

Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft
Amt Wasser, Abwasser und Geologie

Bemessung von Versickerungsmulden auf Grundlage von Infiltrationsversuchen

Am Beispiel einer RISA-Maßnahme zur naturnahen Regenwasserbewirtschaftung
am Schulstandort Alsterredder

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
1 Einleitung	2
2 Material und Methoden	3
2.1 Infiltration und Versickerungsanlagen	3
2.2 Vorbemessung und Datengrundlage	4
2.3 Bestimmung der Infiltration	5
2.4 Versuchsdurchführung	7
3 Auswertung.....	10
3.1 Auswertung der Infiltrationsmessungen	10
3.2 Bodenuntersuchungen	11
3.3 Bemessungsrelevante Infiltrationsrate	11
4 Bemessung Versickerungsmulden	12
5 Resümee	15
6 Literaturverzeichnis	16
Anhang.....	17
Auswertung Bohrdatenarchiv.....	17
Ausrüstung.....	18
Feldprotokoll mit Ergebnissen.....	19
Tabelle mit Abflussbeiwerten nach DWA A 138.....	20
Berechnungen Mulden- und Überflutungsvolumina	21
 Abbildung 1 Korngrößen und Wertebereich der Infiltration für Versickerungsanlagen (aus DWA A 138)	3
Abbildung 2 Vermessung Dachfläche im Geoportal der FHH in 2D Ansicht (Blick nach Norden)	4
Abbildung 3 Dachfläche in 3D Ansicht (Blick nach Osten).....	4
Abbildung 4 Auszug aus Versickerungspotentialkarte (Stand 2024)	5
Abbildung 5 Bodenerkundungen in unmittelbarer Nähe der geplanten Versickerungsmulde	5

Abbildung 6 Abgesteckte Fläche für möglichen Muldenstandort und Verteilung der Infiltrometer	7
Abbildung 7 Innenring einschlagen und ausrichten	8
Abbildung 8 Außenring einschlagen und ausrichten	8
Abbildung 9 Befüllung zur Bodenvorsättigung	8
Abbildung 10 Infiltrometer mit Messbrücke und Schwimmer im Betrieb	8
Abbildung 11 Entnommene Bodenprobe aus 1m Tiefe	9
Abbildung 12 Aushub Probeschurf für einfachen Sickerversuch und Probenahme.....	9
Abbildung 13 Zusammenstellung der Auswertungsergebnisse	10
Abbildung 14 Volumina je Dauerstufe für Bitumenbedeckung und Gründach (GD)	14

1 Einleitung

Für die Planung und die Bemessung einer Versickerungsmulde an der Grundschule am Alsterredder wurde die Infiltrationsrate vor Ort experimentell ermittelt. Dazu wurden ein Doppelring-Infiltrationsversuch, eine Bodensondierung und ein vereinfachter Versickerungsversuch in einem kleinräumigen Probeschurf durchgeführt. Die Versuche stehen im Gesamtzusammenhang mit weiteren RW-Abkopplungsmaßnahmen an den Schulen am Alsterredder (Grundschule und Gymnasium), deren Umsetzung längerfristig in einer Kooperation aus Schulbau Hamburg, Hamburg Wasser und der BUKEA (Amt Wasser, Abwasser und Geologie) erfolgen soll. Die dezentrale RW-Bewirtschaftung trägt gemäß der Zielstellung der Regeninfrastrukturanpassung (RISA) zu einer Entlastung der öffentlichen Abwasseranlagen, verbesserten Gewässerschutz und Starkregenvorsorge sowie zu einer Annäherung an den naturnahen Wasserhaushalt bei.

Im Folgenden werden die Grundlagen zur Durchführung der Messungen, der Interpretation der Ergebnisse und ihre weitere Verwendung für die Bemessung einer Versickerungsmulde näher erläutert und zusätzliche Umsetzungshinweise für Planung, Bau und Betrieb ergänzt. Die detaillierte und umfangreiche Beschreibung macht die Versuchsdurchführung einem weiteren Anwenderkreis zugänglich und verständlich und soll damit insgesamt zu einer vermehrten Umsetzung niederschwelliger Abkopplungsmaßnahmen beitragen.

2 Material und Methoden

2.1 Infiltration und Versickerungsanlagen

Infiltration ist der Prozess, bei dem Wasser durch die Erdoberfläche in den Boden und tiefere Schichten sickert (Eijkelkamp Agrisearch Equipment, 2022). Mit Infiltrationsversuchen kann ermittelt werden, mit welcher Geschwindigkeit Wasser in den Boden infiltriert oder ugs. versickert. Die auf Grundlage von Infiltrationsversuchen bestimmte Infiltrationsrate bzw. Filtergeschwindigkeit ist der maßgebliche Bemessungsparameter für die Bemessung von Versickerungsanlagen. Die Infiltrationsfähigkeit des Bodens unterliegt verschiedenen Einflussfaktoren wie der Wassersättigung oder seiner Beschaffenheit, wie dem Bodengefüge und der Bodenverdichtung. Für die Planung von Versickerungsanlagen wird nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik der in der folgenden Abbildung 1 skizzierte Wertebereich als geeignet gewertet.

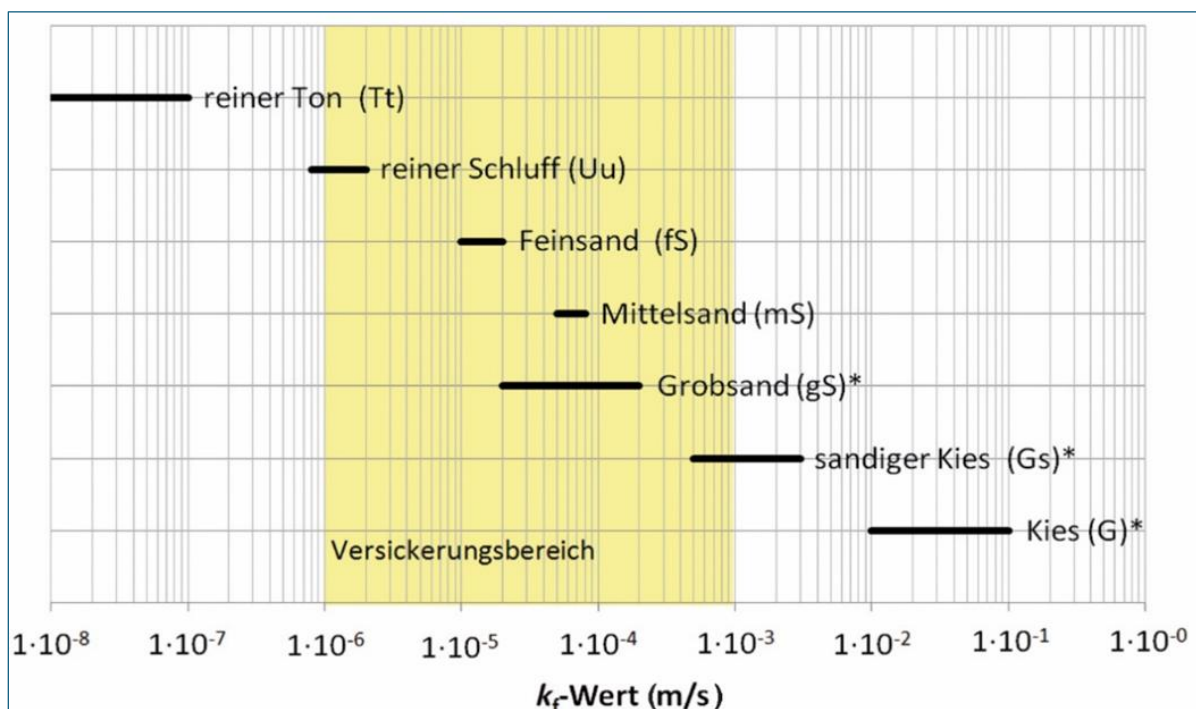


Abbildung 1 Korngrößen und Wertebereich der Infiltration für Versickerungsanlagen (aus DWA A 138)

Neben der Infiltrationsrate müssen für die Planung von Versickerungsanlagen weitere Voraussetzungen erfüllt sein. Dazu zählen neben einem Ausschluss von Altlasten und der Gefahr von Hangrutschungen insbesondere ein ausreichender Abstand zum Grundwasser und eine Reinigung des Niederschlagswasser nach den Regeln der Technik. Die naturnahe Versickerung über die s.g. belebte Bodenzone wird in puncto Reinigungsleistung und Betrieb und im Sinne der RISA präferiert. Gleichzeitig erfordert der

Bau von Versickerungsmulden nur einen geringen geotechnischen Eingriff in den Boden und die Machbarkeit ist auch bei höheren Grundwasserständen noch möglich. Als erste Einschätzung zur Versickerungseignung eines Standortes kann die [Versickerungspotentialkarte](#) einen Anhaltspunkt liefern.

Eine für die Ersteinschätzung der Infiltration wertvolle Planungsgrundlage liefern bereits in näherer Umgebung der geplanten Anlagen durchgeführte Bodenuntersuchungen und Probenahmen. Diesen sind z.T. im Geoportal der FHH hinterlegt und abrufbar.

2.2 Vorbemessung und Datengrundlage

Um grundlegende Informationen für die Dimensionierung einer Versickerungsmulde zu erhalten, gibt es über das Geoportal Hamburg einfache Möglichkeiten, Flächendaten, wie die Größe oder die Ausrichtung zu erhalten. Über verschiedene Kartenansichten und die Darstellung in 2D oder 3D (s.a. Abbildungen 2 u. 3) ist es möglich, mit dem Tool "Strecken/Flächen messen" die benötigten Informationen über die Fläche zu erhalten.

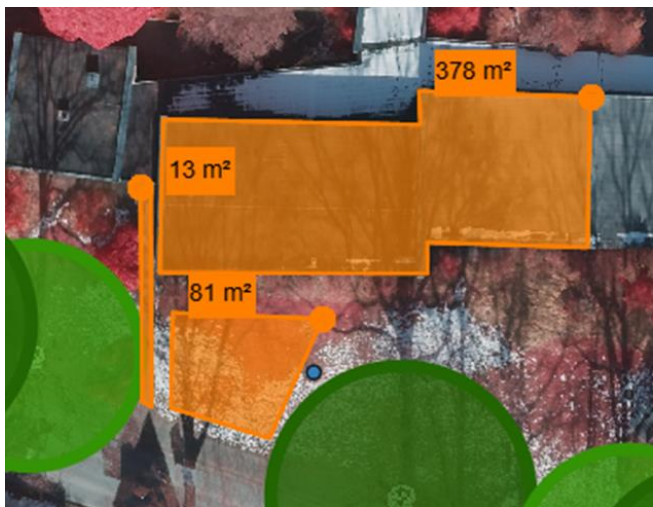


Abbildung 2 Vermessung Dachfläche im Geoportal der FHH in 2D Ansicht (Blick nach Norden)



Abbildung 3 Dachfläche in 3D Ansicht (Blick nach Osten)

Für das hier gewählte Beispiel, der Dachfläche des westlichen Verwaltungsgebäudes der Grundschule Alsterredder kann die Dachneigung, die Lage der Fallleitungen und die Flächengröße ermittelt werden. Mit dem Vermessungswerkzeug wurde die Größe der Flächen in Summe zu 391 m² bestimmt. Nach ersten überschlägigen Berechnungen kann eine Versickerungsmulde mit etwa 15 – 20 % dieser Flächengröße (erste Näherung) südlich der Dachfläche angeordnet werden (s.a. Abbildung 2).

Im Geoportal können darüber hinaus weitere wasserwirtschaftliche Grundlagen wie z.B. die Starkregengefahrenkarte, Versickerungspotentialkarte oder die Niederschlagsstatistiken (DWD/KOSTRA-2020) bezogen werden. Für die Bemessung einer

Versickerungsanlage am Standort Alsterredder werden die KOSTRA Regenreihen Feld 145-81 für die Jährlichkeiten 5 a und 30 a herangezogen (BUKEA, 2023). Die Jährlichkeit ergibt sich aus dem DWA A 138 entsprechend für die Regelbemessung zu T=5a und den Überflutungsnachweis zu T = 30a.

Auf dem Grundstück der Schule Alsterredder ist nach der Versickerungspotentialkarte ein überwiegend positives Versickerungspotential (möglich bis wahrscheinlich) und eine ausreichende versickerungsfähige Tiefe indiziert (s.a. Abbildung 4). Im unmittelbaren Umfeld der geplanten Anlage wurden in der Vergangenheit bereits vier Bohrprofile gewonnen, die im Bohrdatenarchiv des Geologischen Landesamts der FHH verfügbar sind (s.a. Abbildung 5, Darstellung der Bohrprofile im Anhang).



Abbildung 4 Auszug aus Versickerungspotentialkarte (Stand 2024)

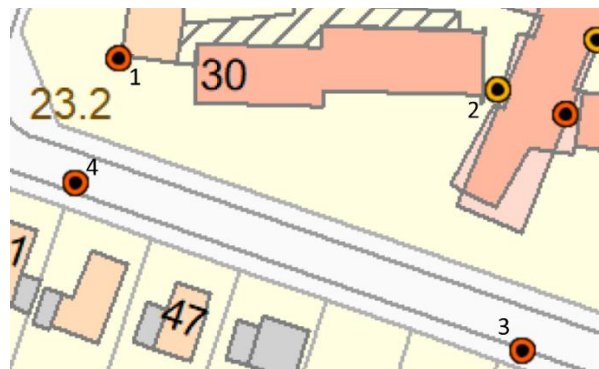


Abbildung 5 Bodenerkundungen in unmittelbarer Nähe der geplanten Versickerungsmulde

Hinweis: Im [Leitfaden zur Versickerungspotentialkarte](#) sind ihre Datengrundlage, Erstellung und Anwendbarkeit ausführlich beschrieben.

2.3 Bestimmung der Infiltration

Die Bestimmung der Infiltration ist ein direktes Messverfahren. Sie wird für unterschiedliche Arten von Versickerungsanlagen nach unterschiedlichen Methoden vorgenommen. Für Versickerungsmulden bietet der Versuche mit einem Doppelring-Infiltrometer eine einfache Versuchsdurchführung mit methodisch sicheren Ergebnissen. Alternativ kann auch ein einfacher Versuch nach dem RISA-Faltflyer erfolgen oder eine Berechnung aus der Sieblinie einer repräsentativen Bodenprobe vorgenommen werden. Das verwendete Gerät und die durchgeführten Messungen und die Entnahme der Bodenproben wird im Folgenden kurz erläutert.

Doppelring- Infiltrometer (aus Bedienungsanleitung übernommen):

Das Doppelring-Infiltrometer besteht aus zwei konzentrischen Ringen, die in gleicher Tiefe horizontal in den Boden versenkt werden (Eijkelkamp Agrisearch Equipment, 2022).

Der innere Ring dient zur Messung der Infiltration in den Boden, indem die in den Boden eindringende Wassermenge gemessen wird. Der äußere Ring unterstützt die vertikale Versickerung des Wassers aus dem inneren Ring, indem er den Boden um den inneren Ring herum sättigt. Dadurch wird die seitliche Wasserbewegung minimiert und eine genauere Messung der vertikalen Infiltration ermöglicht (Eijkelkamp Agrisearch Equipment, 2022). Das verwendete Doppelring-Infiltrometer-Set besteht aus drei Satz Ringen, sodass damit eine Dreifachbestimmung durchgeführt werden kann, und weiteren Zubehör (siehe Anlage).

Nach dem neuen DWA A 138 (Planung, Bau und Betrieb von Versickerungsanlagen, 2024) empfiehlt sich das Doppelring-Infiltrometer für die direkte Messung der Infiltrationsrate im Feld zur weiteren Planung von Versickerungsmulden. Im vorliegenden Fall

„einfacher“ Versickerungsversuch im Probeschurf:

Der wohl einfachste, aber dennoch aussagekräftige „Test zum Hausgebrauch zur Bestimmung der Bodendurchlässigkeit zur Versickerung von Niederschlagswasser“ wird in einem kleinräumigen Probeschurf durchgeführt (RISA , 2019) . Dieser Versuch ist kein nach DIN standardisierter Test, gibt aber niederschwellig einen schnellen Überblick über die Versickerungseigenschaften des Bodens und liefert gleichzeitig Bodenproben für eine analytische Bestimmung des K_i -Wertes.

Zur Durchführung des Versuchs wird ein rechteckiger Probeschurf ausgehoben, mit Wasser gefüllt und die Versickerung des Wassers in der Probeschurf über einen bestimmten Zeitraum notiert (RISA , 2019). Am Ende des Versuchs kann der Probeschurf wieder mit dem Aushubmaterial verschlossen und die zuvor entnommene Grasnarbe wieder auf die Oberfläche gelegt werden (RISA , 2019).

Bodensondierung:

Die zusätzlich zu den Infiltrationsmessungen durchgeführte Bodensondierung dienen der Probenahme und Bodenansprache. Die Bodensondierungen wurde bis zu einer Tiefe von einem Meter durchgeführt (ES-3.1, 2024) und geben Aufschluss über die Zusammensetzung des Bodens und mögliche Ablagerungen wie Bauschutt. Die entnommenen Proben wurden zusammen mit einer Probe aus dem „einfachen Versickerungsversuch“ für eine spätere Korngrößenbestimmung zurückgestellt.

Hinweis: Die Bodensondierung kann alternativ auch mit einem Eijkelkamp Bohrer erfolgen.

2.4 Versuchsdurchführung

Der Versuch wurde an der Grundschule am Alsterredder 30 vor dem Verwaltungsgebäude (s.a. Abbildung 2 u. Abbildung 6) durchgeführt. Der Standort vor dem Gebäude wurde im Vorfeld in einem Vororttermin als geeignet für eine Versickerungsmulde und eine niederschwellige Umsetzung eingestuft.

Die Versuchsfläche wurde abgesteckt und kenntlich gemacht. Die drei zur Verfügung stehenden Infiltrometer wurden gleichmäßig auf der potenziellen Muldenfläche angeordnet. Daneben wurde eine Stelle ausgewählt, an der die Versickerung im Probeschurf nach der vereinfachten Methode (RISA-Faltflyer) gemessen wurde. Zwischen den einzelnen Messpunkten bzw. mit dem Aushub für den Probeschurf wurden die Bodenproben entnommen.



Abbildung 6 Abgesteckte Fläche für möglichen Muldenstandort und Verteilung der Infiltrometer

Für die Versuchsdurchführung muss immer ausreichend Wasser vorhanden sein, sodass die Infiltrometer dauerhaft befüllt sind und nicht trockenfallen. Gerade zu Versuchsbeginn und ungesättigten Boden muss häufiger nachgefüllt werden, bis sich stabile Werte einstellen und die Infiltrationsrate bestimmt werden kann.

Die für die Infiltrationsversuchen und einer zur Bodensondierung eingesetzten Materialien und Geräte sind im Anhang als Liste zusammengestellt. Das für die Infiltrationsversuche verwendete Feldprotokoll kann ebenfalls der Anlage entnommen werden.

Versickerungsversuche:

Die Infiltrometerringe wurden mit den mitgelieferten Werkzeugen in den Boden getrieben. Dazu wurden die Schlagplatte und der rückschlagfreie Hammer verwendet. Zuerst wurde

der innere Ring, dann der äußere Ring eingetrieben und dabei mit der Wasserwaage der senkrechte Einbau kontrolliert. Beim zweiten und dritten Ring wurden beide Ringe parallel eingetrieben. Hier war das erste Ausrichten schwieriger, aber zu zweit gut möglich.



Abbildung 7 Innenring einschlagen und ausrichten



Abbildung 8 Außenring einschlagen und ausrichten

Nach einer etwa zweistündigen Sättigungsphase wurden die Messbrücken und die Schwimmer mit der Ableseskala installiert und die Messungen gestartet.



Abbildung 9 Befüllung zur Bodenvorsättigung



Abbildung 10 Infiltrometer mit Messbrücke und Schwimmer im Betrieb

Die Versuche wurden mit jeweils sieben Messungen durchgeführt und die Messergebnisse in die für den Versuch vorbereitete Feldliste eingetragen. Nach jedem Ablesen wurden die Ringe wieder aufgefüllt und der neue Füllstand notiert. Der Füllstand wurde etwa nach 15 Minuten abgelesen, was etwa einer Füllstandsdifferenz von 1 cm entspricht. Der Zyklus aus Ablesen und Wiederauffüllen wurde mehrfach wiederholt, bis sich eine konstante Infiltrationsrate eingestellt hat.

Im Anschluss an die Messungen wurden die Ringe mittels der Ziehhacken wieder aus dem Boden herausgezogen, gereinigt und bis zum nächsten Einsatz in die zugehörige Lager- und Transportbox verstaut.

Neben den Infiltrationsmessungen mit Infiltrometer wurde eine Messung in einem 50 x 50 cm flächigen und 43 cm tiefen Probeschurf durchgeführt. Dazu wurde mit einem

Stechspaten die Grasnarbe vorsichtig abgenommen und der Probeschurf erstellt. Der Aushub wurde zur Zwischenlagerung in einer Schubkarre abgelegt. Der Probeschurf wurde analog zu den Messungen mit dem Infiltrometer erstmal mit Wasser befüllt und der anstehende Boden gesättigt. Anschließend erfolgte mit Messung der Infiltration mit einem Gliedermaßstab.

Hinweis: Bei gering sickertfähigen Böden kann die Dauer 2 Stunden und mehr betragen. Bei stark ausgetrockneten Böden muss vorab eine Befeuchtung erfolgen, um damit einer Rissbildung und zu starken Störung des Bodengefüges durch das Einbringen der Infiltrometerringe vorzubeugen.

Bodensondierung und Probenahme

Neben den Infiltrationsmessungen wurden zeitgleich Bodenproben entnommen. Insgesamt wurden fünf Bodenproben entnommen, davon vier aus den Bodensondierungen und eine aus dem Probeschurf.

Die Bodenprobennehmer wurden mit dem zugehörigen Hammer einen Meter tief in den Boden getrieben. Anschließend wurde das Zieheisen durch den Schlagkopf geführt und der Bodenprobennehmer wurde rechtsherum gedreht, sodass sich die Probe besser im Bodenprobennehmer festsetzt. Danach wurde der Bodenprobennehmer wieder herausgezogen. Es wurden von den ersten und letzten 10 cm des Bodenprobennehmers Bodenproben entnommen, abgepackt und beschriftet.



Abbildung 11 Entnommene Bodenprobe aus 1m Tiefe



Abbildung 12 Aushub Probeschurf für einfachen Sickerversuch und Probenahme

Die zwei aus dem Probeschurf entnommenen Proben wurden im bodentechnischen Labor des Geologischen Landesamtes weiter untersucht und eine Klassierung der Proben durchgeführt.

3 Auswertung

Im Folgenden Kapitel werden die Messwerte und die dazugehörigen Rechnungen kurz vorgestellt.

3.1 Auswertung der Infiltrationsmessungen

Die in den Versuchen aufgenommen Felddaten sind in der Feldliste zusammengestellt (siehe Anlage). Es wurden jeweils 7 Messungen und im Probeschurf 6 Messungen durchgeführt und daraus die zur Bemessung der Versickerungsmulden erforderliche Infiltrationsrate bestimmt.

Die Berechnung der Infiltrationsrate erfolgt jeweils aus zwei Messungen und der Füllstandsdifferenz, die sich pro Zeiteinheit ergibt. Aus 7 Messungen ergeben sich damit jeweils 6 Differenzenquotienten (Infiltrationsrate = Füllstandsdifferenz / Zeitspanne) mit der Einheit m/s (im Falle des Probeschurfs wurden nur 6 Messungen durchgeführt).

Wie die Auswertung und Visualisierung der Ergebnisse zeigen, lieferte eines der drei durchgeführten Infiltrationsmeter Versuche eine etwas höhere Infiltrationsrate als die anderen beiden Versuche. Eine im Vergleich dazu nochmal höhere Infiltrationsrate ergab sich im vereinfachten Versuch im Probeschurf. Die zwischen den einzelnen Messungen ermittelte Infiltrationsraten sind in der folgenden Abbildung zusammengefasst.

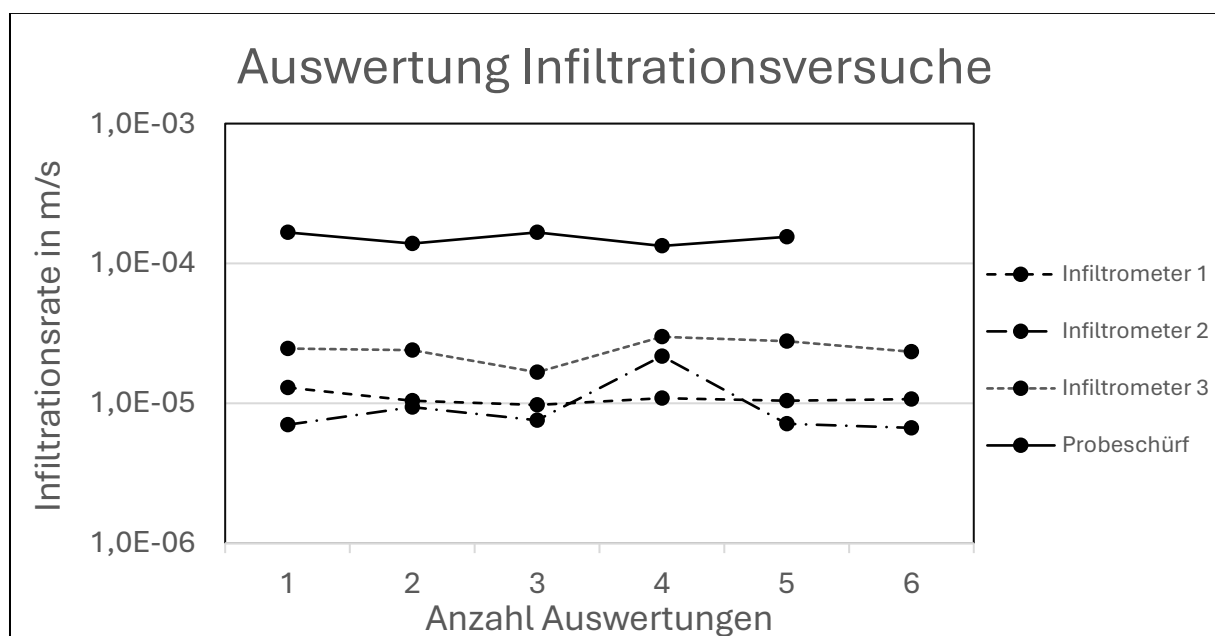


Abbildung 13 Zusammenstellung der Auswertungsergebnisse

3.2 Bodenuntersuchungen

Die zwischen den Infiltrometern durchgeführten Sondierungsbohrungen zeigten keine ersichtliche Abweichung des Probematerials. Bei der Fläche handelt es sich um künstliche Auffüllungen und nicht um gewachsenen Boden. Die Bodenansprachen zeigten geringen Schluff- und Organik Bestandteile. Im Probeschurf wurden ferner geringe Mengen an Ziegelbruch ausgemacht. Die Sondierungsbohrungen zeigten diesbezüglich keine Auffälligkeiten. Im unteren ca. 30 cm der Bohrkerne wurde eine Durchfeuchtung beobachtet. Aufgrund der Homogenität der Proben wird vermutet, dass die verringerte Infiltrationsleistung in den Infiltrometern 1 und 2 auf eine nachträgliche Bodenverdichtung zurückzuführen sind, die aus einer zwischenzeitlichen Nutzung als Baustellenzufahrt auf der Fläche resultierte.

Im Anschluss der Infiltrationsversuche wurden die entnommenen Proben im Labor des Geologischen Landesamtes analysiert und eine Klassierung der Korngrößenverteilung vorgenommen. Aufgrund des erhöhten Schluffanteils größer 10 % konnte keiner rechnerische Bestimmung der Durchlässigkeitswerte mit plausiblen Ergebnissen durchgeführt werden. Die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen sind im Anhang zusammengestellt.

Die Auswertung der vorhandenen Bohrdaten aus dem Bohrdatenarchiv zeigt in zwei der vier Bohrprofilen künstliche Auffüllungen des Oberbodens von geringer Mächtigkeit mit humosen bzw. schluffigen Anteilen. Darunter weisen alle Bohrkerne überwiegend Fein- und Mittelsande von mehreren Metern Mächtigkeit auf. Zwei der vier Bohrprofile weisen in einer Tiefe von 4,2 m bzw. 7,2 schwachleitende Schichten mit schluffigen bzw. tonigen Anteilen auf. Zur Beurteilung der anstehenden Oberbodens wird die im Infiltrometerversuch gemessene Infiltration herangezogen.

3.3 Bemessungsrelevante Infiltrationsrate

Zur Ermittlung der bemessungsrelevanten Infiltrationsrate stehen grundsätzlich nach dem DWA A 138-1 verschiedene Methoden zur Verfügung. Abhängig von der gewählten Methode einerseits und den zum Standort verfügbaren Informationen sind die Methoden mit mehr oder weniger Unsicherheit behaftet. Um den Unsicherheiten Rechnung zu tragen, wurden entsprechend zwei Abminderungsfaktoren eingeführt, sodass sich die bemessungsrelevante Infiltrationsrate wie folgt berechnet:

$$K_i = K_{\text{gem}} * f_{\text{Methode}} * f_{\text{Ort}}, \text{ mit}$$

K_{gem} : experimentell oder analytisch bestimmte Infiltration (s.a. Anlage),

f_{Methode} : Abminderungsfaktor für die jeweilige Methode

f_{ort} : Abminderungsfaktor für örtlich begründete Unsicherheiten.

Für die methodische Unsicherheit gibt das DWA A 138 für Versuche mit dem Doppelring-infiltrrometer einen Wertebereich für f_{Methode} von 0,6 – 0,9 an. Die Bandbreite des Wertebereichs begründet sich mit einer mehr oder minder vorliegenden fachlichen Qualifizierung der Versuchsdurchführenden bzw. der Qualität der Versuchsanleitung.

Für die ortsspezifischen Unsicherheiten und den Abminderungsfaktor f_{ort} liegt mit einem Wertebereich von 0,1 – 1 eine deutlich größere Spannweite vor. Bei einer guten Ortskenntnis kann dieser auf den Wert 1 gesetzt werden. Von guten Ortskenntnissen kann insbesondere dann ausgegangen werden, wenn Ort der Messung der Anlageverortung entspricht. Im Sinne von wirtschaftlichen Lösungen sollte eine Ortskenntnis so weit erlangt werden, dass Werte nahe 1 begründet sind. Es ist dabei auch zu berücksichtigen, dass nach den Messungen keine nachteilige Bodenkompression an den Versickerungsstandorten z.B. durch Bautätigkeit und schwerem Gerät mehr erfolgen darf.

Für die anschließende Bemessung der Mulden wird die bemessungsrelevante Infiltrationsrate bestimmt. Aus den durchgeführten Infiltrationsversuchen und den Abminderungsfaktoren ergibt sich wie folgt:

$$K_i = 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 1,35 \cdot 10^{-5} [\text{m/s}].$$

4 Bemessung Versickerungsmulden

Die Bemessung von Versickerungsmulden wird im DWA A 138 geregelt und die Berechnung erfolgt iterativ. Dazu wird anfangs eine Anlagengröße aus Grundflächen und Einstauhöhe angenommen und in weiteren Rechengängen so weit angepasst, bis das erforderliche Muldenvolumen dem gewählten entspricht. Die folgende Bemessung stellt nur ein Beispiel für eine mögliche Ausführung mit der gewählten Anlagengeometrie dar. Aus dieser Anlagengeometrie ergibt sich i.V.m. mit der zuvor ermittelten bemessungsrelevanten Infiltrationsrate der rechnerische Sickerabfluss wie folgt:

$$Q_s = K_i \cdot A_s, \text{ mit } A_s \text{ als Sickerfläche.}$$

Als Sickerfläche wird näherungsweise die senkrechte Projektion der halb mit Wasser gefüllten Mulde angesetzt und damit vereinfacht berechnet zu:

$$A_s = (A_u + A_o) / 2, \text{ (Mittel aus oberer und unterer Grundfläche).}$$

Das erforderliche Muldenvolumen wird in einer statischen Speicherberechnung ermittelt. Die Berechnungen werden mit Zu- und Abfluss der Mulde über alle Dauerstufen (D) nach der folgenden Gleichung durchgeführt:

$$V_{\text{erf.}} = \text{Max} \{ (Q_{D,i} - Q_S) \cdot D_i \}$$

Der für die Bemessung relevante Zulauf in die Mulden ($Q_{D,i}$) ergibt sich aus der an die Mulde angeschlossene Fläche zuzüglich der Muldenfläche selbst und der Regenintensität je Dauerstufe. Unter Berücksichtigung eines Abflussbeiwertes (C_m bzw. C_S) ergibt sich der Zulauf zu:

$$Q_{D,i} = A_{\text{Bem}} \cdot C_{m/S} \cdot r_{D,T}$$

Die Bemessungsjährlichkeit (T) wird für Versickerungsanlagen im Allgemeinen zu 5 jährlich gewählt (Regelbemessung unter Verwendung des mittleren Abflussbeiwertes C_m). Wird darüber hinaus ein Überflutungsnachweis mit durchgeführt (Mulde soll rechnerisches Überflutungsvolumen mit aufnehmen können) wird eine entsprechend höhere Jährlichkeit gewählt (i.d.R. 30 jährlich) und der höhere Spitzenabflussbeiwert C_S angesetzt.

Für die erste Näherung kann die Muldenfläche gewählt werden zu einer Größe von 15 – 20 % der bemessungsrelevanten Fläche. Die Flächen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 1 Bemessungsrelevante Flächen für Regelbemessung (RB) und Überflutungsnachweis (ÜN)

		Flachdach herkömmlich				Gründach (Vergleichsrechnung)			
Flächen [m ²]	A _{ges.}	C _m	A _{Bem., RRR}	C _S	A _{Bem., ÜN}	C _m	A _{Bem., RB}	C _S	A _{Bem., ÜN}
Dachfläche	378	0,9	340,2	1	226	0,4	151,2	0,7	264,6
Pflasterrinne u Weg	21	0,9	18,9	1	21	0,9	18,9	1	18,9
Muldenfläche*	77,4	(1)	53,7	(1)	77,4	1,0	28,1	1,0	68,9
Summe	476,4		412,8		476,4		198,2		196,0

* Für die Vergleichsrechnungen (Regelbemessung/Überflutungsnachweis sowie herkömmliches Flachdach/Gründach) wurden die Einstauhöhe mit 0,18 m konstant gehalten und die Muldengrößen entsprechend angepasst (s.a. Anhang). Alle Mulden sind flach geböscht mit einem Böschungsverhältnis von 1:5.

Im Folgenden wird das Berechnungsbeispiel aus Muldenbemessung mit gleichzeitigem Nachweis des Rückhaltevolumens gemäß Überflutungsnachweis für das bestehende Flachdach mit Bitumendeckung näher erläutert:

Die obere Muldenfläche von 77,4 m² ergibt sich aus einer quadratischen Grundfläche mit den Maßen 7 m * 7 m (49 m²) und einer zu allen Seiten mit 0,90 m gesäumten Böschung (8,8 m * 8,8 m). Bei einer gewählten Tiefe von 0,18 m (maximal 0,30 m) berechnet sich das Volumen der Mulde (Kegelstumpf) zu:

$$V_{\text{Mulde}} = 11,0 \text{ m}^3.$$

Die Sickerfläche A_s beträgt damit:

$$A_s = (74,3 + 49) / 2 = 61,65 \text{ m}^2.$$

Das erforderliche Muldenvolumen wurde entsprechend mit den o.g. Eingangsdaten (Flächen und Spitzenabflussbeiwerten) unter Verwendung der DWD KOSTRA 2020 Regenreihe für das Rasterfeld 145-81 mit der Jährlichkeit 30 Jahre berechnet (s.a. Anhang). Die Ergebnisse der Berechnungen je Dauerstufe sind in der folgenden Abbildung 14 dargestellt. Das erforderliche Muldenvolumen ergibt sich zu $11,02 \text{ m}^3$. Das vorhandene Muldenvolumen entspricht dem erforderlichen und der Nachweis einer ausreichenden Bemessung inklusive eines Überflutungsnachweis ist damit erbracht.

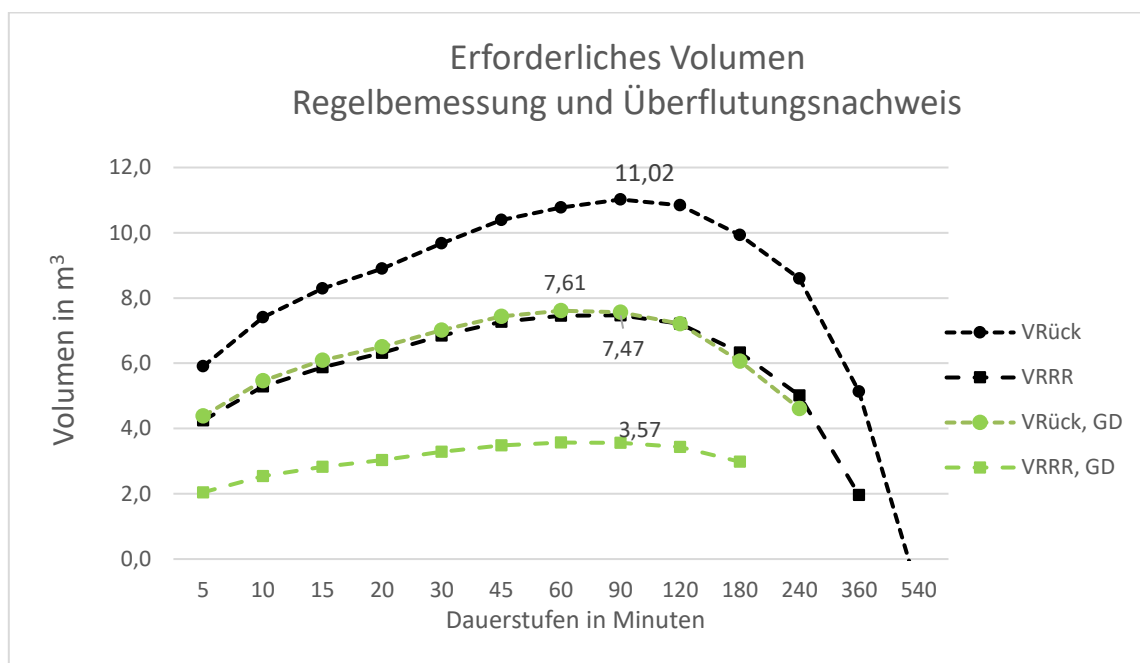


Abbildung 14 Volumina je Dauerstufe für Bitumenbedeckung und Gründach (GD)

Hinweis: Das hier bestimmte Überflutungsvolumen $V_{\text{Rück}}$ wurde abweichend vom DWA A 138 in Anlehnung an die DIN 1986-100 ermittelt und stellt das absolute, nicht um das vorhandene Muldenvolumen verminderte Überflutungsvolumen dar. Sofern die Mulde nur auf eine Jährlichkeit von 5 Jahren bemessen wird (Regelbemessung), muss ggf. ein gesonderter Nachweis zum schadlosen Rückhalt des zusätzlichen Überflutungsvolumens (Differenz zwischen $V_{\text{Rück}}$ und V_{RRR}) erbracht werden. Über die Vorgaben der DWA A 138 und DIN 1986-100 hinaus empfiehlt es sich grundsätzlich wie in diesem Beispiel, auch bei kleineren Anlagen den Überflutungsnachweis zu führen.

5 Resümee

Die Infiltrationsversuche wurden wie geplant durchgeführt und auf Grundlage der Messdatenauswertung eine Anlagendimensionierung erstellt. Der Vergleich zur analytischen Bestimmung zeigt methodische Vorteile bei der Infiltrationsmessung mit dem Doppelringinfiltrimeter. Eine analytische Bestimmung der Infiltrationsbeiwerte konnte aufgrund des hohen Schluff größer 10 v. H. nicht auf Grundlage der Siebanalyse durchgeführt werden. Neben den durchgeführten Messungen und Beprobung wurden anhand der vorhandenen Informationen aus dem Bohrdatenarchiv bereits im Vorfeld eine Einordnung des Standortes vorgenommen. Die grundsätzliche Eignung zur Versickerung und ein ausreichender Sickerraum wurden danach bestätigt und gleichzeitig ausgeschlossen, dass sperrende Schichten einer Versickerung entgegenstehen.

Der zur Bemessung der Mulden angesetzte methodische Korrekturfaktor von 0,9 lässt sich aufgrund der guten Anwendbarkeit, insbesondere in Verbindung mit einer Schulung oder Einweisung in die Versuchsdurchführung auch bei einem „fachferneren“ Anwenderkreis gut begründen. Die Auswertung der Infiltrationsmessung lieferte nahezu gleiche Ergebnisse wie die Infiltrationsrate, die in der Bemessung der bereits am Standort vorhandenen Hohlkorperrigolen zugrunde gelegt wurde.

Die Ergebnisse deuten zudem an, welche Verringerung der Infiltrationsraten infolge einer Bodenverdichtung auftreten können. Sofern keine entsprechende Vorsorge getroffen werden kann, über den Bauzustand die Flächen frei von schweren Lasten zu halten, sollte eine Abminderung des ortsspezifischen Abminderungsfaktors vorgenommen werden. Gleiches gilt, wenn die Infiltrationsmessungen nur im Umfeld der Anlage aber nicht auf der Muldenfläche selbst durchgeführt werden. Für den Bau der Mulde ist eine möglichst schonende Bearbeitung geboten (z.B. Teleskopbagger oder Minibagger einsetzen, Arbeitsrichtung beachten).

Die ermittelten Muldenvolumina entsprechen den getroffenen Annahmen und die Machbarkeit konnte mit den gewählten Muldenabmessungen und den gegebenen Freiflächen bestätigt werden. Gemäß den anfänglichen Annahmen kann auch das größere Muldenvolumen mit Einbeziehung des Überflutungsnachweises auf der Fläche vor dem Verwaltungsgebäude als Mulde ausgebildet werden. Aber auch bei beschränkteren Flächenverhältnissen wie einer geringeren Verfügbarkeit oder Infiltrationseignung lassen sich in Verbindung mit Dachbegrünungen und (teil-)durchlässigen Belägen Versickerungsmulden umsetzen, wie aus dem Vergleich konventionelles Flachdach zu einfachem Gründach hervorgeht. In den Beispielen wurde mit 20 cm bewusst eine etwas flachere Ausbildung der Mulden und damit eine größere Sickerfläche gewählt. Gleichzeitig wird mit den flachen Böschungen eine einfache Unterhaltung mit Rasenmähern ermöglicht. Die genaue Verortung sollte sich an den bestehenden Baum und Strauchpflanzungen ausrichten und an diese angrenzen, sodass

mit der Versickerung auch die natürliche Wasserversorgung aufrechterhalten respektive verbessert werden kann.

Zur weiteren Verbreitung und vermehrten Umsetzung einer niederschwelligen Muldenversickerung können die hier gewonnen Erkenntnisse beitragen und im Rahmen der RISA-Fortbildung einem weiteren Anwenderkreis zugänglich gemacht werden. Das eingesetzte Doppelringinfiltrometer bietet gegenüber dem Probeschurf eine einfachere Versuchsdurchführung und aussagekräftigere Ergebnisse. Das Gerät steht dauerhaft zur Verfügung und kann von der BUKEA (Amt Wasser, Abwasser und Geologie) auf Anfrage entliehen werden.

6 Literaturverzeichnis

BUKEA. (24. 04 2023). *Metaver*. Von

https://metaver.de/trefferanzeige?cmd=doShowDocument&docuuid=98CDE0AE-859D-43CE-812A-A5D36B8BF3F1#detail_description abgerufen

Eijkelkamp Agrisearch Equipment. (06 2022). *royaleijkelkamp*. Von

<https://www.royaleijkelkamp.com/media/akhiejk0/m-0904e-double-ring-infiltrometer.pdf> abgerufen

ES-3.1, D. A. (14. 10 2024). *DWA*. Von Arbeitsblatt DWA-A 138-1 „Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser – Teil 1: Planung, Bau, Betrieb“:

<https://de.dwa.de/de/regelwerk-news-volltext/arbeitsblatt-dwa-a-138-1-anlagen-zur-versickerung-von-niederschlagswasser-teil-1-planung-bau-betrieb.html> abgerufen

<https://geoportal-hamburg.de/?lng=de>.

RISA . (02 2019). *RISA-Hamburg*. Von <https://www.risa-hamburg.de/wissen/bibliothek> abgerufen

DIN 1986-100:2016-12 - Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke, Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 752 und DIN EN 12056

[Versickerung Hamburg](#) Beschreibung und Erläuterung der Versickerungspotentialkarte

[Leitfaden zur Versickerungspotentialkarte](#), BUKEA Amt Wasser, Abwasser und Geologie

Ausrüstung

Infiltrationsversuche

Ausrüstung	Kurze Erläuterung/Bedienungsanleitung
Feldliste	Liste zum Eintragen und Auswerten des Versuchs
Innen- und Außenring	Für den Versuch werden drei Paar Edelstahlringe mit folgendem Durchmesser verwendet (28/53 cm, 30/55 cm, 32/57 cm). Sie sind alle 25 cm hoch und besitzen eine scharfe Schneidekante.
Schlagplatte	Die Schlagplatte besteht aus verzinktem Stahl und dient der gleichmäßigen Kraftverteilung beim Eintreiben der Ringe in den Boden. Zusätzlich sind an der Unterseite Stifte angebracht, die ein Verrutschen beim Einschlagen verhindern.
Rückschlagfreier Schlaghammer	Dieser Spezialhammer ist mit Bleikugeln befüllt, so dass Rückschlag verhindert wird. Der Schlagkopf besteht aus schlagfestem Nylon.
Messbrücken	Die Messbrücken sind aus Kunststoff gefertigt und besitzen ein Röhrchen, als Halter für den Messstab.
Messstäbe mit Schwimmer	Der Messstab mit Schwimmer dient zur Messung des Füllstandes. Durch den Schwimmer wird automatisch die richtige Füllhöhe angezeigt. Die Maßeinteilung ist in Millimeter.
Stahl- Ziehhacken	Der Stahl- Ziehhacken dient zum Herausziehen der Ringe aus dem Boden.
Wasserwage	Zur Ausrichtung der Ringe.
Zollstock	Zur Überprüfung der Eindringtiefe der Ringe. (mind. 5 cm)
Schutzabdeckung	Auslegen von einer Grobsand-/ Kiesschicht (1-2 cm dick) auf der Bodenfläche. Dadurch soll die Bodenfläche geschützt werden, wenn das Wasser eingegossen wird.
Wasser	Es werden rund 25 l Wasser pro Ring verwendet. Das Wasser sollte Umgebungstemperatur haben.
Spaten	Erstellung Probeschurf

Tabelle mit Abflussbeiwerten nach DWA A 138

Dachflächen		C_m	C_s
Schrägdach	– Metall, Glas, Schiefer, Faserzement	0,9	1
	– Ziegel, Abdichtungsbahnen (z. B. Dachpappe)	0,9	1
Flachdach bis 3° oder ca. 5 %	– Metall, Glas, Faserzement	0,9	1
Flachdach bis 3° oder ca. 5 %	– Abdichtungsbahnen (z. B. Dachpappe)	0,9	1
	– Kiesschüttung	0,8	0,8
	– Extensivbegrünung > 5°	0,4	0,7
Begrünte Dachflächen	– Intensivbegrünung, ≥ 30 cm Aufbaudicke, ≥ 5°	0,1	0,2
	– Extensivbegrünung ≥ 10 cm Aufbaudicke, ≥ 5°	0,2	0,4
	– Extensivbegrünung < 10 cm Aufbaudicke, ≥ 5°	0,3	0,5
Verkehrsflächen	Betonflächen, Schwarzdecken (Asphalt), Befestigte Flächen mit Fugendichtung, z. B. Pflaster mit Fugenverguss, Oberirdische Gleisanlage, feste Fahrbahn	0,9	1
	Rampen mit Neigung zum Gebäude, unabhängig von der Neigung und Befestigungsart	1	1
	Kunststoffflächen von Sportplätzen	0,5	1
Verkehrsflächen (Straßen, Plätze, Zufahrten, Wege und Gleisanlagen)	Betonsteinpflaster, in Sand oder Schlacke verlegt, Flächen mit Platten, Wassergebundene Flächen	0,7	0,9
	Lockerer Kiesbelag, Schotterrasen (z. B. Kinderspielplätze)	0,2	0,3
	Verbundsteine mit Sickerfugen, Sicker-/Dränsteine	0,25	0,4
	Rasengittersteine mit häufigen Verkehrsbelastungen (z. B. Parkplatz)	0,2	0,4
	Rasengittersteine ohne häufige Verkehrsbelastungen (z. B. Feuerwehzufahrt)	0,1	0,2
Sportflächen mit Dränung* * Abweichungen zur DIN 1986-100:2016-12, ggf. höhere Werte ansetzen (Abstimmung)	Kunststoff-Flächen, Kunststoffrasen, Rasenflächen	0,1	0,1
	Tennenflächen (Hart-, Asche(n)-, Schlackeplatz)	0,3	0,3
Parkanlagen, Rasenflächen, Gärten	flaches Gelände	0,1	0,2
	steiles Gelände	0,2	0,3

Berechnungen Mulden- und Überflutungsvolumina

Überflutungsnachweis, Flachdach mit Bitumenschweißbahn				
$V_{\text{Rück}} = ((A_{\text{Bem,ÜN}} \times r_D) / 10000) \times D \times f_z \times 0,06) - (D \times f_z \times Q_S \times 0,06)$				
Konstanten				
Umrechnungsfaktor	0,06	Volumen- u. Zeiteinheiten		
f _z	1			
Eingabewerte				
Kostra Feld	145-81_Sasel			
A _{Bem,ÜN}	473,3	m ²	Berechnung mit C _S	
A _s	61,65	m ²	h _M = 0,18 m, A _u = 7m * 7m	
Q _s (Drosselabfluß)	0,8323047	l/s	K _i = 0,0000135 m/s	
Berechnung des Rückhaltevolumens mit Sickerabfluss von 5 min bis 7 Tagen				
Kostra DWD 2020				
30-jährlich		Zeit D	Regenspende r _D	V _{Rück}
		min	l/(s*ha)	m ³
		5	433,3	5,90
		10	278,3	7,40
		15	212,2	8,29
		20	174,2	8,90
		30	131,1	9,67
		45	98,9	10,39
		60	80,8	10,77
		90	60,7	11,02
	2h	120	49,4	10,84
	3h	180	37,0	9,92
	4h	240	30,2	8,60
	6h	360	22,6	5,13
	9h	540	16,9	-1,05
	12h	720	13,8	-7,74
	18h	1080	10,3	-22,34
1 Tag	24h	1440	8,4	-37,56
2 Tage	48h	2880	5,1	-102,11
3 Tage	72h	4320	3,8	-169,11
4 Tage	96	5760	3,1	-236,94
5 Tage	120	7200	2,7	-304,35
6 Tage	144	8640	2,3	-375,03
7 Tage	168	10080	2,1	-443,26
V _{Rück}	-	-		11,02

Regelbemessung, Flachdach mit Bitumenschweißbahn				
$V_{RRR} = ((A_{Bem, RB} \times r_D) / 10000) \times D \times f_z \times 0,06) - (D \times f_z \times Q_S \times 0,06)$				
Konstanten				
Umrechnungsfaktor	0,06	Volumen- u. Zeiteinheiten		
fz	1,2	Zusätzliches Sicherheitsmaß		
Eingabewerte				
Kostra Feld	145-81_Sasel			
A _{Bem, RB}	421,8	m ²	Berechnung mit C _M	
A _S	42,09	m ²	h _M = 0,18 m, A _u = 5,55 m * 5,5 m	
Q _S (Sickerabfluß)	0,568215	l/s	K _i = 0,0000135 m/s	
Berechnung des Rückhaltevolumens mit Sickerabfluss von 5 min bis 7 Tagen				
Kostra DWD 2020		Zeit D	Regenspende r _D	V _{RRR}
5-jährlich		min	l/(s*ha)	m ³
		5	300,0	4,25
		10	191,7	5,29
		15	145,6	5,88
		20	120,0	6,31
		30	90,6	6,85
		45	68,1	7,27
		60	55,6	7,46
		90	41,7	7,47
	2h	120	34,0	7,22
	3h	180	25,6	6,33
	4h	240	20,8	5,02
	6h	360	15,6	1,96
	9h	540	11,7	-3,32
	12h	720	9,5	-9,13
	18h	1080	7,1	-21,40
1 Tag	24h	1440	5,8	-34,09
2 Tage	48h	2880	3,5	-87,87
3 Tage	72h	4320	2,6	-143,36
4 Tage	96	5760	2,1	-199,70
5 Tage	120	7200	1,8	-256,05
6 Tage	144	8640	1,6	-312,39
7 Tage	168	10080	1,4	-370,45
V _{RRR}	-	-		7,47

Überflutungsnachweis Flachdach als Gründach				
$V_{\text{Rück}} = ((A_{\text{Bem,ÜN}} \times r_D) / 10000) \times D \times f_z \times 0,06) - (D \times f_z \times Q_S \times 0,06)$				
Konstanten				
Umrechnungsfaktor	0,06	Volumen- u. Zeiteinheiten		
f_z	1			
Eingabewerte				
Kosträ Feld	145-81_Sasel			
$A_{\text{Bem,ÜN}}$	354,5	m^2	Berechnung mit C_s	
A_s	55,57	m^2	$h_M = 0,18 \text{ m}$, $A_u = 6,5 \text{ m} \times 6,5 \text{ m}$	
Q_s (Sickerabfluß)	0,750195	l/s	$K_i = 0,0000135 \text{ m/s}$	
Berechnung des Rückhaltevolumens mit Sickerabfluß von 5 min bis 7 Tagen				
Kosträ DWD 2020		Zeit D	Regenspende r_D	V
30-jährlich		min	l/s*ha	m^3
		5	433,3	4,38
		10	278,3	5,47
		15	212,2	6,09
		20	174,2	6,51
		30	131,1	7,01
		45	98,9	7,44
		60	80,8	7,61
		90	60,7	7,57
	2h	120	49,4	7,21
	3h	180	37,0	6,06
	4h	240	30,2	4,61
	6h	360	22,6	1,10
	9h	540	16,9	-4,90
	12h	720	13,8	-11,28
	18h	1080	10,3	-24,95
1 Tag	24h	1440	8,4	-39,09
2 Tage	48h	2880	5,1	-98,39
3 Tage	72h	4320	3,8	-159,53
4 Tage	96	5760	3,1	-221,29
5 Tage	120	7200	2,7	-282,74
6 Tage	144	8640	2,3	-346,63
7 Tage	168	10080	2,1	-408,69
$V_{\text{Rück}}$	-	-		7,61

Regelbemessung, Flachdach als Gründach				
$V_{RRR} = ((A_{Bem, RB} \times r_D) / 10000) \times D \times f_z \times 0,06) - (D \times f_z \times Q_S \times 0,06)$				
Konstanten				
Umrechnungsfaktor	0,06	Volumen- u. Zeiteinheiten		
f _z	1,2	Zusätzliches Sicherheitsmaß		
Eingabewerte				
Kostra Feld	145-81_Sasel			
A _{Bem, RB}	198,7	m ²	Berechnung mit C _M	
A _s	20,61		h _M = 0,18 m, A _u = 3,6 * 3,5	
Q _s (Drosselabfluß)	0,278235	l/s	K _i = 0,0000135 m/s	
Berechnung des Rückhaltevolumens mit Sickerabfluß von 5 min bis 7 Tagen				
Kostra DWD 2020				
5-jährlich		Zeit D	Regenspende r _D	V
		min	l/(s*ha)	m ³
		5	300,0	2,05
		10	191,7	2,54
		15	145,6	2,82
		20	120,0	3,03
		30	90,6	3,29
		45	68,1	3,48
		60	55,6	3,57
		90	41,7	3,57
	2h	120	34,0	3,43
	3h	180	25,6	2,99
	4h	240	20,8	2,33
	6h	360	15,6	0,82
	9h	540	11,7	-1,78
	12h	720	9,5	-4,64
	18h	1080	7,1	-10,66
1 Tag	24h	1440	5,8	-16,90
2 Tage	48h	2880	3,5	-43,27
3 Tage	72h	4320	2,6	-70,47
4 Tage	96	5760	2,1	-98,08
5 Tage	120	7200	1,8	-125,69
6 Tage	144	8640	1,6	-153,31
7 Tage	168	10080	1,4	-181,74
V _{RRR}	-	-		3,57