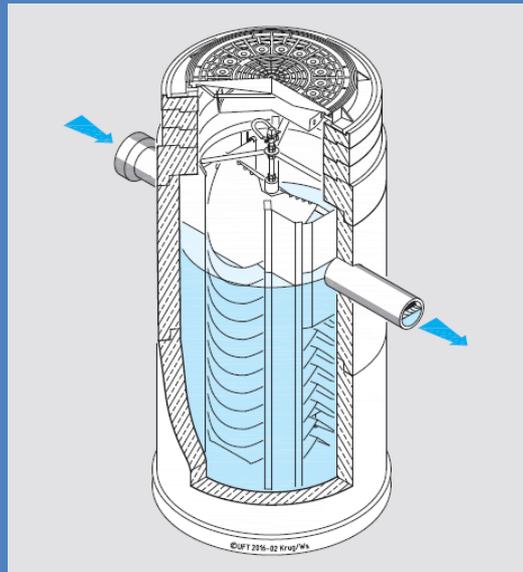


FESTSTOFFVERSUCH DES SEDIMENTATIONSSCHACHTES

UFT-FluidSettle

ERLÄUTERUNGSBERICHT, 12. DEZEMBER 2017



im Auftrag der Firma Umwelt- und Fluid-Technik
Dr. H. Brombach GmbH (UFT),
Bad Mergentheim

Dr.-Ing. Martina Dierschke



Ingenieurbüro für Siedlungswasserwirtschaft

Friedrichstr. 44, 67655 Kaiserslautern

www.ib-dierschke.de

Inhalt

1	Beschreibung der Anlage	4
2	Laborversuche.....	6
2.1	Hydraulische Leistungsfähigkeit	7
2.2	Stoffrückhalt	7
2.2.1	AFS _{fein}	11
2.2.2	AFS63.....	16
2.2.3	Leichtstoffe und MKW	16
3	Zusammenfassung.....	17
4	Verwendete Literatur und Unterlagen.....	18
Anhang: Berechnung der maximalen Schluckleistung des Schachtes <i>FluidSettle</i> [Weiß, 2017]		19

1 Beschreibung der Anlage

Der von der Firma Umwelt- und Fluid-Technik Dr. H. Brombach GmbH (UFT), Bad Mergentheim, entwickelte Sedimentationsschacht UFT-*FluidSettle* ist eine Behandlungsanlage zum Rückhalt von Feststoffen und Leichtflüssigkeiten aus Verkehrsflächenabflüssen, die im Dauerstau betrieben wird. Sie ist konzipiert für eine Anschlussfläche von $A_U = 1.000 \text{ m}^2$.

Die Oberflächenbeschickung bei einer Regenintensität von $r = 15 \text{ l/(s} \cdot \text{ha)}$ beträgt $q_A = 1,125 \text{ m/h}$. Die maximale Durchflussleistung beträgt etwa $Q = 34 \text{ l/s}$, entsprechend $340 \text{ l/(s} \cdot \text{ha)}$, darüber hinaus erfolgt ein Überströmen der Lamellen.

In einem Beton-Fertigschacht DN 1000 mit Zu- und Ablauf DN 150 in gleicher Höhe gegenüber sind Lamellen aus Kunststoff mit einer Fläche von $4,8 \text{ m}^2$ eingebaut, die ein effizientes Absetzen auch von feinen Feststoffen bewirken, vgl. Bild 1-1.

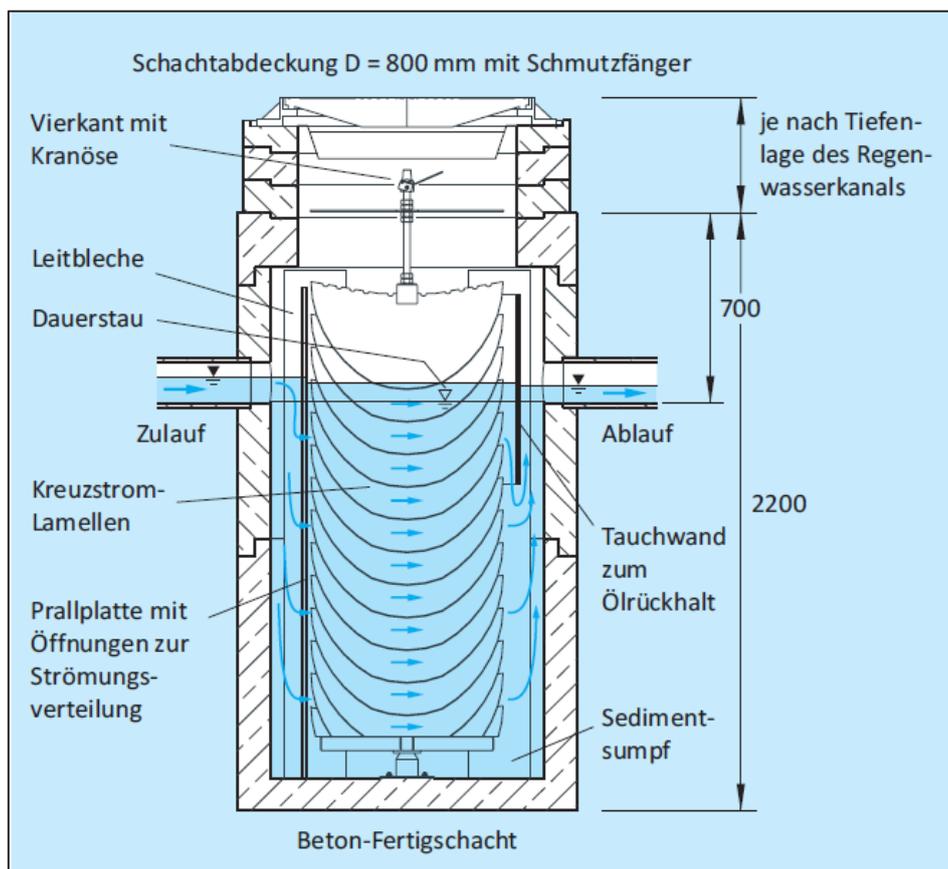


Bild 1-1: Schnitt durch den Sedimentationsschacht UFT-*FluidSettle* [UFT, 2016]

Das zulaufende Regenwasser wird durch Öffnungen in einer Prallplatte über die Schachttiefe verteilt und durchströmt dann waagrecht die als Stapel angeordneten Kreuzstromlamellen, vgl. Bild 1-2. Feststoffe sinken an den Lamellen herab zum Sedimentsumpf. Zwischen Lamellenrand und Schachtwand befinden sich Leitbleche, die den Bereich zwischen „Lamellentraufe“ und Schachtwand, in dem Sediment abrutschen kann, abschirmen. So wird ein direktes Wiedereinmischen des abgleitenden Schlammes in die Strömung verhindert.

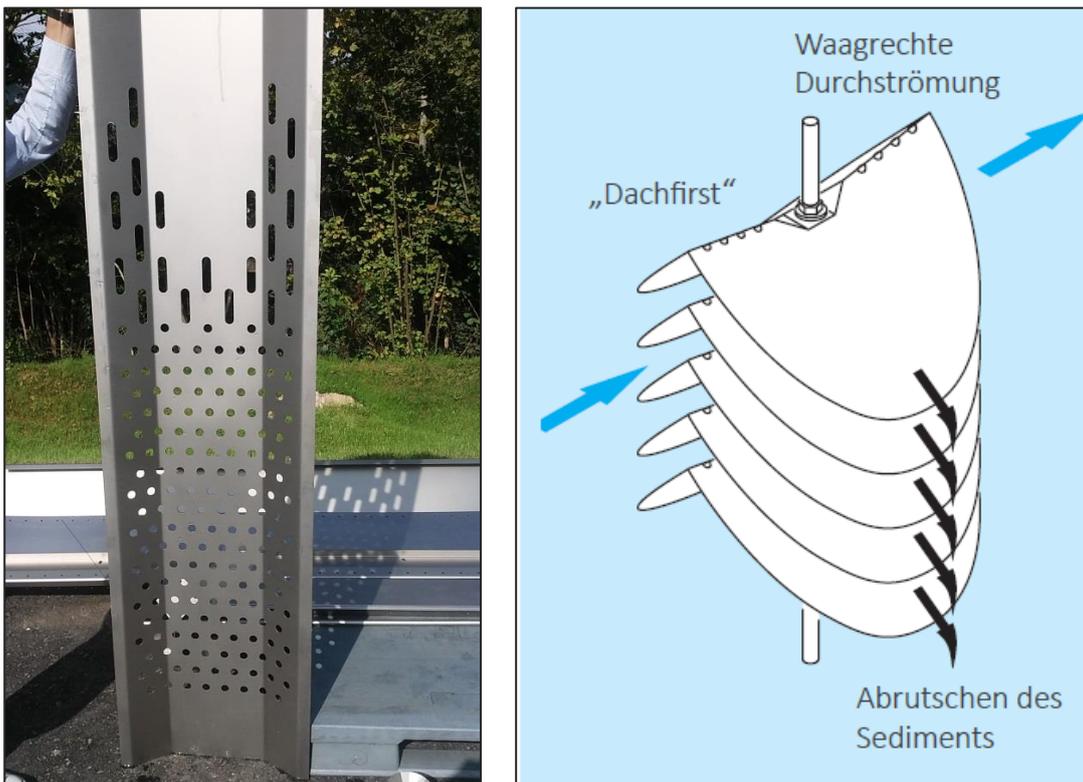


Bild 1-2: links: Prallplatte; rechts: Durchströmung des Kreuzstromkläreres [UFT, 2016]

Das gereinigte Abwasser fließt unter einer Tauchwand hindurch zum Ablauf und kann in ein Oberflächengewässer eingeleitet werden.

Leichtstoffe wie MKW sammeln sich unterhalb der Lamellen in sogenannten „Dachfirsten“. Öffnungen an den Hochpunkten gewährleisten das Aufsteigen der Leichtstoffe an die Wasseroberfläche, von wo sie im Bedarfsfall gezielt vor der Tauchwand abgesaugt werden können.

Von den Lamellen abrutschender Schlamm sinkt nach unten in den Sedimentsumpf und kann von dort abgesaugt werden. Der gesamte Lamellenbaum ist mit Hilfe eines durch die Schachttöffnung einsteckbaren Schieberschlüssels um seine senkrechte

Achse von Hand hin- und herschwenkbar, um das Lösen und Absinken des Sediments zu unterstützen, vgl. Bild 1-3.

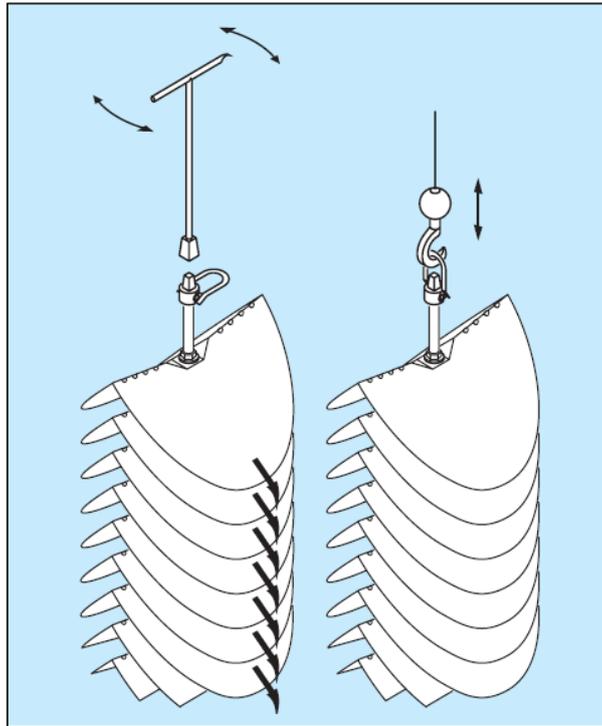


Bild 1-3: Hin- und Herschwenken des Lamellenbaums (links); Herausziehen des Lamellenbaums (rechts)

2 Laborversuche

Die Laborversuche zur Feststellung der hydraulischen Leistungsfähigkeit und zum AFS_{fein} -Rückhalt wurden vom 18.9. bis 20.9.2017 in der Laborhalle der UFT in Bad Mergentheim durchgeführt.

Der Feststoffversuch erfolgte gemäß den DIBt-Zulassungsgrundsätzen für Anlagen zur dezentralen Behandlung des Abwassers von Kfz-Verkehrsflächen zur anschließenden Versickerung in Boden und Grundwasser [DIBt, 2015]. Der gleiche Feststoffversuch gilt als Grundlage zum Nachweis der Vergleichbarkeit dezentraler Anlagen der Kategorie II (bis 15.000 DTV) mit Regenklärbecken des Landes Nordrhein-Westfalen mit dem Ziel der Einleitung in ein Oberflächengewässer. Hier wird ein Mindestrückhalt an AFS_{fein} (Millisil W4) von mindestens 50% verlangt [LANUV NRW, 2012]; [MKULNV NRW, 2012]; [SEB, 2011].

2.1 Hydraulische Leistungsfähigkeit

Die hydraulische Leistungsfähigkeit konnte aufgrund der zu geringen Pumpleistung der vorhandenen Pumpen nicht ermittelt werden. Die maximal am 12.04.2016 gemessenen Durchflussleistung auf dem Versuchsstand betrug $Q = 17,2 \text{ l/s}$. Alternativ wurde die maximale Durchflussleistung theoretisch ermittelt.

Über die Bestimmung der sich einstellenden Höhen vor der Prallplatte und im Schacht wurde ein Verlustbeiwert in Abhängigkeit vom Durchfluss berechnet. Dieser wurde auf höhere Durchflüsse hochgerechnet und damit die sich einstellenden Höhen berechnet. Über die Geometrie und die sich einstellenden Höhen ergibt sich eine maximale Schluckleistung des Schachtes von $Q = \text{ca. } 34 \text{ l/s}$, bei der die Lamellen gerade nicht überströmt werden, also noch mit einer Reinigungswirkung zu rechnen ist. Dies entspricht einer Regenintensität von $340 \text{ l/(s} \cdot \text{ha)}$. Oberhalb von $Q = 34 \text{ l/s}$ werden die Lamellen ähnlich wie in einem Bypass umfahren.

Die genaue Berechnung der hydraulischen Leistungsfähigkeit ist als Anhang beigelegt.

2.2 Stoffrückhalt

Im Folgenden werden die Ergebnisse der stofflichen Untersuchungen zur Reinigungsleistung der Anlage im Labor dargestellt. Die Bestimmung des AFS_{fein} -Rückhaltes erfolgte im Labor der UFT in Bad Mergentheim an der im Versuchsstand aufgebauten Originalanlage, vgl. Bild 2-1.

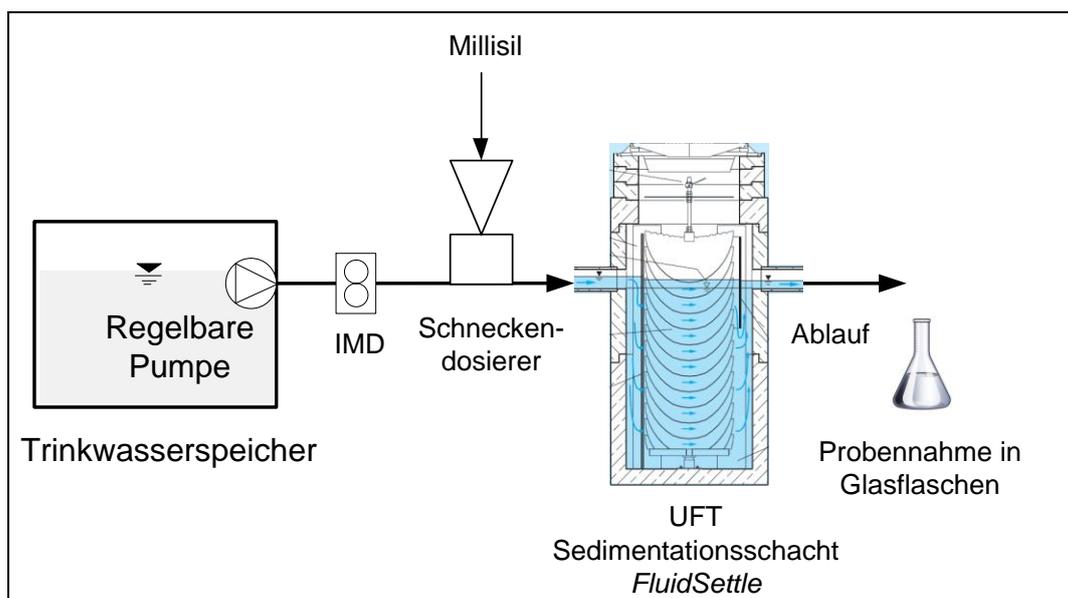


Bild 2-1: Aufbau des Versuchsstandes für die Feststoffprüfung

Die Anlage *FluidSettle* wurde vom Hersteller im Versuchsstand aufgebaut, vgl. Bild 2-2.



Bild 2-2: Versuchstand mit der Zulaufführung, dem Millisildosierer und der Anlage (rechts)

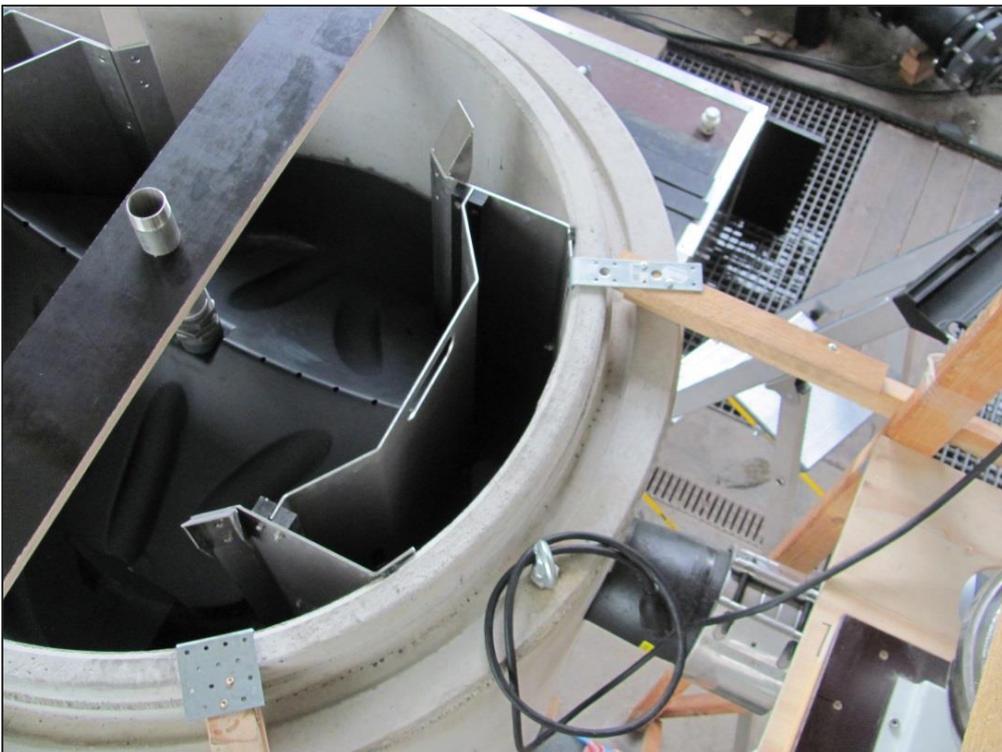


Bild 2-3: Blick in die Anlage von oben

Die Beschickung erfolgte aus einer 12 m³ fassenden Tiefrinne mit feststofffreiem Trinkwasser.

Die Millisil-Zudosierung erfolgte mit einem Schneckendosierer. Die Durchflüsse sowie die Feststoffdosierung (siehe Bild 2-4) wurden kalibriert.

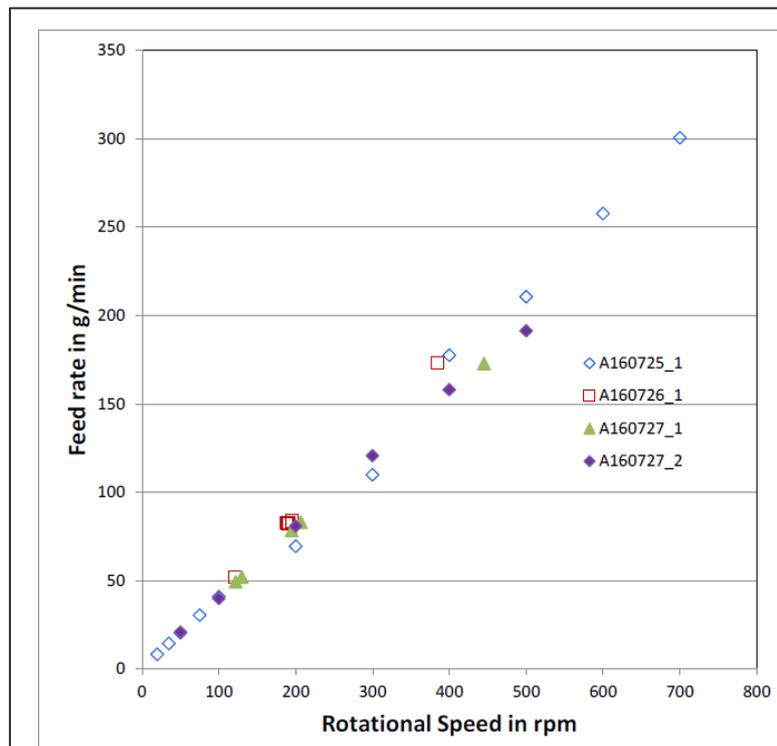


Bild 2-4: Ergebnisse der Feststoffdosierungskalibrierung

Die Probennahme für die Feststoff-Untersuchung erfolgte direkt im Ablauf der Anlage, vgl. Bild 2-6.

Der Zufluss zur Anlage wurde bei den kleinen Zuflüssen bis 6 l/s mit einer Tauchpumpe DN 40, Druckhöhe 5 m, im Ein-Aus-Betrieb durch ein Ventil geregelt. Um eine möglichst gleichmäßige Strömung zu erzielen und um Millisil-Ablagerungen in der Zulaufleitung zu vermeiden, wurde die Zulaufleitung auf einer Strecke von mehr als 1 m von Richtungsänderungen freigehalten und mit einem Gefälle versehen, vgl. Bild 2-5.

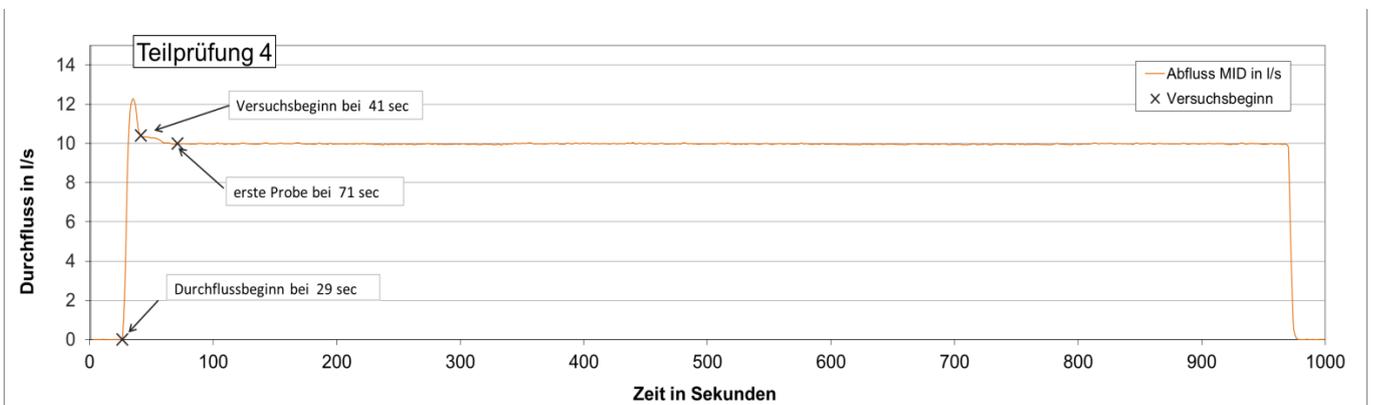
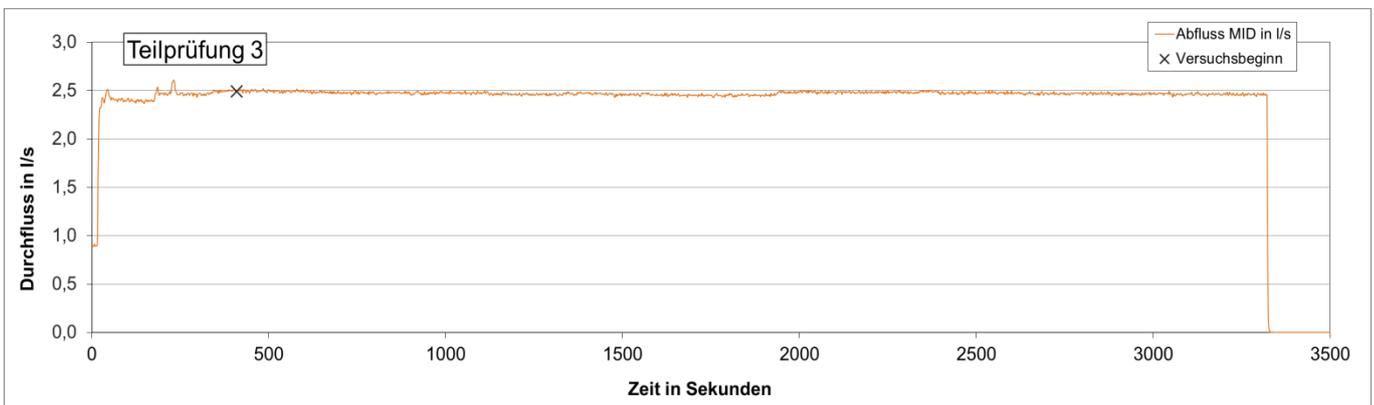
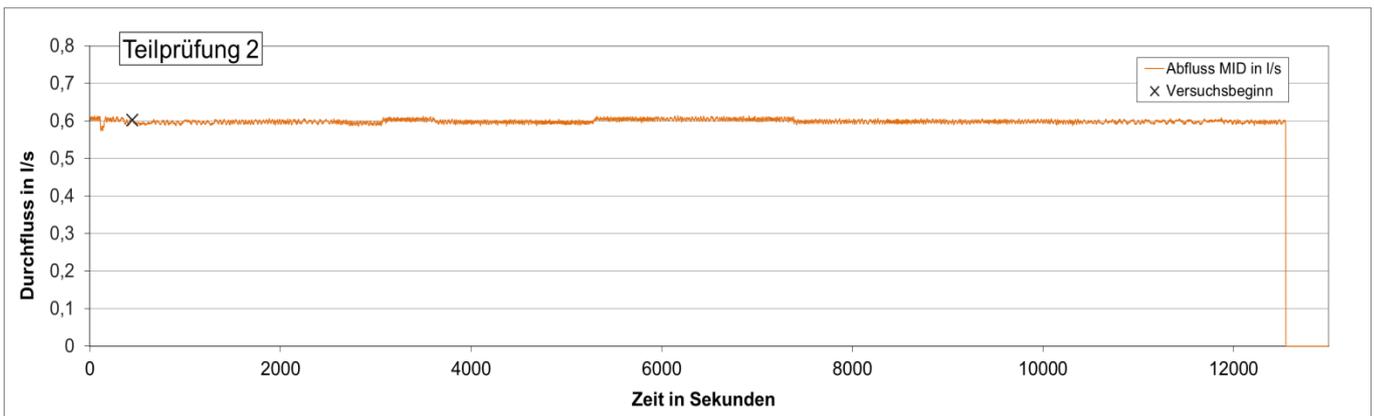
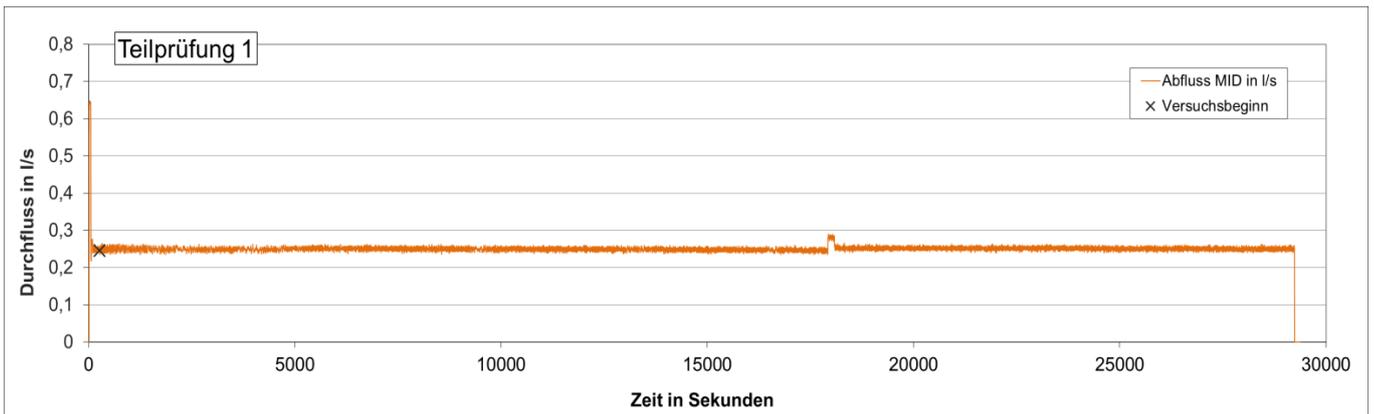


Bild 2-5: Aufzeichnung der Durchflussmessungen während des Feststoffversuchs

2.2.1 AFS_{fein}

Als Prüfstoff für die AFS_{fein}-Prüfung wurde analog zur DIBt-Prüfung ein Quarzmehl der Firma Quarzwerke GmbH (Millisil W 4) verwendet, dessen Maximalkorn 400 µm beträgt und dessen Feinkornanteil (< 63 µm) bei unter 50% liegt, vgl. Tab. 2-1.

Tabelle 2-1: Korngrößenverteilung des verwendeten Quarzmehls Millisil W 4 [Quarzwerkegruppe, 2009]

Korndurchmesser	Summe der Rückstände	Korndurchmesser	Summe der Rückstände
[µm]	[%]	[µm]	[%]
400	0,1	40	66
315	0,2	32	70
200	4	16	80
160	10	8	88
125	22	6	91
100	30	4	93
63	51	2	96

Die Zugabemenge (50 g/m², entsprechend 50 kg insgesamt) wurde gemäß der DIBt-Zulassungsgrundsätze mit einem Verhältnis von 3:2:1 auf die Prüfrengspenden 1 bis 3 verteilt. Prüfrengspende 4 erfolgte feststofffrei, vgl. zusammengefasste Sollparameter in Tabelle 2-2.

Tabelle 2-2: Soll-Versuchsparameter der Feststoffprüfung (AFS_{fein}; MILLISIL W4) an der Anlage UFT-FluidSettle

Teilprüfung	Zufluss [l/s]	Prüfdauer [min]	Wasservolumen [m ³]	Millisil [kg]	AFS-Soll-Konzentration [mg/l]
1	0,25	480	7,2	25,0	3.472
2	0,6	200	7,2	16,7	2.319
3	2,5	48	7,2	8,3	1.153
4	10	15	9,0	0	0
Summe		743	30,6	50	

Das Prüfmehl wurde über eine volumetrische Feststoffdosierung mittels Dosierschnecke (Typ K-MV-KT20, Firma K-TRON Deutschland GmbH) dosiert. Die gewünschte Feststoffkonzentration wurde über die Förderleistung der Dosierschnecke eingestellt. In Vorversuchen wurden die Feststoffdosierung und die entsprechenden Einstellungen dokumentiert. Die Kontrolle der Soll-Konzentration im Schachteinlauf hinter dem Zulaufrohr (vgl. Bild 2-3, etwa in der Mitte) ergab Abweichungen, vermutlich aufgrund sohnahen Transports und Dichteströmung des eingetragenen Millisils. Durch Eintrag der abgewogenen Millisil-Masse gemäß Tabelle 2-2 in den Trichter der Förderschnecke je Teilversuch wurde jedoch sichergestellt, dass die gesamte Fracht während der Teilversuche in die Anlage gelangte.

Zur AFS-Bestimmung wurden gemäß DIBt-Prüfung Schöpfproben (Doppelbestimmung) bzw. für Prüfrengenspende 4 15 Schöpfproben aus dem gut durchmischten Ablaufstrom entnommen und in 1-l-Glasweithalsflaschen gefüllt, vgl. Bild 2-6 und Bild 2-7.



Bild 2-6: Probennahme am Ablauf



Bild 2-7: Ablaufproben

Die Probennahmezeitpunkte der Teilprüfungen und Mindestmengen sind in Tabelle 2-3 aufgelistet.

Tabelle 2-3: Probennahmezeitpunkte der Teilprüfungen

Teilprüfung 1	Teilprüfung 2	Teilprüfung 3	Teilprüfung 4
je zwei Proben > 1.000 ml		je zwei Proben > 1.000 ml	
min	min	min	min
96	40	10	0,5
192	80	19	1,5
288	120	29	2,5
384	160	38	2,5
480	200	48	4,5
			5,5
			6,5
			7,5
			8,5
			9,5
			10,5
			11,5
			12,5
			13,5
			14,5

Die AFS-Bestimmung erfolgte nach DIN 38409-2 mit Membranfiltern der Porenweite 0,45 µm.



Bild 2-8: Filtrationseinheit mit Filtern und Tiegeln

In Tabelle 2-4 sind die Ergebnisse der AFS-Bestimmungen der einzelnen Teilprüfungen zusammengefasst.

Tabelle 2-4: Ergebnisse der AFS-Bestimmungen der Teilprüfungen

Teilprüfung 1			Teilprüfung 2			Teilprüfung 3		
Probennahmezeitpunkt	AFS 1	AFS 2	Probennahmezeitpunkt	AFS 1	AFS 2	Probennahmezeitpunkt	AFS 1	AFS 2
min	[mg/l]	[mg/l]	min	[mg/l]	[mg/l]	min	[mg/l]	[mg/l]
96	260,2	290,2	40	372,4	389,9	10	286,0	
192	354,1	364,4	80	388,0	407,1	19	335,9	358,3
288	384,0	402,4	120	477,0	487,5	29	389,7	379,2
384	371,7	374,7	160	440,8	448,3	38	355,8	381,9
480	329,7	327,8	200	367,4	431,0	48	329,7	341,4
Mittelwert	345,9		Mittelwert	420,9		Mittelwert	350,9	
Teilprüfung 4								
Probennahmezeitpunkt	AFS	Probennahmezeitpunkt	AFS					
min	[mg/l]	min	[mg/l]					
0,5	22,0	8,5	0,0					
1,5	34,6	9,5	0,0					
2,5	0,0	10,5	0,0					
2,5	10,3	11,5	0,0					
4,5	1,1	12,5	0,0					
5,5	10,2	13,5	0,0					
6,5	12,4	14,5	4,6					
7,5	0,0	15	0,0					
Mittelwert	6,0							

Die erste Probennahme bei Teilprüfung 3 erfolgte nach 10 min statt eine Mischprobe aus Einzelproben nach 2, 4, 6, 8 und 10 min zu gewinnen. Vorversuche an Vorläufermodellen des *FluidSettle* (einem maßgleichen Kunststoffschacht mit transparenten Wänden und den Original-Einbauteilen) ergaben einen steigenden Verlauf bis zur Gleichgewichtskonzentration nach etwa 20 min, vgl. Bild 2-9 [Cirit, 2016], so dass nicht davon ausgegangen wird, dass sich durch eine frühere Probenahme eine höhere Ablaufkonzentration ergeben hätte.

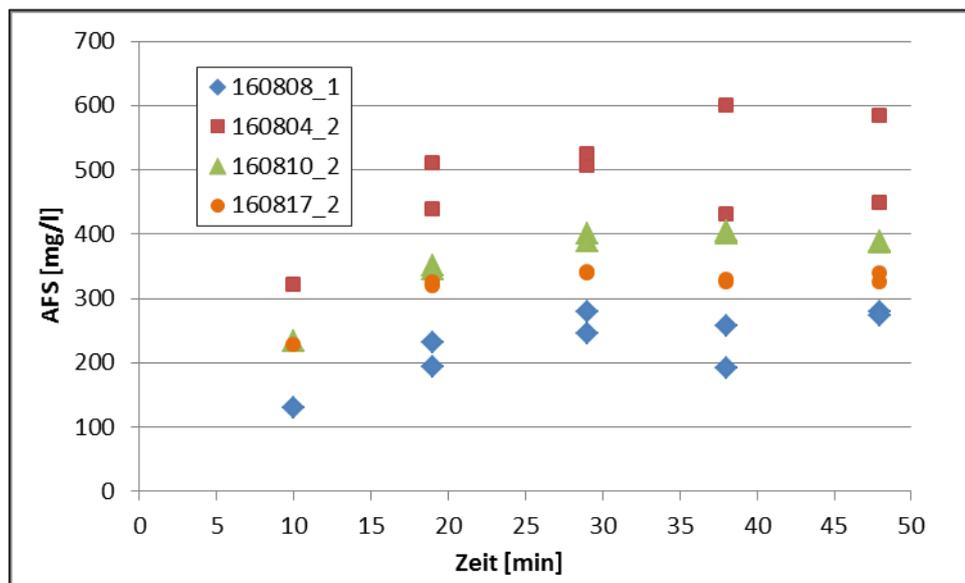


Bild 2-9: Ergebnisse der Teilprüfung 3 bei $Q = 2,5 \text{ l/s}$ an Vorläufermodellen des *FluidSettle* [Cirit, 2016]

Die Auswertung erfolgte somit gemäß der Prüfvorschrift des DIBt. Aus den einzelnen Ablaufproben der jeweiligen Prüffregenspenden wurden arithmetische Mittelwerte gebildet und diese in folgende Formel eingesetzt:

$$B_{\text{ges}} = V_{\text{PR},1} * C_1 + V_{\text{PR},2} * C_2 + V_{\text{PR},3} * C_3 + 0,5 * (V_{\text{PR},4} * C_4) \text{ in [g]}$$

Dies ergibt die Gesamtablauffracht in der Höhe von:

$$\begin{aligned}
 B_{\text{ges}} &= 7.200 \text{ l} * 0,346 \text{ g/l} + 7.200 \text{ l} * 0,421 \text{ g/l} + 7.200 \text{ l} * 0,351 \text{ g/l} + \\
 &\quad 0,5 * 9.000 \text{ l} * 0,006 \text{ g/l} \\
 &= 8.074 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Im Verhältnis zur Gesamtzulaufkraft von 50.000 g ergibt sich der **prozentuale Rückhalt** zu:

$$(1 - 8.074 \text{ g} / 50.000 \text{ g}) * 100\% = \mathbf{83,9 \%}$$

2.2.2 AFS63

Um den AFS63-Gehalt zu bestimmen, wurden die Proben zuvor über einen 63 µm-Sieb gesiebt. In sämtlichen Proben wurde **kein messbarer AFS > 63 µm-Anteil** gefunden. Somit ist eine Umrechnung mit der bekannten Sieblinie des Millisils auf einen AFS63-Rückhalt möglich.



Bild 2-10: 63 µm-Sieb

Die Korngröße der Partikel in Millisil W 4 beträgt im Wesentlichen 0 bis 200 µm, 50% davon sind feiner als 63 µm, vgl. Tab. 2-1. Über die Umrechnung des Millisil-Rückhaltes ergeben sich demnach

$$\mathbf{AFS63\text{-Rückhalt} = (83,9 \% - 50\%) / 0,5 = 67,8 \%}$$

als AFS63-Rückhalt.

2.2.3 Leichtstoffe und MKW

Ein Leichtstoffrückhalt ist gemäß der Konstruktion der Anlage möglich. Die Leistungsfähigkeit bezüglich des MKW-Rückhaltes wurde jedoch nicht nachgewiesen.

3 Zusammenfassung

Am 18.9. bis 20.9.2017 wurden in der Laborhalle der UFT in Bad Mergentheim Laborversuche zum AFS_{fein}-Rückhalt des neu entwickelten Sedimentationsschachts UFT-*FluidSettle* der Umwelt- und Fluidtechnik Dr. H. Brombach GmbH (UFT), Bad Mergentheim, von Mitarbeitern der UFT unter Begutachtung von Dr.-Ing. Martina Dierschke, Ingenieurbüro für Siedlungswasserwirtschaft, Kaiserslautern, durchgeführt.

Der Feststoffversuch erfolgte gemäß den DIBt-Zulassungsgrundsätzen für Anlagen zur dezentralen Behandlung des Abwassers von Kfz-Verkehrsflächen zur anschließenden Versickerung in Boden und Grundwasser [DIBt, 2015]. Der gleiche Feststoffversuch gilt als Grundlage zum Nachweis der Vergleichbarkeit dezentraler Anlagen der Kategorie II (bis 15.000 DTV) mit Regenklärbecken des Landes Nordrhein-Westfalen mit dem Ziel der Einleitung in ein Oberflächengewässer [LANUV NRW, 2012]; [MKULNV NRW, 2012]; [SEB, 2011].

Der **Rückhalt an AFS_{fein}** (Millisil W4) wurde zu **83,9%** festgestellt.

In den Ablaufproben konnten nur Feinanteile < 63 µm des zudosierten Millisils nachgewiesen werden.

Der **AFS₆₃-Rückhalt** beträgt umgerechnet somit **67,8 %**.

Ein Leichtstoff- bzw. MKW-Rückhalt ist gemäß der Konstruktion der Anlage möglich.

4 Verwendete Literatur und Unterlagen

Cirit, Y. T. (2016): Untersuchungen zum Rückhalt von Millisil an Pilotanlagen *FluidSettle* der Umwelt- und Fluidtechnik Dr. H. Brombach GmbH (UFT), Summer Training Report No. 150210025, Marmara University, 11.7.2016 bis 13.9.2016

DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik) (2015): Zulassungsgrundsätze für Nie-derschlagswasserbehandlungsanlagen. Teil 1: Anlagen zur dezentralen Be-handlung des Abwassers von Kfz-Verkehrsflächen zur anschließenden Versickerung in Boden und Grundwasser. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, Januar 2015

LANUV NRW (2012): Nachweis der Vergleichbarkeit von dezentralen Behandlungs-anlagen – Zusammenfassende Darstellung der Prüfungsvorgaben vom 25.9.2012

MKULNV NRW (2012): Abschlussbericht „Dezentrale Niederschlagswasserbehand-lungsanlage in Trennsystemen – Umsetzung des Trennerlasses“. Schreiben an die Behörden NRWs, gez. Kaste, A., Düsseldorf, 20.4.2012

Quarzwерkegruppe Frechen (2009): Typische Korngrößenverteilung und Körnungskennwerte Millisil Quarzmehle

SEB (Stadtentwässerungsbetriebe), Köln (2011): Dezentrale Niederschlagswasser-behandlung in Trennsystemen- Umsetzung des Trennerlasses. Gefördert vom Minis-terium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirt-schaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Köln 2011

Umwelt- und Fluidtechnik Dr. H. Brombach GmbH (UFT), (2016): Produktinformation Sedimentationsschacht UFT-*FluidSettle*, SED 0239, 04 2016

Weiß, G. (2017): Berechnung der hydraulischen Leistungsfähigkeit des UFT-*FluidSettle*. Umwelt- und Fluidtechnik Dr. H. Brombach GmbH, 27.10.2017, persönli-che Mitteilung

Kaiserslautern, 12.12.2017

Dr. Martina Dierschke

Ingenieurbüro für Siedlungswasserwirtschaft

Anhang:

Berechnung der maximalen Schluckleistung des Schachtes *FluidSettle*, [Weiß, 2017]

UFT hat an einem maßgleichen Kunststoffmodell des *FluidSettle* 2016 Messungen der hydraulischen Verluste durchgeführt, und zwar wurden dabei die Wasserstände h_2 im Schacht selbst sowie h_1 vor der Prallplatte mit Hilfe von Druckanbohrungen und Standrohren mit Millimeterskala gemessen. Es gibt dazu einen internen Bericht (unveröffentlicht) der Fa. UFT. Die Prallplatte entsprach dabei noch nicht der Endversion, hatte aber Lochquerschnitte in derselben Größenordnung.

Haupt„verlust“ ist der Wasserstand, der im abgehenden Rohr nötig ist, damit dieses den gegebenen Abfluss „schluckt“. Der abgehende Rohrquerschnitt wirkt als Einengung. Da im Versuch unmittelbar der nach unten führende Ablaufkrümmer anschließt, durchläuft das Wasser dort die Grenztiefe h_{Gr} (ähnlich wie in einem Venturigerinne). Für den Wasserstand h_2 im Schacht kann man dann wie für eine Entlassungsleitung nach DWA-A 111 (2010) folgenden rechnerischen Ansatz treffen:

$$h_2 = h_{Gr} + (\zeta + 1) \cdot \frac{v_{Gr}^2}{2g} \quad (1)$$

mit dem Einlauf-Verlustbeiwert $\zeta \approx 0,5$. Die Grenztiefe h_{Gr} ist diejenige Wassertiefe in der abgehenden, teilgefüllten Rohrleitung, bei der die Froudezahl $Fr = 1$ wird. Die Grenztiefe ist ausschließlich vom gegebenen Durchfluss Q und dem Innendurchmesser der Leitung, nicht aber von der Rauheit oder dem Gefälle abhängig. h_{Gr} kann iterativ berechnet werden. Die Froudezahl ist wie folgt definiert:

$$Fr = \frac{Q^2 b}{g A^3} := 1 \quad (2)$$

Dabei wird die Wassertiefe h geschätzt und dann am teilgefüllten Kreisprofil die Spiegelbreite $b(h)$ und die durchströmte Fläche $A(h)$ berechnet. h wird dann so lange variiert, bis $Fr = 1$ resultiert; das so erhaltene h ist die Grenztiefe h_{Gr} . Sodann wird auch noch die Fließgeschwindigkeit v_{Gr} bei der Grenztiefe berechnet, und zwar ist $v_{Gr} = Q / A(h_{Gr})$. Dann lässt sich h_2 nach Gl. (1) berechnen.

Bei größeren Abflüssen (etwa ab 27 l/s) schlägt das abgehende Rohr zu. In diesem Fall wird $h_{Gr} = DN$ und v_{Gr} ist die Geschwindigkeit bei Vollenfüllung, $v_{Gr} = \frac{Q}{\frac{DN^2}{4} \pi}$.

Es zeigte sich, dass sich die gemessenen Wasserstände h_2 im Schacht selbst mit diesem Ansatz sehr gut beschreiben lassen (Bild A1).

Beim Durchtritt durch die Prallplatte wurden geringe Zusatzverluste $h_1 - h_2$ gemessen. Diese lagen größenordnungsmäßig bei ca. 1 cm beim maximal erreichten Abfluss von 17 l/s. Um diese gleichfalls rechnerisch zu erfassen, bietet sich ein Verlustansatz nach Torricelli an:

$$Q = \mu \cdot A_p \cdot \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad \text{bzw.} \quad h_1 - h_2 = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{\mu A} \right)^2 = C \cdot Q^2 \quad (3)$$

wobei μ ein unbekannter Verlustbeiwert und A_p der Durchtrittsquerschnitt der Öffnungen in der Prallplatte ist. A_p ist zwar an sich bekannt, wenn man aber nur dieselbe Prallplatte betrachtet, ist es nicht nötig, den Wert nachzuschlagen. A_p kann dann mit μ zu einer einzigen unbekanntem Zahl C zusammengefasst werden:

$$C = \frac{1}{2g\mu^2 A_p^2} = \frac{h_1 - h_2}{Q^2} \quad (4)$$

C wird aus den Messungen rückgerechnet und gemittelt; es ergab sich $C \approx 0,004 - 0,0055$ mit dem Mittelwert 0,00451. Es eignet sich dann zur Prognose von Verlusten auch für größere Durchflüsse.

Aus Gl. (1) und (4) kann somit der zulaufseitige Wasserstand (= Drucklinie) vor der Prallplatte berechnet werden. Dies ist in Bild A1 wiedergegeben. Die maximale „Schluckleistung“ des Schachtes ist dann erreicht, wenn dort die Drucklinie um 467 mm über der Rohrsohle steht (vgl. Bild A2), weil ab dann die Prallplatte und damit auch die Lamellen überströmt werden. Das ist nach Bild A1 und Tab A1 ab ca. $Q = 34$ l/s der Fall.

Tabelle A1: Berechnung der sich einstellenden Höhen im Schacht

Innendurchmesser Rohr in mm		153				
Angesetzter Einlaufverlustbeiwert Zeta		0,5				Wasserstand
Q	h_{gr}	$v_{gr}^2/(2g)$	$h_{gr} + (\zeta+1) \cdot v_{gr}^2/(2g)$	berechnet	vor der Prallplatte	
in l/s	in cm	in cm	in cm	in cm	in cm	
1	2,790	0,970	4,245	0,005	4,249	
2	3,977	1,414	6,098	0,018	6,116	
3	4,901	1,778	7,568	0,041	7,609	
4	5,688	2,105	8,845	0,072	8,918	
5	6,389	2,410	10,003	0,113	10,116	
6	7,027	2,702	11,080	0,162	11,243	
7	7,617	2,988	12,099	0,221	12,320	
8	8,169	3,271	13,076	0,289	13,364	
9	8,688	3,555	14,021	0,366	14,386	
10	9,181	3,841	14,943	0,451	15,394	
11	9,647	4,135	15,849	0,546	16,395	
12	10,092	4,435	16,744	0,650	17,394	
13	10,514	4,748	17,635	0,763	18,398	
14	10,917	5,072	18,525	0,884	19,409	
15	11,299	5,413	19,418	1,015	20,433	
16	11,662	5,771	20,318	1,155	21,473	
17	12,004	6,151	21,231	1,304	22,535	
18	12,326	6,555	22,158	1,462	23,620	
19	12,628	6,985	23,105	1,629	24,734	
20	12,907	7,445	24,074	1,805	25,879	
21	13,166	7,936	25,070	1,990	27,060	
22	13,402	8,462	26,096	2,184	28,280	
23	13,617	9,025	27,154	2,387	29,541	
24	13,810	9,625	28,247	2,599	30,846	
25	13,983	10,263	29,377	2,820	32,198	
26	14,137	10,940	30,547	3,050	33,598	
27	15,300	10,992	31,788	3,290	35,078	
28	15,300	11,821	33,032	3,538	36,570	
29	15,300	12,681	34,321	3,795	38,116	
30	15,300	13,571	35,656	4,061	39,717	
31	15,300	14,490	37,036	4,336	41,372	
32	15,300	15,440	38,460	4,621	43,081	
33	15,300	16,420	39,931	4,914	44,845	
34	15,300	17,431	41,446	5,216	46,662	
35	15,300	18,471	43,007	5,528	48,534	
36	15,300	19,542	44,612	5,848	50,461	
37	15,300	20,642	46,264	6,178	52,441	

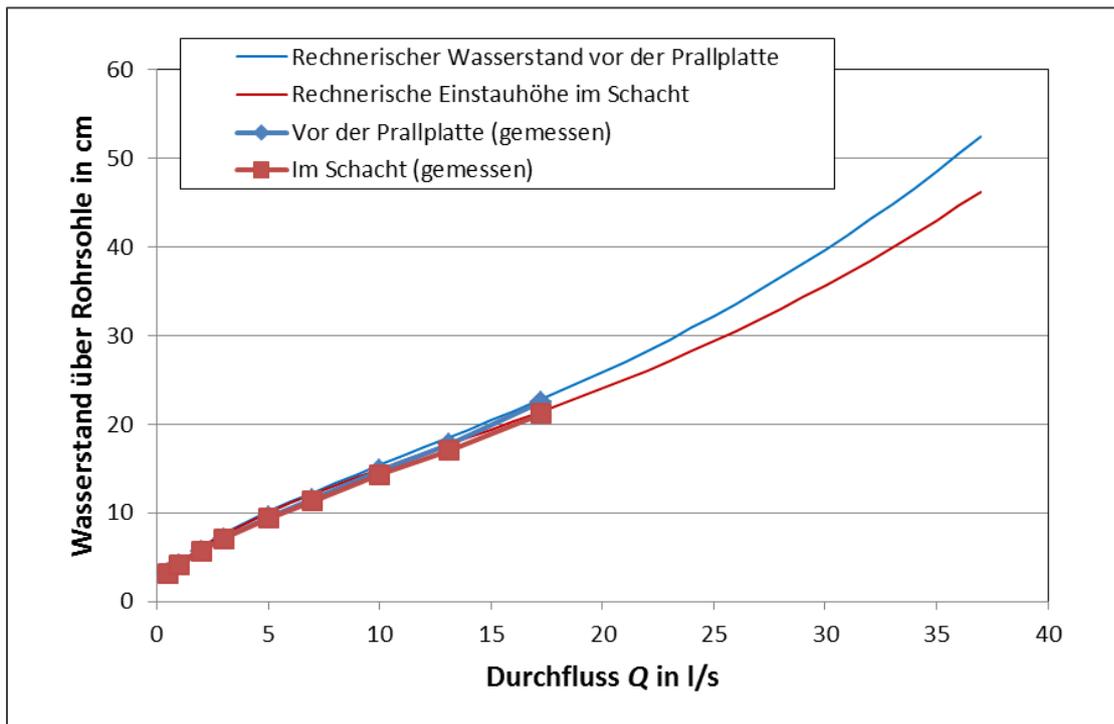


Bild A1: Hydraulische Verluste am Sedimentationsschacht UFT-FluidSettle

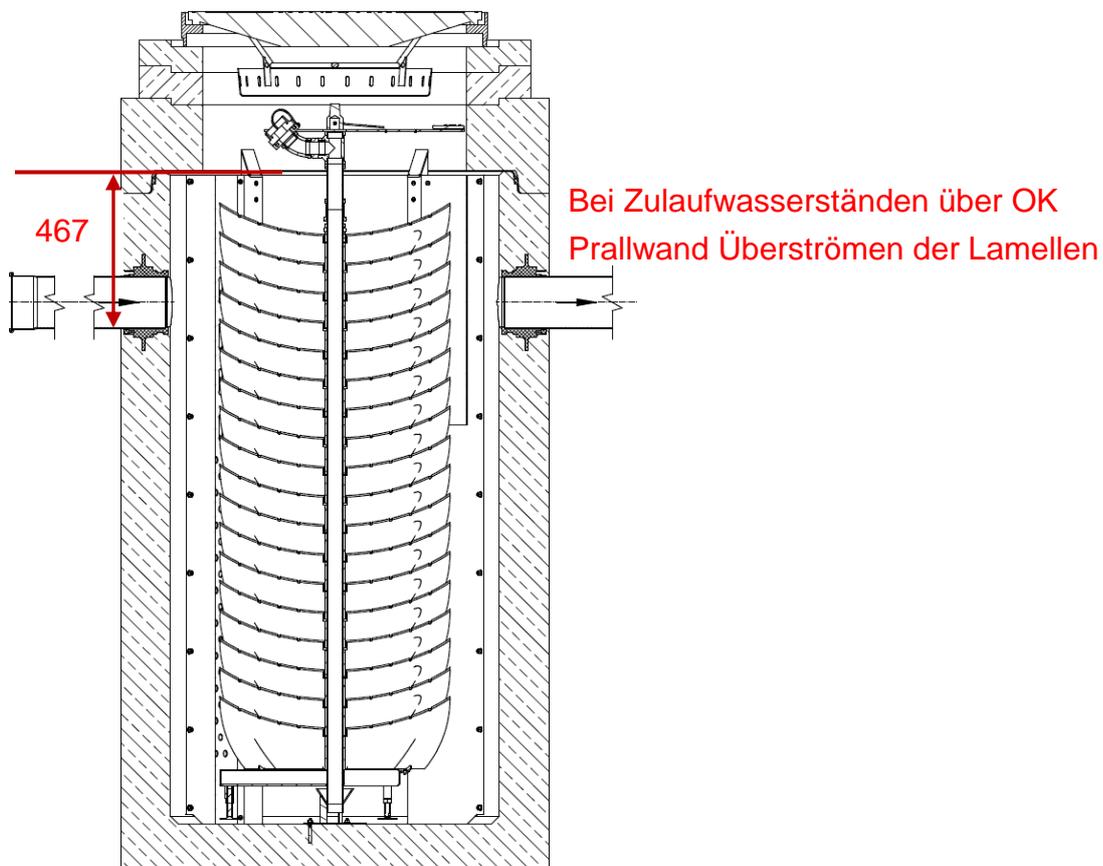


Bild A2: Wasserstand vor der Prallplatte, oberhalb dessen die Lamellen umströmt werden