duktile und wurzelfeste Gussrohre, die in dieser Leitungszone gebettet werden können, und einen darüber liegenden Speicherraum, der vorzugsweise aus Steinwolle besteht.

Das BRS eignet sich insbesondere in Straßen bzw. Gebieten, in denen eine Entlastung des bestehenden Kanalnetzes, eine Reduzierung der Überflutungsgefahr bei Starkregen oder eine Entflechtung von Schmutz- und Regenwasser erzielt werden soll, da das Regenwasser der angrenzenden befestigten Flächen zukünftig nicht mehr ins Kanalsystem eingeleitet, sondern in den Porenräumen des BRS gespeichert wird.

Da das BRS im Forschungsvorhaben für die Belastungsklasse 3,2 untersucht wurde, wird ein Einsatz des BRS insbesondere für Wohnwege, Wohnstraßen, Quartierstraßen, Hauptgeschäftsstraßen und ähnliche Verkehrswege empfohlen. Eine Umsetzung in anderen Straßen wird nicht ausgeschlossen, soweit die sich daraus ergebenden höheren Anforderungen an den Straßenbau und den Lastabtrag berücksichtigt werden.

Das Ziel, die Standortbedingungen für Bäume zu verbessern, kann sowohl bei Neupflanzungen als auch bei Bestandsbäumen erreicht werden, solange der Verbindungsbereich zwischen Baumstandort / Pflanzgrube und Leitungszone hergestellt werden kann.

3.2 Bestandsaufnahme des ausgewählten Standorts

Bevor die Planung und der Bau des BRS begonnen werden kann, ist eine detaillierte Bestandsaufnahme des jeweiligen Standorts unerlässlich. Dabei sind verschiedene örtliche und technische Voraussetzungen zu bewerten. Im Rahmen dieser Bestandsaufnahme sind mindestens folgende Aspekte zu untersuchen:

- **Abstand zu Gebäuden:** Nach den geltenden Regelwerken, insbesondere der DWA-A 138-1 (2024b) müssen bestimmte Abstände zu Gebäuden eingehalten werden. Weitere länderspezifische Anforderungen können hinzukommen. Dies ist erforderlich,

um die Standfestigkeit der Bauwerke zu gewährleisten und mögliche Schäden (insbesondere Vernässung) durch den Bau oder die Versickerung zu vermeiden.

- **Anzuschließende Flächen:** Für die Dimensionierung des BRS sind die anzuschließenden abflusswirksamen Flächen zu bestimmen und hinsichtlich ihrer Behandlungswürdigkeit zu bewerten.
- **Art des Bauprojekts:** Das BRS kann nur in Gebieten umgesetzt werden, in denen entweder eine Sanierungsmaßnahme mit Austausch des Kanalrohres oder ein Neubau geplant ist.
- **Baumzustand:** Die vorhandenen Bäume müssen das angestrebte Entwicklungsziel des Standortes erreichen können. Dies schließt die aktuelle und zukünftige Wurzel- ausbreitung ein, was im Einzelfall mit Hilfe von Suchschachtungen zu überprüfen ist.
- **Bodenbeschaffenheit:** Der aktuelle Zustand des Bodens muss hinsichtlich der Versickerungsfähigkeit analysiert werden. Es wird die Erstellung eines Bodengutachtens empfohlen.
- **Entwässerungssysteme:** Vorhandene Entwässerungssysteme werden überprüft, um herauszufinden, wie das BRS angeschlossen werden kann.
- **Grundwasserstand:** Da der Leitungsgraben bzgl. einer Versickerung grundsätzlich wie eine Rohrrigole funktioniert, ist ein ausreichender Grundwasserflurabstand von ≥ 1 Meter gemäß DWA-A 138-1 (2024b) einzuhalten. Das System ist auf eine ausreichende Versickerung angewiesen, weshalb Standorte mit zu hohem Grundwasserstand ungeeignet sind.
- **Leitungsbestand:** Die bestehenden (Versorgungs-)Leitungen im Straßen- und im Gehwegbereich müssen genau dokumentiert werden, um Konflikte bei der Ausführung des Leitungsgrabens, des Übergangsbereiches und des Baumstandortes zu vermeiden.
- **Niederschlagsbelastung:** Für die Dimensionierung des BRS und den Nachweis der Leistungsfähigkeit (z. B. Überstau und Überflutung nach dem DWA-A 118 (2024a) sind entsprechende Niederschlagsbelastungen festzulegen, die z. B. über den KOSTRA-DWD-2000 deutschlandweit zur Verfügung stehen (openko.de, 2023).
- **Qualität des Niederschlagswassers:** Die Qualität des einzuleitenden Niederschlagswassers ist nach verschiedenen Gesichtspunkten zu bewerten. Hinsichtlich der Versickerung sind die entsprechenden Vorgaben nach dem DWA-A 138-1 (2024b), bzgl. der Baumstandorte die Anforderungen der FFL-Richtlinie „Empfehlungen für Baumpflanzungen“, Teil 2 (2010) zu berücksichtigen. Es ist mit der jeweiligen Genehmigungsbehörde abzustimmen, ob eine Versickerung von Dachwässern über die Pflanzgrube eine hinreichende Vorbehandlung darstellt. Für die Einleitung von Niederschlagswasser von Straßenoberflächen sind technische Behandlungsmaßnahmen (DIBt-geprüft) wie bei einer „klassischen“ Rigolenversickerung vorzusehen.

- **Salzeintrag:** Eine Herausforderung für das BRS stellt der Eintrag von Streusalz dar, da dieses den Bäumen erheblich schaden kann. Um Schäden zu vermeiden, sollten die Baumstandorte im Frühjahr vor dem Austrieb gründlich durchgespült werden (eine genau Abschätzung dieses Zeitpunktes ist jedoch schwierig). Als eine weitere Option könnte auch ein Winter- und Sommerbetrieb des BRS in Betracht gezogen werden, bei dem im Winter das Niederschlagswasser in ein bestehendes Kanalnetz eingeleitet wird. Die Projektauswertungen haben gezeigt, dass es aufgrund milderer Winter zunehmend seltener zu Frost kommt und entsprechend weniger gestreut wird. Darüber hinaus gibt es bereits Straßen, die nicht mehr mit Streusalz behandelt werden, was die Belastung für das BRS reduziert. Generell sollte jedoch der mögliche Eintrag durch Streusalz in das BRS beachtet werden.
- **Tiefenlage der Leitungszone:** Oberhalb des Leitungsgrabens befindet sich der Straßenoberbau, dessen Mächtigkeit u.a. von der Belastungsklasse abhängt. Bei der im Projekt untersuchten Belastungsklasse 3,2 beträgt die Gesamtdicke des Straßenoberbaus zwischen 45 bis 75 cm. Die Überdeckungsschicht zwischen Straßenoberbau und Leitungsgraben / Steinwollelement muss mindestens 30 cm betragen, sodass sich die Oberkante des Leitungsgrabens zwischen 75 und 105 cm unter Geländeoberkante befindet (siehe Kapitel 4.1). Die Mindesthöhe der Steinwollelemente beträgt 50 cm (siehe Kapitel 4.4.3) und die der Sandschicht 15 cm (siehe Abbildung 5). Die Oberkante der Leitungszone liegt somit in einer Mindestdiefe von 1,40 m, bei großzügigeren Dimensionierungen entsprechend tiefer.
- **Topografie:** In flachen und nur leicht geneigten Geländeabschnitten kann das BRS problemlos umgesetzt werden. Bei starkem Gefälle ist ggfs. eine kaskadenförmige Anordnung der Steinwollelemente erforderlich, um eine gleichmäßige Verteilung und Versickerung des Wassers zu ermöglichen.

4 Planung und Dimensionierung

Für die erfolgreiche Planung und Umsetzung des BRS ist eine enge Zusammenarbeit mit Fachleuten unterschiedlicher Disziplinen unerlässlich. Insbesondere die Einbindung von Expert:innen zu den eingesetzten Materialien duktile Gussrohre (EADIPS/ FGR) und Steinwolle (ROCKWOOL Rainwater System) wird empfohlen, um das System auf Basis fundierter technischer Expertise zu gestalten. Eine Einbauanleitung für BRS-Elemente im Leitungsgraben wird in Kapitel 4.4.4 gezeigt.

Um die Belange der Bäume (insbesondere Stadtbäume) und Standorte ausreichend zu berücksichtigen, ist ein Baumökologe hinzuzuziehen. Außerdem ist sicherzustellen, dass Dritte, die durch diese Baumaßnahme betroffen sind, bereits frühzeitig in den Planungsprozess eingebunden werden, um unnötige Kosten und Konflikte zu vermeiden. Hierzu gehören u. a. Straßenplaner, Untere Wasserbehörden und zuständige Personen für die Ver- und Entsorgungsleitungen (siehe auch Kapitel 6).

4.1 Belastungsklasse der Straße/ In-situ Feldversuche

Die Belastungsklasse (Bk) der Straße ist ein zentraler Faktor bei der Planung des BRS, da sie die Tragfähigkeit des Systems unter Verkehrsbelastung bestimmt. Im Rahmen von Voruntersuchungen ist es daher wichtig, die Belastungsklasse zu bestimmen, für die das System ausgelegt werden soll. Die Belastungsklasse hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie zum Beispiel dem Achszahlfaktor, dem Lastkollektivquotienten und dem Fahrstreifenfaktor. Tabelle 2 bietet eine Übersicht über typische Entwurfssituationen und zugehörige Belastungsklassen. Abbildung 6 zeigt den Aufbau und die Schichtdicken des Straßenoberbaus zu diesen Belastungsklassen.

Tabelle 2: Mögliche Belastungsklassen für die typischen Entwurfssituationen nach Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV, 2012)

Typische Entwurfssituation	Straßen-kategorie	Belastungs-klasse
Anbaufreie Straße	VS II, VS III	Bk10 bis Bk100
Verbindungsstraße	HS III, HS IV	Bk3,2/Bk10
Industriestraße	HS IV, ES IV, ES V	Bk3,2 bis Bk100
Gewerbestraße	HS IV, ES IV, ES V	Bk1,8 bis Bk100
Hauptgeschäftsstraße	HS IV, ES IV	Bk1,8 bis Bk10
Örtliche Geschäftsstraße	HS IV, ES IV	Bk1,8 bis Bk10
Örtliche Einfahrtsstraße	HS III, HS IV	Bk3,2/Bk10
Dörfliche Hauptstraße	HS IV, ES IV	Bk1,0 bis Bk3,2
Quartiersstraße	HS IV, ES IV	Bk1,0 bis Bk3,2
Sammelstraße	ES IV	Bk1,0 bis Bk3,2
Wohnstraße	ES V	Bk0,3/Bk1,0
Wohnweg	ES V	Bk0,3

Zeile	Belastungsklasse	Bk100	Bk32	Bk10	Bk3,2	Bk1,8	Bk1,0	Bk0,3
	B [Mio.]	> 32	> 10 - 32	> 3,2 - 10	> 1,8 - 3,2	> 1,0 - 1,8	> 0,3 - 1,0	≤ 0,3
	Dicke des frostsich. Oberbaus ¹⁾	55 65 75 85	55 65 75 85	55 65 75 85	45 55 65 75	45 55 65 75	45 55 65 75	35 45 55 65
1	Asphalttragschicht auf Frostschutzschicht							
	Asphaltdecke	12	12	12	10	4	4	4
	Asphalttragschicht	22	18	14	12	16	14	10
	Frostschutzschicht	45	45	45	45	45	45	45
	Dicke der Frostschutzschicht	-	31 ²⁾ 41 51	25 ³⁾ 35 45 55	29 ²⁾ 39 49 59	-	33 ²⁾ 43 53	25 ³⁾ 35 45 55

Abbildung 6: Asphalttragschicht auf Frostschutzschicht (FGSV, 2012)

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden die Pilotprojekte ausschließlich in Straßen der Belastungsklasse 3,2 (Wohnwege, Wohnstraßen, Quartierstraßen, Hauptgeschäftsstraßen und ähnliche Verkehrswege) geplant. In Abbildung 7 ist beispielhaft der Aufbau einer befestigten Straße inklusive des Straßenoberbaus und des darunter anstehenden Planums dargestellt. Aus den Anforderungen des Straßenbaus RStO (Forschungsgesellschaft für Straßen- und

Verkehrswesen (FGSV, 2012) geht u. a. hervor, dass in Höhe des Planums ein Verformungsmodul von $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ nachgewiesen werden muss, um eine ausreichende Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit der Straße sicherstellen zu können. In Anbetracht der Steifigkeit der Steinwolle ist es zur Lasteneinleitung erforderlich, eine ausreichend mächtige Überdeckungsschicht aus geeignetem, tragfähigem Bodenmaterial zwischen der Steinwolle und dem ungebundenen Straßenoberbau anzuordnen, um die o. g. Forderungen einzuhalten.

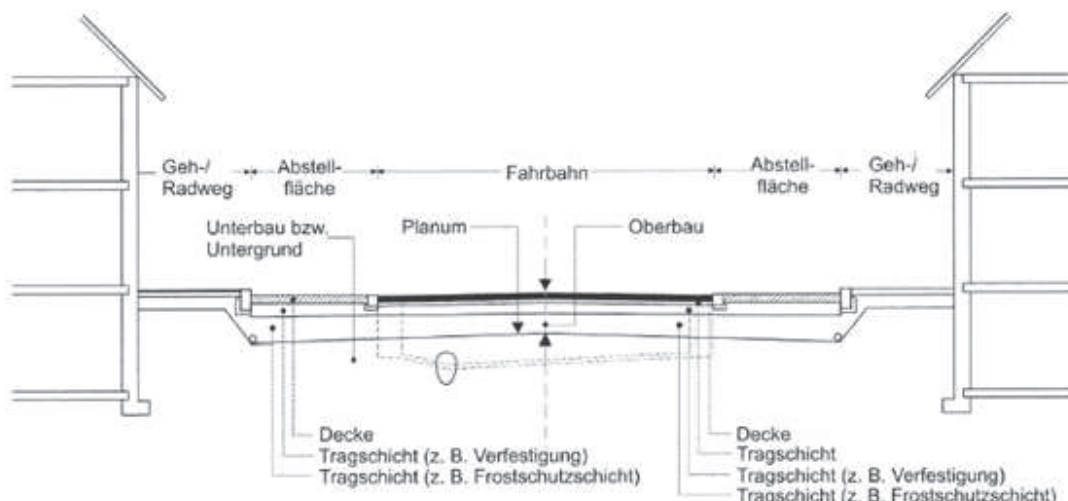


Abbildung 7: Beispielhafter Aufbau einer befestigten Straße (FGSV, 2012)

Zur Festlegung der Überdeckungsmächtigkeit und der Zusammensetzung des Überdeckungsmaterials wurden mit Hilfe von in-situ Feldversuchen überprüft, ob und wie der erforderliche Verformungsmodul von $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ nach Einbau der Steinwolle erzielt werden kann.

Dafür wurden in-situ Probefelder angelegt, in denen 1,0 m hohe Steinwollelemente (WM 2005) im gesättigten Zustand eingebaut und mit einem Mineralstoffgemisch mit unterschiedlichen Mächtigkeiten der Überdeckungsschicht zwischen $d = 0,30 \text{ m}$ bis $d = 1,25 \text{ m}$ überbaut wurden. Für die Überprüfung der Tragfähigkeit im Hinblick auf die RStO wurden jeweils auf der obersten Schüttlage der Überdeckungsschicht statische Lastplattendruckversuche durchgeführt.

Die Versuchsergebnisse (Tabelle 3) zeigen, dass für alle untersuchten Probefelder die Anforderungen hinsichtlich des erforderlichen Verformungsmoduls von $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ erfüllt sind. Dieser Wert wird bereits bei einer Schichtmächtigkeit von 30 cm erreicht. Bei einer Mächtigkeit der Überdeckungsschicht von $\geq 50 \text{ cm}$ liegt der Verformungsmodul in einer Größenordnung von $E_{v2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$.

Tabelle 3: Versuchsergebnisse für die Steinwollvariante WM 2005

Versuchsergebnisse der statischen Lastplattendruckversuche für die Steinwollvariante WM 2005		
Feld	Dicke der Überdeckungsschicht [cm]	Verformungsmodul E_{v2}^* [MN/m ²]
1	30	78,6
2	50	101,65
3	75	174,8
4	100	195,9
5	125	228,2
*Die Versuchsergebnisse wurden gemittelt. Insgesamt wurden pro Feld 2 statische Lastplattendruckversuche durchgeführt.		

Die Ergebnisse der Felduntersuchungen zeigen, dass eine Überdeckungsschicht mit einer Schichtmächtigkeit von 0,3 m aus tragfähigem Mineralstoffgemischen eine ausreichende Tragfähigkeit im Hinblick auf den Straßenbau gewährleistet und somit eine grundsätzliche Anwendung des Systems ermöglicht. Im Rahmen der Verdichtungskontrollen und der Qualitätssicherung auf der Baustelle sollten bevorzugt statische Lastplattendruckversuche eingesetzt werden. Aufgrund der Anforderungen der RStO variiert die erforderliche Mächtigkeit der Frostschutzschicht je nach Bemessungssituation, wodurch die Oberkante des Leitungsgrabens zwischen 75 cm und 105 cm unter Geländeoberkante liegt. Dabei müssen zusätzliche Anforderungen wie der Verformungsmodul (E_{v2}) und das Verhältnis E_{v2}/E_{v1} erfüllt werden.

In der Literatur findet sich eine Beschreibung des Zusammenhangs zwischen der Tragschicht und der zur Erhöhung der Tragschicht erforderlichen Dicke der Gesteinskörnung (Floss, 2019). Ein Untergrund von 10 MN/m² erfordert beispielsweise eine Dicke der Gesteinskörnung von 0,45 m, um die für den Unterbau erforderlichen 45 MN/m² zu erreichen (Abbildung 8). In der Abbildung zeigen die orangefarbene und die graue Linie eine Tragschicht mit einem Verformungsmodul von 10 MN/m² bzw. 20 MN/m² und den Zusammenhang mit dem verdichteten Zuschlagstoff, der erforderlich ist, um die Anforderung von $E_{v2} = 45$ MN/m² für die Tragschicht (Planum) zu erfüllen (Floss, 2019). Die blaue gestrichelte Linie stellt die gemessene Korrelation zwischen dem Verformungsmodul und der Dicke der verdichteten Gesteinskörnung auf Steinwolle (WM 2005) dar. Eine genaue Abstimmung sollte standort-spezifisch erfolgen.

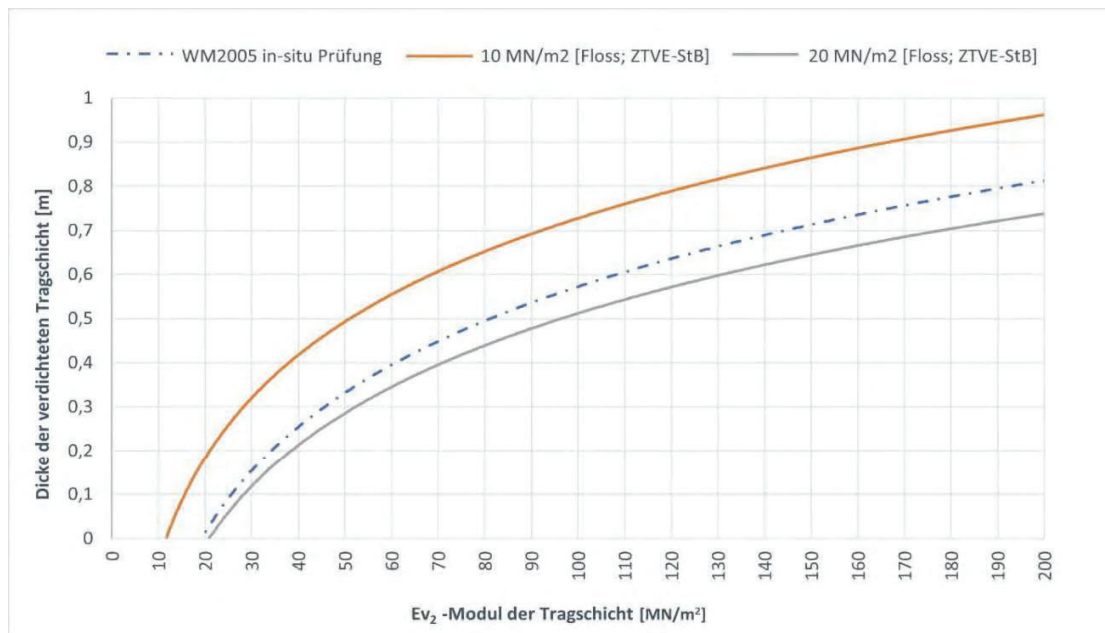


Abbildung 8 Diagramm zur Bestimmung des Verformungsmoduls E_{v2} für verschiedene Gesteinsschichtdicken

Es wird darauf hingewiesen, dass im Rahmen des Projekts keine Langzeituntersuchungen zur Tragfähigkeit durchgeführt wurden, welche zusätzlich zu den statischen Einwirkungen insbesondere Einflüsse aus dynamischen und zyklischen Belastungen infolge von PKW- und ggf. LKW-Überfahrten auf das Tragverhalten des Verbundsystems Steinwolle-Boden-Überdeckungsschicht erfassen.

4.2 Dimensionierungen

Für die Dimensionierung des Niederschlagswasserspeicher des BRS wurde eine Dimensionierungsvorschrift entwickelt. Die dahinterstehenden Annahmen werden im Kapitel 4.2.1 beschrieben. Aufgrund ihres Umfangs wird diese in einem eigenen Anhang ausgegliedert. Der durch das BRS zur Verfügung gestellte erweiterte Wurzelraum für Neupflanzungen und Bestandsbäume wird auf Grundlage der Faustformel von Bakker/ Kopinga (Kapitel 4.2.2) dimensioniert.

4.2.1 Niederschlagswasserspeicher des BRS

Eine häufig gestellte und bisher nicht hinreichend beantwortete Frage im Zusammenhang mit der Dimensionierung von Baumrigolen ist die Reduzierung des Speicher- (Poren-) Raums durch den Wurzeleinwuchs. Grundsätzlich sind der Speicher für das Niederschlagswasser und der Wurzelraum voneinander getrennt. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass auch in den Grobporen des Wurzelraums Wasser gespeichert werden kann.

In der Dimensionierungsvorschrift für das BRS wird deshalb folgender Ansatz gewählt: Es wird davon ausgegangen, dass im Laufe der Zeit Pflanzgrube, Übergangszone zum Leitungsgraben und ein Teil des Leitungsgrabens auf der Länge des Übergangsbereichs vollständig

4 Planung und Dimensionierung

durchwurzelt werden (rot markierte Bereiche in Abbildung 9). Diese Bereiche werden daher bei der Dimensionierung des Niederschlagswasserspeichers des BRS nicht berücksichtigt. Für das außerhalb des roten Bereichs, zwischen zwei Übergangszonen liegende BRS, erfolgt eine Betrachtung der in der nachfolgenden Aufzählung aufgeführten Größen pro laufenden Meter BRS. In der Praxis werden und sollen sich die Wurzeln über den rot markierten Bereich im Wurzelraum des BRS (erweiterter Wurzelraum) ausbreiten. Gleichzeitig werden die Porenräume im rot markierten Bereich nicht vollständig von Wurzeln durchdrungen. Es wird davon ausgegangen, dass sich diese beiden Effekte weitgehend ausgleichen.

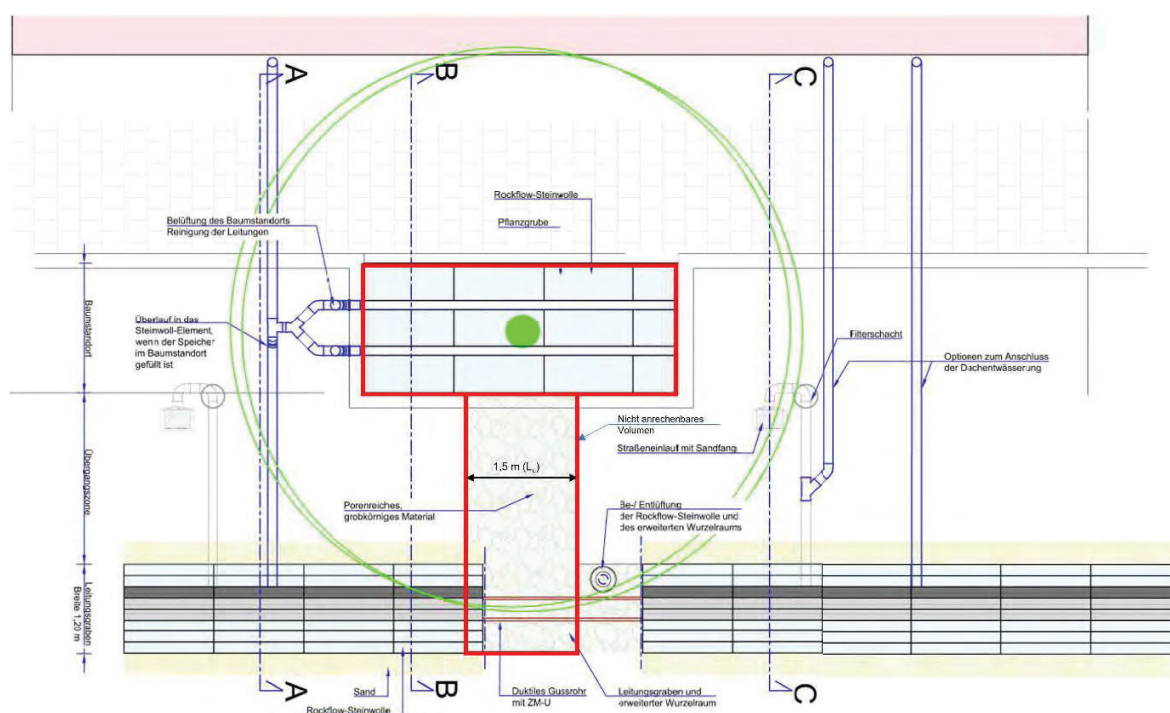


Abbildung 9 Bei der Dimensionierung des BRS nicht berücksichtigte Bereiche (rot markiert)

Die Dimensionierungsvorschrift gliedert sich grob in die folgenden Arbeitsschritte. Diese werden, wie zuvor beschrieben, zunächst pro laufenden Meter BRS ermittelt: Außerdem werden die genannten Größen exemplarisch für einen Straßenabschnitt berechnet, bei dem ein Abstand von 20 m zwischen zwei Baumstandorten angenommen wird.

- Bestimmung des verfügbaren Speichervolumens im BRS (bestehend aus Steinwollkörper und Leitungszone / Wurzelraum des BRS)
- Angeschlossene Fläche (Gehwege, Straßen, Dach- und Privatflächen)
- Dimensionierung des Niederschlagswasser-Speichers in Abhängigkeit von der zulässigen Niederschlagshöhe
- Dimensionierung des Niederschlagswasser-Speichers in Abhängigkeit von der zulässigen angeschlossenen Fläche

- Für beide Dimensionierungen des Niederschlagswasser-Speichers werden jeweils zwei Rechengänge aufgezeigt, einmal mit und einmal ohne Berücksichtigung einer Versickerungsleistung des anstehenden Bodens

4.2.2 Dimensionierung des Wurzelraums des BRS

Durch das BRS kann sowohl der Wurzelraum von neu gepflanzten Stadtbäumen als auch der Wurzelraum von Bestandsbäumen erweitert werden. Das Volumen des erweiterten Wurzelraums steht im direkten Zusammenhang zum Bodenvolumen im Leitungsgraben, das für die Niederschlagswasser-Bewirtschaftung geplant wird.

Grundsätzlich setzt sich der Wurzelraum aus drei Bodenvolumina zusammen:

- Volumen V_{Pg} der Pflanzgrube, mit der nach FLL-Richtlinie (FLL, 2010) mit einer Größe ab ca. 12 m³ für die Anfangsentwicklung in den ersten Standjahren ein ausreichend großer Wurzelraum geschaffen werden kann.
- Volumen $V_{Ü}$ des Übergangsbereichs zwischen Pflanzgrube und BRS-System.
- Volumen V_{eW} des erweiterten Wurzelraums im BRS abzüglich des Volumens V_R des duktilen Gussrohres mit Zementmörtel-Umhüllung.

Die für die Berechnung des Volumens V_{eW} abzuziehenden Volumina V_R der Rohrleitung sind in Tabelle 4 für die Nennweiten 200 bis 800 dargestellt.

Tabelle 4: Nennweiten und Außendurchmesser sowie Volumen pro Meter Rohrleitung für duktile Gussrohre nach EN 598 mit Zementmörtel-Umhüllungen nach EN 15542

DN	Außendurchmesser DE mit ZM-U	Volumen V_R pro Meter Rohrleitung
	[mm]	[m ³]
200	232	0,042
250	284	0,063
300	336	0,089
400	439	0,151
500	542	0,231
600	645	0,327
700	748	0,439
800	834	0,546

Bereits in den 1990-er Jahren haben Bakker und Kopinga (Kopinga (1991, 1997)) einen Zusammenhang zwischen der Kronenprojektionsfläche und dem durchwurzelbaren Bodenvolumen für Stadtbäume in Form einer Faustformel hergestellt.

$$V_{dB} \approx (0,3 \text{ bis } 0,75) \times A_{Kp} \quad (4-1)$$

mit:

V_{dB} = durchwurzelbares Bodenvolumen [m^3]

A_{Kp} = Kronenprojektionsfläche [m^2]

Der Zusammenhang zwischen Baumgröße und durchwurzelbarem Bodenvolumen auf Grundlage der Formel von Bakker/ Kopinga ist in Abbildung 10 visualisiert.

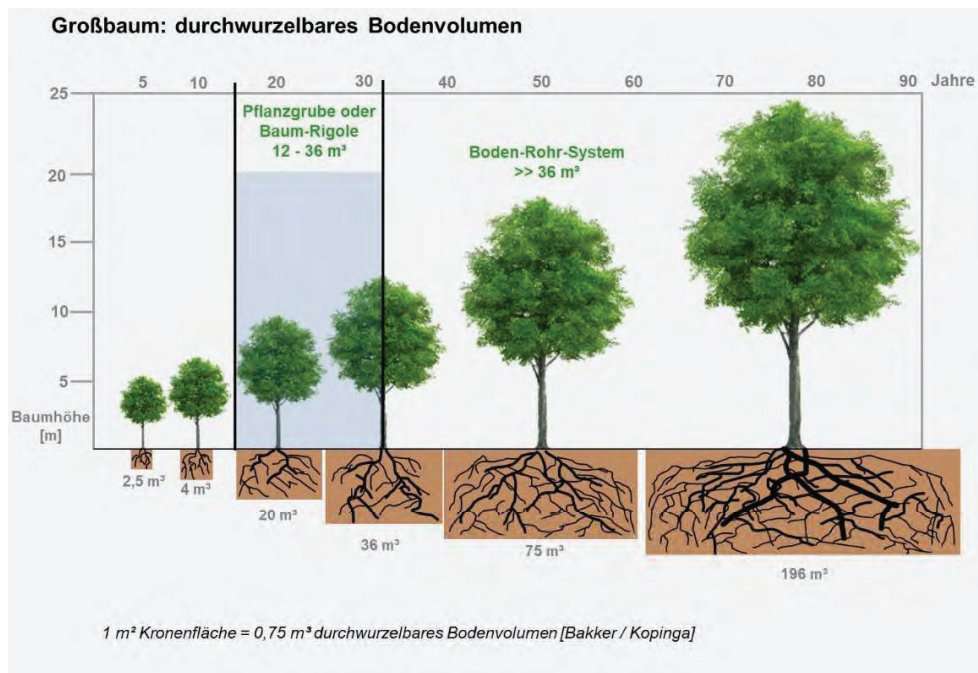


Abbildung 10: Zusammenhang zwischen Baumgröße und durchwurzelbarem Bodenvolumen auf Grundlage der Formel von Bakker/ Kopinga

Erkennbar ist eine vergleichsweise große Schwankungsbreite von 0,3 bis 0,75 mal der Kronenprojektionsfläche. Dieser Umstand nimmt unter anderem auf die Eigenarten und Ansprüche unterschiedlicher Baumarten sowie auf unterschiedliche Bodeneigenschaften Rücksicht – Faktoren also, die maßgeblichen Einfluss auf das einem Baum zur Verfügung stehende, durchwurzelbare Bodenvolumen haben.

Werden dabei die Extreme außer Acht gelassen, so beispielsweise Böden mit einem hohen Skelettanteil, der nicht durchwurzelbar ist, oder vergleichsweise verschwenderisch mit Wasser umgehenden Baumarten, wie z. B. Pappeln, erscheint als Ziel- und damit Planungsgröße für ein durchwurzelbares Bodenvolumen V_{dB} in Höhe von

$$V_{dB} = V_{Pg} + V_{\ddot{u}} + V_{eW} \approx 0,75 \times A_{Kp} \quad (4-2)$$

im Rahmen des BoRSiS-Projekts als erstrebenswert.

4.3 Auswahl der Baumarten

Für die Auswahl geeigneter Baumarten, die sich für die Bedingungen des BRS eignen, sind unter anderem die folgenden Aspekte zu berücksichtigen:

- Die Toleranz gegenüber städtischen Umgebungen (Stadtklima Resistenz, Zukunftsbauarten).
- Der gewünschte Nutzen der Bäume (unter anderem: Begrünungsziel, Schatten-spender, Luftreinigung, etc.).
- Eine Anpassung an standörtliche Aspekte (ist der Standort z. B. trocken oder nass).
- Der Trockenstress und die Frosthärte, die der Baum mitbringen sollte.

Die Aspekte sind ebenfalls Teil der Kriterien, wie sie die Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) (2010, 2015) für Baumpflanzungen empfiehlt. Hinweise zu den Bäumen können unter anderem der Straßenbaumliste der Deutschen Gartenamtsleiterkonferenz (GALK) e.V. (2021), der Datenbank Citree (Technische Universität Dresden, o. J.) und dem Projekt „Stadtgrün 2021 (Bayrische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, 2021) entnommen werden. Diese Informationen stehen im Internet unter folgenden Adressen zur Verfügung:

<https://www.galk.de/arbeitskreise/stadtbaeume/themenuebersicht/strassenbaumliste/>

<https://citree.de/>

https://lwq.bayern.de/landespflege/urbanes_gruen/284928/index.php

4.4 Ausführung des Boden-Rohr-Systems: Baumaßnahme im Detail

Beim BRS handelt es sich um eine Baumaßnahme in offener Bauweise bei der ein Leitungsgraben mit einem bereits vorhandenen oder neu zu bauenden Abwasserkanal (Misch-, Schmutz- oder Niederschlagswasser) im Sinne einer Mehrfachnutzung zusätzlich als Speicher für Niederschlagswasser und als Wurzelraum genutzt wird. Der Aufbau dieses linienförmigen Bauwerks entspricht im Grundsatz dem Aufbau mit Bettungstyp 1 nach EN 1610 (Abbildung 11).

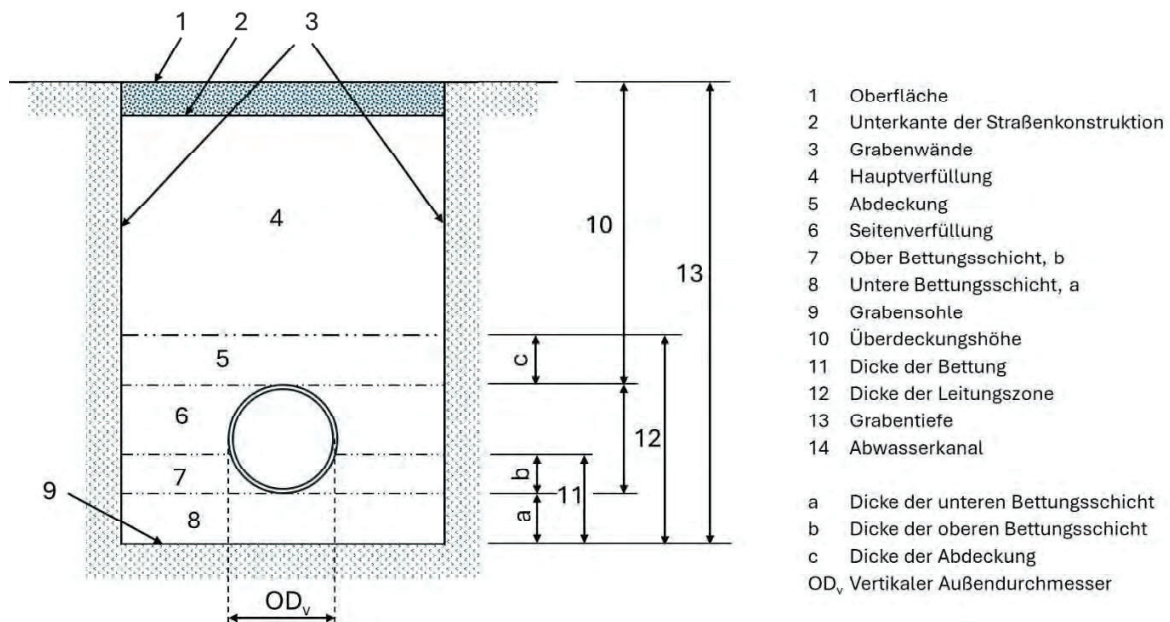


Abbildung 11 Aufbau und Elemente eines Leitungsgrabens Bettungstyp 1 nach EN 1610

Die ordnungsgemäße Ausführung der BRS-Bauweise ist entscheidend, um die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems sicherzustellen. Im Folgenden werden die wesentlichen Empfehlungen für die Installation und Umsetzung beschrieben:

- **Abstände und Verfüllung:** Es wird empfohlen, einen seitlichen Abstand von mindestens 0,3 m auf beiden Seiten der Steinwollelemente einzuhalten. Nach der Positionierung erfolgt die Verfüllung mit Sand, der sorgfältig eingebracht und anschließend mit einem Stampfer verdichtet wird. Diese Maßnahme dient der dauerhaften Stabilisierung des Systems.
- **Einsatz eines Verbausystems:** Sofern erforderlich, ist ein Verbausystem zu verwenden, um die Stabilität der Baugrube während der Arbeiten sicherzustellen. Dies gewährleistet sowohl die Sicherheit als auch die exakte Positionierung des BRS.
- **Positionierung der Steinwollelemente:** Für die Installation der Steinwolle wird die Verwendung eines Baggers mit Palettengabel dringend empfohlen. Dieses Gerät ermöglicht eine Platzierung der Elemente in der vorbereiteten Grube, anschließend werden die Elemente manuell platziert.
- **Umgang mit dem Baum und Baumsupstrat:** Besondere Aufmerksamkeit ist dem Baum zu widmen, der im Rahmen der Maßnahme gepflanzt und für den ein Standort hergerichtet werden muss. Diese sollten den Standards der „guten gärtnerischen Praxis“ unterliegen, also der Einhaltung von national und international anerkannten Grundsätzen im Garten und Landschaftsbau (Universität Hohenheim, 2022). Beispiele sind etwa die Empfehlungen für Baumpflanzungen (Teil 1 und 2) der FLL (2010, 2015) und die DIN 18916:2016-06 (Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN), 2016a). Das umgebende Baumsupstrat darf keinesfalls überverdichtet werden, da das BRS seine

Funktion andernfalls nicht erfüllen kann. Eine lockere und durchlässige Struktur des Substrats ist essenziell, um die uneingeschränkte Wasseraufnahme und -verteilung sicherzustellen.

4.4.1 Rohrsysteme

Die Anforderungen an Rohrsysteme lassen sich in drei wesentlichen Punkten zusammenfassen. Rohrsysteme müssen dicht, tragfähig und dauerhaft sein. Dies gilt in gleicher Weise auch für die im BRS eingesetzten Rohrsysteme.

Bei der Auswahl ist zu beachten, dass die Rohre, Anbohrsättel und Hauanschlussleitungen besonderen Belastungen ausgesetzt werden. Zum einen werden die Rohre in Grobschotter gebettet, was Auswirkungen auf die Tragfähigkeit bzw. das Tragverhalten hat. Zum anderen dient der Grobschotter gleichzeitig als Wurzelraum, sodass Rohrsysteme nachweislich wurzelfest sein müssen. Unter Einbeziehung des FGSV-Merkblatt 939 (2013), das textgleich auch als DWA-Merkblatt M 162 und als DVGW-GW 125 erschienen ist, werden beim BRS-System die in allen drei Regelwerken beschriebenen aktiven und passiven Schutzmaßnahmen berücksichtigt. Als passive Schutzmaßnahme wird ein Rohrsystem aus duktilem Gusseisen mit wurzelfesten Rohrverbindungen eingesetzt. Als aktive Schutzmaßnahme dient der Leitungsgraben als Wurzelgraben und als erweiterte Pflanzgrube. Die Dauerhaftigkeit und Tragfähigkeit der duktilen Gussrohre wird zudem durch eine Zementmörtel-Umhüllung sichergestellt, die es ermöglicht, die Wurzelräume in einer Rohrbettung mit grobem Schotter zu schaffen.

Duktile Guss-Rohrsysteme werden im Europäischen Komitee CEN / TC 203 „Gussrohre, Formstücke und deren Verbindungen“ genormt. Die Mitglieder des Komitees haben frühzeitig damit begonnen, die Regeln für Schwammstadtanwendungen zu entwickeln. Dies geschah auch im Hinblick auf die europaweite Umsetzung der im BoRSiS-Projekt entwickelten Bauweisen mit duktilen Gussrohren. Dazu gehören:

- **DIN EN 598:** Rohre aus duktilem Gusseisen und zugehörige Komponenten für die Abwasser-Entsorgung – Anforderungen und Prüfverfahren, 2009-10 (Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN), 2009)
- **EN 15542:** Rohre, Formstücke und Zubehör aus duktilem Gusseisen – Zementmörtelumhüllung von Rohren – Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche und Englische Fassung prEN 15542, 2022-02 Entwurf (Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN), 2022)
- **DIN EN 17970:** Rohre aus duktilem Gusseisen – Steckmuffen-Verbindung für Rohrsysteme aus duktilem Gusseisen – Widerstandsfähigkeit gegen Wurzeldurchdringung – Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 17970, 2024-08 (Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN), 2024)

Zudem wurde die Entwicklung eines technischen Regelwerks für Schwammstadt-Anwendungen in das Arbeitsprogramm des CEN/TC 203 beim DIN aufgenommen.

4.4.2 Niederschlagswasser-Speicherelemente allgemein

Grundsätzlich können für die Speicherung des Niederschlagswassers unterschiedliche Materialien eingesetzt werden, solange sie die Kriterien für einen Speicher-/ Versickerungskörper im BRS gemäß Tabelle 5 erfüllen.

Tabelle 5: Anforderungen für die Auswahl der Speicher-/ Versickerungskörper

Hauptkriterien für Speicherelemente im BRS	Sekundäre Kriterien für Speicherelement im BRS
i. Großes Volumen für die Speicherung von Niederschlagswasser	v. Einfacher Einbau in den Graben
ii. Fähigkeit, sich schnell zu füllen, um so Schäden durch Starkregen zu vermeiden	vi. Die verwendeten Materialien sind nachhaltig oder naturbelassen
iii. Möglichkeit der Verwendung unter Straßen und Verkehrsflächen	vii. Bemessung nach Regelwerken, wobei sowohl eine hydraulische als auch eine volumetrische Bemessung möglich ist
iv. Passive Versickerung, bei der keine Pumpen/ Energie benötigt wird, um das gespeicherte Wasser in den erweiterten Wurzelraum zu befördern	viii. Lange Lebensdauer; zudem können Inspektionen und Wartungen durchgeführt werden

4.4.3 Steinwolle (Rockflow) als innovatives dezentrales Entwässerungssystem

ROCKWOOL Rainwater Systems ist Teil der Unternehmensgruppe ROCKWOOL. Rockflow®. Das Produkt Rockflow ist ein von ROCKWOOL hergestelltes, aus vollzirkulärer Steinwolle bestehendes Naturprodukt und repräsentiert ein innovatives, unterirdisches Entwässerungssystem zur Speicherung und Versickerung von Regenwasserabflüssen oder zur Speicherung und Einleitung in Oberflächengewässer. Es besteht aus tragfähigen Steinwollelementen mit einem freiem Wasserspeichervolumen von bis zu 95%. Im Vergleich zu Schotter oder grobem Material mit einem Hohlraumanteil von 30 % bis 40 % (Tabelle 1) weist Rockflow somit einen deutlich höheren Hohlraumanteil auf und erfüllt zudem die in Tabelle 5 dargestellten Kriterien.

Ein Steinwollelement hat die Abmessungen $B = 0,15 \text{ m}$, $L = 1,2 \text{ m}$ und wahlweise Bauhöhen von $1,0 \text{ m}$, $0,5 \text{ m}$ oder $0,66 \text{ m}$ (Abbildung 12). Die relativ geringe Breite $B = 0,15 \text{ m}$ eines Einzelelements lässt eine flexible Gestaltung der Gesamtbreite, in Abhängigkeit von der Breite des Leitungsgrabens und des geforderten Speichervolumens, zu.



Abbildung 12 Rockflow Steinwollelemente in verschiedenen Bauhöhen

Zur Beschickung des Systems nutzt das System die in der Steinwolle vorgeformten Rohrkanäle (Abbildung 13). Diese haben die Funktion, das Wasser schnell in das System einzuleiten und zu verteilen. Ein zweiter Kanal sorgt für die Entlüftung des Systems.

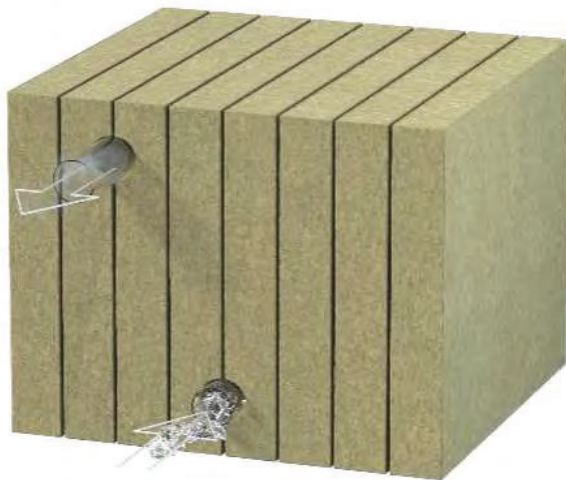


Abbildung 13 Schematische Darstellung des Anlagenaufbaus mit Rockflow Steinwolle, mit Wasserzufuhr und Entlüftung mittels gefräster Rohrkanäle in der Steinwolle

Eine Anlage wird aus mehreren solcher Steinwollelementen modular aufgebaut, bis das geforderte Speichervolumen realisiert wird. Die Rockflow-Steinwolle ist formfest und druckbeständig und kann daher unterirdisch unter Straßen, Wegen, Parkplätzen, Gehwegen etc. verlegt werden. Rockflow-Produkte werden bereits in verschiedenen Konfigurationen an mehr als 400 Standorten in den Niederlanden und in Dänemark zur Speicherung und Ableitung von Regenwasser eingesetzt.

Rockflow-Systeme zeichnen sich durch ihre hohe Lebensdauer und einfache Wartung aus (siehe auch Kapitel 7 und angehängte Anleitung). Dank der Flexibilität in Design und im Einbau können maßgeschneiderte Lösungen für lokales Regenwassermanagement auch unter anspruchsvollsten Bedingungen umgesetzt werden.

4.4.4 Einbauanleitung für BRS-Elemente im Leitungsgraben

Die nachfolgende Abbildung 14 zeigt schematisch den Einbau der BRS-Elemente im Leitungsgraben.

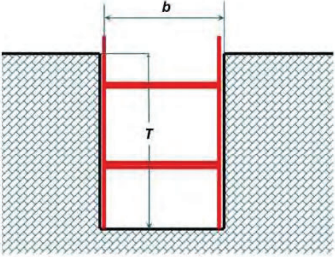
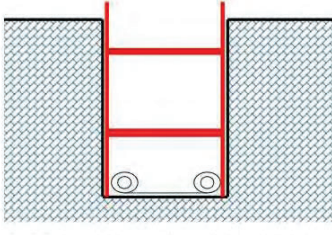
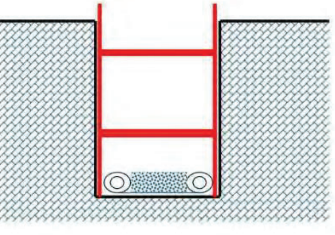
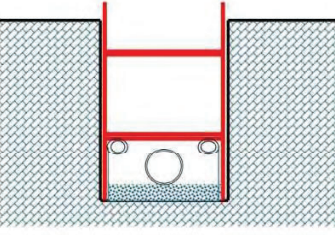
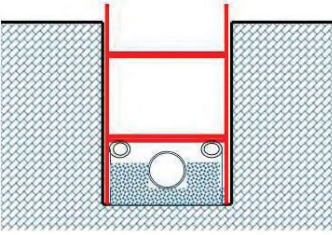
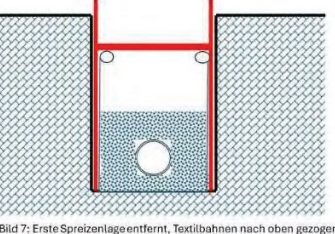
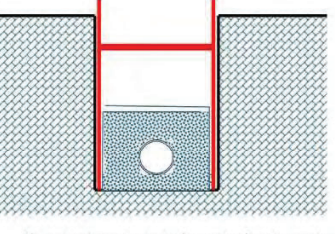
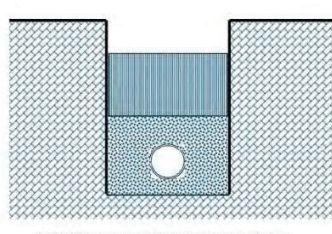
 Bild 1: Rohrgraben mit Verbau	 Bild 2: Geotextilbahn, zu zwei gleichlangen Ballen aufwickeln	 Bild 3: Grabensohle mit zwei aufgewickelten Geotextilbahnen
 Bild 4: Einbau grobes Bettungsmaterial auf der Geotextilbahn	 Bild 5: Einbau des Rohres	 Bild 6: Einbau der Seitenverfüllung
Bild 4: Einbau grobes Bettungsmaterial auf der Geotextilbahn	Bild 5: Hochziehen der Geotextilbahn bis zur ersten Spreizenlage, Einbau grobes Bettungsmaterial und Einbau des Rohres auf der Rohrbettung	Bild 6: Einbau der Seitenverfüllung
 Bild 7: Erste Spreizenlage entfernt, Textilbahnen nach oben gezogen, Rohrüberdeckung eingebaut	 Bild 8: obere Enden der Geotextilbahn übereinander schlagen und Übergangsschicht einbauen	 Bild 9: Verbau gezogen, Einbau des Rockwoolfilters
Bild 7: Entfernen der ersten Spreizenlage, hochziehen der Geotextilbahn bis zur zweiten Spreizenlage, Rohrüberdeckung einbauen	Bild 8: Die oberen Enden der Geotextilbahn übereinander schlagen und Übergangsschicht einbauen	Bild 9: Verbau ziehen und Steinwollelemente einbauen

Abbildung 14 Einbau der BRS-Elemente im Leitungsgraben

4.4.5 Niederschlagswasser sammeln und vorbehandeln

Die Nutzung von Niederschlagswasser für die Versorgung von Stadtgrün ist ein wesentliches Element in der Schwammstadt. Auch beim BRS wird Niederschlagswasser

- gesammelt,
- hinsichtlich seiner Behandlungsbedürftigkeit bewertet,
- bei Bedarf vorbehandelt,
- in der Steinwolle gespeichert und
- gedrosselt in den darunter liegenden Wurzelraum versickert,
- um ergänzend, die an den Wurzelraum angeschlossenen Bäume langfristig mit Wasser zu versorgen.

Niederschlagswasser sammeln

Zur Bewässerung der Bäume im BRS kann Niederschlagswasser entweder von Dachflächen und/ oder von Gehweg- und Straßenflächen verwendet werden.

Das Niederschlagswasser von Dachflächen kann entweder direkt oder über eine Zulauf-/ Sammelschacht an das Speicherelement aus Steinwolle angeschlossen werden. Auch die direkte Bewässerung der Bäume über die Baumscheibe ist möglich (siehe Kapitel 2). Für die Dimensionierung der Zulaufleitung und Zulaufleitungen sind die Anforderungen aus der DIN 1986-100 (2016b) zu beachten.

Das Niederschlagswasser von Gehwegen und Straßen wird in Straßenabläufen oder in Rinnenelementen gesammelt, wobei es unterschiedliche Bauformen gibt. Straßenabläufe werden durch einen Aufsatz abgedeckt, der aus einem Rahmen besteht, in dem ein Rost eingelegt wird. Durch den Rost werden Grobstoffe wie Äste oder Abfall zurückgehalten. Je nach Größe und Formgebung besitzen die Straßenabläufe eine unterschiedliche hydraulische Leistungsfähigkeit, welche umgangssprachlich als „Schluckvermögen“ beschrieben wird (Schlenkhoff et al., o.J.). Dieses „Schluckvermögen“ ist bei der Größe der anzuschließenden Fläche zu berücksichtigen.

Weitere Aufsatzformen für Straßenabläufe sind Seitenabläufe und Kombiaufsätze. Rinnenaufsätze zeichnen sich dadurch aus, dass sie das Wasser einer Entwässerungsrinne zuführen. Entwässerungsrinnen können als lineare Entwässerungsgegenstände z. B. entlang des Seitenbords einer Straße oder in Straßenmitte angeordnet werden. Dadurch erhöht sich die hydraulische Leistungsfähigkeit des Niederschlagssammelsystems erheblich. Rinnensysteme werden in unterschiedlichen Baugrößen hergestellt.

Hinweise zur Bemessung von Straßenabläufen und Entwässerungsrinnen finden sich in der REwS – Richtlinien für die Entwässerung von Straßen und in der dazugehörigen Anlage (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), 2021a und 2021b) sowie bei Schlenkhoff et al. (o.J.).

Niederschlagswasser behandeln

Niederschlagswasser von Straßenflächen, aber auch von Dachflächen ist unterschiedliche stark belastet (Abbildung 15), z. B. durch

- Abgabe von Stoffen aus den verwendeten Werkstoffen des Dachmaterials,
- Erosion und Abfall,
- Reifen- und Straßenabrieb sowie Tropfverluste von Fahrzeugen,
- oder durch Blätter, Blüten und Pollen.

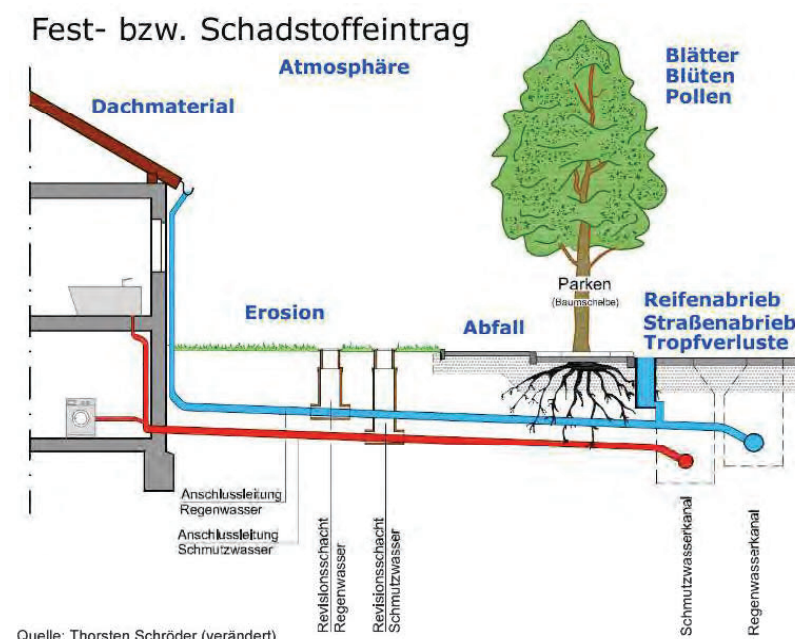


Abbildung 15 Fest- bzw. Schadstoffeintrag über den Eintragspfad Niederschlagswasser

Die Kenntnisse über Art und Umfang der Verschmutzung von Niederschlagswasser sind in den letzten Jahren durch eine Vielzahl von Forschungsvorhaben gewachsen und führte auch zur Überarbeitung von Regelwerken, Verordnungen und Richtlinien. So wurde während der Laufzeit des Projektes ein wesentliches Regelwerk überarbeitet. Das Arbeitsblatt DWA-A 138-1 „Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser – Teil 1: Planung, Bau, Betrieb“ (DWA, 2024b) wurde im Oktober 2024 veröffentlicht. Im Zuge der Überarbeitung wurde insbesondere das Risiko für das Boden- und Grundwasser durch die Versickerung von Niederschlagswasser von Dachflächen neu bewertet. In einer Fußnote wurde die Entscheidung über die Behandlungsbedürftigkeit des Dachwassers auf die Genehmigungsbehörden übertragen. Es ist daher jeweils individuell mit der Genehmigungsbehörde abzustimmen, in welchem Umfang für das Niederschlagswasser von Dachflächen bei einer unterirdischen Versickerung eine Vorbehandlung vorzusehen ist. Dabei ist insbesondere zu klären, ob eine technische Niederschlagswasserbehandlungsanlage erforderlich ist, oder ob eine Durchströmung des Bodensubstrates am Baumstandort als hinreichend bewertet wird.

5 Kosten und Nutzen des Systems

Eine Übersicht über Niederschlagswasserbehandlungsanlagen zur Vorbehandlung von Niederschlagswasser vor der Einleitung in Gewässer sowie für den hier relevanten Fall, bei der Einleitung in Boden- und Grundwasser, wurde 2024 vom Umweltbundesamt (UBA) als Anlage E zum Abschlussbericht „Entwicklung eines Laborprüfverfahrens zum Rückhalt von partikulären Stoffen in dezentralen Niederschlagsbehandlungsanlagen bei Einleitung in Oberflächengewässer“ (UBA, 2024) veröffentlicht.

In diesem Bericht wird unterschieden, zwischen

- Sedimentationsanlagen (Anlagen ausschließlich mit Sedimentationsraum),
- Sedimentationsanlagen mit erweiterter Sedimentation bzw. Dichtentrennung z. B. mittels eingebauter Lamellen oder Hydrozyklone und
- Anlagen mit Filter zum Feststoffrückhalt und/oder zum Rückhalt gelöster Stoffe als erste oder zweite Stufe.

5 Kosten und Nutzen des Systems

Für eine erfolgreiche Umsetzung des Boden-Rohr-Systems müssen nicht nur die rechtlichen und technischen Rahmenbedingungen stimmen, sondern auch die beteiligten Akteure ziel führend eingebunden werden. Die Faktoren, die für eine Umsetzung hilfreich sind, werden nachfolgend beschrieben, ebenso wie die Kosten und Nutzen des Systems. Abschließend wird erläutert, welche Optionen es zur Finanzierung gibt.

5.1 Akteure und Rahmenbedingungen

Interviews mit Mitgliedern des Expert:innennetzwerks Baumrigolen, Vertreter:innen anderer bekannter Projekte der blau-grünen Infrastruktur sowie mit den beteiligten Pilotkommunen machten deutlich, dass BRS umso eher umgesetzt werden, je größer der politische Wille ist, je mehr Erfahrungen anderswo bereits gesammelt und verfügbar gemacht wurden und je eingeübter der Wissensaustausch zwischen den handelnden Akteuren ist.

Der **politische Wille** ist nicht notwendigerweise immer gleich vorhanden. Es ist daher sinnvoll, aufmerksam auf sich eröffnende „Windows of Opportunity“ zu achten. So kann die Umgestaltung einer Hauptverkehrsstraße einen Anknüpfungspunkt bieten, das BRS frühzeitig mitzudenken.

Ebenfalls ist die Bereitschaft größer, Elemente der blau-grünen-Infrastruktur (wie dem BRS) umzusetzen, wenn in der jüngeren Vergangenheit vor Ort Erfahrungen mit Überschwemmungen gemacht wurden. Vor dem Hintergrund eines ökologischen und fahrradfreundlichen Stadtumbaus lassen sich BRS als passende komplementierende Maßnahmen mitdenken und in allgemeinen kommunalen Kommunikationskonzepten verankern. Die Umsetzbarkeit des BRS steigt ebenfalls, wenn gezeigt werden kann, dass die Mehrkosten eines solchen Systems durch zusätzliche Nutzen zumindest teilweise kompensiert werden können und geeignete Finanzierungskonzepte vorhanden sind. Dadurch kann auch der politische Wille für eine Umsetzung positiv beeinflusst werden.

Die Umsetzungswahrscheinlichkeit einer Maßnahme wie dem BRS erhöht sich mit jedem **weiteren Referenzprojekt**, insbesondere wenn in der Planung, in der Umsetzung und im Betrieb eigene Erfahrungen gemacht werden können. Bislang haben sich die Kommunen in Pilotprojekten überwiegend dazu entschieden, Baumrigolen und BRS über öffentliche Flächen zu beschicken. Dies lässt den Akteur „Privater Kunde“ außen vor, was die Gesamtumsetzung relativ gesehen vereinfacht.

Weitere zentrale Erfolgstreiber sind der **Wissensaustausch und die Kommunikationsfähigkeit zwischen handelnden Akteuren** einer Kommune. Dies gilt insbesondere für große Kommunen, in denen Zuständigkeiten über viele Stellen verteilt sind und die Politik eine Vielzahl von Zielen gleichzeitig zu verfolgen sucht.

Der Einfluss zwischenmenschlicher Kontakte kann damit gar nicht überbewertet werden. Der Pilotpartner Bochum etwa hebt hervor, dass die für die Entwässerung Zuständigen von dem großen Erfahrungsnetzwerk „Klimawerk“ profitierten, das über mehrere Jahre hinweg im erweiterten Ruhrgebiet aufgebaut wurde. Dieser immer wieder stattfindende Austausch sowohl mit Mitarbeitenden anderer Ämter der Stadt als auch mit anderen Städten sei eine zentrale Grundbedingung für eine tendenziell positive Grundeinstellung neuer Ansätze der Regenwasserbewirtschaftung gegenüber in der Stadt gewesen. Solche Vernetzungen auch in anderen Regionen Deutschlands ebenfalls zu begründen, wird dringend empfohlen.

5.2 Kosten und Nutzen

Im Vergleich zu herkömmlichen Systemen entstehen Mehrkosten insbesondere bei den Erdbauarbeiten, da für den Einbau der Steinwolle zumindest im oberen Grabenbereich eine größere Grabenbreite (im Beispiel der Standardskizze 1,6 m) benötigt wird als dies für den Einbau eines Abwasserkanals erforderlich ist (bei einer DN 300 Rohrleitung je nach Grabentiefe 0,9 m bis 1,0 m nach DIN EN 1610 (2015)). Auch der Erdaushub für die Übergangszone mit einer Mindestbreite von 1,5 m zwischen dem Leitungsgraben und dem Baumstandort fällt zusätzlich an. Wenn ohnehin Baumaßnahmen im Straßenbereich oder an einem Kanal durchgeführt werden, können die Zusatzkosten für die Umsetzung des BRS daher signifikant reduziert werden.

Weitere Mehrkosten entstehen durch die Materialkosten, insbesondere durch das duktile Gussrohr, die Steinwolle, das grobkörnige, porenreiche Substrat und die Reinigungs- und Belüftungsvorrichtungen. Möglicherweise kommt es wegen der vergrößerten Baumkrone zu höheren Wartungskosten beim Baumschnitt und aufgrund eines höheren Laubanfalls zu einem höheren Reinigungsbedarf.

Kostenreduktionen im Vergleich zu konventionellen Baumstandorten sind hingegen bei der Bewässerung, bei der Beseitigung von Wurzelschäden im Gehwegsbereich und, aufgrund der höheren Baumvitalität, bei selteneren Ersatzpflanzungen zu erwarten.

Die Nutzen des BRS sind einerseits wasserwirtschaftliche Vorteile, die sich durch einen vergrößerten Speicherraum bei Starkregenereignissen und durch eine Annäherung an den

naturnahen Wasserhaushalt (DWA, 2022) ergeben. Zudem ergibt sich eine geringere hydraulische Auslastung des unterhalb liegenden Kanalnetzes, sodass bei einer großräumigen Umsetzung des BRS mit geringeren Kosten bei hydraulischen Sanierungen im unterhalb liegenden Kanalnetz zu rechnen ist. Zudem ergeben sich Vorteile durch die Verbesserung der Standortbedingungen für Stadtbäume.

- verbesserten Anpassung an den Klimawandel, beispielsweise durch eine erhöhte Kühlleistung und Beschattung im Vergleich zu herkömmlichen Baumstandorten
- lokal verbessertes Mikroklima
- erhöhte Artenvielfalt
- verbesserter Stoffrückhalt von Schadstoffen in der Luft

Insgesamt ist zu erwarten, dass zumindest mittelfristig die festgestellten Nutzen die anfallenden Kosten übersteigen werden.

5.3 Finanzierung und Fördermittel

Finanzierung findet ihren Ausgangspunkt immer bei den anfallenden Kosten. Der Bezug zu den Preisen für eine Dienstleistung kann dann tendenziell auf zwei verschiedene Arten erfolgen.

Der auf wettbewerblichen Märkten übliche Ansatz, dass Anbietende Preise für Leistungen in einer Höhe bestimmen, die den Zahlungsbereitschaften der Kunden und der relativen Wettbewerbssituation Rechnung tragen, ist hier nicht sachgerecht. Volkswirtschaftlich und gesamtgesellschaftlich ist es wünschenswert, wenn in einer Region auch nur ein Unternehmen für die Stadtentwässerung zuständig ist. Damit dieses dann aber seine Monopolmacht nicht zu Ungunsten der Bürgerinnen und Bürger, oder allgemein der Nutzenden, ausnutzt, ist eine ex-ante oder ex-post Entgelthöhen- und Entgeltstrukturüberprüfung üblich. Konsens besteht folglich hier, dass Kosten anzusetzen sind, die in Kapitel 5.2 überblicksartig dargelegt wurden.

Zunächst sollten diejenigen die Kosten tragen, die auch vom Nutzen der Anlage profitieren. Dies sind zunächst die Bürger und sonstigen Kunden, für deren Niederschlagsentwässerung gesorgt wird. Neben diesem direkten Nutzen sind mit BRS aber auch indirekte Nutzen (Verbesserung des Mikroklimas sowie der Aufenthaltsqualität, Wasserrückhalt etc.) verbunden. Sie lassen sich in Folge positiver externer Effekte nicht Einzelnen unmittelbar zuordnen, weswegen als erste Handlungsempfehlung festgehalten werden kann, dass eine begleitende Finanzierung auch durch Haushaltsmittel oder Förderung ökonomisch begründbar ist.

Die sich durchsetzende Art, Finanzierungskosten zuzuordnen, ergibt sich aus der Festlegung, welche Funktion das BRS primär verfolgen soll. Diese Herangehensweise ist vergleichsweise pragmatisch und stellt seitens der Pilotkommunen eine jeweils unterschiedlich interpretierte Handlungsweise dar (siehe auch Kapitel 7). Sie kann entweder als Entwässerungsanlage, als hydrologisch optimierter Baumstandort oder als Klimaanpassungsmaßnahme deklariert sein. Gerade das Hervorheben der Funktion der Entwässerung mag in der Folge dazu führen, dass BRS zukünftig schwerpunktmäßig über Niederschlagsgebühren finanziert werden.

6 Genehmigungen

Eine aktuelle Fördermöglichkeit bspw. in NRW besteht im Rahmen des Förderprogramms ZunA (NRW Bank, o.J.), das Anpassungen an den Klimawandel fördert, die der Versickerung und Speicherung von Niederschlagswasser dienen. Allerdings wurde das BRS noch nicht in die Liste der förderfähigen Maßnahmen aufgenommen (Stand: Ende 2024). Dies nachzuholen wäre aus dem Projekt heraus zu empfehlen.

6 Genehmigungen

Bevor mit dem Bau des BRS begonnen werden kann, ist es von entscheidender Bedeutung, alle erforderlichen Genehmigungen und Zustimmungen von den relevanten Behörden einzuholen. Um einen reibungslosen Ablauf zu gewährleisten und Verzögerungen während der Bauphase zu vermeiden, wird die frühzeitige und umfassende Einbindung der zuständigen Behörden in den Planungsprozess empfohlen.

Nachfolgend werden die Behörden und Stellen aufgelistet, die mindestens in den Planungsprozess eingebunden werden müssen:

- **Grünflächenamt:** Dieses Amt ist für die Bepflanzung und Pflege der urbanen Vegetation zuständig. Es stellt sicher, dass die geplante Infrastruktur in Einklang mit den städtischen Grünflächen und Bäumen steht und dabei keine Schäden an der bestehenden Vegetation entstehen.
- **Untere Wasserbehörde:** Da das BRS in den Wasserkreislauf eingreift, ist die Einbindung der Wasserbehörden notwendig, um sicherzustellen, dass wasserrechtliche Bestimmungen eingehalten werden. Dies betrifft insbesondere die Versickerung von Regenwasser.
- **Tiefbauamt:** Für die Baumaßnahmen im Erdreich, einschließlich der Grabungen und der Installation von Rohrsystemen, ist die Zusammenarbeit mit dem Tiefbauamt erforderlich. Es stellt sicher, dass die Bauarbeiten den infrastrukturellen Anforderungen entsprechen, sodass keine Beeinträchtigung der bestehenden Infrastruktur entsteht.
- **Baulastträger:** Der Baulastträger trägt die Verantwortung für den Bau und die Instandhaltung der betroffenen Grundstücke. Seine Zustimmung ist essenziell, um den Bau des Systems rechtlich abzusichern und die baulichen Verpflichtungen festzulegen.
- **Straßenverkehrsamt:** Für Bauarbeiten, die den Straßenverkehr betreffen oder in der Nähe von Verkehrswegen stattfinden, ist die Zustimmung des Straßenverkehrsamts erforderlich. Dies betrifft insbesondere Absperrungen, Umleitungen und Sicherheitsmaßnahmen während der Bauphase.

7 Unterhaltung und Wartung

Die Zuständigkeiten der beteiligten Behörden bei der Unterhaltung und Wartung im Betrieb sollten klar festgelegt und die Aufgaben eindeutig verteilt werden, um eine reibungslose Zusammenarbeit sicherzustellen. Es gibt verschiedene Ansätze zur Aufteilung der Zuständigkeiten, die sich je nach Kommune unterscheiden können. Einige mögliche Modelle, wie sie bereits für Baumrigolen umgesetzt werden, sind nachfolgend aufgeführt:

- **Beispiel Berlin:** Hier übernimmt das Grünflächenamt die Verantwortung im Bereich Unterhaltung, wobei die Finanzierung durch Mittel der Wasserbetriebe (z. B. aus der Niederschlagswassergebühr) erfolgt.
- **Beispiel Leichlingen:** Das Grünflächenamt übernimmt die Pflege des Baums. Der Abwasserbetrieb übernimmt und finanziert die Wartung der übrigen Anlage. Eine interne Verrechnung der Kosten ist möglich.
- **Beispiel Bochum:** Für die unterirdischen Anlagenteile (eines Baumstandortes) ist die Entwässerungsabteilung zuständig, mit Ausnahme der Straßenabläufe, die im Zuständigkeitsbereich des Straßenamts liegen. Der Ankauf des Baums wird durch den Straßenbau finanziert, die Baumpflege allerdings vom Grünflächenamt übernommen.

Neben den Zuständigkeiten sollte auch festgelegt werden, welche Tätigkeiten die Unterhaltung umfasst. Ein umfassender Wartungsplan für das BRS sollte regelmäßig durchgeführte Inspektionen, Unkrautkontrolle und Baumpflege beinhalten. Es wird weiterhin empfohlen, nach bedeutenden Niederschlagsereignissen eine gründliche Überprüfung der Anlagen vorzunehmen, um mögliche Ablagerungen oder Verstopfungen frühzeitig zu erkennen. Zusätzlich sollten regelmäßige visuelle Inspektionen zur Feststellung von sichtbaren Schäden durchgeführt werden. Außerdem werden Inspektionen mittels TV-Kamerabefahrung im Abstand von 2-3 Jahren empfohlen. Es ist ratsam, die Kontrollintervalle klar festzulegen. Diese Maßnahmen gewährleisten eine frühzeitige Identifikation von Problemen und tragen zur langfristigen Effizienz und Funktionalität des Systems bei.

Die Verwendung von chemischen Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln sowie Reinigungsmitteln auf den Flächen, die an Versickerungsanlagen angeschlossen sind, sollte strikt vermieden werden, um die Funktionsfähigkeit und Umweltverträglichkeit der Anlagen zu gewährleisten. Es wird empfohlen, Anlieger:innen über diese Einschränkungen zu informieren und sie auf die ökologischen Auswirkungen solcher Mittel hinzuweisen.

Eine Verstopfung des Steinwollelements kann durch eine regelmäßige Reinigung und Wartung des Systems vorgebeugt werden. Eine Anleitung zur Reinigung des Steinwollelements wird als Anhang beigelegt und ist auch unter dem nachfolgenden Link zu finden:

<https://rain.rockwool.com/de/downloads/wartung/?selectedCat=downloads>

Um den Gesundheitszustand von Bäumen in Deutschland gemäß den relevanten Richtlinien effektiv zu überwachen, gibt es spezifische Empfehlungen und Leitlinien von der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) und der Gartenamtsleiterkonferenz e.V. (GALK).

Die **FLL-Baumkontrollrichtlinien** bieten detaillierte Anweisungen zur visuellen Inspektion von Bäumen, zur Erfassung und Dokumentation sowie zur Bewertung der Stand- und Bruchsicherheit. Diese Richtlinien umfassen neben visuellen Baumkontrollen auch die Dokumentation von sichtbaren Schäden und Schadsymptomen, die auf potenzielle Beeinträchtigungen der Stand- oder Bruchsicherheit hinweisen. Bei der Bewertung steht der vitale, arttypisch entwickelte Baum im Fokus. Wichtige Kriterien zur Beurteilung der Baumgesundheit sind:

- Verzweigungsgrad
- Triebzuwachs
- Laubdichte
- Blattgröße und -farbe
- Dickenzuwachs
- Wundüberwallung

Die FLL Baumkontrollrichtlinien (FLL, 2020) sind unter dem nachfolgenden Link zu finden:

<https://shop.fll.de/de/baumkontrollrichtlinien-richtlinien-fuer-baumkontrollen-zur-ueberpruefung-der-verkehrssicherheit.html>

Die **GALK-Empfehlungen zur Beurteilung von Stadtbäumen** stellen eine wertvolle Grundlage dar. Eine weiterführende Untersuchung der Bäume wird in aller Regel nur dann durchgeführt, wenn sichtbare Anzeichen für eine Beeinträchtigung der Stabilität oder Verkehrssicherheit vorliegen (FLL, 2013).

Die GALK-Empfehlungen (GALK, 2024) zur Beurteilung von Stadtbäumen sind unter dem nachfolgenden Link finden:

<https://www.galk.de/arbeitskreise/stadtbaeume/themenuebersicht/empfehlungen-zur-beurteilung-von-baeumen-in-der-stadt>

8 Bewusstseinsbildung und Partnerschaften

Es wird empfohlen, gezielt Informationen für die Bewohner:innen und Besucher:innen der Stadt zumindest im Umfeld der Baumaßnahme bereitzustellen, um sie über die Bedeutung des BRS aufzuklären und darüber zu informieren, wie es zur Verbesserung des städtischen Umfelds beiträgt. Diese Sensibilisierung sollte sich auch auf den Schutz und die Pflege des BRS erstrecken, um eine langfristige und nachhaltige Nutzung sicherzustellen. Darüber hinaus ist es sinnvoll, Partnerschaften mit lokalen Regierungsbehörden, Gemeindeorganisationen, Umweltschutzgruppen oder Bildungseinrichtungen anzustreben. Solche Kooperationen können dazu beitragen, zusätzliche Ressourcen, Finanzierungen oder Fachwissen für (Pilot-) Projekte zu gewinnen und dessen Erfolg langfristig zu sichern. Als Best-Practice-Beispiel sei das Expertennetzwerk Baumrigolen der Zukunftsinitiative Klima.Werk (Klima-Werk, o.J.)

genannt, in dem seit 2022 ein kollegialer Austausch zu Baumrigolen zwischen Kommunen, Ingenieurbüros und Wissenschaftler:innen stattfindet.

9 Pilotprojekte

Pilotprojekte sind eine wertvolle Gelegenheit, theoretische Konzepte in die Praxis umzusetzen und die Funktionalität und Wirksamkeit neuer Systeme unter realen Bedingungen zu testen. Während der Projektlaufzeit konnten gemeinsam mit verschiedenen Kommunen Pilotprojekte begonnen werden. Die beiden Pilotprojekte mit dem am weitesten vorangeschrittenen Planungszustand (Stand Ende 2024) werden nachfolgend exemplarisch beschrieben. Die Pilotprojekte haben durch die Verbindung von Theorie und Praxis dem Projektkonsortium geholfen, den innovativen Ansatz das Boden-Rohr-Systems in städtischen Kontexten zu erproben und entscheidende Erkenntnisse sowohl für die Weiterentwicklung der Systemskizze, als auch für zukünftige Projekte zu gewinnen.

9.1 Pilotprojekt Köln

Das Pilotprojekt wird im Rahmen der Umbaumaßnahme des Marktplatzes an der Kemperwiese in Köln Dellbrück umgesetzt. Abbildung 16 a) zeigt einen Übersichtsplan des Marktplatzes. Der rote Kasten umrahmt den kompletten Umgestaltungsbereich, der kleinere lilafarbene Kasten umrahmten den Teil des Marktplatzes, der zum BRS umfunktioniert wird.

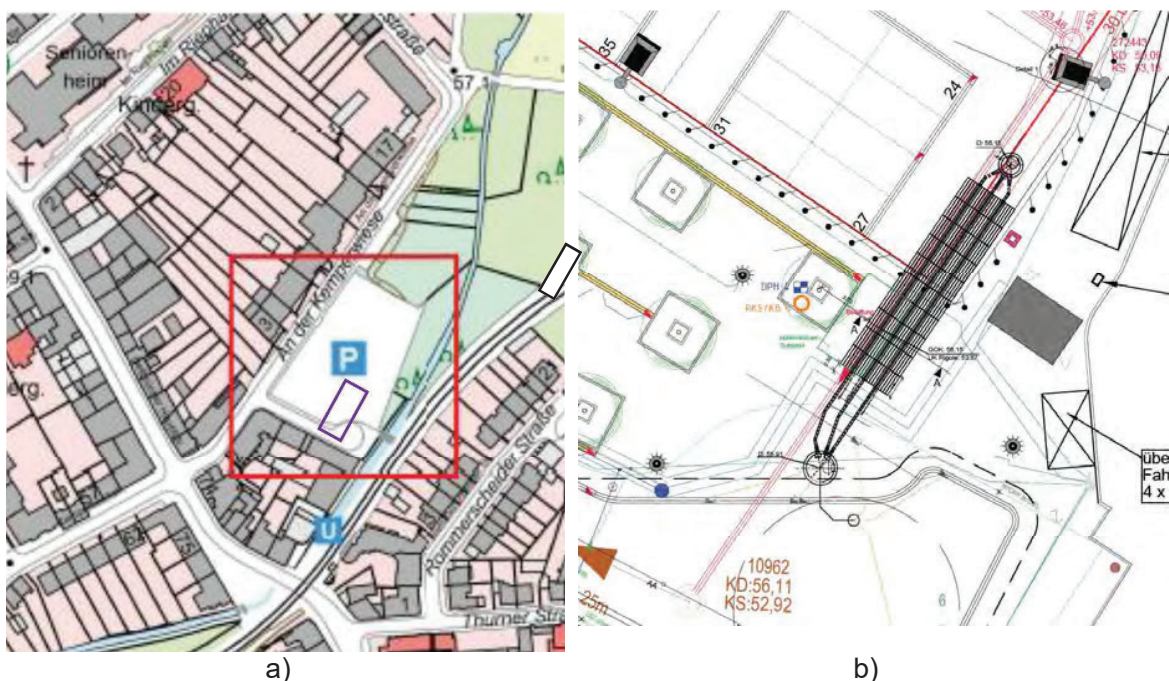


Abbildung 16: a) Übersichtsplan des Marktplatzes an der Kemperwiese; b) Teilprojekt BoRSiS im Projekt An der Kemperwiese, Übersichtsplan (Stand: Entwurfsplanung 2024, StEB Köln, 2024)

Der dargestellte Platz wird als Parkplatz, Marktplatz und Festplatz genutzt. Im Rahmen der Neugestaltung, werden im südlichen Teil im Rahmen des Projekts „Das Wasser muss zum Baum“ Baumstandorte gebaut, die unterschiedliche Variationen von Baumrigolen aufzeigen sollen (StEB Köln, 2021). Durch die zeitgleiche Pflanzung von unterschiedlichen Systemen kann so zu einem späteren Zeitpunkt ein Erfolg der unterschiedlichen Bauweisen bewertet werden. Wie in Abbildung 16 b) zu sehen ist, wird der östlichste der geplanten Baumstandorte an das BRS angeschlossen. In diesem Fall wird das BRS fast genau wie in der Standardskizze umgesetzt (Abbildung 2). Unterschiede bestehen lediglich darin, dass in diesem Projekt kein Wannenelement verbaut, kein Wasser von Dachflächen eingeleitet und der Steinwollkörper breiter als der Leitungsgraben ausgebildet wird (Abbildung 17).

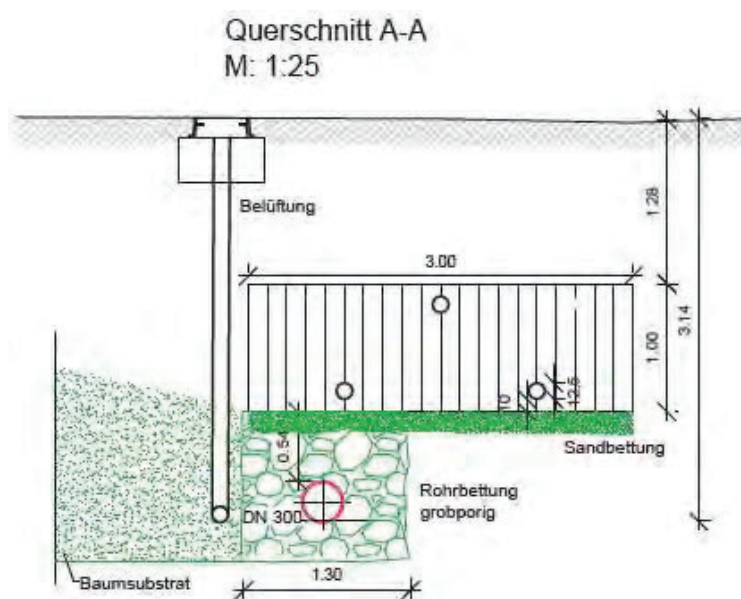


Abbildung 17: Teilprojekt BoRSiS im Projekt An der Kemperwiese, Querschnitt (Stand: Entwurfsplanung 2024, StEB Köln, 2024)

9.2 Pilotprojekt Leichlingen

In der Friedensstraße in der Stadt Leichlingen kann ein ca. 26 m langer Kanalabschnitt (Mischsystem) umgestaltet werden, da dieser bereits altersbedingt abgeschrieben und ein alternativer Anschluss der angrenzenden städtischen Wohnhäuser möglich ist (Abbildung 18). Die besondere Herausforderung dieses Pilotprojektes besteht im hohen Straßen- und Haltungsgefälle sowie in der Lage des Kanals im Gehweg und im Grünstreifen (statt in der Straße). Diese Rahmenbedingungen erfordern einige Modifikationen des im Kapitel 2 beschriebenen Standardsystems. Es erfolgt die Neupflanzung je eines Stadtbaums zwischen den beiden kaskadenförmig angeordneten Steinwollelementen und am unteren Ende der Haltung. Dies ermöglicht eine Anordnung der Speicherelemente auf verschiedenen Höhen. Die Befüllung der Elemente erfolgt in diesem Fall durch Rückstau aus den unterhalb an die Speicherelemente angrenzenden Schächten. Durch das im System zwischengespeicherte Niederschlagswasser soll so eine nachhaltige Wasserversorgung der beiden Bäume sichergestellt werden. Um sowohl eine Überlastung des Speicherkörpers als auch eine Staunässe

an den Baumstandorten zu vermeiden, ist eine Notentlastung (Überlauf) in die angrenzende Mischwasserhaltung am unteren Ende der Haltung angeordnet (Abbildung 19). Abbildung 19 ist zudem in einer größeren Ansicht im Anhang zu finden

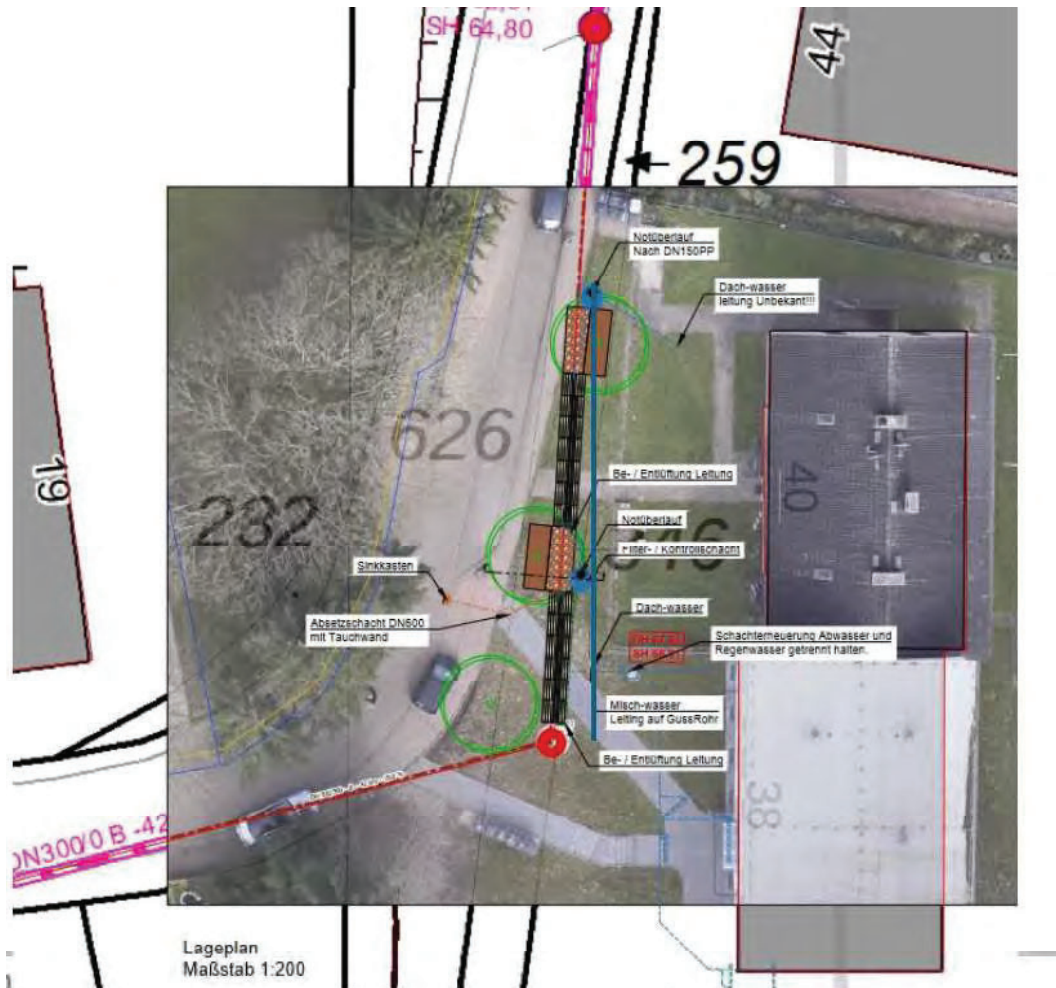


Abbildung 18: Draufsicht auf die Örtlichkeiten in Leichlingen, Datenbasis: Google Maps (Google, o.J.), eigene Überarbeitung

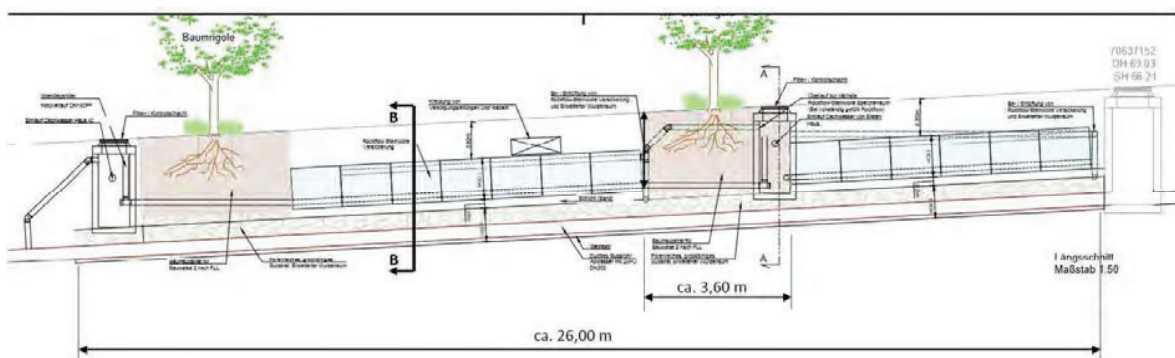


Abbildung 19: Längsschnitt der Systemskizze am Standort Friedensstraße in Leichlingen

10 Literaturverzeichnis

Bayrische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau (2021): Forschungsbericht „Stadtgrün 2021“. Online verfügbar unter https://lwg.bayern.de/landespflege/urbanes_gruen/284928/index.php, zuletzt geprüft am 30.05.2025.

Becker, M.; Pfeiffer, E.; Becker, C. W.; Hasse, J. U. (2015): Wassersensible Stadtentwicklung (WSSE): Strategien, Maßnahmen und Umsetzungsbeispiele, *KW Korrespondenz Wasserwirtschaft* 8 (8), S.469-472.

Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz (GALK) e.V. (2021): GALK - Straßenbaumliste. Hrsg. Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz (GALK) e.V. Online verfügbar unter <https://www.galk.de/arbeitskreise/stadtbaeume/themenuebersicht/strassenbaumliste>, zuletzt geprüft am 30.05.2025.

Deutsche Gartenamtsleiterkonferenz (GALK) e.V. (2024): Empfehlungen zur Beurteilung von Stadtbäumen. Online verfügbar unter: <https://www.galk.de/arbeitskreise/stadtbaeume/themenuebersicht/empfehlungen-zur-beurteilung-von-baeumen-in-der-stadt/>, zuletzt geprüft am 30.05.2025.

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) (2022): Merkblatt DWA-M 102-4. Grundsätze zur Bewirtschaftung und Behandlung von Regenwetterabflüssen zur Einleitung in Oberflächengewässer – Teil 4: Wasserhaushaltsbilanz für die Bewirtschaftung des Niederschlagswassers

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) (2024a): Arbeitsblatt DWA-A 118. Bewertung der hydraulischen Leistungsfähigkeit von Entwässerungssystemen.

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) (2024b): Arbeitsblatt DWA-A 138-1. Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser Teil 1: Planung, Bau, Betrieb.

Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN) (2009): DIN EN 598:2009-10. Rohre, Formstücke, Zubehörteile aus duktilem Gusseisen und ihre Verbindungen für die Abwasser-Entsorgung - Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 598:2007+A1:2009.

Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN) (2015): DIN EN 1610:2015-12. Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen.

Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN) (2016a): DIN 18916:2016-06. Vegetationstechnik im Landschaftsbau - Pflanzen und Pflanzarbeiten.

Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN) (2016b): DIN 1986-100: Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke - Teil 100: Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 752 und DIN EN 12056. Ausgabe 2016-12.

Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN) (2022): DIN EN 15542:2022-02 - Entwurf. Rohre, Formstücke und Zubehör aus duktilem Gusseisen - Zementmörtelumhüllung von Rohren - Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche und Englische Fassung prEN 15542:2021.

Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN) (2024): DIN EN 17970:2024-08. Rohre aus duktilem Gusseisen - Steckmuffen-Verbindungen für Rohrsysteme aus duktilem Gusseisen - Widerstandsfähigkeit gegen Wurzeleinwuchs - Anforderungen und Prüfverfahren; Deutsche Fassung EN 17970:2024.

European Environment Agency (EEA) (2012): Urban adaptation to climate change in Europe. Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies. Hrsg.: European Environment Agency. Copenhagen.

Floss, R. (2019): Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau. ZTV E-StB: Ausgabe 2017: Kommentar und Kompendium Erdbau, Felsbau, Landschaftsschutz für Verkehrswege. 5. Auflage. Bonn: Kirschbaum Verlag.

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) (2010): Empfehlungen für Baumpflanzungen. Teil 2: Standortvorbereitungen für Neupflanzungen; Pflanzgruben und Wurzelraumerweiterung, Bauweisen und Substrate.

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) (2015): Empfehlungen für Baumpflanzungen. Teil 1: Planung, Pflanzarbeiten, Pflege.

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) (2020): Baumkontrollrichtlinien – Richtlinien für Baumkontrollen zur Überprüfung der Verkehrssicherheit, 2020 (Broschüre). Online verfügbar unter: <https://shop.fll.de/de/baumkontrollrichtlinien-richtlinien-fuer-baumkontrollen-zur-ueberpruefung-der-verkehrssicherheit.html>, zuletzt geprüft am 30.05.2025.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2012): RStO 12/24: Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen. Ausgabe 2012 / Fassung 2024 Online verfügbar unter <https://www.fgsv-verlag.de/rsto-12-24>, zuletzt geprüft am 07.05.2025.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV); Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA); Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) (2013): Merkblatt Bäume, unterirdische Leitungen und Kanäle. Ausg. 2013. Köln: FGSV-Verl. (FGSV R2 - Regelwerke, 939).

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2021a): REwS – Richtlinie für die Entwässerung von Straßen, Ausgabe 2021. Online verfügbar unter <https://www.fgsv-verlag.de/rews>. zuletzt geprüft am 30.05.2025.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2021b): REwS – Richtlinien für die Entwässerung von Straßen, Ausgabe 2021, Anhänge. Online verfügbar unter: https://www.fgsv-verlag.de/pub/media/pdf/FGSV_539_Anhang_PDF_Word_Excel.zip, zuletzt geprüft am 30.05.2025.

Google (o. J.): Google Maps, zuletzt geprüft am 17.12.2024.

Klima.Werk (o.J.): Zukunftsinitiative Klima.Werk. Homepage. Online verfügbar unter: <https://www.klima-werk.de/>, zuletzt geprüft am 30.05.2025.

Kopinga, J. (1991): The effects of restricted volumes of soil on the growth and development of street trees; *Journal of Arboriculture*, March 1991, Vol. 17, No. 3, pp. 57-63

Kopinga, J. (1997): Grundlagen für die Bemessung und Anlage von Wurzelräumen für Stadtbäume; 15. Osnabrücker Baumpflegetage, 02./03.09.1997, Osnabrück, S. II-1 – II-19

NRW.BANK - Förderbank für Nordrhein-Westfalen (o. J.): Zukunftsfähige und nachhaltige Abwasserbeseitigung NRW (ZunA NRW). Online verfügbar unter <https://www.nrwbank.de/de/foerderung/foerderprodukte/60185/zukunftsaehige-und-nachhaltige-abwasserbeseitigung-nrw-zuna-nrw.html>, zuletzt geprüft am 17.12.2024.

Oke, T. R. (1973): City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* (1967) 7 (8), S. 769–779. DOI: 10.1016/0004-6981(73)90140-6.

openko.de (2023): KOSTRA-DWD-2020. öffentlich zugängliche Tabelle basierend auf den Daten des KOSTRA-DWD-2020 Atlas. Deutscher Wetterdienst. Online verfügbar unter <https://www.openko.de/>, zuletzt geprüft am 07.05.2025

Schlenkhoff A.; Kemper S.; Mayer A. (o.J.): Ableitung von extremen Niederschlagsereignissen im urbanen Raum: Leistungsfähigkeit von Straßeneinläufen, Kurzbericht zum Forschungsendbericht. Bergische Universität Wuppertal, gefördert vom Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.

https://www.lanuk.nrw.de/fileadmin/tx_mmkresearchprojects/35_Kurzbericht_BUW_Strassen_einlaeufe.pdf

Stadtentwässerungsbetriebe (StEB) Köln (2021): Wasser muss zum Baum | Agglomerationsprogramm. Online verfügbar unter <https://www.agglomerationsprogramm.de/projekte/zukunftsprojekte/pl-3/wasser-muss-zum-baum>, zuletzt geprüft am 18.12.2024.

Stadtentwässerungsbetriebe (StEB) Köln (2024): Pilotprojekt der StEB Köln für BoRSiS: Marktplatz „An der Kemperwiese“ in Köln-Dellbrück. Vortrag von K. Elis beim BoRSiS-Verbundtreffen, Mülheim an der Ruhr, 27.09.2024.

Technische Universität Dresden (o. J.): Citree - Gehölze für urbane Räume. Planungsdatenbank. Online verfügbar unter <https://citree.de/>, zuletzt geprüft am 30.05.2025.

Transforming Cities (2020): Grün-blaue Infrastruktur – Lebensraum in Städten. In: *Transforming Cities Redaktion*, 2020. Online verfügbar unter <https://www.transforming-cities.de/gruen-blaue-infrastruktur-lebensraum-in-staedten/>, zuletzt geprüft am 07.05.2025.

Umweltbundesamt (UBA) (2024): UBA Texte 133/2024: Entwicklung eines Laborprüfverfahrens zum Rückhalt von partikulären Stoffen in dezentralen

Niederschlagsbehandlungsanlagen bei Einleitung in Oberflächengewässer Übersicht zu Behandlungstechniken in Deutschland, Anlage E. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/entwicklung-eines-laborpruefverfahrens-rueckhalt_, zuletzt geprüft am 30.05.2025.

Universität Hohenheim (2022): Gartenpflege und gute gärtnerische Praxis: Hohenheimer Gärten. Online verfügbar unter <https://gaerten.uni-hohenheim.de/gaertnerischepflege>, zuletzt geprüft am 13.12.2024.

Virgil, F. (2022): Schwammstadt: ein Zukunftsmodell im Städtebau. Konzept bietet Städten Schutz vor Überschwemmungen nach Starkregen. Online verfügbar unter <https://www.gruen-in-die-stadt.de/schwammstadt/>, zuletzt geprüft am 07.05.2025

Zhang, T.; Su, X.; Wu, L. (2023): Integrating multiple comparison methods for attributing hydrological drought evolution and drought propagation: The impact of climate change cannot be ignored. *Journal of Hydrology* 621, Article 129557. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2023.129557

Anhang

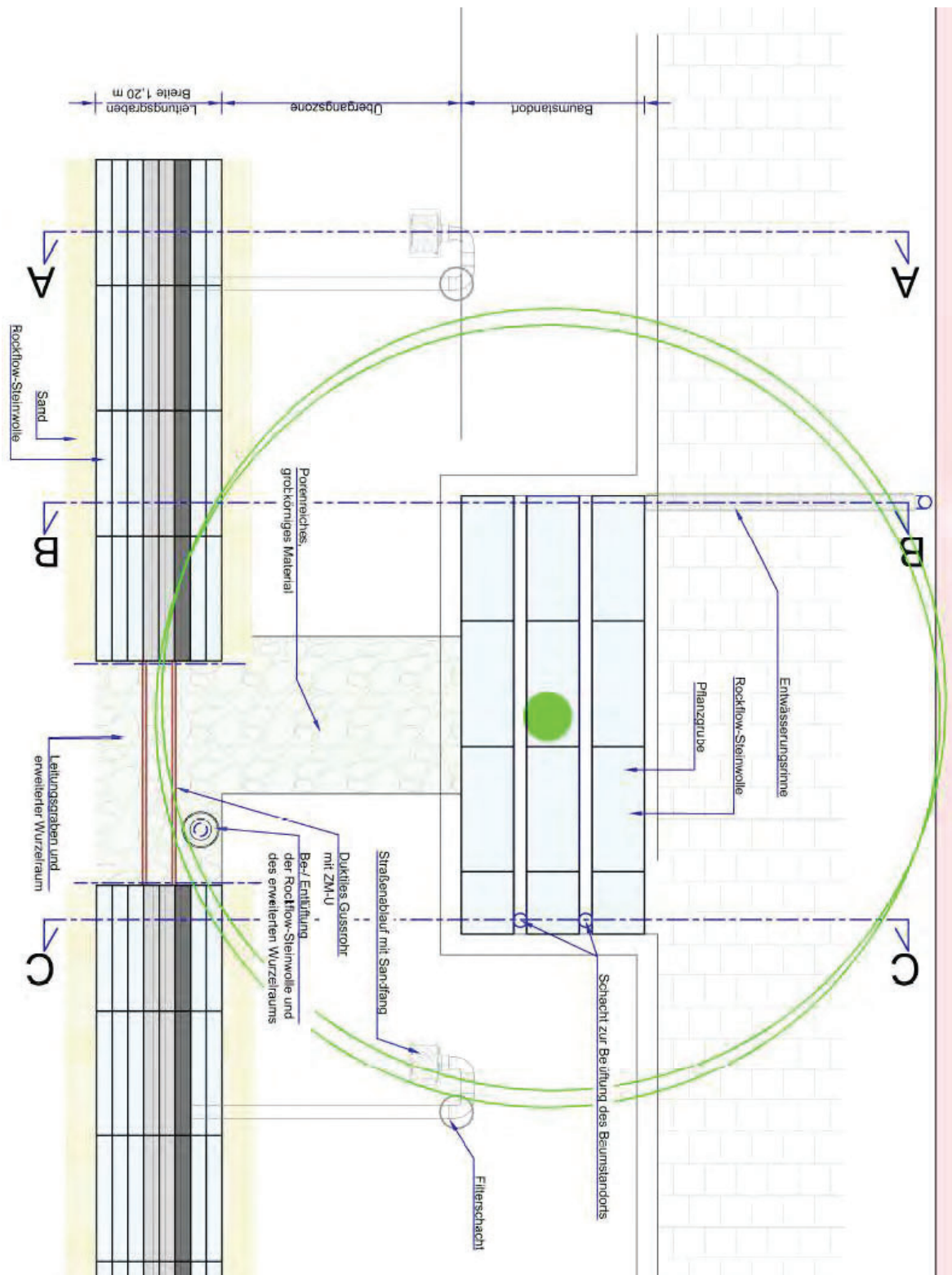


Abbildung A-1: Draufsicht auf das Boden-Rohr-System mit angeschlossenem Baumstandort (oberflächennahe Zufuhr des Niederschlagswassers)

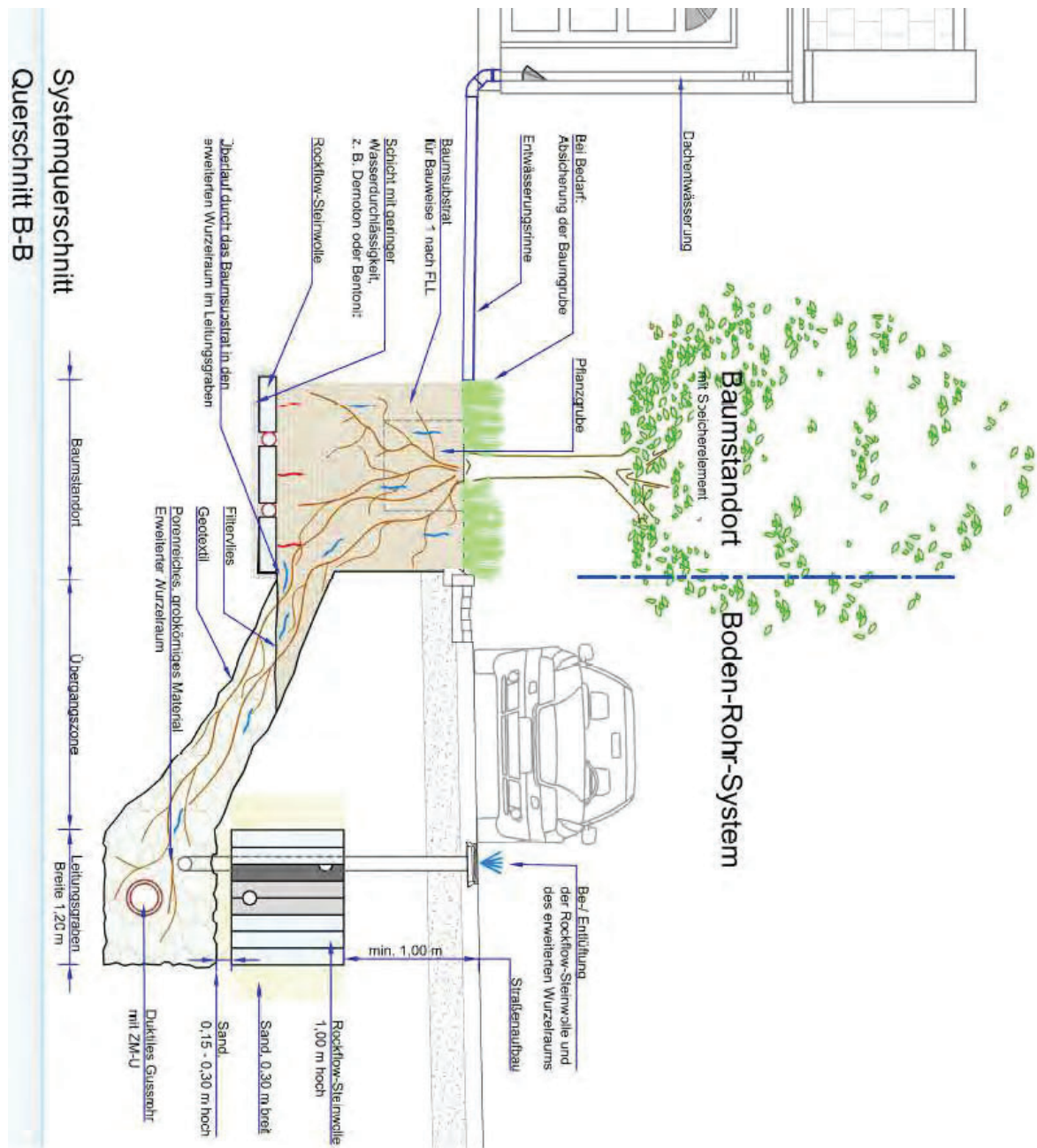


Abbildung A-2: Querschnitt B-B durch das Boden-Rohr-System mit angeschlossenem Baumstandort (oberflächennahe Zufuhr des Niederschlagswassers)

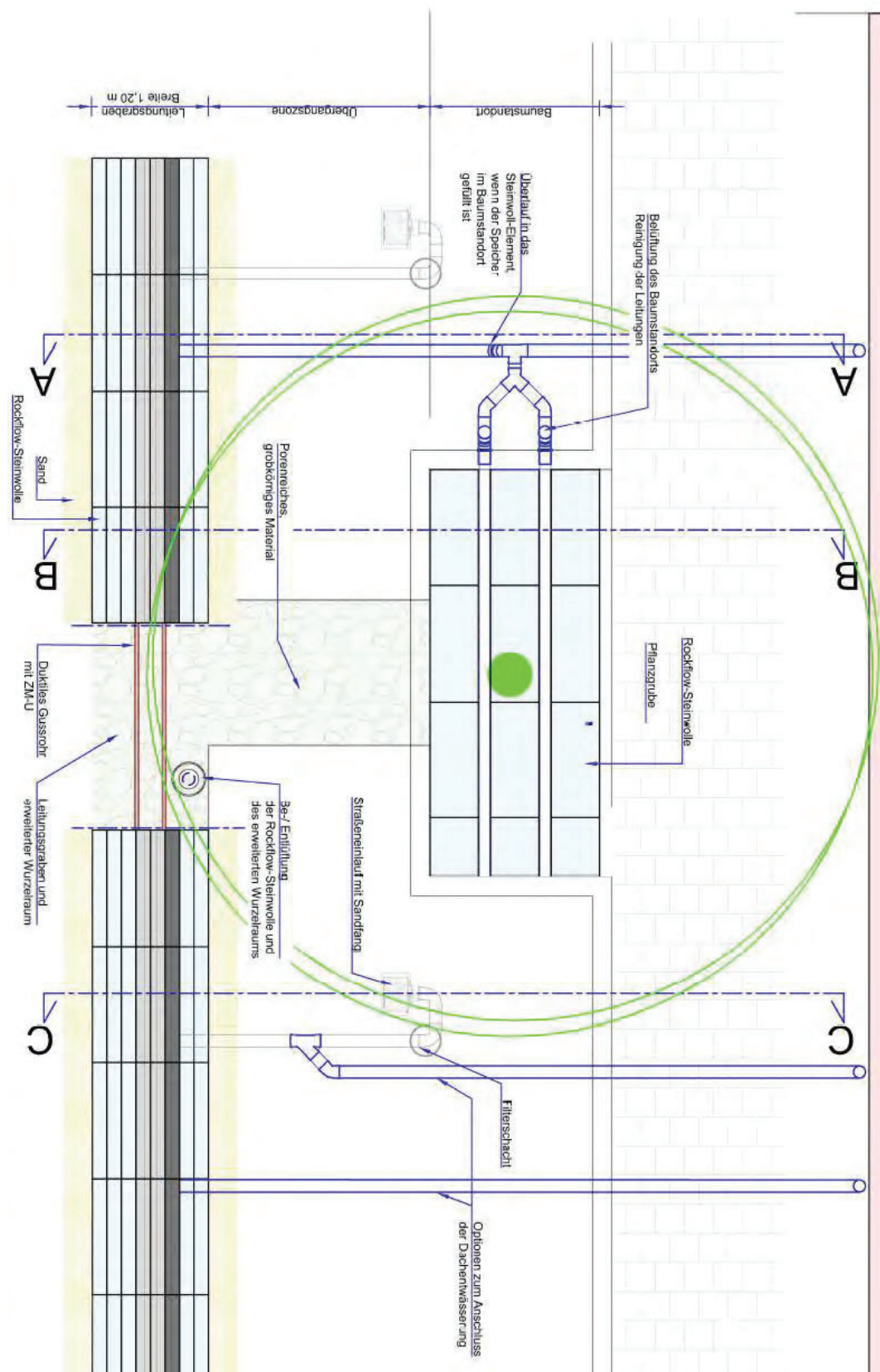


Abbildung A-3: Draufsicht auf das Boden-Rohr-System mit angeschlossenem Baumstandort (tiefliegende Zufuhr des Niederschlagswassers)

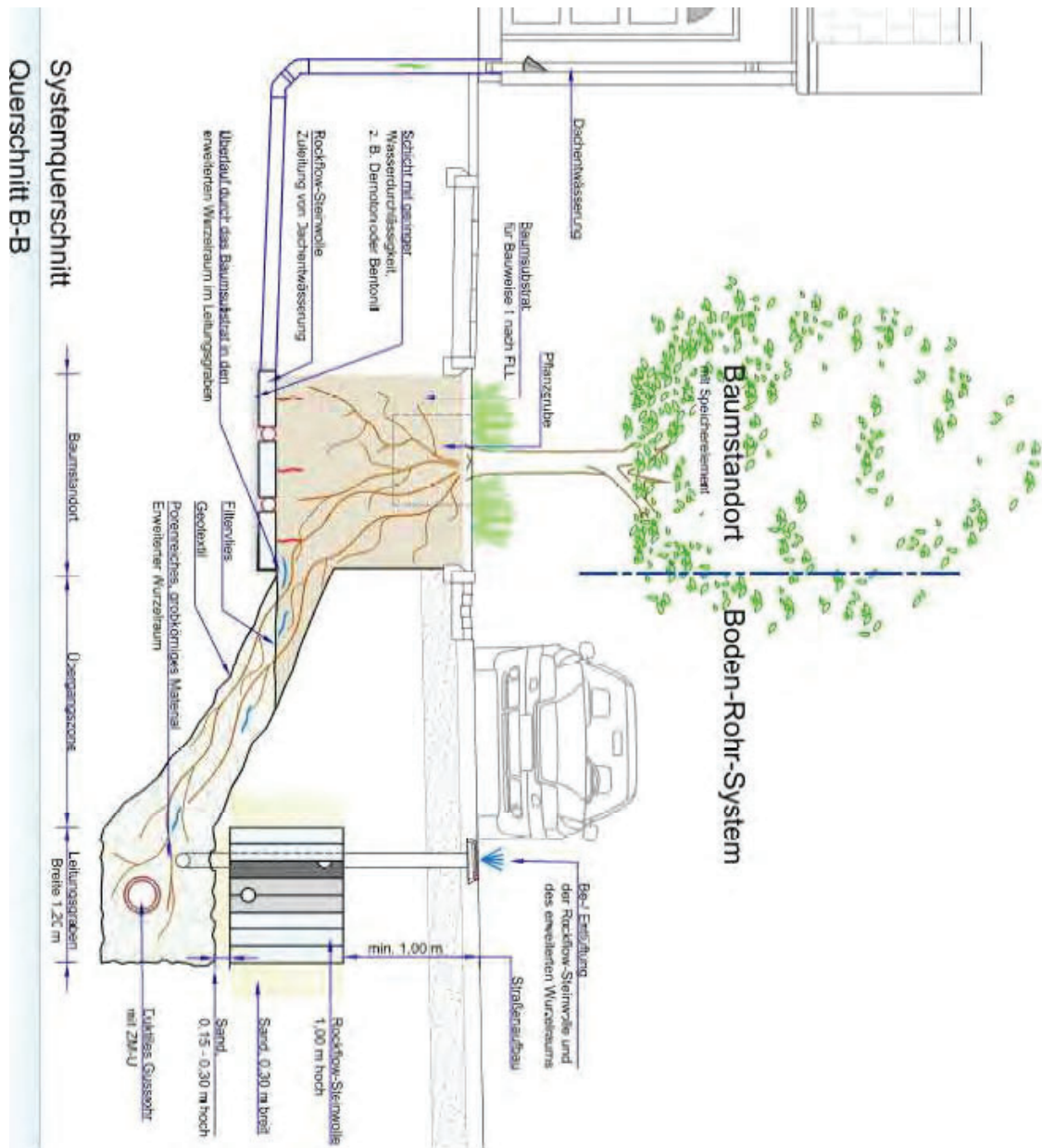


Abbildung A-4: Querschnitt B-B durch das Boden-Rohr-System mit angeschlossenen Baumstandort (oberflächennahe Zufuhr des Niederschlagswassers)

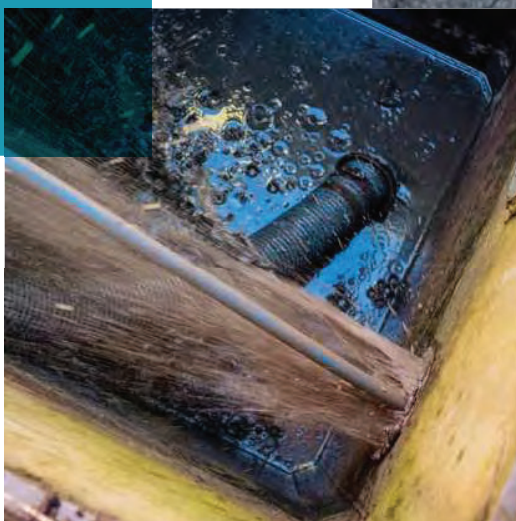


RAINWATER SYSTEMS



ROCKWOOL®

Inspektion und Reinigung
Richtlinien





Inspektion und Reinigung von Rockflow-Systemen

Die vorliegenden Richtlinien erläutern die Grundprinzipien für die Inspektion und Reinigung eines Rockflow Versickerungssystems.

Ein Rockflow-System besteht aus mehreren vertikal gestapelten und mit Wassereinlass- und Entlüftungskanälen verbundenen Steinwollblöcken.

Es nimmt über den Wasserkanal unten Wasser auf, das dann in den Speicher aus Steinwolle fließt. Die Luft macht dabei dem Wasser Platz und verlässt das System durch die Entlüftungsöffnung oben (Abb. 1).

Rockflow wurde für eine lange Lebensdauer von über

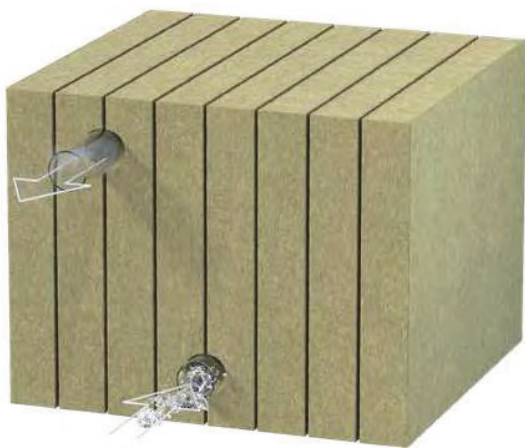


Abb. 1: Funktionsprinzip eines Rockflow-Systems:
Wassereinlasskanäle unten, Luftauslass oben.

50 Jahren konzipiert, in der das System den gesamten ankommenden Regen und Niederschlag aus seinem Einzugsgebiet auffängt, zurückhält und viele Male versickern lässt. Wie bei allen Versickerungssystemen bilden sich auch bei Rockflow Ablagerungen durch Partikel, die mit dem einströmenden Wasser eindringen. Diese gelangen nicht in die Steinwollmatrix, sondern sammeln sich mit der Zeit in den Wasserkanälen an, wodurch diese ggf. verstopfen und so Kapazität und Geschwindigkeit der Wasseraufnahme im System reduzieren.

Die gute Nachricht ist jedoch: Die Wasserkanäle lassen sich problemlos inspizieren und reinigen, was Absorptionsgeschwindigkeit und Speicherkapazität wiederherstellt und so die Systemleistung über die gesamte Lebensdauer über erhält. Andere Versickerungslösungen auf dem Markt gewährleisten dies nicht zwingend.

Das System muss nicht ständig gesäubert werden. Wie oft eine Reinigung nötig ist, hängt von zwei Hauptfaktoren ab:

1. Auftreten von Starkregenereignissen oder anderen extremen Ereignissen, wie Überschwemmungen

Ihr Rockflow-System ist so ausgelegt, dass es Regenwasser bewältigen kann, wie es zumeist innerhalb mehrerer Jahre oder gar Jahrzehnte auftritt. Solche starken Regengüsse und Wassermassen transportieren jedoch auch viele Ablagerungen in das im betroffenen Gebiet installierte Versickerungssystem. Bei extremen Regenfällen oder unerwarteten Ereignissen, wie Überschwemmungen, ist es wahrscheinlicher, dass binnen kurzer Zeit sehr viele Sedimente in das System gelangen, das dann gereinigt werden muss, um die Wasseraufnahme wiederherzustellen.

2. Die Sedimentart im Auffangbereich des Systems

Die Art der Sedimente, mit denen Ihr System konfrontiert wird, ist ortsabhängig. Ist Ihr System bspw. in einem Gebiet mit vielen Bäumen und Pflanzen installiert, enthält es wahrscheinlich mehr (von Blättern, Samen oder kleinen Ästen stammende) organische Sedimente als vergleichbare Systeme in Industriegebieten. Ebenfalls entscheidend ist die Art des Bodens: Schlack oder Lehmartikel verstopfen die Kanäle tendenziell schneller als Sand.

Erst inspizieren, dann reinigen

Da sich obige Faktoren je nach System unterscheiden, lässt sich die genaue Inspektions- und Reinigungshäufigkeit nur schwer vorhersagen. Deshalb sollten Sie Ihr System zunächst inspizieren, um zu prüfen, ob es gereinigt werden muss.

Der richtige Zeitpunkt für Inspektion und Reinigung: Die Zweierregel

Als Faustregel sollten Sie Ihr System möglichst etwa zwei Jahre nach dem Einbau erstmalig inspizieren. Liegen auf den Böden der Wasserkanäle Ablagerungen von über 2 cm, sollten Sie die Kanäle reinigen.

Bei dünneren Schichten können Sie eine weitere Inspektion in 2 Jahren planen (oder früher, je nach der in den Kanälen festgestellten Sedimentbelastung).

War Ihr System extremem Regen oder einer anderen Art Überschwemmung ausgesetzt, sollten Sie es kurz darauf inspizieren, um festzustellen, ob es gereinigt werden muss (Abb. 2).

Hinweis: Dazu brauchen Sie aber nicht alle Kanäle zu prüfen, sondern (bei Mehrkanalsystemen) nur einige. Sie müssen auch nicht die gesamte Kanallänge inspizieren.

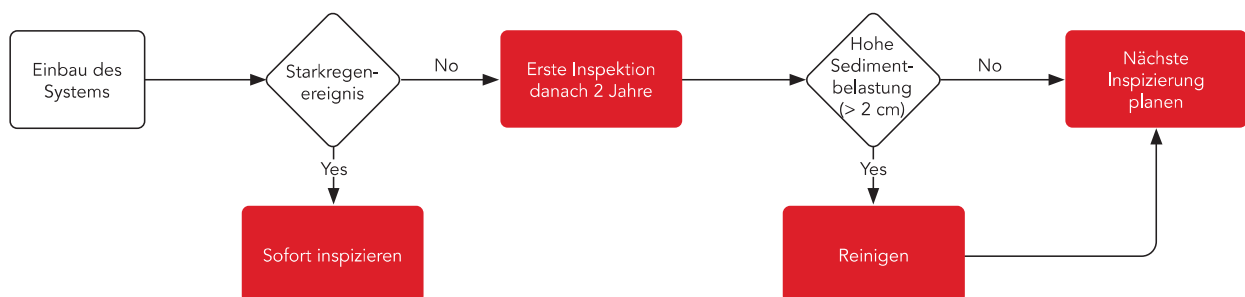


Abb. 2: Der richtige Zeitpunkt für die Inspektion oder Reinigung eines Rockflow-Systems

So inspizieren Sie ein Rockflow-System

Rockflow-Systeme (genauer: die in ihnen enthaltenen Wasserkanäle) lassen sich visuell mittels Roboter- oder Schiebekamera inspizieren. Das Werkzeug richtet sich nach den örtlichen Gegebenheiten:

- Die Roboterkamera (Abb. 3) ist vorzuziehen, da sie höher auflösende Bilder liefert, ist aber nur bei geradem Zugang zum Wasserkanal geeignet. Sie kann nicht um Kurven navigieren oder in sehr engen Schächten eingesetzt werden.
- Eine Schiebekamera ist flexibler, kann fast alle Kurven meistern, liefert aber qualitativ schlechtere Bilder.



Tipp: Die meisten Kanalinstandhaltungsfirmen verleihen die für eine Inspektion erforderlichen Geräte.

So inspizieren Sie Ihr Rockflow-System:

- 1 Öffnen Sie den Schacht.
- 2 Führen Sie die Kamera vor den gewünschten Kanal.
- 3 Schieben Sie die Kamera in den Kanal.
- 4 Analysieren Sie die Kamerabilder nach der folgenden visuellen Checkliste.



Abb. 3: Roboterkamera

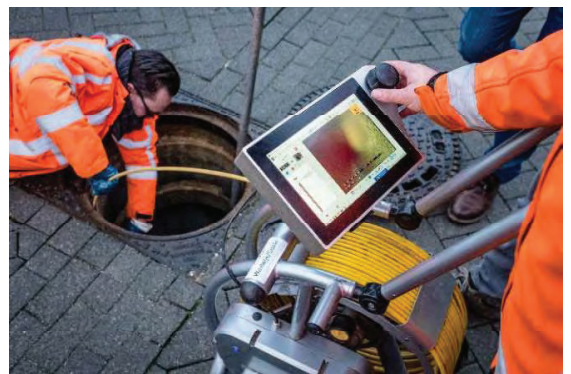


Abb. 4: Schiebekamera

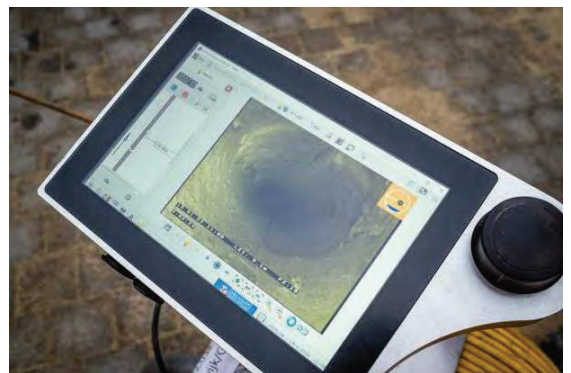


Abb. 5: Darstellung per Kamera

Visuelle Checkliste

Befindet sich auf dem Boden des Wasserkanals eine sichtbare Sedimentschicht?

A

Nein, der Kanal ist sauber
> Kein Handlungsbedarf



Abb. 6: Beispiel für einen sauberen Kanal (nach erfolgter Reinigung)

B

Ja, aber die Schicht ist dünn
> Kein sofortiger Handlungsbedarf, terminieren Sie jedoch eine neue Inspektion



Abb. 7: Beispiel für eine typische Sedimentschicht von unter 2 cm

C

Ja, die Sedimentschicht ist stärker als 2 cm
> **Reinigen Sie den Kanal**



Abb. 8: Beispiel für eine Sedimentschicht von über 2 cm

D

Der gesamte Kanalumfang enthält Sedimente, und die Steinwollstruktur ist nicht mehr sichtbar
> **Reinigen Sie den Kanal**



Abb. 9: Beispiel für Sedimente auf der gesamten Kanaloberfläche

Weist der sichtbare Wasserkanal Wurzelwachstum/-durchdringung auf?

Diese Erscheinung ist möglich, aber selten und beeinträchtigt u. U. den Wasserfluss im Kanal, nicht jedoch, wie schnell die Steinwolle das Wasser aufnimmt. Die Wurzeln können Sie abschneiden bzw. abfräsen.

> **Kontaktieren Sie das Rockflow-Team**



Abb. 10: Beispiel für in den Kanal hineinwachsende Haarwurzeln

Gibt es in den Kanälen Spuren von Tieren?

Steinwolle ist tierfreundlich, so dass Sie durchaus Spinnen und andere Insekten oder sogar Frösche vorfinden können, die aber für das System unschädlich sind.

> Kein Handlungsbedarf

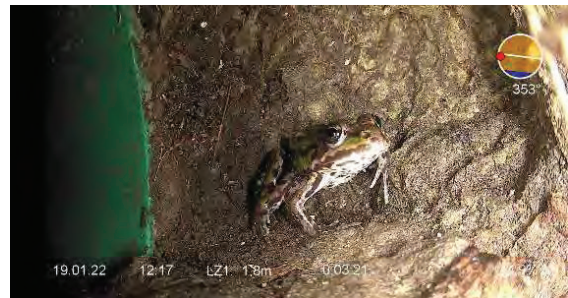


Abb. 11: Beispiel für einen Frosch in einem Kanal

So reinigen Sie ein Rockflow-System

Sie können Rockflow-Kanäle mittels Wasserdruck (50-80 bar) säubern. Dazu benötigen Sie eine Düse (0-15° oder rückwärts sprühend). Mit einer vorwärts sprühenden Düse können Sie bequem große Sedimentstücke aufbrechen.

So reinigen Sie Ihr Rockflow-System:

- 1 Öffnen Sie den Schacht.
- 2 Setzen Sie die Düse vor das Rohr oder den Kanal, das bzw. den Sie reinigen wollen.
- 3 Stellen Sie den Wasserdruck ein (50–80 bar).
- 4 Stützen Sie den Schlauch ab und platzieren Sie die Düse in den Kanal. Prinzipiell müssten Sie den Schlauch 20–40 m in den Kanal einführen können. Längere Kanäle sollten Sie von zwei Seiten reinigen.
- 5 Bei einer sehr starken Sedimentbelastung können Sie die Schicht mit einer Vorwärtssprühdüse aufbrechen, bevor Sie mittels Rückwärtssprühdüse reinigen.
- 6 Hat die Düse die gewünschte bzw. maximale Kanaltiefe erreicht, ziehen Sie den Schlauch zu sich. Das Sediment gelangt dann zurück zum Schacht, wo es aufgesaugt werden kann (Abb. 13)



Abb. 12: 0–5° oder Rückwärtssprühdüse



Abb. 13: Sedimente werden aus dem Kanal in den Schacht geschoben

Prävention

Damit keine Sedimente in das Rockflow-System gelangen können, sollten Sie mit dem System verbundene Schächte und Sandfänge regelmäßig säubern. Dies ist besonders wichtig, wenn ein neues System in Betrieb geht, da es oft von unbebautem Land umgeben ist oder viel Mörtel verwendet wird. Hierdurch können schon frühzeitig viele Ablagerungen in die Rockflow-Kanäle gelangen. Folglich raten wir Ihnen, die Sandfänge in den Gullys zusätzlich zu reinigen.

ROCKWOOL Group is the world leader in stone wool products, from building insulation to acoustic ceilings, external cladding systems to horticultural solutions, engineered fibres for industrial use to insulation for the process industry and marine & offshore. We are committed to enriching the lives of everyone who experiences our products and services, and to helping customers and communities tackle many of today's biggest sustainability and development challenges including energy consumption, noise pollution, fire resilience, water scarcity, urban flooding and more.

RAINWATER SYSTEMS



ROCKWOOL®

Besuchsadresse

ROCKWOOL Rainwater Systems

Delfstoffenweg 2
6045 JH Roermond
Niederlande

Postanschrift

ROCKWOOL Rainwater Systems

P.O. Box 1160
6040 KD Roermond
Niederlande

Tel: +31 4 75 35 35 55
E-Mail: rain@rockwool.com
rain.rockwool.com

Rechenvorschrift für die Dimensionierung des Boden-Rohr-Systems



Die Rechenvorschrift wurde im Rahmen des
BMBF-Verbundforschungsprojekts

**BoRSiS – Boden-Rohr-System als innovatives Element der klimaangepassten
Stadtentwässerung (Förderkennzeichen 13FH002KA0) im
Zeitraum 01.10.2021 – 31.12.2024 von folgenden Projektbeteiligten erarbeitet**

Prof. Dr. Markus Quirnbach (Verbundkoordinator), Henrike Walther, Saphira Schnaut (Hochschule Ruhr West, Lehrgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Hydrologie und Wasserbau)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Das vorliegende Dokument dient als Berechnungsgrundlage für die Dimensionierung eines BoRSiS-Standardelements. Die einzelnen Schritte, die zur korrekten Dimensionierung führen, werden dabei detailliert beschrieben, durch entsprechende Formeln untermauert und anhand eines Beispiels veranschaulicht.

Auf Anfrage kann ein Excelsheet zur Verfügung gestellt werden, das es ermöglicht, die Dimensionierung des Systems an individuelle Anforderungen anzupassen. Die Berechnungen im Excelsheet basieren auf den in diesem Dokument erläuterten Formeln.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
1 Systemskizzen des Boden-Rohr-Systems	1
2 Anrechnung von verfügbarem Speichervolumen	2
3 Bestimmung des verfügbaren Speichervolumens.....	4
3.1 Speichervolumen innerhalb des Steinwollkörpers.....	4
3.2 Speichervolumen innerhalb der Sandschicht.....	4
3.3 Speichervolumen innerhalb der Leitungszone	4
3.4 Verfügbares Gesamtvolumen innerhalb des Leitungsgrabens	5
3.5 Verfügbares Speichervolumen in Bezug auf eine(n) Haltung/ Straßenabschnitt.....	5
4 Angeschlossene Flächen	6
4.1 Gehwege und Straßen	6
4.2 Dach- und Privatflächen.....	6
4.3 Angeschlossene Gesamtfläche an eine Haltung	7
5 Dimensionierung einer Haltung.....	8
5.1 Zulässiges Niederschlagsvolumen (ohne Versickerungsleistung).....	8
5.2 Zulässige angeschlossene Fläche (ohne Versickerungsleistung)	9
5.3 Zulässiges Niederschlagsvolumen (mit Versickerungsleistung)	10
5.4 Zulässige angeschlossene Fläche (mit Versickerungsleistung)	12
Literaturverzeichnis	13

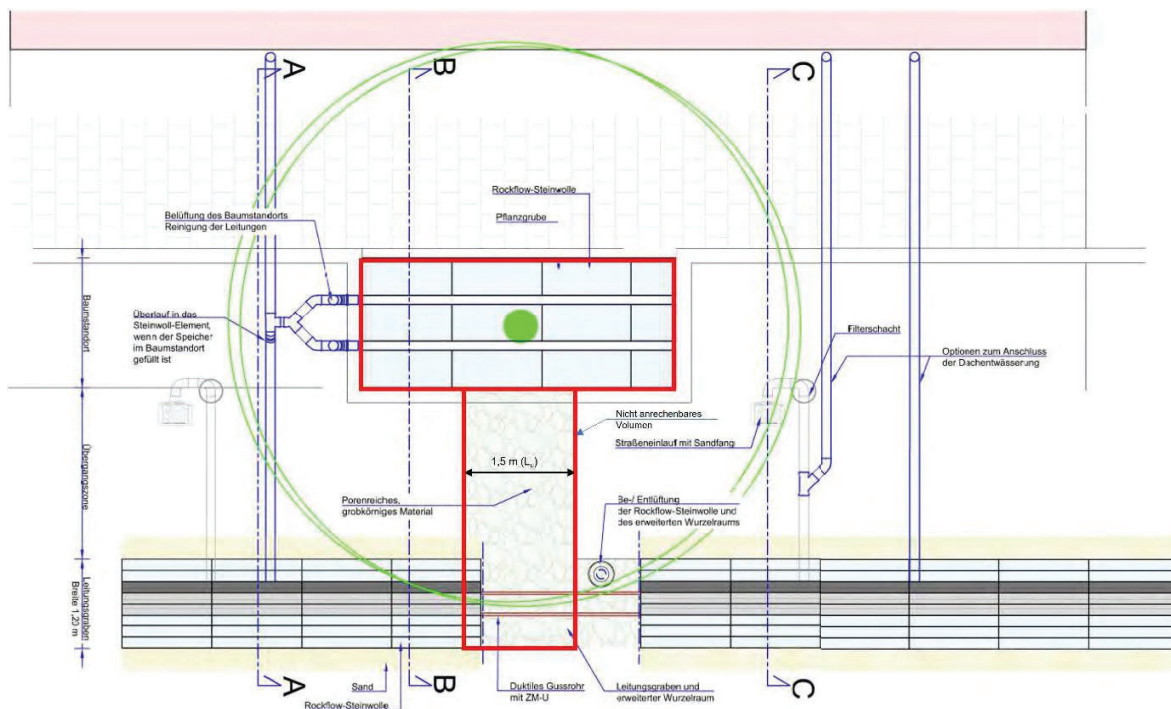
Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lageplan des BoRSiS-Standardelements.....	1
Abbildung 2:	Systemquerschnitt durch ein BRS – Standardelement	2
Abbildung 3:	Aufbau und Elemente eines Leitungsgrabens Bettungstyp 1 nach EN 1610 (2015)	3
Abbildung 4:	Aufbau des Boden-Rohr-Systems im Leitungsgraben, eigene Darstellung nach C. Bennerscheidt.....	3
Abbildung 5:	KOSTRA-DWD-2020 Tabelle des Rasterfeld 137102 der Stadt Leichlingen, bereitgestellt von der Plattform openko.de. Die für das Beispiel aus Kapitel 5.1 (ohne Versickerungsleistung) relevanten Werte sind rot markiert, die aus Kapitel 5.3 relevanten Werte (mit Versickerungsleistung) sind grün markiert.....	9

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
A	Fläche
a	Jahre
b	Breite
Bst	Baumstandort
D	Dauerstufe
d	Durchmesser
Da	Dach
G	Gehweg
ges	gesamt
H	Haltung (Straßenabschnitt)
h	Höhe
HoBst	Haltung ohne Baumstandort
k	Durchlässigkeitsbeiwert bzw. hydraulische Leitfähigkeit des Bodens bzgl. Wasser gemäß DWA-A 138-1
k _f	Durchlässigkeitsbeiwert bzw. hydraulische Leitfähigkeit eines wasser-gesättigten Bodens gemäß DWA-A 138-1
k _i	Bemessungsrelevante Infiltrationsrate (in der Regel wasserungesät-tigte Verhältnisse) gemäß DWA-A 138-1
L	Länge
L ₁	laufender Meter Leitungszone
l	Liter
Le	Leitungszone
L _ü	Länge des Übergangsbereichs
lfd.m	laufender Meter
m	Meter
min	Minuten
N	Niederschlag
n	Porenvolumen
Q _s	Versickerungsrate
R	Rigole
r	Radius
St	Steinwollkörper
Str	Straße
T	Wiederkehrzeit
t	Tiefe (eines Gebäudes)
Ü	Übergangszone zwischen Baumstandort und Leitungszone
V	Volumen
zul	zulässig

Das Boden-Rohr-System (BRS) verbindet Baumstandorte mit bestehenden Leitungsgräben und Regenwasser-Speicherelementen und bietet somit eine nachhaltige Lösung zur Verbesserung der urbanen Baumversorgung. Durch die Nutzung der Leitungsgräben innerhalb von Straßen als Speicherraum für Niederschlagswasser und als erweiterten Wurzelraum für Stadtbäume wird zusätzlicher Platzbedarf an der Oberfläche vermieden. Für eine genaue Dimensionierung des Systems ist es wichtig, dessen Aufbau zu verstehen. Der Lageplan (Abbildung 1) verdeutlicht, wie ein Standardelement im Straßenraum eingebaut werden sollte.



Für ein tieferes Verständnis der Systemposition im Straßenraum zeigt Abbildung 2 den Systemquerschnitt B-B. Abbildung 1 und Abbildung 2 stellen schematische Darstellungen des Systems dar, die je nach Individualfall aber abweichen können. Weitere Details zum Systemaufbau sind der Handlungsempfehlung zu entnehmen. Dort wird zudem eine Variante dargestellt, die eine oberflächennahe Zufuhr des Niederschlagswassers von Dachflächen vorsieht. Da die Gestaltung des Baumstandortes sowie die Zufuhr des Niederschlagswassers keinen Einfluss auf die Dimensionierung haben, werden diese möglichen Unterschiede bei den folgenden Ausführungen nicht weiter berücksichtigt. Die Dimensionierung erfolgt auf Basis der bestehenden Regelwerke (FLL, 2010; DWA 2024a; DWA, 2024b) und wird für ein Starkregenereignis mit der Wiederkehrzeit von $T = 20$ a ausgelegt.

1

2 Anrechnung von verfügbarem Speichervolumen

System, bestehend aus Steinwolleelement, Sandschicht und darunter liegender Leitungszone entspricht einem Leitungsgraben. Das Gesamtkonstrukt (inkl. der Übergangsbereiche zu den Baumstandorten) wird nachfolgend als Boden-Rohr-System (BRS) bezeichnet.

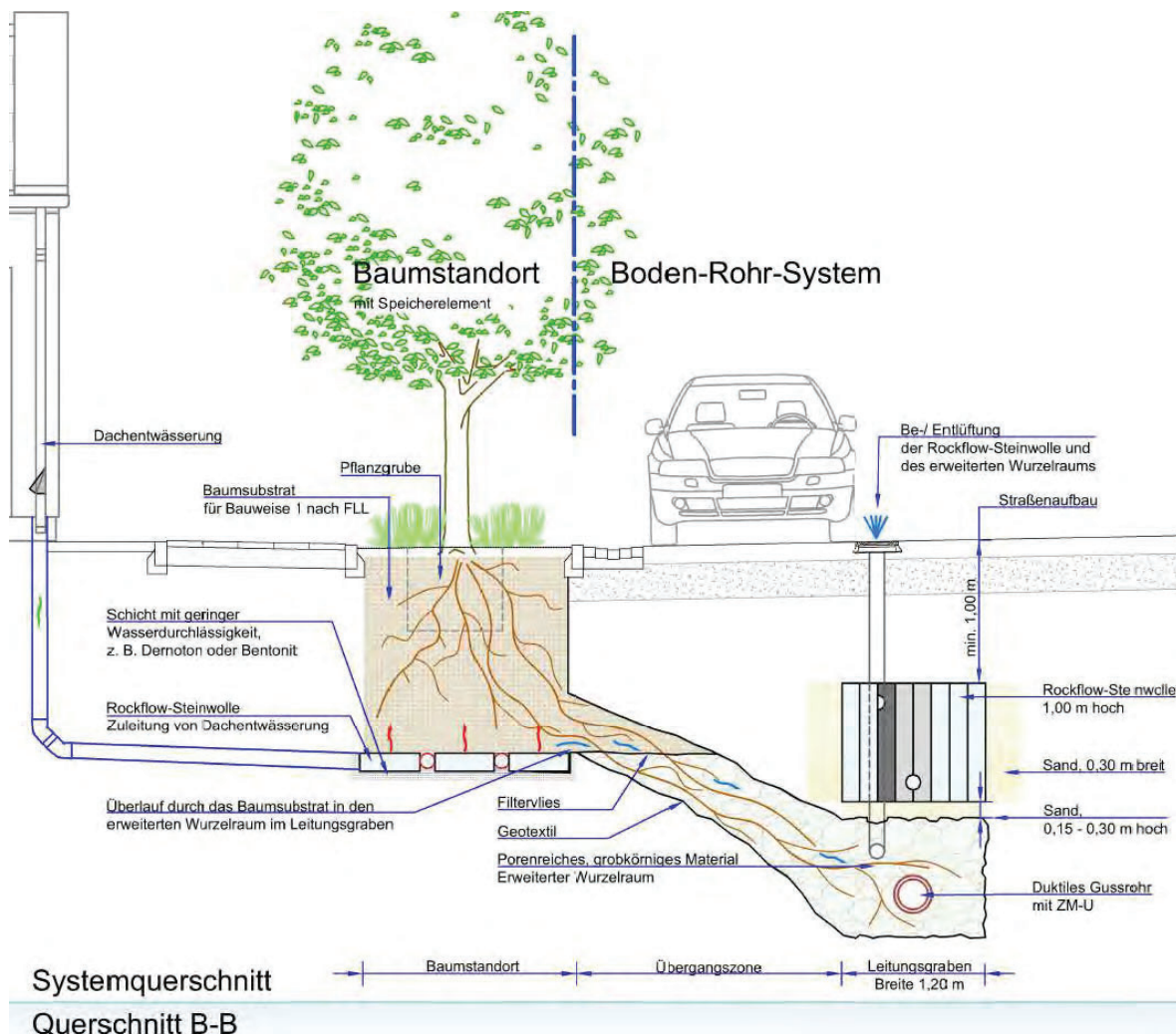


Abbildung 2: Systemquerschnitt durch ein BRS – Standardelement

2 Anrechnung von verfügbarem Speichervolumen

Eine häufig gestellte und bisher nicht hinreichend beantwortete Frage im Zusammenhang mit der Dimensionierung von Baumrigolen ist die Reduzierung des Speicher- (Poren-) Raums durch den Wurzeleinwuchs. Grundsätzlich sind der Speicher für das Niederschlagswasser und der Wurzelraum voneinander getrennt. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass auch in den Grobporen des Wurzelraums Wasser gespeichert werden kann.

In der Dimensionierungsvorschrift für das BRS wird deshalb folgender Ansatz gewählt: Es wird davon ausgegangen, dass im Laufe der Zeit Pflanzgrube, Übergangszone zum Leitungsgraben und ein Teil des Leitungsgrabens auf der Länge des Übergangsbereichs L_0 [m] vollständig durchwurzelt werden (rot markierte Bereiche in Abbildung 1). Aus Abbildung 2 kann entnommen werden, wie die Wurzeln sich innerhalb des Systems ausbreiten und durch die

Übergangszone in die Leitungszone einwurzeln. In der Praxis werden sich die Wurzeln jedoch über die festgelegte Länge L_0 [m] hinaus in der Leitungszone ausbreiten. Gleichzeitig wird der Porenraum des in Abbildung 1 rot markierten „nicht anrechenbaren Volumens“ nicht vollständig von Wurzeln durchdrungen. Diese Annahme gilt insbesondere für das Steinwollelement im oberen Bereich des Leitungsgrabens. Es wird davon ausgegangen, dass sich diese beiden Effekte weitgehend ausgleichen und Unterschiede somit vernachlässigbar sind. In Abbildung 3 wird der Aufbau eines Leitungsgrabens mit Bettungstyp 1 nach EN 1610 (2015) dargestellt. In Anlehnung an diese Norm wurde der Leitungsgraben des BRS im Rahmen des BoRSiS-Projekts gestaltet (Abbildung 4).

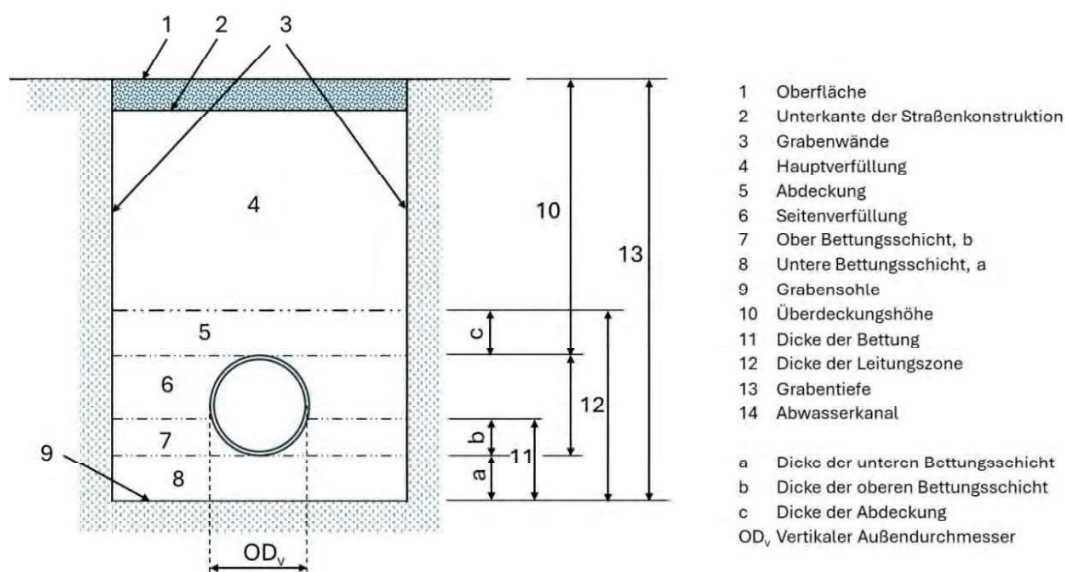


Abbildung 3: Aufbau und Elemente eines Leitungsgrabens Bettungstyp 1 nach EN 1610 (2015)

1. **Duktiles Gussrohr nach EN 598 mit Zementmörtel-Umhüllung nach EN 15542**
2. **(a) Rohrbettung**
(b) Seitenverfüllung
(c) Überdeckung, jeweils nach EN 1610 aus zugelassenem porenreichen, grobkörnigen Material (z. B. 32/64 mm)
3. **Ausgleichsschicht, Schichtdicke 0,15-0,3 m mit Sand**
4. **Geotextil umschließt den Wurzelraum und dient als Übergang zu den Rockflow-Elementen**
5. **Seitenverfüllung aus Sand, 0,3 m**
6. **Rockflow-Elemente**
7. **Sickerrohr**
8. **Straßenaufbau**

Skizze nicht maßstäblich!

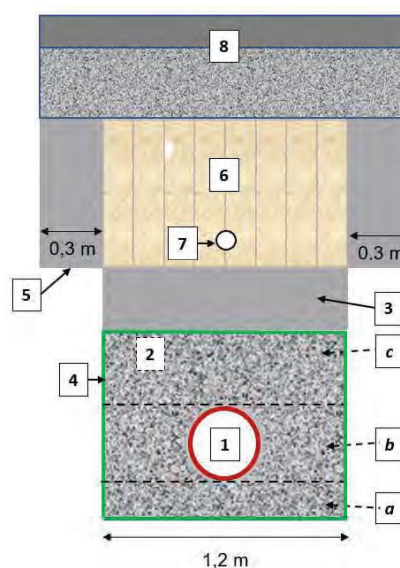


Abbildung 4: Aufbau des Boden-Rohr-Systems im Leitungsgraben, eigene Darstellung nach G. Bennerscheidt

3 Bestimmung des verfügbaren Speichervolumens

Für das verfügbare Speichervolumen wird ein laufender Meter (lfd.m) BRS bzw. Leitungsgraben (L_1), wie in Abbildung 4 dargestellt, außerhalb der Länge des Übergangsbereichs L_0 [m] berücksichtigt. In den nachfolgenden Berechnungen können bei den Ergebnissen Abweichungen aufgrund von Rundungen auftreten. Es werden bei den Ergebnissen jeweils die Werte angegeben, die sich aus der Berechnung mit dem korrespondierenden Excelsheet ergeben.

3.1 Speichervolumen innerhalb des Steinwollkörpers

Ermittlung des verfügbaren Speichervolumens innerhalb des Steinwollkörpers (mit einem Porenvolumen n_{St}) pro lfd.m:

$$V_{St} = n_{St} \times b_{St} \times h_{St} \times L_1 [m^3] \text{ pro lfd.m} \quad (1a)$$

Umrechnung von m^3 in l pro lfd.m:

$$V_{St} = n_{St} \times b_{St} \times h_{St} \times L_1 \times 1.000 [l] \text{ pro lfd.m} \quad (1b)$$

Beispiel: mit $n_{St} = 0,95$, $b_{St} = 1,2$ m, $h_{St} = 1$ m und $L_1 = 1$ m (pro lfd.m):

$$V_{St} = 0,95 \times 1,2 \times 1 \times 1 \times 1.000 = 1.140 \text{ l pro lfd.m}$$

Im Steinwollkörper können für das gewählte Beispiel pro lfd.m maximal 1140 l Wasser gespeichert werden.

3.2 Speichervolumen innerhalb der Sandschicht

Die Sandfüllungen in der Zwischenschicht sowie an den Rändern der Steinwollelemente dienen der mittelfristigen Speicherung des Niederschlagswassers, welches zeitverzögert in die Leitungszone bzw. zu den Wurzeln in der Leitungszone abgegeben wird. Daher wird dieses Volumen bei der Berechnung des Gesamtspeichervolumens nicht berücksichtigt. Diese Methode stellt eine sichere Herangehensweise dar, da in der Regel zumindest die seitliche Sandverfüllung Wasser aufnehmen kann. In kritischen Fällen sollte dieses Volumen gegebenenfalls als Speicherraum berücksichtigt werden.

3.3 Speichervolumen innerhalb der Leitungszone

Des Weiteren ist das verfügbare Volumen in der Leitungszone zu ermitteln. Es wird eine Leitungszone mit der Höhe h_{Le} , der Breite b_{Le} und einem Porenvolumen n_{Le} in Abhängigkeit vom Verfüllmaterial berücksichtigt. Von diesem Volumen ist der Querschnitt des Leitungsrohres mit dem Außendurchmesser d_a abzugiehen. Die Berechnung erfolgt pro lfd.m:

$$V_{Le} = n_{Le} \times (b_{Le} \times h_{Le} - \pi \times \frac{d_a^2}{4}) \times L_1 [m^3] \text{ pro lfd.m} \quad (2a)$$

Umrechnung von m^3 in l pro lfd.m:

$$V_{Le} = n_{Le} \times (b_{Le} \times h_{Le} - \pi \times \frac{d_a^2}{4}) \times L_1 \times 1.000 [l] \text{ pro lfd.m} \quad (2b)$$

3 Bestimmung des verfügbaren Speichervolumens

Beispiel: mit $n_{Le} = 0,4$ (16/32 Körnung), $b_{Le} = 1,2$ m, $h_{Le} = 1$ m, $L_1 = 1$ m und DN 300 ($d = 0,34$ m):

$$V_{Le} = 0,4 \times \left(1,2 \times 1 - \pi \times \frac{0,34^2}{4} \right) \times 1 \times 1.000 = 444 \text{ l pro lfd. m}$$

Im Verfüllmaterial der Leitungszone können für das gewählte Beispiel pro lfd.m maximal 444 l Wasser gespeichert werden.

3.4 Verfügbares Gesamtvolumen innerhalb des Leitungsgrabens

Das verfügbare Speichervolumen im Leitungsgraben (außerhalb der Länge des Übergangsbereichs $L_{Ü}$ [m]) pro lfd.m, basierend auf den vorangegangenen Gleichungen (a) [m^3], ergibt sich wie folgt:

$$V_{ges} = V_{St} + V_{Le} [m^3] \text{ pro lfd. m} \quad (3a)$$

Gleichung auf Basis der vorangegangenen Gleichungen (b) [l] pro lfd.m:

$$V_{ges} = V_{St} + V_{Le} [l] \text{ pro lfd. m} \quad (3b)$$

Beispiel: basierend auf den Gleichungen (b) pro lfd.m:

$$V_{ges} = 1140 + 444 = 1.584 \text{ l pro lfd. m}$$

Im Leitungsgraben können für das gewählte Beispiel pro lfd.m insgesamt maximal 1.584 l Wasser gespeichert werden.

3.5 Verfügbares Speichervolumen in Bezug auf eine(n) Haltung/ Straßenabschnitt

Bei dieser exemplarischen Berechnung wird davon ausgegangen, dass die an das BRS angeschlossenen Bäume in einem Abstand von 20 m gepflanzt werden. Die Länge der eigentlichen Rohrleitung (Haltung) kann davon abweichen. Beim Berechnen des gesamten Speichervolumens ist zu beachten, dass nicht die gesamte Länge der Haltung verwendet wird. Wie zuvor beschrieben, wird die Länge des Übergangsbereichs $L_{Ü}$ [m] nicht in die Berechnung mit einbezogen, wobei $L_{Ü}$ mindestens 1,5 m betragen sollte. Daraus ergibt sich:

$$L_{HoBst} = L_H - (\text{Anzahl der Baumstandorte} \times L_{Ü}) [m] \quad (4)$$

Beispiel: mit einer Haltung der Länge $L_H = 20$ m und einem Baumstandort mit einer Übergangszone zwischen Baumstandort und Leitungsgraben mit der Länge $L_{Ü} = 1,5$ m ergibt sich:

$$L_{HoBst} = 20 - (1 \times 1,5) = 18,5 \text{ m}$$

Das verfügbare Speichervolumen pro Haltung oder Straßenabschnitt mit der Länge L_{HoBst} (außerhalb des Übergangsbereichs) kann auf Basis der vorangegangenen Gleichungen (a) wie folgt ermittelt werden:

$$V_H = V_{ges} \times L_{HoBst} [m^3] \quad (5a)$$

4 Angeschlossene Flächen

Beispiel: mit einer Länge für $L_{HoBst} = 18,5$ m kann das Volumen der Haltung auf Basis der Gleichungen (a) wie folgt berechnet werden:

$$V_H = 1,584 \times 18,5 \approx 29,3 \text{ m}^3$$

Auf Basis der vorangegangenen Gleichungen (b) kann das Volumen der Haltung/ eines Straßenabschnitts wie folgt beschrieben werden:

$$V_H = V_{ges} \times L_{HoBst} \quad [l] \quad (5b)$$

Beispiel: mit einer Länge für $L_{HoBst} = 18,5$ m kann das Volumen der Haltung auf Basis der Gleichungen (b) wie folgt berechnet werden:

$$V_H = 1.584 \times 18,5 \approx 29.298 \text{ l} \approx 30 \text{ m}^3$$

In einer Haltung können (für das gewählte Beispiel) pro lfd.m maximal 30 m^3 Wasser gespeichert werden, wenn das Speichervolumen auf Höhe des Übergangsbereichs vernachlässigt wird.

4 Angeschlossene Flächen

In diesem Kapitel werden alle potenziell anschließbaren Flächen berücksichtigt. Dies beinhaltet auch die Flächen auf Höhe der Baumscheibe bzw. des Übergangsbereichs. Die Flächen können pro laufenden Meter i) oder als Gesamtfläche ii) angegeben werden. Die Abflussbeiwerte werden bei Dachflächen und asphaltierten Straßen als Puffer gegen eine Unterdimensionierung nicht berücksichtigt. Sollten versickerungsfähige Einfahrten oder Wege angeschlossen werden, ist dagegen ein Abflussbeiwert anzusetzen.

4.1 Gehwege und Straßen

- i) Im Folgenden wird die anzuschließende Fläche einer Straße inklusive deren Gehwege pro lfd.m berücksichtigt:

$$A_{Str} = (b_{Str} + b_G) \times L_1 \text{ [m}^2\text{]} \text{ pro lfd. m} \quad (6)$$

Beispiel: eine verkehrsberuhigte Straße (Wohnstraße) mit der Breite $b_{Str} = 5$ m und einer Gehwegbreite $b_G = 1,5$ m für einen lfd.m:

$$A_{Str} = (5 + 1,5) \times 1 = 6,5 \text{ m}^2 \text{ pro lfd. m}$$

Für das gewählte Beispiel ergibt sich eine anschließbare Gehweg- und Straßenfläche von $6,5 \text{ m}^2$ pro lfd.m.

- ii) Alternativ können auch bekannte Straßenflächen pro Haltung $[\text{m}^2]$ berechnet und berücksichtigt werden.

4.2 Dach- und Privatflächen

Im Folgenden werden Dachflächen und Privatflächen als anschließbare Flächen berücksichtigt (A_{Da}). Dabei werden befestigte Flächen senkrecht zum Straßenquerschnitt berücksichtigt,

4 Angeschlossene Flächen

die in Richtung der Straße bzw. des BRS entwässern (Formel 7). Soll eine beidseitige Bebauung angeschlossen werden, sind entsprechend beide Dachflächen bei der Angabe der Tiefe eines Gebäudes (t_{Da}) zu berücksichtigen. Die Flächen können entweder pro lfd.m i) oder als Gesamtfläche ii) angegeben werden.

- i) Die Fläche eines angeschlossenen Daches oder einer Privatfläche pro lfd.m kann wie folgt ermittelt werden:

$$A_{Da} = t_{Da} \times L_1 [m^2] \text{ pro lfd.m} \quad (7)$$

Beispiel: bei einer Straße mit doppelseitiger Bebauung mit Reihenhäusern und Dachflächen mit einer Tiefe von jeweils 10 m ergibt eine anzusetzende Tiefe $t_{Da} = 20$ m:

$$A_{Da} = 20 \times 1 = 20 \text{ m}^2 \text{ pro lfd.m}$$

Für das gewählte Beispiel ergibt sich eine anschließbare Dach- und Privatfläche von 20 m^2 pro lfd.m.

- ii) Alternativ können auch bekannte Dachflächen/ Privatflächen pro Haltung [m^2] berechnet und berücksichtigt werden.

4.3 Angeschlossene Gesamtfläche an eine Haltung

Die angeschlossene Gesamtfläche A_{ges} kann sowohl pro laufenden Meter i) als auch als Gesamtfläche ii) berücksichtigt werden.

- i) Angeschlossene Gesamtfläche pro lfd.m:

$$A_{ges} = A_{Str} + A_{Da} [m^2] \text{ pro lfd.m} \quad (8)$$

Beispiel: auf Basis der vorherigen Angaben ergibt sich:

$$A_{ges} = 6,5 + 20 = 26,5 \text{ m}^2 \text{ pro lfd.m}$$

Für das gewählte Beispiel ergibt sich eine anschließbare Gesamtfläche von $26,5 \text{ m}^2$ pro lfd.m.

- ii) Alternativ können auch bekannte Dachflächen/ Privatflächen pro Haltung [m^2] berücksichtigt werden.

Wird die angeschlossene Gesamtfläche auf eine Haltung mit einer Länge (inklusive Länge des Baumstandorts bzw. des Übergangsbereichs) L_H bezogen, ergibt sich:

$$A_H = A_{ges} \times L_H [m^2] \quad (9)$$

Beispiel: bei einer Haltung mit einer Länge (inklusive Länge des Baumstandorts bzw. des Übergangsbereichs) $L_H = 20$ m und unter Berücksichtigung der zuvor angegebenen Werte für die angeschlossenen Flächen ergibt sich:

$$A_H = 26,5 \times 20 = 530 \text{ m}^2$$

Für das gewählte Beispiel ergibt sich eine anzuschließende Gesamtfläche von 530 m^2 .

5 Dimensionierung einer Haltung

In den nachfolgenden Berechnungen werden zwei unterschiedliche Berechnungsgänge/ Ansätze vorgestellt. In den Kapiteln 5.1 und 5.3 werden die im Kapitel 4 anzuschließenden Flächen berücksichtigt und es werden die Niederschlagsmengen ermittelt, die mit dem verfügbaren Volumen aus Kapitel 3 aufgenommen werden können. Im Kapitel 5.1 erfolgt die Berechnung zunächst ohne Berücksichtigung einer Versickerungsleistung durch den anstehenden Boden, im Kapitel 5.3 wird die Versickerungsleistung exemplarisch für einen Boden mit einem k_f -Wert $k_f = 10^{-5}$ m/s berücksichtigt.

In den Kapiteln 5.2 und 5.4 werden die Flächengrößen berechnet, die bei einem verfügbaren Volumen aus Kapitel 3 angeschlossen werden können, wenn eine vorgegebene Wiederkehrzeit des Bemessungsniederschlags vorgegeben wird. Exemplarisch erfolgt eine Berechnung für Niederschlagshöhen, die denen bei einem Überflutungsnachweis in einem Wohngebiet ($T = 20$ a nach DWA-A 118) entsprechen. Auch hier werden die beiden Varianten ohne (Kapitel 5.2) und mit (Kapitel 5.4) Versickerungsleistung des anstehenden Bodens vorgestellt.

Es wird an dieser Stelle explizit darauf hingewiesen, dass es bei diesen Niederschlagshöhen gerade nicht zu einem Überlaufen (Versagen) des Systems kommt und somit der Überstau nach DWA-A 118 erbracht wird. Ob das bei größeren Niederschlagshöhen austretende Wasser zu einem Schaden oder zu einer Funktionsbeeinträchtigung auf der Oberfläche führt, ist anhand einer Überflutungsüberprüfung vor Ort zu prüfen und ist nicht Gegenstand dieser Dimensionierungsvorschrift.

Alle Berechnungsbeispiele beziehen sich auf einen Haltungsabschnitt mit der Länge $L_H = 20$ m und einem Baumstandort. Zudem wird nur noch die Betrachtung nach Fall b) [I] berücksichtigt. Werden die Volumina in der Einheit $[m^3]$ verwendet, ist ein Faktor 1.000 zu berücksichtigen.

5.1 Zulässiges Niederschlagsvolumen (ohne Versickerungsleistung)

Die folgende Berechnung des zulässigen Niederschlagsvolumens, das in das System eingeleitet werden kann, berücksichtigt zunächst keine Versickerungsleistung und wird zur groben Abschätzung der Machbarkeit empfohlen.

$$N_{zul} = \frac{V_H [l]}{A_H [m^2]} [mm] \quad (10)$$

Beispiel: für eine Haltungslänge $L_H = 20$ m, ein verfügbares Volumen von $V_H = 29.298$ l (aus Kapitel 3.5) und eine anzuschließende Fläche von $A_H = 530$ m² (aus Kapitel 4.3) ergibt sich eine zulässige Niederschlagshöhe N_{zul} zu:

$$N_{zul} = \frac{29.298}{530} = 55,28 \text{ mm}$$

Die ermittelte Niederschlagshöhe (hier $N_{zul} = 55,28$ mm) kann anschließend mithilfe des KOSTRA-DWD-2020 (openko.de, 2023) statistisch bewertet werden. In diesem Fall wurde als

5 Dimensionierung einer Haltung

Beispiel ein Raster (Rasterfeld 137102) der Stadt Leichlingen ausgewählt (Abbildung 5). Die für dieses Rechenbeispiel relevanten Werte sind rot umrandet.

Starkniederschlagshöhen und -spenden gemäß KOSTRA-DWD-2020

openko.de

Rasterfeld 137102

(Zeile 137, Spalte 102)

Regenspende und Bemessungsniederschlagswerte in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit T und Dauerstufe D

Ermittelte, Niederschlagsmenge, die das SPS aufnehmen kann:	Return Period T																			
	Duration Step D		1 a		2 a		3 a		5 a		10 a		20 a		30 a		50 a		100 a	
	min	Std	mm	l / (s ha)	mm	l / (s ha)	mm	l / (s ha)	mm	l / (s ha)	mm	l / (s ha)	mm	l / (s ha)	mm	l / (s ha)	mm	l / (s ha)	mm	l / (s ha)
Ohne Versickerung 55,3 mm	5		6,7	223,3	8,0	266,7	8,9	296,7	10,0	333,3	11,6	386,7	13,2	440,0	14,3	476,7	15,7	523,3	17,7	590,0
	10		8,5	141,7	10,3	171,7	11,3	188,3	12,7	211,7	14,8	246,7	16,8	280,0	18,2	303,3	20,0	333,3	22,6	376,7
	15		9,7	107,8	11,7	130,0	12,9	143,3	14,5	161,1	16,8	186,7	19,2	213,3	20,7	230,0	22,8	253,3	25,7	285,6
	20		10,6	88,3	12,8	106,7	14,1	117,5	15,9	132,5	18,4	153,3	21,0	175,0	22,7	189,2	24,9	207,5	28,1	234,2
Mit Versickerung 72,4 mm	30		12,0	66,7	14,4	80,0	15,9	88,3	17,9	99,4	20,7	115,0	23,7	131,7	25,6	142,2	28,1	156,1	31,7	176,1
	45		13,5	50,0	16,2	60,0	17,9	66,3	20,1	74,4	23,3	85,3	26,6	98,5	28,8	106,7	31,6	117,0	35,7	132,2
	60	1	14,7	40,8	17,6	48,9	19,5	54,2	21,9	60,8	25,4	70,6	28,9	80,3	31,3	86,9	34,4	95,6	38,8	107,8
	90	1,5	16,5	30,6	19,8	36,7	21,8	40,4	24,6	45,6	28,5	52,8	32,5	60,2	35,1	65,0	38,6	71,5	43,5	80,6
Versickerung wird berücksichtigt	120	2	17,8	24,7	21,5	29,9	23,7	32,9	26,6	36,9	30,8	42,8	35,2	48,9	38,1	52,9	41,8	58,1	47,2	65,6
	180	3	20,0	18,5	24,0	22,2	26,5	24,5	29,8	27,6	34,6	32,0	39,4	36,5	42,6	39,4	46,8	43,3	52,8	48,9
	240	4	21,7	15,1	26,0	18,1	28,7	19,9	32,3	22,4	37,4	26,0	42,7	29,7	46,2	32,1	50,7	35,2	57,2	39,7
	360	6	24,2	11,2	29,1	13,5	32,2	14,9	36,2	16,8	41,9	19,4	47,8	22,1	51,7	23,9	56,8	26,3	64,1	29,7
	540	9	27,1	8,4	32,6	10,1	36,0	11,1	40,5	12,5	46,9	14,5	53,5	16,5	57,9	17,9	63,5	19,6	71,7	22,1
	720	12	29,4	6,8	35,3	8,2	39,0	9,0	43,8	10,1	50,8	11,8	58,0	13,4	62,7	14,5	68,8	15,9	77,6	18,0
	1080	18	32,9	5,1	39,5	6,1	43,6	6,7	49,0	7,6	56,8	8,8	64,8	10,0	70,1	10,8	77,0	11,9	86,8	13,4
	1440	24	35,6	4,1	42,8	5,0	47,2	5,5	53,1	6,1	61,5	7,1	70,2	8,1	75,9	8,8	83,3	9,6	94,0	10,9
	2880	48	43,1	2,5	51,8	3,0	57,2	3,3	64,3	3,7	74,5	4,3	85,0	4,9	91,9	5,3	100,9	5,8	113,9	6,6
	4320	72	48,2	1,9	57,9	2,2	64,0	2,5	71,9	2,8	83,3	3,2	95,1	3,7	102,8	4,0	112,9	4,4	127,3	4,9
	5760	96	52,2	1,5	62,7	1,8	69,2	2,0	77,8	2,3	90,2	2,6	102,9	3,0	111,3	3,2	122,2	3,5	137,9	4,0
	7200	120	55,5	1,3	66,7	1,5	73,6	1,7	82,8	1,9	95,9	2,2	109,4	2,5	118,3	2,7	129,9	3,0	146,6	3,4
	8640	144	58,3	1,1	70,1	1,4	77,4	1,5	87,0	1,7	100,8	1,9	115,1	2,2	124,4	2,4	136,7	2,6	154,2	3,0
	10080	168	60,9	1,0	73,2	1,2	80,8	1,3	90,8	1,5	105,2	1,7	120,1	2,0	129,8	2,1	142,6	2,4	160,9	2,7
										</										

Angaben in mm: Bemessungsniederschlagswerte h(n)
Angaben in l / (s ha): Regenspende R(n)

Datenbasis: KOSTRA-DWD-2020 des Deutschen Wetterdienstes, Stand 12/2022.
Für die Richtigkeit und Aktualität der Angaben wird keine Gewähr übernommen. Erstellt: 01/2023.

Abbildung 5: KOSTRA-DWD-2020 Tabelle des Rasterfeld 137102 der Stadt Leichlingen, bereitgestellt von der Plattform openko.de. Die für das Beispiel aus Kapitel 5.1 (ohne Versickerungsleistung) relevanten Werte sind rot markiert, die aus Kapitel 5.3 relevanten Werte (mit Versickerungsleistung) sind grün markiert

- Bis zu einer Dauerstufe $D \leq 180$ min kann ein Niederschlagsereignis mit einer Wiederkehrzeit von $T = 100$ a zurückgehalten werden.
- Bis zu einer Dauerstufe $D \leq 540$ min kann das System Niederschlagshöhen mit einer Wiederkehrzeit $T \geq 20$ a aufnehmen, sodass auf eine Überflutungsüberprüfung vor Ort nach dem DWA-A 118 (in Wohngebieten) verzichtet werden könnte.
- Für längere Dauerstufen $D \geq 720$ min ist eine Überflutungsüberprüfung vor Ort nach dem DWA-A 118 (in Wohngebieten) erforderlich und/ oder die Versickerungsleistung des anstehenden Bodens ist zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 5.3).

5.2 Zulässige angeschlossene Fläche (ohne Versickerungsleistung)

Nachfolgend wird die zulässige anzuschließende Flächengröße ermittelt, die sich für einen vorgegebenen Bemessungsniederschlag ergibt. Dabei ist die relevante Niederschlagshöhe $N(T; D)$ aus einer Niederschlagsstatistik (z. B. nach KOSTRA-DWD-2020) für eine vorgegebene Wiederkehrzeit und Dauerstufe zu bestimmen. Ohne Berücksichtigung einer Versickerungsleistung würde sich zwangsläufig die kleinste zulässige anzuschließende Flächengröße bei einer maximalen Dauerstufe ergeben, da die Niederschlagshöhen mit zunehmender

Dauerstufe ansteigen und kein Wasser aus dem System entweichen kann. Das ist für eine erste Machbarkeitsstudie, für die dieser Ansatz ohne Berücksichtigung der Versickerungsleistung gedacht ist, aber nicht zielführend. Wiederkehrzeit T [a] und Dauerstufe D [min] sind daher in Abstimmung mit allen Beteiligten sinnvoll zu wählen.

$$A_{zul} = \frac{V_H [l]}{N(T;D) [mm]} [m^2] \quad (11)$$

Beispiel A: mit $T = 20$ a und $D = 60$ min, entspricht nach KOSTRA-DWD-2020 für die Stadt Leichlingen $N(20; 60) = 28,9$ mm (Rasterfeld 137102), sowie ein verfügbares Volumen von $V_H = 29.298$ l (aus Kapitel 3.5):

$$A_{zul} = \frac{V_H}{N(20; 60)} = \frac{29.298}{28,9} = 1.014 \text{ m}^2$$

Es kann im Beispiel A eine Fläche von ca. $A = 1000 \text{ m}^2$ an eine Haltungslänge $L = 20$ m inklusive eines Baumstandortes angeschlossen werden.

Beispiel B: mit $T = 20$ a und $D = 360$ min, entspricht nach KOSTRA-DWD-2020 für die Stadt Leichlingen $N(20; 360) = 47,8$ mm (Rasterfeld 137102), sowie ein verfügbares Volumen von $V_H = 29.298$ l (aus Kapitel 3.5):

$$A_{zul} = \frac{V_H}{N(20; 360)} = \frac{29.298}{47,8} = 613 \text{ m}^2$$

Es kann im Beispiel B eine Fläche von ca. $A = 600 \text{ m}^2$ an eine Haltungslänge $L = 20$ m inklusive eines Baumstandortes angeschlossen werden.

5.3 Zulässiges Niederschlagsvolumen (mit Versickerungsleistung)

Analog zum Kapitel 5.1 erfolgt nun die Ermittlung des zulässigen Niederschlagsvolumen unter Berücksichtigung einer Versickerungsleistung des anstehenden Bodens. Bei den Berechnungen wird exemplarisch ein Boden mit einem k_f -Wert $k_f = 10^{-5}$ m/s berücksichtigt.

Die Sandschicht, beziehungsweise die Sandvolumina sowie das Steinwollelement geben das Niederschlagswasser nach unten in die Leitungszone ab. Hierbei handelt es sich zunächst um eine Umverteilung des Wassers im Leitungsgraben und noch nicht um eine Versickerung in den anstehenden Boden. Es wird davon ausgegangen, dass die darunter liegende Leitungszone wie eine Rohr-Rigole funktioniert, und dass ausschließlich über diesen die Versickerung in den Untergrund stattfindet. Die Versickerung über die Seitenwände der Steinwollelemente in den Boden wird nicht berücksichtigt, da hier nicht mit einem langfristigen Einstau gerechnet wird.

Da das verfügbare Speichervolumen im Wesentlichen durch die Dimensionen des Leitungsgrabens vorgegeben ist (lediglich die Höhe ist im begrenzten Maße variabel) wird anders als bei der Dimensionierung einer Rohr-Rigole kein erforderliches Volumen und auch keine erforderliche Länge ermittelt.

Es wird daher für jede Dauerstufe die Versickerungsleistung berechnet, die zu den Niederschlagssummen bei den Berechnungen aus 5.1 zu addieren ist. Bei der Anwendung der Formel zur Berechnung einer Rohr-Rigole gemäß DWA-A 138-1 (2024b) ist der Faktor k_i zu berücksichtigen. Dieser Faktor setzt sich aus dem vorgegebenen k_f -Wert und einer Konstante k zusammen, die je nach Messverfahren des k_f -Werts abgeleitet wird. Zur Vereinfachung wird in diesem Fall angenommen, dass $k = 1$ ist. Dies ist in den jeweiligen Bemessungen bei Bedarf anzupassen. Darüber hinaus werden keine Abminderungs- und Zuschlagsfaktoren berücksichtigt.

Nach DWA-A 138-1 beträgt die Versickerungsrate Q_S einer Rohr-Rigole

$$Q_S = [(b_R + h_R) \times L_R + b_R \times h_R] \times k_i \times 1.000 \text{ [l/s]} \quad (12)$$

und das Versickerungsvolumen $V_{S,D}$ über eine Dauerstufe D

$$V_{S,D} = Q_S \times D \times 60 \text{ [l]} \quad (13)$$

Da das Versickerungsvolumen erst bei größeren Dauerstufen relevant wird, bei denen der überschlägige Nachweis nach Kapitel 5.1 nicht erbracht wird, wird als Beispiel die Dauerstufe $D = 360$ min gewählt.

Beispiel: mit $b_R = 1,2$ m, $h_R = 1,0$ m, $L_R = 18,5$ m, $k_f = 10^{-5}$ m/s, $D = 360$ min

$$V_{S,360} = [(1,2 + 1,0) \times 18,5 + 1,2 \times 1,0] \times 10^{-5} \times 360 \times 60 \times 1.000 = 9.050 \text{ l}$$

Für das gewählte Beispiel ergibt sich ein Volumen $V_{S,360} = 9.050$ l. Dieses Volumen steht als weiterer Speicherraum zur Verfügung und kann für die Ermittlung des zulässigen Niederschlagsvolumens N_{zul} dem im Kapitel 3.5 ermittelten Volumen der Haltung V_H aufgeschlagen werden.

$$N_{zul} = \left(\frac{V_H + V_{S,360}}{A_H} \right) \text{ [mm]} \quad (14)$$

Beispiel analog zum Kapitel 5.1 (Ermittlung der zulässigen Niederschlagsmenge):

$$N_{zul} = \left(\frac{29.298 + 9.050}{530} \right) = 72,36 \text{ mm}$$

Für das gewählte Beispiel ergibt sich eine zulässige Niederschlagsmenge $N_{zul} = 72,36$ mm (statt 55,28 mm ohne Berücksichtigung der Versickerungsleistung).

- Bis zu einer Dauerstufe $D \leq 540$ min (statt $D \leq 180$ min) kann ein Niederschlagsereignis mit einer Wiederkehrzeit von $T = 100$ a zurückgehalten werden.
- Bis zu einer Dauerstufe $D \leq 1440$ min (1 Tag) (statt $D \leq 540$ min) kann das System Niederschlagshöhen mit einer Wiederkehrzeit $T \geq 20$ a aufnehmen, sodass auf eine Überflutungsüberprüfung vor Ort nach dem DWA-A 118 (in Wohngebieten) verzichtet werden könnte.
- Für längere Dauerstufen $D > 1$ Tag ist theoretisch eine Überflutungsüberprüfung vor Ort nach dem DWA-A 118 (in Wohngebieten) erforderlich. Die für solch lange

Dauerstufen relevanten kleinen Regenspenden können aber i.d.R. schadlos über die Oberfläche (z. B. innerhalb des Straßenraums) abgeführt werden.

5.4 Zulässige angeschlossene Fläche (mit Versickerungsleistung)

Die Berechnung der Versickerungsrate sowie des Versickerungsvolumens erfolgt analog zum Kapitel 5.3 (Formeln (12) und (13)). Dieses Volumen steht als weiterer Speicherraum zur Verfügung und kann für die Ermittlung der zulässigen anzuschließenden Fläche V_{zul} dem im Kapitel 3.5 ermittelten Volumen der Haltung V_H aufgeschlagen werden.

$$A_{zul} = \frac{(V_H + V_{S,D})}{N(T;D) [mm]} [m^2] \quad (15)$$

Beispiel analog zum Kapitel 5.2 (Ermittlung der maximal anschließbaren Fläche), Beispiel B:

$$A_{zul} = \left(\frac{V_H + V_{S,360}}{N_{20,360}} \right) = \frac{29.298 + 9.050}{47,8} = 802 \text{ m}^2$$

Es kann im Beispiel B eine Fläche von ca. $A = 800 \text{ m}^2$ (statt 600 m^2 ohne Berücksichtigung der Versickerungsleistung) an eine Haltungslänge $L = 20 \text{ m}$ inklusive eines Baumstandortes angeschlossen werden.

Literaturverzeichnis

Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN) (2015): DIN EN 1610:2015-12. Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen.

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) (2024a): Arbeitsblatt DWA-A 118. Bewertung der hydraulischen Leistungsfähigkeit von Entwässerungssystemen.

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) (2024b): Arbeitsblatt DWA-A 138-1. Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser – Teil 1: Planung, Bau, Betrieb

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) (2010): Empfehlungen für Baumpflanzungen. Teil 2: Standortvorbereitungen für Neupflanzungen; Pflanzgruben und Wurzelraumerweiterung, Bauweisen und Substrate.

openko.de (2023): KOSTRA-DWD-2020. öffentlich zugängliche Tabelle basierend auf den Daten des KOSTRA-DWD-2020 Atlas. Deutscher Wetterdienst. Online verfügbar unter <https://www.openko.de/>, zuletzt geprüft am 06.05.2025.