

Gutachten

über die spezifischen Versickerungsleistung eines wasserdurchlässigen Pflastersystems vom Typ GDM.ACENTRO stone der Firma Godelmann GmbH & Co. KG in Fensterbach

Auftraggeber:

Godelmann GmbH & Co. KG

Industriestraße 1

92269 Fensterbach

Gutachter:

Dr.-Ing. Carsten Dierkes

H₂O Research GmbH

Kopernikusweg 27a

48155 Münster

Dieses Gutachten umfasst insgesamt 9 Textseiten mit 2 Tabellen, 7 Abbildungen und 4 Seiten Anhang

1. Auftrag

Die H₂O Research GmbH aus Münster wurde am 12.12.2021 von der Firma Godelmann GmbH & Co. KG aus Fensterbach beauftragt, ein wasserdurchlässiges Pflastersystem vom Typ GDM.ACENTRO stone aus gefügedichten Betonsteinen auf seine spezifische Versickerungsleistung zu untersuchen und eine Aussage darüber zu treffen, ob das Pflastersystem zur Versickerung der Regenabflüsse gemäß den geltenden Regelwerken und Richtlinien geeignet ist.

2. Untersuchungsobjekt

Das wasserdurchlässige Flächenbelagssystem GDM.ACENTRO stone besteht aus Pflastersteinen aus gefügedichtem Beton mit seitlich angeordneten Abstandshaltern (Abbildung 1), die eine Breite der Fuge von 6 mm gewährleisten. Das Besondere an dem System ist die Ausbildung der Fugen im oberen Bereich der Betonsteine, die unregelmäßig verlaufen und so das Erscheinungsbild eines Natursteinpflasters imitieren. Es gibt eine Variante mit kleinen (Mehrsteinsystem Typ AY) und eine Variante mit großen (Mehrsteinsystem AX) Formaten (Abbildung 2). Die erste Variante besteht aus vier verschiedenen Grundsteinen, die großen Formate aus drei Grundsteinen. Bei den kleinen Formaten gibt es insgesamt 40 verschiedene Betonsteintypen mit unterschiedlich ausgebildeten Fugen im oberen Bereich, bei den großen Formaten sind es 31 Typen. Die gemessene Weite der Fuge im sichtbaren Bereich liegt zwischen 8 mm und 15 mm (Abbildung 4). Das System besteht aus vier Kleinformaten und drei Großformaten gemäß Tabelle 1. Die Höhe beträgt einheitlich 100 mm. Über die Fugen wird das auf den Belag auftreffende Niederschlagswasser in die Bettung und weiter in die unterlagernde Tragschicht abgeleitet. Von dort versickert es in Richtung des Grundwassers oder wird über eine Drainage gesammelt. Es wurden zwei Verlegemuster getestet, ein Muster mit kleineren Formaten und ein Muster mit größeren Formaten (Tabelle 1).

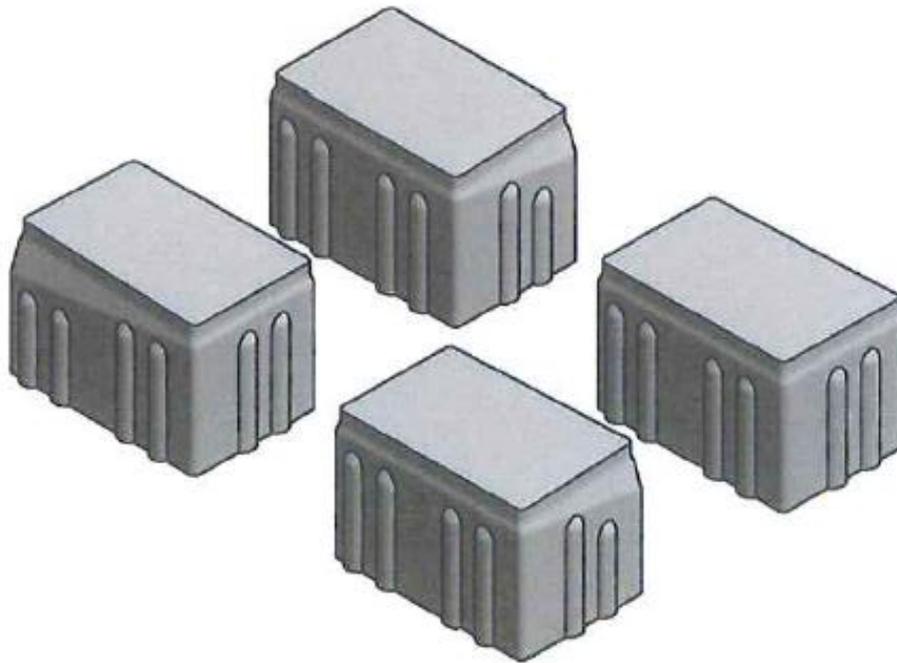


Abbildung 1: Pflastersteine vom Typ GDM.ACENTRO stone

Tabelle 1: Maße der Betonsteine

kleine Formate						
Nummer	Breite	Raster	Länge	Raster	Höhe	Fläche
	mm	mm	mm	mm	mm	mm ²
1	144	150	94	100	100	13.536
2	94	100	94	100	100	8.836
3	119	125	94	100	100	11.186
4	94	100	69	75	100	6.486
große Formate						
Nummer	Breite	Raster	Länge	Raster	Höhe	Fläche
	mm	mm	mm	mm	mm	mm ²
1	144	150	144	150	100	20.736
2	194	200	144	150	100	27.936
3	144	150	94	100	100	13.536

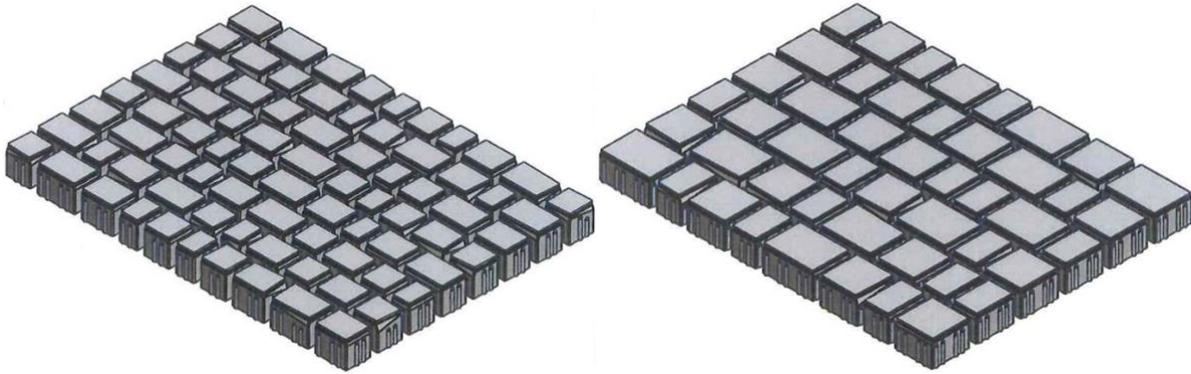


Abbildung 2: Verlegemuster mit kleinen und großen Formaten

Die Fugenbreite lag bei der Testfläche zwischen ca. 6 mm und 16 mm (Abbildung 4). Damit ergibt sich in der Fläche ein Anteil von sickerfähigen Fugen zwischen 21,0 % für die kleinen Formate und 14,8 % für die großen Formate. Abbildung 2 zeigt die verwendeten Verlegemuster.

Um die spezifische Versickerungsrate des Pflastersystems unter realitätsnahen Bedingungen zu prüfen, wurde eine Fläche von etwa 2 m² des Pflastersystems auf eine gut durchlässige Bettung der Kornabstufung 2/5 mm eingebaut. Es wurde eine Variante mit den kleinen Formaten und eine Variante mit den großen Formaten ausgewählt. Als Fugenfüllung wurde ein Basalt der Kornabstufung 1/3 mm verwendet.



Abbildung 3: Das Testfeld mit auszementierten Test-Ringen (kleines Format)



Abbildung 4: Ausbildung der Fugen

Im Gegensatz zu im Labor ermittelten Versickerungsraten kann somit gewährleistet werden, dass der Einbau unter den gleichen Bedingungen wie in der Realität stattfindet und somit das Zusammenwirken von Pflasterstein, Fuge und Bettung realitätsnah abgebildet werden kann.

3. Anforderungen

Wasserdurchlässige Flächenbeläge sollten nach dem Merkblatt für Versickerungsfähige Verkehrsflächen (FGSV 2013) eine Bemessungsregenspende von mindestens 270 l/(s·ha) dauerhaft versickern, was einem Durchlässigkeitsbeiwert von $2,7 \cdot 10^{-5}$ m/s entspricht. Aufgrund von luftgefüllten Poren im wird ein k_f -Wert von mindestens $5,4 \cdot 10^{-5}$ m/s gefordert. Das Deutsche Institut für Bautechnik verlangt für neu eingebaute Flächenbeläge mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung eine Versickerungsleistung von mindestens 540 l/(s·ha), die im Laborversuch an einer Fläche von einem Quadratmeter geprüft wird (DIBt 2012). Das Arbeitsblatt 138-1 der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. berücksichtigt für die Flächenversickerung regionale KOSTRA-Bemessungsregenspenden (DWA 2020), wobei der Bemessungsregen mit einer Zeitdauer von 10 Minuten maßgebend ist. Diese liegen in vielen Regionen unter den Vorgaben der FGSV, die damit eine Sicherheitsreserve beinhalten.

Die Bestimmung der spezifischen Versickerungsleistung kann durch Messungen an den Komponenten der Pflasterdecke und einer Berechnung mit dem Fugenteil erfolgen, oder es werden Versickerungsversuche durchgeführt. Der Gelbdruck des Arbeitsblattes 138 der DWA (DWA 2000) weist darauf hin, dass die Verfahren zur Bestimmung der Versickerungsleistung

unterschiedliche Genauigkeiten aufweisen. Daher gibt es eine Tabelle (Tabelle 2) mit Korrekturfaktoren, mit denen das Mess- oder Rechenergebnis multipliziert werden muss. Für Laborverfahren mit gestörten Proben oder einer Auswertung von Sieblinien beträgt der Korrekturfaktor 0,1, das zeigt die hohe Unsicherheit solcher Verfahren. Für dieses Gutachten wurde eine Methode analog zum Doppelzylinder-Infiltrometer verwendet, der Korrekturfaktor wird hier mit 0,9 angegeben.

Tabelle 2: Korrekturfaktoren gemäß DWA-A 138-1 (DWA 2020)

Thema/Kriterium	Korrekturfaktoren
Variabilität der Bodenverhältnisse und Umfang/Anzahl der Versuchsstandorte (Mindestanforderungen)	$f_{Ort} = 0,3 \text{ bis } 1$
Bestimmungsmethode: Großflächige Feldversuche in Testgrube/Probeschurf ($\geq 1 \text{ m}^2$)	$f_{Methode} = 1$
Kleinflächige Feldversuche	
- Kleine Testgrube (Probeschurf $< 1 \text{ m}^2$)	$f_{Methode} = 0,9$
- Doppelzylinder-Infiltrometer	$f_{Methode} = 0,9$
- Open-End-Test	$f_{Methode} = 0,8$
- Laborverfahren mit ungestörten Proben (z.B. Permeameter)	$f_{Methode} = 0,7$
- Laborverfahren mit gestörten Proben / Sieblinienauswertung für Sandböden	$f_{Methode} = 0,1$

4. Prüfmethodik

Die Messungen der spezifischen Versickerungsrate wurden mit einem Tropf-Infiltrometer gemäß Merkblatt für Versickerungsfähige Verkehrsflächen (FGSV 2013) durchgeführt. Dazu wird ein Stahlring mit einem Durchmesser von 54 cm mittels Schnellzement auf der Testfläche befestigt. Dann wird mit einer Beregnungsanlage die Fläche innerhalb und außerhalb des Ringes beregnet. Die Beregnung wird über einen Wasserstandssensor innerhalb des Ringes gesteuert. Es wird so lange beregnet, bis der Wasserstand im Ring zwischen einem und drei Millimetern liegt. Anschließend wird die Beregnung abgestellt, bis weniger als ein Millimeter Wasser vorhanden ist. Danach erfolgt die nächste Beregnung. Die aufgegebene Wassermenge wird über die Zeit über einen Durchflussmesser aufgezeichnet. Das Prinzip des Infiltrometers ist in Abbildung 5 dargestellt.

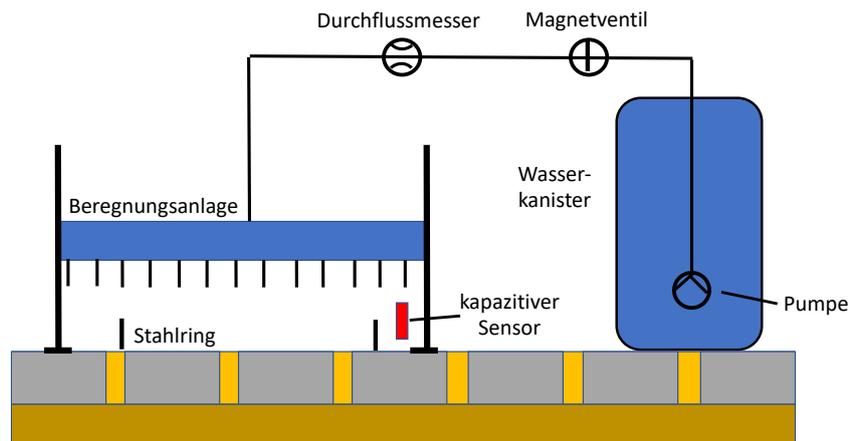


Abbildung 5: Aufbau des Tropf-Infiltrometers

Mit dieser Messmethode wird direkt die spezifische Versickerungsrate bestimmt, und nicht der k_f -Wert, da die Messung mit einem ähnlichen Aufstau wie bei realen Versickerungsvorgängen durchgeführt wird. Für die Bestimmung des k_f -Wertes müsste sichergestellt sein, dass alle Poren mit Wasser gefüllt sind. Bei vollständig gefüllten Poren kann das Wasser schneller in den Untergrund infiltrieren, da der durchströmte Querschnitt des Bodens größer ist.

Da das Gerät keine höhere Versickerungsleistung als etwa $1.800 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{ha})$ messen kann, wurde außerdem ein händisches Verfahren zum Abschätzen der maximalen Versickerungsleistung angewendet. Dabei wurden fünf Liter Wasser kontinuierlich so in den Ring geschüttet, dass wie beim Infiltrometerversuch nur eine geringe Aufstauhöhe auf dem Pflaster zu verzeichnen ist. Es wurde die Zeit gestoppt, in der das gesamte Wasservolumen vollständig versickert war. Diese Messung wurde dreimal nacheinander durchgeführt. Da bei dieser Versuchsdurchführung der Bereich außerhalb des Ringes nicht zur Versickerung beiträgt und somit Wasser im Bereich der Fugen und Bettung auch horizontal abfließen kann, wurde für diese überschlägige Methode ein Korrekturfaktor von 0,7 verwendet.

5. Ergebnis

An zwei Stellen auf jeder Testfläche wurden Tropfinfiltrometer-Messungen über einen Zeitraum von jeweils 30 Minuten durchgeführt. Die ersten beiden Messungen erfolgten auf der Fläche mit den kleineren Formaten, die zweiten auf der Testfläche mit den größeren Formaten (Abbildung 6, Abbildung 7).



Abbildung 6: Infiltrationsmessung auf dem Pflasterbelag



Abbildung 7: Infiltrationsmessung auf dem Pflasterbelag

Messung 1 ergab eine spezifische Versickerungsrate nach 10 Minuten von $> 1.800 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{ha})$. Im Vergleich zu den geforderten $270 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{ha})$ nach 10 Minuten liegt der ermittelte Wert etwa sechsmal so hoch. Die Messungen 2 an dem Pflaster mit den kleinen Formaten sowie die Messungen 3 und 4 an dem Pflaster mit den größeren Formaten ergaben ebenfalls eine spezifische Versickerungsrate nach 10 Minuten von mehr als $1.800 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{ha})$. Auch nach 30

Minuten war kein Aufstau von Wasser auf den Flächen zu beobachten. Nach der Anwendung des Korrekturfaktors von 0,9 liegen die Werte bei $> 1.620 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$.

Mit dem händischen Test wurden spezifische Versickerungsraten von $11.200 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ und $12.200 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ bei den kleinen Formaten gemessen, das entspricht nach Anwendung des Korrekturfaktors von 0,7 $7.800 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ bzw. $8500 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$. Die spezifische Versickerungsrate im Neuzustand für das Pflaster mit den kleinen Formaten kann also mit etwa $8.000 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ abgeschätzt werden. Für das Pflaster mit den größeren Formaten wurden $9.100 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ und $8700 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ ermittelt, das entspricht 6.400 bzw. $6.100 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$. Für die größeren Formate beträgt die spezifische Versickerungsrate im Neuzustand also etwa $6.000 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$.

Hieraus ist ersichtlich, dass die Forderungen der FGSV, des DIBt und auch der DWA für wasserdurchlässige Flächenbeläge von beiden Formaten mit großer Sicherheit erfüllt werden.

6. Wasserwirtschaftliche Bewertung

Das Ergebnis der Untersuchungen zeigt, dass das GDM.ACENTRO stone System der Firma Godelmann GmbH & Co. KG bei einer Verwendung der vom Hersteller empfohlenen Gesteinskörnungen für die Bettung und die Fugenfüllung für eine vollständige Versickerung der Regenabflüsse geeignet ist. Die Forderungen des Merkblattes für Versickerungsfähige Verkehrsflächen (FGSV 2013) und des Arbeitsblattes A 138-1 (DWA 2020) für die Flächenversickerung werden bei einem ausreichend durchlässigem Trag- und Frostschuttschichtmaterial und einem ausreichend sickerfähigem Untergrund erfüllt.

7. Zusammenfassung

Die Untersuchungen eines Pflastersystems vom Typ GDM.ACENTRO stone der Firma Godelmann GmbH & Co. KG aus Fensterbach ergaben für ein neu verlegtes Pflaster mit einer Fugenbreite von 6 mm im unteren Bereich, einer 5 cm mächtigen Bettung der Kornabstufung $2/5 \text{ mm}$ und einer Fugenfüllung der Kornabstufung $1/3 \text{ mm}$ eine spezifische Infiltrationsrate nach 10 Minuten Messzeit von mehr als $1.620 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$. Mit einem händischen Verfahren konnte die spezifische Versickerungsleistung für die Variante mit kleinen Formaten auf etwa $8.000 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ und für die Variante mit großen Formaten auf etwa $6.000 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ abgeschätzt werden. Der im Merkblatt für Versickerungsfähige Verkehrsflächen geforderte Mindest-Wert von $270 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ wird weit überschritten.

8. Literatur

DWA (2020): Arbeitsblatt DWA-A 138-1 (Gelbdruck): Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser- Teil 1: Planung, Bau, Betrieb.- DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef

FGSV (2013): Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen von Verkehrsflächen.- Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen e.V.; Köln

DIBt (2012): Zulassungsgrundsätze Niederschlagswasserbehandlungsanlagen Teil 2: Wasserdurchlässige Beläge für Kfz-Verkehrsflächen für die Behandlung des Abwassers zur anschließenden Versickerung in Boden und Grundwasser (Abwasserbehandelnde Flächenbeläge).- Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin

Münster, den 01.04.2022



(Dr.-Ing. Carsten Dierkes)

Anhang

Ergebnis der Tropfinfildrometer-Messung 1

Die Messung wurde mit dem Tropfinfildrometer gemäß Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen für Verkehrsflächen der Forschungsgemeinschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) durchgeführt.

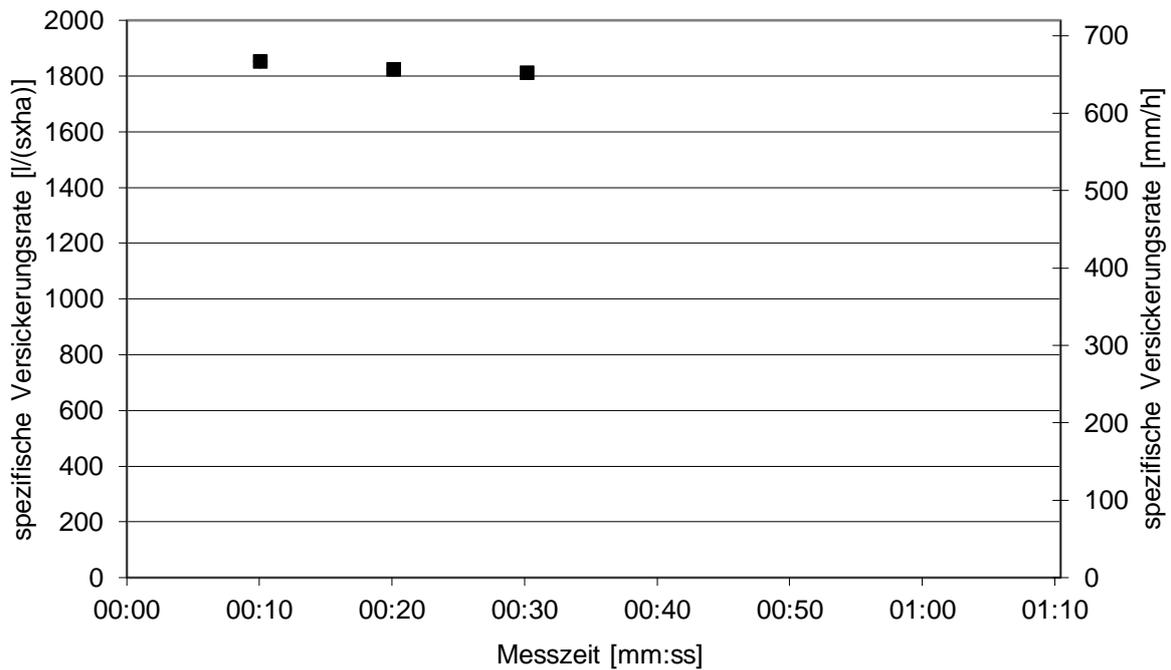
Ort der Messung: Messung wurde auf der Testfläche durchgeführt

(kleine Formate)

Datum der Messung: 17.01.2022

Messingenieur: Dr.-Ing. C. Dierkes

Ergebnis der Messung:



Die maßgebliche spezifische Versickerungsrate i_{10} nach 10 Minuten Messzeit beträgt > 1.800 l/(s·ha).

Ergebnis der Tropfinfiltrrometer-Messung 2

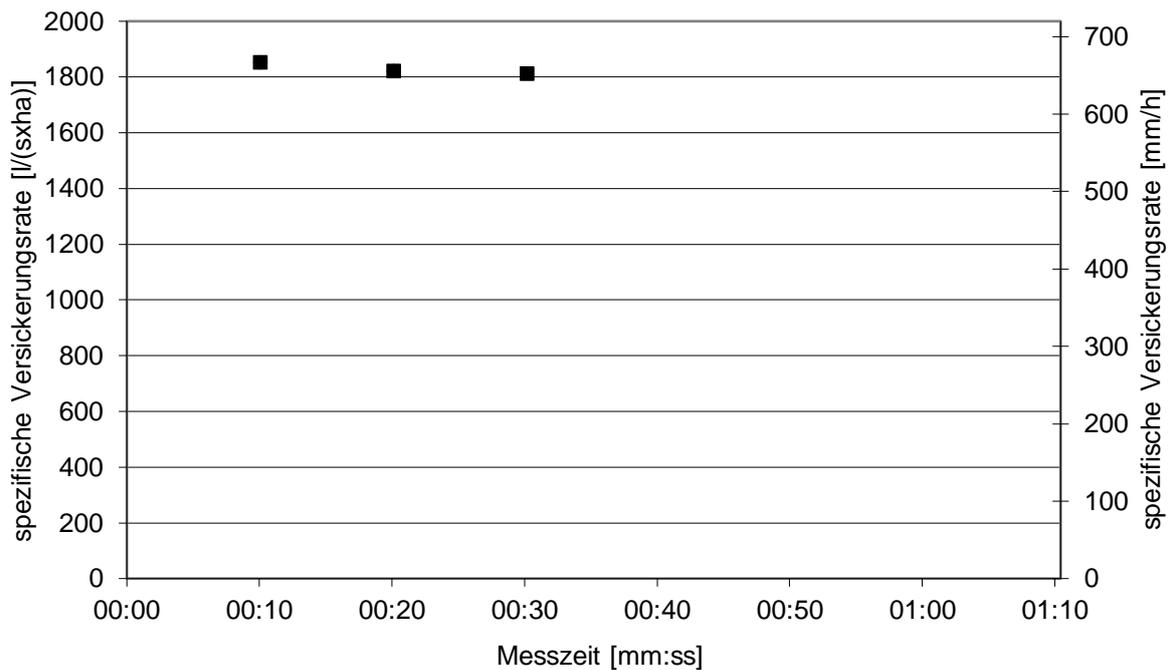
Die Messung wurde mit dem Tropfinfiltrrometer gemäß Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen für Verkehrsflächen der Forschungsgemeinschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) durchgeführt.

Ort der Messung: Messung wurde auf der Testfläche durchgeführt
(kleine Formate)

Datum der Messung: 17.01.2022

Messingenieur: Dr.-Ing. C. Dierkes

Ergebnis der Messung:



Die maßgebliche spezifische Versickerungsrate i_{10} nach 10 Minuten Messzeit beträgt > 1.800 l/(s·ha).

Ergebnis der Tropfinfildrometer-Messung 3

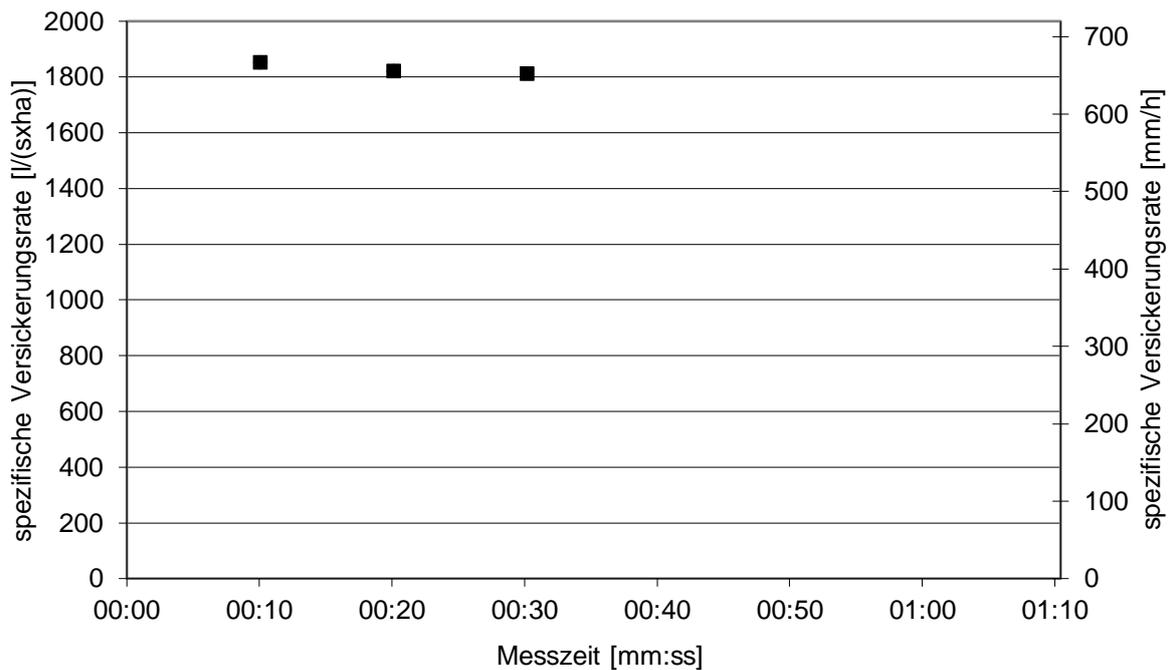
Die Messung wurde mit dem Tropfinfildrometer gemäß Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen für Verkehrsflächen der Forschungsgemeinschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) durchgeführt.

Ort der Messung: Messung wurde auf der Testfläche durchgeführt
(große Formate)

Datum der Messung: 17.01.2022

Messingenieur: Dr.-Ing. C. Dierkes

Ergebnis der Messung:



Die maßgebliche spezifische Versickerungsrate i_{10} nach 10 Minuten Messzeit beträgt > 1.800 l/(s·ha).

Ergebnis der Tropfinfildrometer-Messung 4

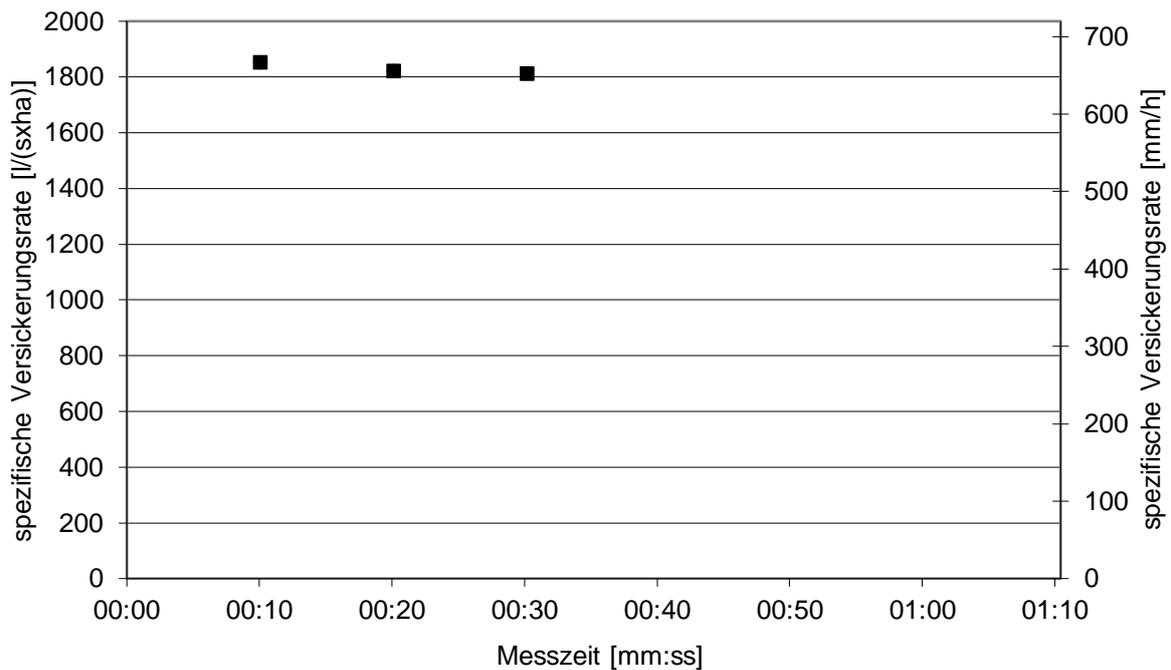
Die Messung wurde mit dem Tropfinfildrometer gemäß Merkblatt für wasserdurchlässige Befestigungen für Verkehrsflächen der Forschungsgemeinschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) durchgeführt.

Ort der Messung: Messung wurde auf der Testfläche durchgeführt
(große Formate)

Datum der Messung: 17.01.2022

Messingenieur: Dr.-Ing. C. Dierkes

Ergebnis der Messung:



Die maßgebliche spezifische Versickerungsrate i_{10} nach 10 Minuten Messzeit beträgt > 1.800 l/(s·ha).