



IKT – Institut für
Unterirdische Infrastruktur

BERICHT

Prüfung des Partikelrückhalts eines Filterbeckens: Laborversuch an einem Filterausschnitt mit Sedimentationsbecken

Auftraggeber: Wirtschaftsbetrieb Hagen AöR
Eilper Straße 132-136, 58091 Hagen

Bearbeitung: IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH
Exterbruch 1, 45886 Gelsenkirchen

Prüfbericht Nr.: F0251

Datum: 13. November 2015

ANSPRECHPARTNER AUFTRAGGEBER:

Herr Lars Kieseewetter Tel.: 02331 3677-130

BEARBEITUNG:

Dipl.-Ing. Christoph Bennerscheidt Tel.: 0209 17806-25

Dieses Dokument besteht aus zwölf Seiten.

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände. Der Prüfbericht darf auszugsweise nur mit schriftlicher Genehmigung des IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH vervielfältigt werden.

IKT - Institut für Unterirdische
Infrastruktur gGmbH


- Staatl. anerk. Prüfstelle
für Durchfluss-Messungen
Dipl.-Ing. Christoph Bennerscheidt
Leiter der Prüfstelle für Durchflussmessung



Marcel Goerke, M.Sc.
Prüfstelle für Durchflussmessung

Inhaltsverzeichnis

1	Beschreibung der untersuchten Anlage	3
2	Prüfregenspenden, Durchlaufzeiten und hydraulische Leistungsfähigkeiten	5
2.1	Ermittlung der hydraulischen Leistungsfähigkeit	5
3	Ermittlung des Rückhalts von Feststoffen	5
4	Zusammenfassung der labortechnischen Untersuchungen	10
5	Literatur	11

1 Beschreibung der untersuchten Anlage

Bei der untersuchten Anlage handelt es sich um ein Modell einer als Prototyp vorhandenen zentralen Niederschlagswasserbehandlungsanlage (NW-Behandlungsanlage). Diese Anlage besteht grundsätzlich aus einem Sedimentationsbecken, dem ein Substratfilter mit einem darauf angebrachten Filtervlies nachgeschaltet ist. Darüber hinaus sind Komponenten verbaut, die z.B. die Reinigung des Filtervlieses erlauben oder die NW-Behandlungsanlage entleeren. Das für die hier dargestellten Versuche genutzte Modell bildete die zwei grundlegenden Reinigungselemente ab. Diese sind zum einen ein Sedimentationsschacht und zum anderen der Substratfilter mit aufgelegtem Filtervlies. Der Aufbau des Modells mit Zulauf, Sedimentationsbecken, Substratfilterschicht mit Geotextil und Auslauf ist als Skizze in Abb. 1 dargestellt. Im Echtbetrieb erfolgt eine wasserstandsabhängige Reinigung der Reinigung des Vlieses. Diese wird bei diesen Prüfungen nicht berücksichtigt und bleibt bei dieser Prüfung unberücksichtigt.

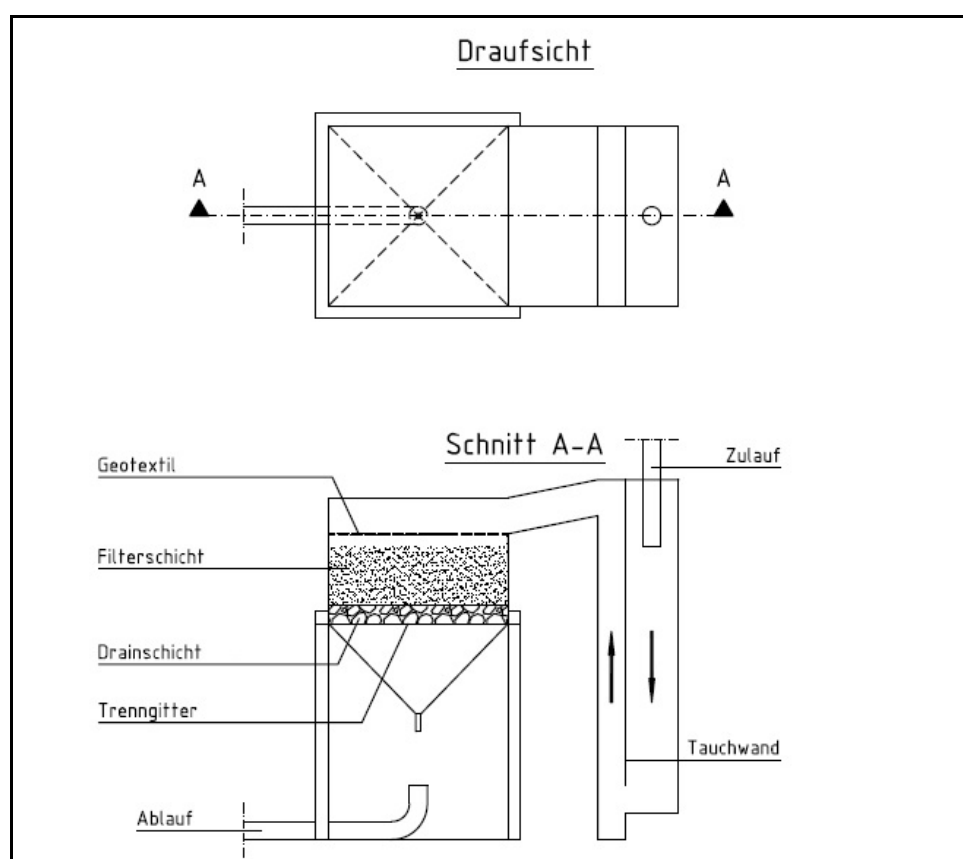


Abb. 1: Modell der NW-Behandlungsanlage mit Zulauf von links, Sedimentationsbecken, (Substrat)-Filterschicht mit aufgelegtem Geotextil und Ablauf. (Bildquelle: Nady Rafail)

Das Modell, angeschlossen an die IKT-Prüfanlage für Niederschlagswasserbehandlungsanlagen ist in Abb. 2 dargestellt. Der Substratfilter mit dem Geotextil ist als Prüfkörper in einen Versuchsrahmen aus Edelstahl eingebaut.

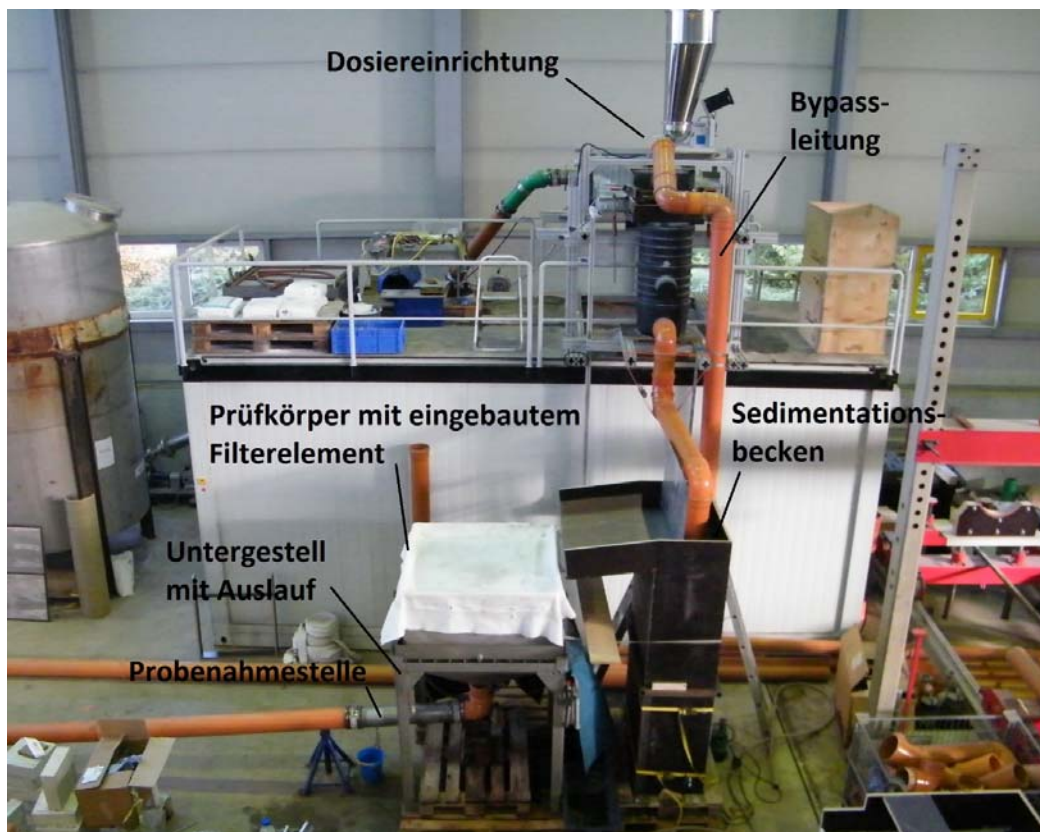


Abb. 2: Modell der NW-Behandlungsanlage angeschlossen an die IKT-Prüfanlage für Niederschlagswasserbehandlungsanlagen. (Bildquelle: Nady Rafail)

Bemessung des Sedimentationsbeckens

Der Prototyp zur zentralen NW-Behandlungsanlage des Wirtschaftsbetriebs Hagen schafft die Behandlung von 37,8 l/s bei einer aktiven Filterfläche von 7,57 m². Für die im Prüfkörper zur Verfügung stehenden Filterfläche von 1 m² ergibt sich daraus eine Beschickung mit ca. 5 l/s. Die Konstruktion des Sedimentationsraumes wurde durch zwei Parameter beeinflusst. Dies ist zum einen der maximale Durchfluss mit einer resultierenden Fließgeschwindigkeit von 0,032 m/s, die nicht überschritten werden durfte. Zum anderen sollte die erforderliche Fließzeit durch das Sedimentationsbecken von 91,9 s eingehalten werden, um eine ausreichende Absetzwirkung zu gewährleisten. Auf Grundlage dieser beiden Parameter wurde der Sedimentationsraum entwickelt, realisiert und dem Filter vorgeschaltet.

Die durchgeführten Prüfungen sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Durchgeführte Prüfungen an der Sedimentationsanlage.

Durchgeführte Prüfungen	
Hydraulische Leistungsfähigkeit	X
AFS mineralisch, feinkörnig	X
AFS mineralisch, grobkörnig	Abschätzung
Schwimm-und Schwebstoffe	Abschätzung

2 Prüfrengspenden, Durchlaufzeiten und hydraulische Leistungsfähigkeiten

Die Prüfungen der hydraulischen Leistungsfähigkeiten erfolgten mit unterschiedlichen Zuflussmengen.

Die Zuflussmengen [l/s] werden unter Einbeziehung der mit dem Hersteller abgestimmten angeschlossenen Fläche von 500 m² bei Prüfrengspenden von 2,5 l/(s*ha), 6,0 l/(s*ha), 25 l/(s*ha) bzw. 100 l/(s*ha) berechnet (vgl. [1]).

Tabelle 2: Prüfrengspenden und Volumenströme bei einer angeschlossenen Fläche von 5.000 m².

Teilprüfung [Nr.]	Regenintensität [l/s*ha]	Volumenstrom*1 [l/s]
1	2,5	0,125
2	6,0	0,300
3	25	1,250
4	100,0	5,000

2.1 Ermittlung der hydraulischen Leistungsfähigkeit

Die hydraulische Leistungsfähigkeit des Modells betrug 8 l/s.

3 Ermittlung des Rückhalts von Feststoffen

Im Anschluss an die Ermittlung der hydraulischen Leistungsfähigkeit wurde im nächsten Schritt der Rückhalt von feinkörnigen, mineralischen AFS ermittelt.

In Anlehnung an die Zulassungsgrundsätze für „Niederschlagswasserbehandlungsanlagen“ (Januar 2015) des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) [1] wurde der Rückhalt von feinkörnigen, mineralischen, abfiltrierbaren Stoffe (AFS) durch die Aufbringung eines Quarzmehls (MILLISIL W4) der Quarzwerke GmbH mit einer Jahresfracht in Höhe von 50 g/m² angeschlossener Fläche ermittelt. Die AFS wurden dem Beschickungsvolumenstrom in drei Teilprüfungen im Verhältnis 3:2:1 mittels eines Schneckendosierers zugegeben (vgl. Tabelle 3) und decken einen Korngrößenbereich von 0 bis 200 µm ab. Im Rahmen eines vierten Teilversuchs wurde untersucht, inwieweit die zurückgehaltenen feinkörnigen mineralischen AFS bei einem stärkeren Regenereignis in Höhe von 100 l/s*ha ausgespült werden.

Mit Blick auf den realen Betrieb der zentralen NW-Behandlungsanlage in Hagen bildet dieses Vorgehen bei der hier dargestellten Prüfung die Realität nur unzureichend ab, da die Verschmutzung des Vlieses automatisch erkannt und eine Reinigung durchgeführt wird. Dies erfolgt bereits weit bevor eine Jahresschmutz die Anlage

passiert hat. Die Ergebnisse der Teilprüfung 4 wurden vor diesem Hintergrund differenziert betrachtet (s.u.). Insbesondere bei den in Tabelle 6 dargestellten Ergebnissen wird die ereignisabhängige Reinigung des Vlieses berücksichtigt.

Tabelle 3: Versuchparameter zur Ermittlung des Rückhaltes feinkörniger, mineralischer, abfiltrierbarer Stoffe (AFS) bei einer Anschlussfläche von 500 m².

Teilprüfung [Nr.]	Regenintensität [l/s*ha]	Volumenstrom [l/s] ^{*1}	Quarzmehl		Prüfdauer [min]	Proben [Anzahl]
			[kg]	[g/l]		
1	2,5	0,125	12,500	3,47	480	10
2	6,0	0,300	8,333	2,31	200	10
3	25,0	1,250	4,167	1,16	48	10
4	100,0	5,00	0,00	0,00	15	15
<u>Summe:</u>			<u>25,00</u>		<u>743</u>	<u>45</u>
*1 berechnet aus Multiplikation der maximal anzuschließenden Fläche (500 m ²) mit der jeweiligen Prüfregenspende]						

In den Teilprüfungen 1-3 wurden nach der jeweiligen Vorlaufzeit 5-mal in gleichen Abständen über die Prüfzeit verteilt Proben entnommen. Alle Proben wurden nach der Versuchsdurchführung mittels Unterdruck-Membranfiltration analysiert. Eingesetzt wurden Filter mit einer Maschenweite von 0,45 µm mit einem Durchmesser von 90 mm.

Die Teilprüfungen 1 bis 3 wurden wie geplant durchgeführt und Proben konnten zur Ermittlung der Rückhalteleistungen bei unterschiedlichen simulierten Niederschlagsereignissen genommen werden. Kurz nach dem Start der Teilprüfung 4 führte ein Rückstau auf dem Geotextil zu einem vorzeitigen Abbruch der Teilprüfung. Es zeigte sich, dass das auf dem Geotextil zurückgehaltene Millisil W4 die Durchlässigkeit des Geotextils stark verringert hatte. Statt der in einem Vorversuch ermittelten hydraulischen Leistungsfähigkeit von 8 l/s konnten lediglich noch ca. 1 l/s durchgeleitet werden. Dies hatte zur Folge, dass insgesamt nur 4 Proben unmittelbar nach Versuchsstart entnommen werden konnten und dann diese Teilprüfung abgebrochen wurde. Zur Auswertung standen dann die Proben aus den Teilprüfungen 1 bis 3 sowie die 4 Proben aus Teilprüfung 4 zur Verfügung. Nach Filtration und Massenermittlung wurden dann die Ergebnisse für Teilprüfung 4 gesichtet und ein für diese Teilprüfung üblicher Konzentrationsverlauf erkannt. Der größte Teil der Verschmutzung wurde bei der ersten Probe ausgespült und die nachfolgenden Proben zeigten eine kontinuierliche Abnahme der Konzentrationen. Vor diesem Hintergrund wurde zunächst eine mathematische Funktion berechnet (exponentielle Trendlinie von EXCEL), mit der sich ein sich dann einstellender theoretischer Konzentrationsverlauf bis zum Versuchsende berechnen ließ. [2]

Darauf aufbauend wurde ein Worst-case-Szenario für die Ablaufkonzentration betrachtet, in dem davon ausgegangen wurde, dass sich die Ablaufkonzentration am Ende des Versuchs nicht dem Nullwert nähert, sondern als Tangente die zuletzt ermittelte Ablaufkonzentration vor Abbruch des Versuchs in Höhe von 0,35 g/l angenommen wurde. Als weitere Variante wurde dann betrachtet, dass das Geotextil mit der Reinigungseinheit vor dem Ausspülversuch gereinigt wurde und so die Ablaufkonzentration mit 0,0 g/l angenommen wurde. Die sich ergebenden Ablaufkonzentration in Teilprüfung 4 (TP4) sind als Graphik in Abb. 3 dargestellt.

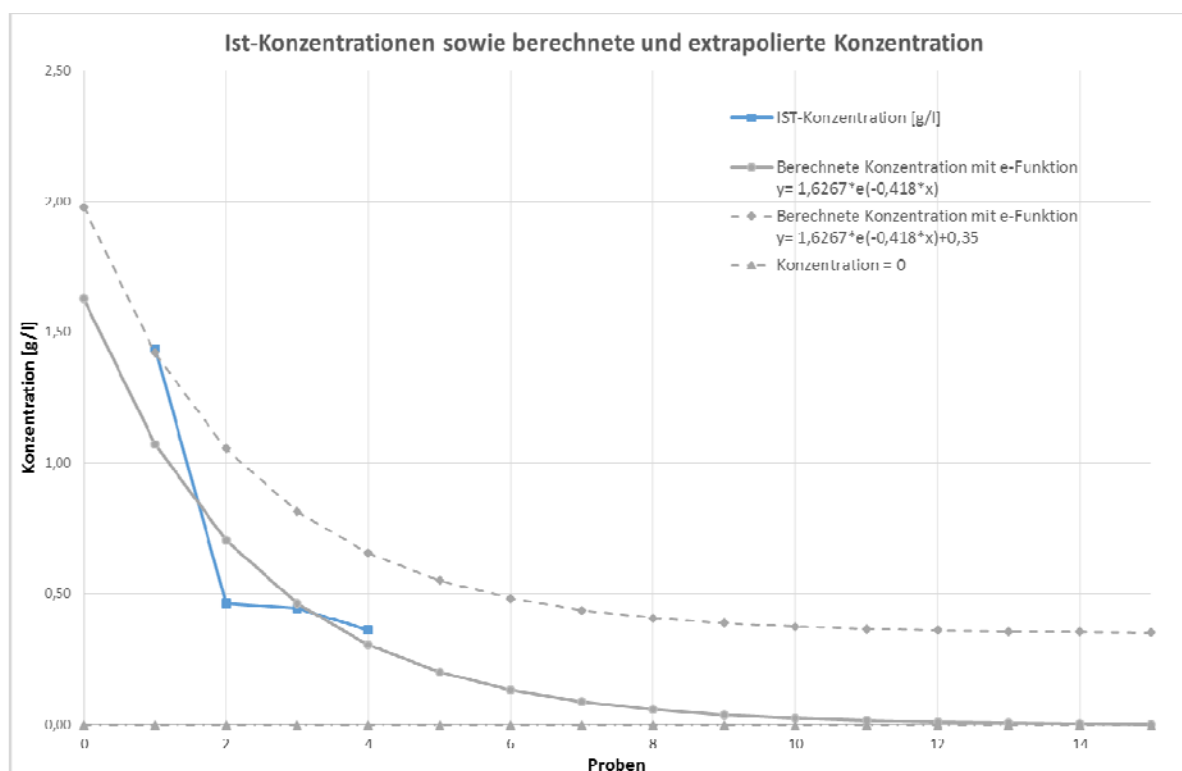


Abb. 3: Ablaufkonzentration bei Teilprüfung 4: Ist-Konzentrationen mit vier Messwerten sowie Trendlinie als e-Funktion mit x-Achse als Tangente, e-Funktion mit Konzentration von 0,35 g/l als Tangente und Konzentration im Ablauf wird zu null angenommen.

Die Mittelwerte dieser drei Szenarien für Teilprüfung 4 (TP4) wurden dann für die Ermittlung der Rückhaltewerte herangezogen und sind in Tabelle 4 bis Tabelle 6 zusammenfassend dargestellt.

Ergebnisse: Rückhalt feinkörniges, mineralisches AFS

Die Beurteilung des Rückhalts erfolgte durch den Vergleich zwischen der zugegebenen Konzentration im Zulauf (Zugabekonzentration) und der im Ablauf ermittelten Konzentration (Auslaufkonzentration) an AFS. Zur Ermittlung der Auslaufkonzentration wurde die in den Zulassungsgrundsätzen [1] angegebene Formel (vgl. Formel 1) zur Berechnung herangezogen. Dazu wird das während der Teilprüfungen 1 bis 3 tatsächlich eingestellte Beschickungsvolumen ($V_{Pr,n}$) mit der gemittelten Ablaufkon-

zentration (C_n) multipliziert. Der Ausspülversuch (Teilprüfung 4) wird in dieser Berechnungsform mit einem Faktor von 0,5 berücksichtigt. Die jeweils ermittelten Frachten (B_{1-4}) der Teilprüfungen werden anschließend zu einer Gesamtfracht B_{ges} aufsummiert.

Formel 1: Ermittlung der Ablauffracht gem. DIBt, 2015 [1].

$$B_{ges} = V_{Pr,1} \cdot C_1 + V_{Pr,2} \cdot C_2 + V_{Pr,3} \cdot C_3 + 0,5 \cdot (V_{Pr,4} \cdot C_4)$$

Darin bedeuten:

B_{ges} Gemittelte Ablauffracht gesamt [mg]

$V_{Pr,n}$ Beschickungsvolumen der Teilprüfung [l]

C_n Gemittelte Ablaufkonzentration der Teilprüfung [mg/l]

Die während der Versuchsdurchführung eingestellten und aufgezeichneten Daten sowie die Ergebnisse der Teilprüfungen sind zusammenfassend in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4: Versuchsparemeter und Ergebnisse der Versuche zur Ermittlung des Rückhaltes feinkörniger, mineralischer, abfiltrierbarer Stoffe: Mittlere Konzentration in Teilprüfung 4 wurde als e-Funktion mit x-Achse als Tangente berechnet.

Teilprüfung		1*1	2*2	3*2	4*3
Tatsächlicher Volumenstrom	[l/s]	0,125	0,300	1,250	5,000
Tatsächliche Versuchsdauer	[min]	480	200	48	15
Volumen	[l]	3.593	3.598	3.601	1.200
Zulaufkonzentration i. M. C_E	[g/l]	3,45	2,30	1,14	0,00
Ablaufkonzentration i. M. C_A	[g/l]	0,148	0,210	0,213	0,65
Rückhalt jeder Teilprüfung i. M.	[%]	95,7	90,9	81,3	-
Rückhalt der Gesamtanlage gem. Formel DIBt	[%]	90,14 *4			

*1 10 Proben; *210 Proben; *315 Proben; *4basiert auf ungerundeten Werten

Tabelle 5: Versuchsparemeter und Ergebnisse der Versuche zur Ermittlung des Rückhaltes feinkörniger, mineralischer, abfiltrierbarer Stoffe: Mittlere Konzentration in Teilprüfung 4 wurde als e-Funktion mit einer Konzentration von 0,35 l/s als Tangente berechnet.

Teilprüfung		1*1	2*2	3*2	4*3
Tatsächlicher Volumenstrom	[l/s]	0,125	0,300	1,250	5,000
Tatsächliche Versuchsdauer	[min]	480	200	48	15
Volumen	[l]	3.593	3.598	3.601	1.200
Zulaufkonzentration i. M. C_E	[g/l]	3,45	2,30	1,14	0,00
Ablaufkonzentration i. M. C_A	[g/l]	0,456	0,589	0,686	0,99
Rückhalt jeder Teilprüfung i. M.	[%]	95,7	90,9	81,3	-
Rückhalt der Gesamtanlage gem. Formel DIBt	[%]	89,32 *4			

*1 10 Proben; *210 Proben; *315 Proben; *4basiert auf ungerundeten Werten

Tabelle 6: Versuchsparemeter und Ergebnisse der Versuche zur Ermittlung des Rückhaltes feinkörniger, mineralischer, abfiltrierbarer Stoffe: Mittlere Konzentration in Teilprüfung 4 wurde mit null angenommen, da von einer Reinigung des Filtervlieses ausgegangen wurde.

Teilprüfung		1*1	2*2	3*2	4*3
Tatsächlicher Volumenstrom	[l/s]	0,125	0,300	1,250	5,000
Tatsächliche Versuchsdauer	[min]	480	200	48	15
Volumen	[l]	3.593	3.598	3.601	1.200
Zulaufkonzentration i. M. C_E	[g/l]	3,45	2,30	1,14	0,00
Ablaufkonzentration i. M. C_A	[g/l]	0,456	0,589	0,686	0,00
Rückhalt jeder Teilprüfung i. M.	[%]	95,7	90,9	81,3	-
Rückhalt der Gesamtanlage gem. Formel DIBt	[%]	91,71 *4			

*1 10 Proben; *210 Proben; *315 Proben; *4basiert auf ungerundeten Werten

Abschätzung: Rückhalt von grobkörnigen, mineralischen, abfiltrierbaren Stoffen sowie von Schweb- und Schwimmstoffen

In der Annahme, dass die grobkörnigen mineralischen AFS sowie die grobkörnigen Schwimm- und Schwebstoffe in jedem Fall durch das feinmaschige Filtervlies (im intakten Zustand) zurückgehalten werden, wurde der Rückhaltegrad für diese Parameter nicht abgeprüft. Durch den Zustand des Filtervlieses und der nachgeschalteten Substratzone kann der Rückhaltegrad für die grobkörnigen, mineralischen, abfiltrierbaren Stoffe sowie für Schweb- und Schwimmstoffe zu 100 % angenommen werden.

4 Zusammenfassung der labortechnischen Untersuchungen

Anlagenbezeichnung:	Filterausschnitt mit Sedimentationsbecken
Hersteller:	Der Filterausschnitt mit Sedimentationsbecken wurde als Modell eines Prototyps des Auftraggebers im IKT hergestellt. Geotextil und Substrat wurde vom Auftraggeber geliefert.
<u>Hydraulische Leistungsfähigkeit</u>	
Ergebnis:	Leistungsfähigkeit 8 l/s
<u>Stoffrückhalt bei einer angeschlossene Fläche von 500 m²</u>	
<i>Feinkörnige, mineralische abfiltrierbare Stoffe (AFS) mit einer errechneten e-Funktion und x-Achse als Tangente für die Teilprüfung 4</i>	
Prüfparameter:	MILLISIL W4 Korngrößenbereich 0 µm bis 200 µm
Gesamtergebnis:	90,14 % Rückhalt
<i>Feinkörnige, mineralische abfiltrierbare Stoffe (AFS) mit einer errechneten e-Funktion und die Konzentration von 0,35 g/l als Tangente für die Teilprüfung 4</i>	
Prüfparameter:	MILLISIL W4 Korngrößenbereich 0 µm bis 200 µm
Gesamtergebnis:	89,32 % Rückhalt
<i>Feinkörnige, mineralische abfiltrierbare Stoffe (AFS) mit einer angenommenen Ablaufkonzentration von Null für die Teilprüfung 4</i>	
Prüfparameter:	MILLISIL W4 Korngrößenbereich 0 µm bis 200 µm
Gesamtergebnis:	91,71 % Rückhalt

5 Literatur

- [1] Zulassungsgrundsätze für „Niederschlagswasserbehandlungsanlagen“, Teil 1: Anlagen zum Anschluss von Kfz-Verkehrsflächen bis 2000 m² und Behandlung des Abwassers zur anschließenden Versickerung im Boden und Grundwasser, Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Januar 2015.

- [2] Rafail, Nady: Untersuchungen zur Rückhalteleistung eines Prototyps zur semizentralen Niederschlagswasserbehandlung der Wirtschaftsbetriebe Hagen. Bachelorarbeit vorgelegt von Nady Rafail, Münster, Oktober 2015. Referenten: Prof. Mathias Uhl (FH-Münster) und Christoph Bennerscheidt (IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH).