

Erprobung dezentraler Rinnensysteme zur Behandlung des Straßenoberflächenabflusses

Rebecca Eyckmanns-Wolters¹⁾ und Stephan Fuchs¹⁾

¹⁾ Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Bereich Siedlungswasserwirtschaft und Wassergütekunde, Gotthard-Franz-Str. 3, 76131 Karlsruhe, eyckmanns@kit.edu

Kurzfassung

Ein dezentrales Rinnensystem zur Behandlung des Straßenabflusses wurde in situ und im Labor hinsichtlich der hydraulischen Leistungsfähigkeit untersucht. Getestet wurden vier verschiedene Methoden der Durchlässigkeitsbestimmung: Ringinfiltrrometer, Ausflussmesszylinder, Haubeninfiltrrometer und eine empirische Bestimmung anhand der Korngrößenverteilung des Filtermaterials nach BEYER.

Die in situ bestimmte Durchlässigkeit lag im Mittel zwischen $1 \cdot 10^{-5}$ und $3 \cdot 10^{-5}$ m/s und damit in dem nach DWA-A 138 geforderten Bereich für Versickerungsanlagen. Ein Standardregen ($r=15$ l/(s*ha)) zehnmütiger Dauer kann mit geringem Einstau des vorhandenen Retentionsraums abgeleitet werden. Damit sind 70 bis 80 % aller Regenereignisse abgedeckt.

Zur Bestimmung der Durchlässigkeit im Labor wurde ein Versuchsstand konzipiert, der mit realem Sediment beaufschlagt wurde. Feststoffe größer $63 \mu\text{m}$ konnten nur mit hohem Energieeintrag auf die Rinne aufgebracht werden. Gleiches sollte für Feststoffe im Straßenbereich gelten.

Die im Labor bestimmte Durchlässigkeit betrug $3,5 \cdot 10^{-4}$ bis $1,5 \cdot 10^{-3}$ m/s und stellt auch nach Beaufschlagung mit 22 % der Jahresfracht noch den unbelasteten Zustand dar. Dieser um bis zu zwei Zehnerpotenzen signifikante Unterschied zur Durchlässigkeit im Feldversuch zeigt deutlich, dass die langfristige mittlere hydraulische Leistungsfähigkeit nicht vom Substrat, sondern von der Sedimentauflage bestimmt wird.

Einleitung

Die Wirksamkeit von dezentralen Systemen zur Behandlung von Straßenabflüssen wurde und wird derzeit in unterschiedlichen Untersuchungsvorhaben in situ und im Labor ermittelt. Die Reinigungsmechanismen dezentraler Systeme sind Filtration bzw. Siebung, Adsorption und Sedimentation. Diese Reinigungsmechanismen setzen eine Speicherung (Retention) des Niederschlagsabflusses voraus. Ein gedrosselter Abfluss geht damit in der Regel einher.

Dezentrale Filteranlagen müssen eine hydraulische Gradwanderung meistern. Einerseits muss eine Minstdurchlässigkeit gewährleistet sein, da Flächen aus Gründen der Verkehrssicherheit vor Überflutung zu schützen sind. Andererseits darf die Durchlässigkeit nicht zu hoch sein, damit der gewünschte Reinigungserfolg eintritt. Im Einsatzbereich Straße steht diese Gradwanderung vor dem Hintergrund eines begrenzten Flächendangebots und konzentrierten Feststoffaufkommens.

Derzeit sind verschiedene dezentrale Behandlungssysteme mit Filterwirkung auf dem Markt vertreten: kompakte Systeme zum Einbau in Straßeneinläufe oder Schächte und flächige Rinnensysteme mit Filtersubstrat, die statt der Entwässerungsrinnen entlang der Fahrbahnkante eingebaut werden. Im Rahmen zweier Bachelorarbeiten wurde die Filterrinne der Firma Hauraton auf ihre Durchlässigkeit in einem Neubaugebiet in Walldorf (Baden-

Württemberg) und im Labor untersucht. Es zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen der Durchlässigkeit im Ausgangszustand und im Betrieb.

Grundlagen

Hydraulische Belastung

Die hydraulische Belastung zentraler und dezentraler Anlagen unterscheidet sich nicht. In Karlsruhe weisen beispielsweise 79 % aller Regenereignisse eine Intensität kleiner 1 mm/h auf (Abbildung 1). Bei einer Regendauer von 10 Minuten entspricht dies einer Regenspende von 15 l/(s*ha). Diese gilt auch als Mindestanforderung (kritische Regenspende) bei der Bemessung von Regenklärbecken.

Bemessungsregenspenden für dezentrale Anlagen liegen je nach Hersteller zwischen 10 l/(s*ha) und 150 l/(s*ha). Zehnminütige Niederschläge von 0,6 mm/h bis 9 mm/h werden damit abgedeckt. Bei länger andauernden Regen erhöht sich der Wert entsprechend. Zum Vergleich: Markante Wetterwarnungen werden vom DWD ab einer Regenmenge von 10 mm/h herausgegeben, eine Unwetterwarnung ab einer Regenmenge größer 25 mm/h.

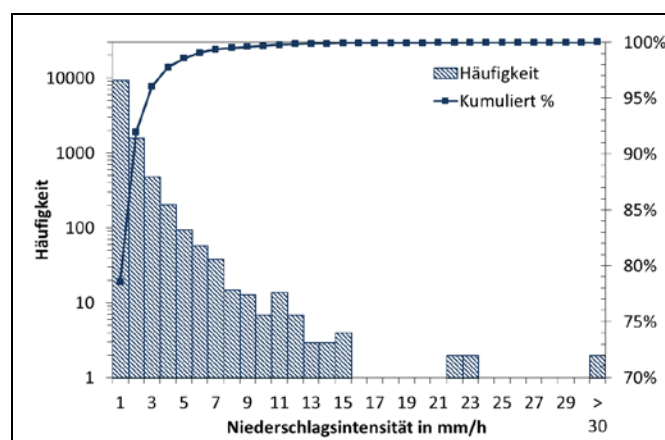


Abbildung 1: Niederschlagsverteilung in Karlsruhe (1996-2008) [DWD, 2014]

Durchlässigkeit

Ist die Durchlässigkeit zu hoch, tritt kein Reinigungserfolg ein, da Partikel nicht am Filtermedium haften bleiben. Das DWA-A 138 nennt für Versickerungsanlagen einen maximalen Durchlässigkeitsbeiwert (k_f -Wert) von $1 \cdot 10^{-3}$ m/s. Andererseits ist für eine schadlose Ableitung (siehe Verkehrssicherheit) eine minimale Durchlässigkeit notwendig. Hier wird für Versickerungsbecken eine minimale Durchlässigkeit von $1 \cdot 10^{-5}$ m/s und für Mulden von $5 \cdot 10^{-6}$ m/s angegeben (DWA-A 138).

Findet kein Einstau statt (Retentionsvolumen = 0 m³), ergibt sich zwischen dem Zufluss (in Abhängigkeit der Regenspende) und der Durchlässigkeit (Drosselabfluss) in einer Versickerungsanlage nach DWA-A 138 folgende Beziehung:

$$k_f = r_{D,n} \cdot I_{hy} \cdot A_u / A_s \cdot 10^{-7}$$

mit	k_f :	Durchlässigkeitsbeiwert der ungesättigten Zone in m/s
	$r_{D,n}$:	Bemessungsregenspende in l/(s*ha)
	I_{hy} :	hydraulischer Radius, dimensionslos (ohne Einstau = 1)
	A_u :	angeschlossene reduzierte abflusswirksame Fläche in ha
	A_s :	Filterfläche in ha

Der Hersteller gibt für die hier untersuchte Filterrinne ein Flächenverhältnis von 50 an. Die Rinne staut also rechnerisch ab einer Durchlässigkeit des Substrats unter $7,5 \cdot 10^{-5}$ m/s ein ($r = 15$ l/(s*ha)).

Die Durchlässigkeit wurde anhand vier verschiedener Methoden bestimmt. Diese sind in Abbildung 2 und Tabelle 1 dargestellt.



Abbildung 2: Ausflussmesszylinder, Ringinfiltrometer, Haubeninfiltrometer (v.l.n.r.) [Fotos: R. Reiter, E. Dobner]

Tabelle 1: Methoden zur Bestimmung der Durchlässigkeit in situ und im Labor

Methode	Prinzip	Formel	
Ringinfiltrometer, Ausflussmesszylinder	Veränderliche Druckhöhe	$k_f = A_2/A_1 * L/(t_2-t_1) * \ln(h_1/h_2)$	(1)
Haubeninfiltrometer nach WOODING	Konstante Druckhöhe	$Q = \pi * r^2 * k_{f,u} * (1 + 4/ \pi/ \alpha/ r)$ $k_{f,u} = k_f * \exp(\alpha * h)$	(2)
Empirisch nach BEYER	Korngrößenverteilung	$k_f = x * d_{10}^2$ $x = 0,0118 * C_u^{-0,201}$	(3)

mit	k_f :	Durchlässigkeitsbeiwert in m/s	(1 und 3)
	$k_{f,u}$:	Durchlässigkeitsbeiwert im ungesättigten Zustand in m/s	(2)
	A_2/A_1 :	Verhältnis der Ausströmflächen zueinander (Ringinfiltrometer = 1)	(1)
	L :	Länge der durchflossenen Fläche in m	(1)
	h_1 :	Höhe ab Boden zu Beginn der Messung in m	(1)
	h_2 :	Höhe ab Boden zu Ende der Messung in m	(1)
	t_2-t_1 :	Zeit zwischen den Messpunkten h_1 und h_2 in s	(1)
	Q :	stationärer Zufluss in m ³ /s	(2)
	r :	Radius der kreisrund durchströmten Fläche in m	(2)
	α :	Bodenstrukturparameter nach GARDNER in m ⁻¹ (siehe auch UGT (2012))	(2)
	d_{10} :	Korngröße im Schnittpunkt mit der 10 %-Ordinate der Summenkurve in mm	(3)
	x :	empirischer Beiwert in Abhängigkeit der Ungleichförmigkeitszahl C_u	(3)

Entwicklung des Versuchsstandes

Der Versuchsstand wurde mit realem Sediment beaufschlagt. Dieses stammt aus der Sedimentauflage über der Substratschicht aus den Filterinnen im Einzugsgebiet Walldorf (Abbildung 3 links). Die Korngrößenverteilung der Sedimentauflage wurde über Nasssiebung bestimmt. Der Feinkornanteil kleiner 63 µm liegt bei ca. 10 % der Gesamtmasse (Abbildung 3 rechts). Dies ist ein deutlicher Unterschied zu den zentralen Anlagen. Im Zulauf von Regenklärbecken wurde beispielsweise ein Feinanteil von über 75 % festgestellt. Auf der Transportstrecke Kanalnetz findet eine deutliche Fraktionierung statt.

Die Korngrößenverteilung der Sedimentauflage stimmt mit mittleren Literaturdaten von Straßensedimenten überein.

Als Modellsediment wurde Material der Sedimentauflage kleiner 500 µm verwendet und anhand der mittleren Korngrößenkurve (vgl. Abbildung 3 rechts) neu zusammengestellt. Die Zugabe des Modellsediments erfolgte in einen Vorlagebehälter von 400 l Fassungsvermögen. Innerhalb dieses Behälters wurden ein Rührwerk, eine

Umwälzpumpe und eine Teichpumpe als Förderinstrument installiert. Ohne Rührwerk und Umwälzpumpe wurden nur Feststoffe kleiner $63\ \mu\text{m}$ in das Verteilungssystem transportiert. Ein hoher Energieeintrag ist notwendig, um alle Feststoffe kleiner $500\ \mu\text{m}$ in Schwebelage zu halten.

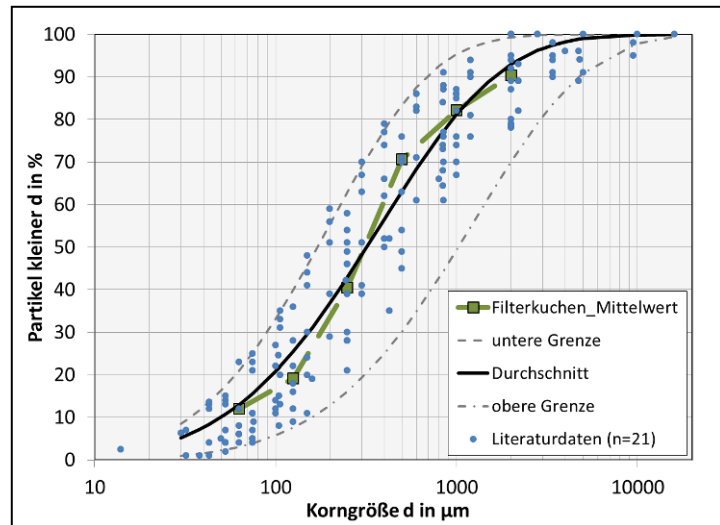
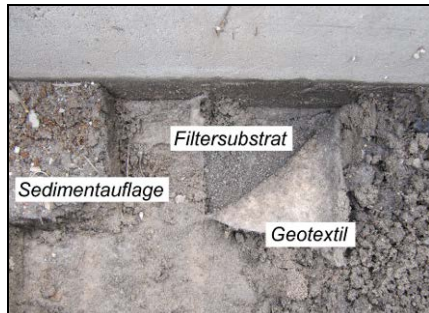


Abbildung 3: Sedimentauflage (Filterkuchen) in situ (links) und eingeordnet in Literaturdaten (rechts)

Das Feststoff-Wasser-Gemisch wurde über 4 Hähne gleichmäßig über eine Platte der Rinne zugeführt (Abbildung 4). Die Beaufschlagung der Rinne erfolgte einseitig, um den Abfluss von einer Straßenseite zu simulieren. Für die Einzelversuche wurde eine Regenspende von $30\ \text{l}/(\text{s}\cdot\text{ha})$ mit einer Dauer von 30 Minuten gewählt. Die Feststoffkonzentrationen betrugen $200\ \text{mg/l}$, $400\ \text{mg/l}$ und $1000\ \text{mg/l}$. Je Konzentration wurden drei Einzelversuche durchgeführt. Nach jedem Einzelversuch wurde eine Sedimentprobe genommen und gesiebt. Im Anschluss an die drei Einzelversuche wurde die Durchlässigkeit an einer unbeschädigten Stelle mittels Haubeninfiltrometer bestimmt. Das Ringinfiltrometer wurde vor Beginn und nach Abschluss der Versuche eingesetzt.



Abbildung 4: Versuchsstand und Beschickung der Filterrinne [Fotos: E. Dobner]

Ergebnisse

Die **Laborversuche** zeigen Durchlässigkeiten im gesättigten Zustand zwischen $3,5\cdot 10^{-4}$ und $1,5\cdot 10^{-3}\ \text{m/s}$ (Abbildung 5 links). Die mit dem Ringinfiltrometer bestimmte Durchlässigkeit liegt um circa eine halbe Zehnerpotenz über der mit dem Haubeninfiltrometer gemessenen Durchlässigkeit. Die Unterschiede können auf das unterschiedliche Messprinzip zurückgeführt werden: fallende Druckhöhe bzw. konstante Druckhöhe. Die empirisch abgeschätzte Durchlässigkeit nach BEYER liegt in etwa dazwischen.

Nach Auftrag von ca. 22 % der Jahresfracht (Ende Versuch 3) ist kein signifikanter Unterschied in der Durchlässigkeit feststellbar. Eine flächige Sedimentauflage konnte nicht festgestellt werden.

Um die Umstände zu identifizieren, unter denen sich eine flächige Sedimentauflage einstellt, sind längerdauernde Versuche angedacht.

Die Durchlässigkeit **in situ** wurde an drei Standorten in verschiedenen Monaten gemessen (Walzrute, Rebengärten, Kreisverkehr). Die mittlere Durchlässigkeit unterscheidet sich an den drei Standorten kaum (Abbildung 5 rechts). Sie liegt zwischen $1\cdot 10^{-5}$ und $3\cdot 10^{-5}\ \text{m/s}$. Das Ausflussmessgerät liefert tendenziell eine geringere Durchlässigkeit als die empirisch nach BEYER ermittelte Durchlässigkeit.

Im Vergleich zu den Laborwerten, die den unbelasteten Zustand symbolisieren, zeigt sich ein signifikanter Sprung in der Durchlässigkeit um bis zu zwei Zehnerpotenzen.

Die Messwerte an den einzelnen Standorten schwanken selbst um bis zu zwei Zehnerpotenzen um den Mittelwert (nicht dargestellt).

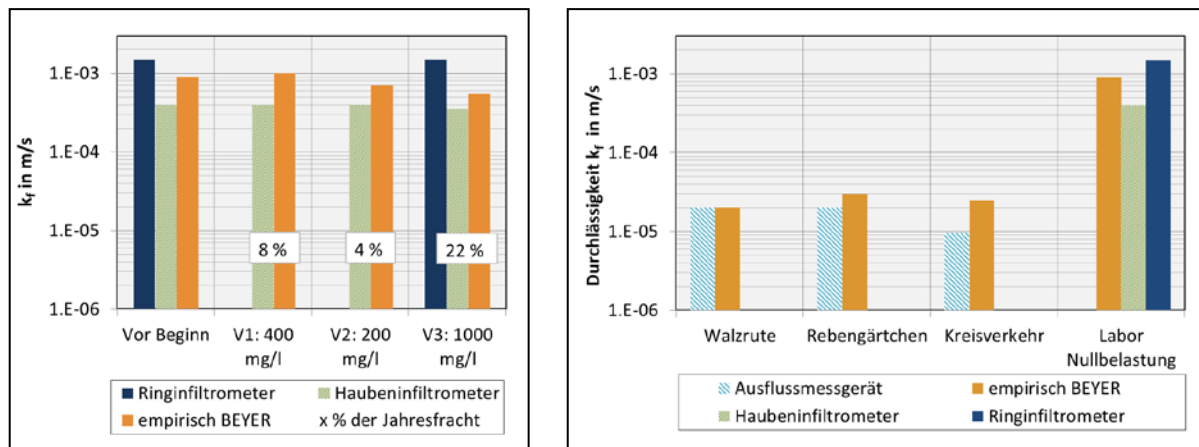


Abbildung 5: Ergebnisse der Durchlässigkeitsmessungen links: Versuchsstand, rechts: in situ

Zusammenfassung - Fazit

Während der Entwicklung des Versuchsstandes und der ersten Versuche wurde deutlich, dass der Eintrag von Feststoffen größer 63 µm in die Rinnen über den Regenabfluss selbst nicht möglich ist. Der Haupteintrag erfolgt vermutlich über Spritzwasser, Überfahung der Rinne oder Straßen-/Gehwegreinigung. Weiterhin wird klar, dass die in Walldorf vorgefundene Sedimentauflage von mehreren Zentimetern mehrere Monate bis Jahre zum Aufbau benötigt. Vor Ausbildung der Sedimentauflage wirkt das eingebrachte Substrat als Filtermedium.

Der signifikante Sprung in der Durchlässigkeit zwischen der Rinne im Auslieferungszustand und im Betrieb zeigt deutlich, dass die Durchlässigkeit im langjährigen Mittel nicht von der Durchlässigkeit des Substrates bestimmt wird. Vielmehr ist die Zusammensetzung der Sedimentauflage (Korngrößen und organischer Anteil) ausschlaggebend.

Die in situ bestimmte Durchlässigkeit zwischen $1 \cdot 10^{-5}$ und $3 \cdot 10^{-5}$ m/s stellt unter Berücksichtigung des zur Verfügung stehenden Retentionsraums bei einer Regenspende von $15 \text{ l/(s} \cdot \text{ha)}$ keine Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit dar. Das System bleibt hydraulisch stabil. Bei erhöhten organischen Anteilen ist jedoch mit einer Absenkung der Durchlässigkeit um weitere zwei Zehnerpotenzen zu rechnen. Zur orientierenden Bestimmung der Durchlässigkeit empfiehlt sich eine Korngrößenbestimmung mittels Nasssiebung und empirische k_f -Wert Bestimmung nach BEYER sowie die Ermittlung des organischen Anteils über den Glühverlust. Für Laborversuche wird vergleichend das Haubeninfiltrrometer empfohlen, da es die Oberfläche nicht zerstört und gut reproduzierbare Durchlässigkeiten zeigt.

Literatur

Dobner, Eva (2014): Entwicklung und Erprobung eines Versuchsstandes zur Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit einer dezentralen Filtersubstratrinne, Bachelorarbeit, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), September 2014, unveröffentlicht

DWA-A 138 „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“, DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Abwasser und Abfall e.V., Hennef, 2005

DWD (2014): Klimadaten Deutschland, Messstation Karlsruhe, Stundenwerte Niederschlag für den Zeitraum 1996-2008, www.dwd.de, abgerufen September 2014

Reiter, Michael (2014): Untersuchung der Drainfix Clean Filtersubstratrinnen im Neubaugebiet Walldorf Süd, Bachelorarbeit, Karlsruher Institut für Technologie, Januar 2014, unveröffentlicht

RVS 11.06.29 „Bestimmung der Durchlässigkeit mit dem Ausschüttversuch und dem Ausflussmessgerät“, Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen der österreichischen Forschungsgesellschaft Straße und Verkehr (FSV), Wien, 1997

UGT (2012): Bedienungsanleitung Haubeninfiltrrometer IL 2700: Müncheberg Freising Homécourt, Umwelt-Geräte-Technik GmbH, Version 30/01/12