



WERKSTOFF + FUNKTION Grimmel Wassertechnik GmbH



IWAR

Institut IWAR



Stadtentwässerung Heusenstamm

**Sand-LeitModul
– Entwicklung eines modularen
Leitwandsandfangs zur Abscheidung von Sanden
und Fetten aus kommunalen
Abwasserreinigungsanlagen**

Abschlussbericht

gefördert unter dem Az:34073/01-23 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Projektbearbeitung:

Olaf Grimmel, M.Sc. Julian Mosbach, Prof. Dr. Wilhelm Urban, Tobias Mathieu, Dr.
Alexander Sonnenburg

Darmstadt, April 2021



WERKSTOFF + FUNKTION Grimmel Wassertechnik GmbH



IWAR
Institut IWAR



Stadtentwässerung Heusenstamm

Sand-LeitModul – Entwicklung eines modularen Leitwandsandfangs zur Abscheidung von Sanden und Fetten aus kommunalen Abwasserreinigungsanlagen

Abschlussbericht

gefördert unter dem Az:34073/01-23 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Projektbearbeitung:

Olaf Grimmel, M.Sc. Julian Mosbach, Prof. Dr. Wilhelm Urban, Tobias Mathieu, Dr. Alexander Sonnenburg

Darmstadt, April 2021

06/02		Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	34073/01	Referat	23	Fördersumme	352.035,00 €
Antragstitel		Entwicklung eines modularen Leitwandsandfangs zur Abscheidung von Sanden und Fetten aus kommunalen Abwasserreinigungsanlagen			
Stichworte		Abwasser, Energie, Kläranlage, Verfahren			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
33 Monate	04.07.2018	04.04.2021	1		
Zwischenberichte		-			
Bewilligungsempfänger		Grimmel Wassertechnik GmbH Dieselstraße 3 61239 Ober-Mörlen		Tel	+496002 - 91220
				Fax	+496002 - 912229
				Projektleitung	
				Olaf Grimmel	
				Bearbeiter	
				Olaf Grimmel	
Kooperationspartner		Institut IWAR, FG Wasserversorgung und Grundwasserschutz, TU Darmstadt Franziska-Braun-Straße 7, 64287 Darmstadt			
		Stadtentwässerung Heusenstamm Schlossstraße 61 63150 Heusenstamm			
Zielsetzung und Anlass des Vorhabens					
<p>Der belüftete Sandfang ist der häufigste Sandfangtyp in Deutschland. Die Belüftung ist hierbei die bestimmende Größe des Energieverbrauchs von Sandfängen. Das eigentliche verfahrenstechnische Ziel der Abscheidung mineralischer Partikeln von der Organik wird gerade bei feinen Sanden bei belüfteten Sandfängen nur ungenügend erreicht. Ein wesentliches Ziel des Projektes war es, die Funktionsfähigkeit eines innovativen Sand- und Fettfang-Verfahrens, dem sogenannten Leitwandsandfang, im volltechnischen Maßstab zu demonstrieren. Es sollte gezeigt werden, dass das Verfahren in der Lage ist, mit einem sehr hohen Abscheidegrad Fein- und Mittelsande aus dem Abwasser zu entfernen sowie gleichzeitig Fette zu reduzieren und die Organik weitestgehend im Rohabwasser weiter zu transportieren. Der Leitwandsandfang sollte hierbei Abscheidegrade erreichen, die so von konventionellen belüfteten Sandfängen nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand erreicht werden können. Gleichzeitig ist es ein kostengünstiges und energiesparendes Verfahren.</p>					
Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden					
<p>Die Sandfanganlage in Heusenstamm besteht aus drei Straßen. Zwei Straßen für Regenwetter und eine Straße mit zwei Rinnen für Trockenwetter, die in diesem Projekt hauptsächlich im Fokus standen. Die Untersuchungen an den Trockenwetterrinnen erfolgte in 2 Stufen an der Anlage vor Ort sowie begleitenden CFD-Simulationen. In der ersten Stufe wurden in einer der beiden Trockenwetterrinnen mit Prüfsand ca. 30 Sandabscheideversuche im Kreislaufbetrieb mit einer vollständigen Bilanzierung der Sandfracht durchgeführt. In der zweiten Stufe wurden über mehrere Monate Untersuchungen im Realbetrieb mit Abwasser und dem im Abwasser vorhandenen Sand durchgeführt. Für die Probenahme wurde ein im Rahmen des Projektes weiterentwickeltes Probenahmegerät eingesetzt. Die Versuche umfassten die Untersuchung der Abscheideleistung durch Beprobungen des Zu- und Ablaufs der beiden Trockenwetterrinnen bei Variation der Anzahl an Leitwand-Modulen sowie die Sandfrachtaufteilung durch gleichzeitige Beprobung beider Zuläufe. Des Weiteren wurden die Sandabscheideleistung des Regenwettersandfangs, die Abscheideleistung sowie Betriebsparameter der nachgeschalteten Sandwaschanlage, der Fettrückhalt, Schwermetallkonzentrationen an den Partikeln sowie Auswirkungen auf die nachfolgenden Stufen untersucht.</p>					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bormau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • http://www.dbu.de					

Ergebnisse und Diskussion

Der Leitwandsandfang wurde je Trockenwetterstraße auf einen Durchfluss von 30 l/s ausgelegt. Die Ergebnisse der Versuche mit Prüfsand im Kreislaufbetrieb belegen, dass bei Durchflüssen bis 40 l/s und Wassertemperaturen zwischen 15 und 20 °C für den Kornbereich $\geq 100 \mu\text{m}$ in allen Versuchen ein Sandabscheidegrad von $>95 \%$ bzw. für den Kornbereich $\geq 200 \mu\text{m}$ ein Sandabscheidegrad $>99,8 \%$ erreicht werden kann.

Für die Untersuchung des Sandabscheidegrades während des Realbetriebs wurde ein bereits in Voruntersuchungen entwickeltes Bilanzierungsverfahren weiterentwickelt. Das Bilanzierungsverfahren entnimmt auf Grundlage von in CFD-Simulationen vorab definierten Messpunkten einen Teilstrom des Abwassers und ermöglicht die Beprobung von ca. 15.000 l Abwasser pro Versuchstag ohne die gesamte Abwassermenge in einem Behälter vorhalten zu müssen oder den Betrieb zu stören. Zwischen 100 und 224 μm liegt der Unterschied zwischen CFD-Simulation und Probenahme im Abscheidegrad bei ca. 10 bis 15 %, darüber ab 224 μm bei ca. 0 bis 2 %. Unterschiede, die zurzeit nicht weiter reduziert werden können, ergeben sich durch den Formfaktor des Sandes, die Reindichte des Quarzsandes, die Massenanteile in der jeweiligen Größenklasse, Einflüsse schwankender Durchflüsse und Temperaturen sowie der Einfluss der Turbulenz auf die Partikel. Insgesamt wird der Abscheidegrad in der Simulation etwas unterschätzt. Die Untersuchungen zeigen, dass der Nachweis über die Güte des Messverfahrens ebenso wichtig ist wie der Nachweis der Verfahrenstechnik (Leitwandsandfang) selbst. Es ist daher festzuhalten, dass für den Nachweis des Abscheidegrades von Sand in Sandfängen ein reproduzierbares Bilanzierungsverfahren, zur Verfügung stehen muss. Das Bilanzierungsverfahren soll in weiteren Projekten an verschiedenen Sandfangtypen validiert werden, damit die Nachweisgenauigkeit weiter geschärft werden kann.

Unter realen Bedingungen liegt der durchschnittliche Abscheidegrad des Leitwandsandfangs bezogen auf die Siebkorngröße $\geq 200 \mu\text{m}$ bei ca. 96%. Unter Beachtung von Auslegungsgrenzen des Bilanzierungssystems beträgt die Abscheidung bezogen auf die Siebkorngröße $\geq 100 \mu\text{m}$ immer ca. 88%. Unter Einbezug des Sandwäschers ergeben sich hieraus Gesamtababscheidegrade der Sandfanganlage von 95-96% bezogen auf die Siebkorngröße $\geq 200 \mu\text{m}$, bzw. knapp 83% bezogen auf die Siebkorngröße $\geq 100 \mu\text{m}$. Eine Verfahren zur Fettbilanzierung existiert derzeit nicht, die Betriebserfahrungen zeigen jedoch einen qualitativ verbesserten Fettrückhalt. Der Leitwandsandfang ist zudem ein energieeffizientes Verfahren zur Sandabscheidung, da keine Belüftung benötigt wird. Der Energiebedarf einer Abwasserreinigungsanlage sinkt durch Einsatz dieses Verfahrens anstelle eines belüfteten Sand- und Fettfangs um ca. 5-6% (überschlägiger Energieaufwand nach Sander (2003) für belüftete Sandfänge).

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Eine öffentliche Verbreitung der Projektergebnisse erfolgt durch Veröffentlichungen in Fachzeitschriften, die Darstellung in wissenschaftlichen Arbeiten und Präsentationen im Rahmen von Vortragsveranstaltungen (z. B. IWAR-Vortragsreihe "Neues aus der Umwelttechnik und Infrastrukturplanung"). Zum heutigen Zeitpunkt sind eine Seminararbeit sowie Masterabschlussarbeit (M.Sc.) am IWAR, TU Darmstadt entstanden. Des Weiteren sind die folgenden Beiträge in Fachzeitschriften zu nennen (Arbeitstitel):

- Sonnenburg, A., Mosbach, J., Grimmel, O., Urban, W. (2020) Leistungssteigerung von Sandfängen. Kapazitätserweiterung auf Kläranlagen, Wiener Mitteilungen, TU Wien.
- Sonnenburg, A., Mosbach, J., Eichhorn, C., Urban, W. (2020b) Entwicklung und Praxisanwendung eines Verfahrens zur Bilanzierung der Sandfracht im Sandfang kommunaler Kläranlagen. Noch unveröffentlicht, angenommen in KA Korrespondenz Abwasser, Abfall
- Mosbach, J., Sonnenburg, A (2020) Sandfangoptimierung: Ermittlung des Abscheidegrades sowie Beprobung von Sandfängen zur Ableitung von Handlungsempfehlungen während des Betriebs, call for abstracts, Aachener Tagung Wassertechnologie (Annahme offen)

Ergänzende Veröffentlichungen werden derzeit innerhalb der Projektgruppe diskutiert.

Fazit

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass der Leitwandsandfang, auch im Realbetrieb, sehr hohe Sandabscheideleistungen bei geringem Organikrückhalt erbringt. Zudem konnte qualitativ aufgezeigt werden, dass sich der Leitwandsandfang positiv auf die Fettabscheidung auswirkt. Es wird daher grundsätzlich empfohlen unbelüftete Sandfänge, und insbesondere den Leitwandsandfang, bei Neu- und Ausbauplanungen mit zu berücksichtigen. Das Projekt zeigt darüber hinaus, dass neue Berechnungstechniken, wie die CFD-Modellierung und gegebenenfalls die Hybride Modellierung (Kombination aus Messung und CFD) bei der Bemessung von Sandfanganlagen und anderen verfahrenstechnischen Stufen der Siedlungswasserwirtschaft wesentlich stärker genutzt werden sollten.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	7
Abkürzungsverzeichnis	9
Zusammenfassung	10
1 Einleitung	12
2 Theorie und Grundlagen	14
2.1 Sandabscheidung in Sandfanganlagen	14
2.2 Eigene Untersuchungen zum belüfteten Sandfang	15
3 Der Leitwandsandfang - Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Sand- und Fettabcheidung	16
3.1 Konzept und Dimensionierung der Sandfanganlage	17
3.2 Aufbereitung und Analyse der Proben im Labor	18
3.3 Projektphase I – Untersuchungen an der Demonstrationsanlage	19
3.3.1 Planung und Bau des Leitwandsandfangs	19
3.3.2 Versuchsvorbereitung: Auswahl Prüfsand	20
3.3.3 Aufbau der Versuchsanlage	21
3.3.4 Versuchsdurchführung	23
3.3.5 Versuchsergebnisse bei künstlicher Sandzugabe	24
3.3.6 CFD-Modellierung Leitwandsandfang	25
3.4 Projektphase II: Versuche im Regelbetrieb	27
3.4.1 Entwicklung eines Probenahmesystems zur Sandfrachtbilanzierung	27
3.4.2 Beprobung des Leitwandsandfangs unter Realbedingungen	29
3.4.3 Probleme und konstruktive Anpassungen	32
3.4.4 Beprobung des Regenwettersandfangs unter Realbedingungen	34
3.5 Beprobung des Sandwäschers	35
3.5.1 Anforderungen an den abgeschiedenen Sand	36
3.6 Bestimmung des Gesamtabscheidegrades der Sandfanganlage	36
3.7 Untersuchung der Fettabcheidung	36
3.8 Schwermetallanalyse des abgeschiedenen Sandes	39
3.9 Einfluss des Verfahrens auf die nachfolgenden Verfahrensstufen	43

3.10	<i>Literaturrecherche und Datenerhebung zu kommunalen Sand- und Fettfängen sowie Sandwäschern</i>	44
4	Ökologische, technologische und ökonomische Bewertung der Vorhabensergebnisse	47
5	Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse	48
6	Fazit	50
	Literaturverzeichnis	52
	Anhang:	55

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Fließschema Sandfanganlage.....	17
Abbildung 3-2: CFD-Modell Leitwandsandfang mit Zu- und Ablaufrohren.....	20
Abbildung 3-3: Skizze Versuchsaufbau.....	22
Abbildung 3-4: Schnitt LWSF (nicht maßstabsgetreu), WSP im Regelbetrieb	23
Abbildung 3-5: CFD-Modell des Leitwandsandfangs im Versuchsbetrieb mit Wasser (blau).....	26
Abbildung 3-6: CFD-Modell des Leitwandsandfangs im Versuchsbetrieb mit Sandpartikel 100 bis 400 µm und Probenahmestellen (kleines blaues und gelbes Quadrat im Sandfang).....	27
Abbildung 3-7: Schema Aufbau Sandfangbeprobung im Realbetrieb.....	28
Abbildung 3-8: Saugrohr (links), Beprobung Zulauf (Mitte), Beprobung Ablauf (rechts)	30
Abbildung 3-9: Untersuchung der Sandaufteilung: Zulaufbereich LWSF (links), Aufteilung Partikel (rechts).....	32
Abbildung 3-10: Anfang einer Brückenbildung infolge überströmter Leitwandbefestigung	33
Abbildung 3-11: Sandablagerungen im Pumpensumpf (links) und LWSF (mitte) vor Anpassung des Pumpensumpfs, Einbauten Pumpensumpf nach Anpassung (rechts).....	34
Abbildung 3-12: Beprobung RWSF, Zulauf (links), Ablauf (rechts).....	35
Abbildung 3-13: Fettfang im Modell (links) und im Betrieb (rechts)	37
Abbildung 3-14: Versuchsaufbau Fettfang	38
Abbildung 3-15: Laborversuche zur Fettabscheidung mit einem Fettersatzstoff.....	39
Abbildung 3-16: Auszug der Ergebnisse der ICP-OES Messungen	40
Abbildung 3-17: Kupfergehalt der Zulaufproben und nach Sandwäsche	42
Abbildung 3-18: Zinkgehalt der Zulaufproben und nach Sandwäsche.....	42
Abbildung 3-19: Gegenüberstellung des Sandanfalls.....	43

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:Pyknometermessung und Vergleich der (Quarz-) Sanddichte	20
---	----

Tabelle 3-2: Schwermetallgehalt nach Sandwäsche, Vergleich mit Zuordnungswerten
der LAGA M 20..... 41

Tabelle 3-3: Auszug Literaturrecherche zum Themenbereich Sandabscheidung 45

Abkürzungsverzeichnis

AbfAbIV	Abfallablagerungsverordnung
Az.	Aktenzeichen
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CFD	Computational Fluid Dynamics
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DIN	Deutsches Institut für Normung
DN	Diameter Nominal
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
etc.	Et cetera
LOEWE	LandesOffensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz
TA	Technische Anleitung
tw.	teilweise
TWSF	Trockenwettersandfang
LWSF	Leitwandsandfang
RWSF	Regenwettersandfang
S.	Seite
z.B.	zum Beispiel

Zusammenfassung

Der Bericht beinhaltet die von den Zuwendungsempfängern Grimmel Wassertechnik GmbH, Technische Universität Darmstadt, Institut IWAR (IWAR|WV) sowie Stadtentwässerung Heusenstamm erbrachten Leistungen im Projekt „Sand-LeitModul – Entwicklung eines modularen Leitwandsandfangs zur Abscheidung von Sanden und Fetten aus kommunalen Abwasserreinigungsanlagen“. Das IWW Zentrum Wasser (IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH) war mit Beratungsleistungen am Projekt beteiligt. Das Projekt wurde durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert (Az: 34073/01-23) und erstreckte sich über die Projektlaufzeit vom Projektlaufzeit vom 04.07.2018 – 04.04.2021.

Ziel des Projektes war die Entwicklung des modular aufgebauten Leitwandsandfangs, der einen sehr hohen Abscheidegrad an Fein- und Mittelsanden erzielen soll und gleichzeitig Fette im Abwasser reduziert sowie die Organik weitertransportiert.

Die Sandfanganlage in Heusenstamm besteht aus drei Straßen. Zwei Straßen für Regenwetter und eine Straße mit zwei Rinnen für Trockenwetter, die in diesem Projekt hauptsächlich im Fokus stehen. Die Untersuchungen an den Trockenwetterrinnen erfolgte in 2 Projektphasen an der Anlage vor Ort sowie begleitenden CFD-Simulationen. In der ersten Phase (Kapitel 3.3) wurden in einer der beiden Trockenwetterrinnen mit Prüfsand ca. 30 Sandabscheideversuche im Kreislaufbetrieb mit einer vollständigen Bilanzierung der Sandfracht durchgeführt. Die Anlage wurde mit Trinkwasser betrieben, als Prüfsand wurde ein feuergetrockneter Quarzsand der Körnung 100 bis 400 µm verwendet. Der Prüfsand liegt somit in den von der DWA (2008) vorgeschlagenen Grenzen und zwar an der Grenze mit dem sehr kleinen Maximaldurchmesser von 400 µm.

In der zweiten Stufe wurden über mehrere Monate Untersuchungen im Realbetrieb mit Abwasser und dem im Abwasser vorhandenen Sand durchgeführt. Für die Probenahme wurde ein am IWW und IWAR-WV entwickeltes Probenahmegerät eingesetzt. Insgesamt wurden am LWSF 70 Versuche in Form von Doppelbeprobungen durchgeführt, sodass 140 Proben untersucht wurden. Die Versuche umfassten die Untersuchung der Abscheideleistung durch Beprobungen des Zu- und Ablaufs der beiden Trockenwetterrinnen sowie die Sandfrachtaufteilung durch gleichzeitige Beprobung beider Zuläufe. Bezogen auf die Siebkorngröße ≥ 200 µm beträgt der durchschnittliche Abscheidegrad 96%. Unter Beachtung der in Kapitel 3.4.1 beschriebenen Auslegungsgrenzen des Probenahmesystems und Voraussetzung eines kontinuierlichen Fehlers bei der Ermittlung des Abscheidegrades von Korngrößen im Bereich 100-200 µm beträgt die Abscheidung des LWSF immer noch knapp 88%.

Untersuchungen des Regenwettersandfangs (Kapitel 3.4.4), des Sandwäschers (Kapitel 3.5), des Fettes (Kapitel 3.7) und der Schwermetalle (Kapitel 3.8) werden im Bericht beschrieben.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass der Leitwandsandfang, auch im Realbetrieb, sehr hohe Sandabscheideleistungen bei geringem Organikrückhalt erbringt. Zudem konnte qualitativ aufgezeigt werden, dass sich der Leitwandsandfang positiv auf die Fettabscheidung auswirkt. Es wird daher grundsätzlich empfohlen unbelüftete Sandfänge, und insbesondere den Leitwandsandfang, bei Neu- und Ausbauplanungen mit zu berücksichtigen.

1 Einleitung

Die Siedlungswasserwirtschaft in Europa durchläuft aktuell einen kontinuierlichen Umbruch, der einhergeht mit den Anforderungen der EU an die Qualität der Gewässer und dem damit verbundenen hohen Standard der Abwasserreinigung. Begleitet wird dies von der in der in zahlreichen Mitgliedsstaaten geübten Praxis der Überwachung der Reinigungsleistung der Abwasseranlagen, die im Prinzip keine Störung des Betriebs der Abwasserreinigungsanlage zulässt. Wichtige, häufig als solche aber unterschätzte Störstoffe im Betrieb von Abwasserreinigungsanlagen, die aber in jeder kommunalen Abwasserreinigungsanlage vorkommen, sind die partikulären, nicht im Abwasser gelösten Inhaltsstoffe. Dazu gehören mineralische Bestandteile, die häufig als Sand zusammengefasst werden, außerdem „Fette“ sowie organische Bestandteile.

Der Sand gelangt über unsere Infrastruktur in die Kanalisation und ist ein fester Bestandteil des Rohabwassers, das auf Abwassereinigungsanlagen einer Reinigung unterzogen werden soll. Die Abscheidung des Sandes soll im Sandfang erfolgen, der ein Bestandteil der vorgelagerten mechanischen Abwasserreinigungsstufe ist. Wird er dort nicht zu Beginn aus dem Abwasser entfernt, stört er die verfahrenstechnischen Prozesse und führt zu einer Abnutzung und Ausfall von Aggregaten, sodass wirtschaftliche Schäden die Folge sind. Es hat sich gezeigt (DWA AG KA-5, 2008), dass die heute in der Abwasserreinigung am häufigsten eingesetzten Sandfänge, so genannte belüftete Sandfänge, den Sand, besonders im Bereich der Feinsande (Siebkorngröße 63 bis 200 μm) und im unteren Bereich der Mittelsande (Siebkorngröße 200 bis 630 μm), häufig nicht ausreichend entfernen können. Daher gelangen sie in die nachfolgenden Verfahrensstufen, in denen sie den Prozess stören oder sogar Anlagenteile mechanisch zerstören können.

„Fette“, die nach Unterweger (2006) eine Zusammenfassung aus schwerflüchtigen lipophilen Stoffen, tierischen und pflanzlichen Speisefetten und -ölen sowie deren Emulsionen bilden, sind ein weiterer wichtiger Bestandteil des Rohabwassers. Sandfänge auf kommunalen Abwasserreinigungsanlagen werden in den meisten Fällen als kombinierte Sand- und Fettfänge ausgebildet. Neben den schlechten Wirkungsgraden bei der Abscheidung von Feinsanden sind daher auch die z.T. sehr geringen Wirkungsgrade bezüglich der Fettabscheidung hervorzuheben. Untersuchungen (Unterweger, 2006) zeigen, dass der Wirkungsgrad der Fettabscheidung oft nicht mehr als 15 % beträgt. Werden Fette effektiv aus dem Abwasser entfernt und der Faulung zugeführt, können Sie im Faulturm die Energieausbeute bei der Faulgasgewinnung steigern. Auf der anderen Seite können nicht entfernte Fette im Abwasser die biochemischen Prozesse im Belebungsbecken der Kläranlage empfindlich stören und die Abwasserreinigungseffizienz dort reduzieren.

Die Organik ist als dritter Bestandteil der partikulären Stoffe zu nennen. Unter Organik werden in diesem Bericht partikuläre, organische Verbindungen verstanden, deren Dichte größer oder gleich der des Wassers ist (z.B. Fäkalien, Nahrungsmittelreste,

pflanzliche und tierische Abfälle). Die Organik schwebt somit im Abwasser oder sinkt im Sandfang ab. Die Organik soll möglichst im Abwasser verbleiben und nicht abgeschieden werden, d.h. sie ist mit dem Rohabwasser durch den Sandfang zu transportieren.

Der belüftete Sandfang ist der häufigste Sandfangtyp in Deutschland. Die Belüftung ist hierbei die bestimmende Größe des Energieverbrauchs von Sandfängen (Theilen, 2011). Das eigentliche verfahrenstechnische Ziel der Abscheidung mineralischer Partikeln von der Organik wird gerade bei feinen Sanden bei belüfteten Sandfängen nur ungenügend erreicht. Bedenkt man weiter, dass nach (Sander, 2003) die belüfteten Sandfänge einen Anteil von ca. 5-6 % am jährlichen Energieverbrauch einer Abwassereinigungsanlage haben, ergibt sich in diesem Punkt Handlungsbedarf. Für das in diesem Projekt entwickelte Verfahren wird keine Belüftung benötigt, d.h. der Energiebedarf der Abwasserreinigungsanlage sinkt durch Einsatz dieses Verfahrens anstelle eines belüfteten Sand- und Fettfangs direkt um ca. 5-6 %. Des Weiteren ergeben sich durch Sandablagerungen in der Belebungsstufe geringere Beckenvolumina oder zugesetzte Belüftungseinrichtungen. Damit geht ein erhöhter Luft- bzw. Energiebedarf einher. Auch im Faulturm wird der Behandlungsraum durch Sand reduziert und führt in der Folge zu einer geringeren Faulgasausbeute. Ebenso mit zu bedenken ist die Tatsache, dass höhere Fett- oder Ölgehalte im Abwasser den Sauerstoffübergang in der Belebungsstufe negativ beeinflussen können.

Ein wesentliches Ziel des Projektes war es, die Funktionsfähigkeit eines innovativen Sand- und Fettfang-Verfahrens, den sogenannten Leitwandsandfang, im volltechnischen Maßstab zu demonstrieren. Es sollte gezeigt werden, dass das Verfahren in der Lage ist, mit einem sehr hohen Abscheidegrad Fein- und Mittelsande aus dem Abwasser zu entfernen sowie gleichzeitig Fette zu reduzieren und die Organik weitestgehend im Rohabwasser weiter zu transportieren. Der Leitwandsandfang sollte hierbei Abscheidegrade erreichen, die so von konventionellen belüfteten Sandfängen nicht oder nur mit sehr hohem Aufwand erreicht werden können. Gleichzeitig ist es ein kostengünstiges und energiesparendes Verfahren. In diesem Projekt sollte nun das komplexe Verhalten als Ganzes untersucht und daraus ein praxistaugliches Verfahren entwickelt werden. Das Verfahren soll schließlich sowohl als modulare Neuplanung aufgestellt, als auch in bestehenden Anlagen nachträglich implementiert werden können, so dass es sehr nachhaltig wirken kann. Ergänzend zur Anlagendemonstration erfolgte ein Monitoring, das die Auswirkungen des neuen Verfahrens auf die nachfolgenden Verfahrensstufen während der Projektdauer beschreibt und so angelegt ist, dass es nach Projektende durch die Akteure im Projekt noch fortgeführt werden kann. Außerdem sollten beim Monitoring bei weiteren Betreibern über Fragebögen, Interviews und Datenerhebungen Informationen gesammelt werden. In vorangegangenen Forschungs- und Entwicklungsprojekten hat sich gezeigt, dass das Rohwasser oft erheblichen natürlichen und anthropogenen Konzentrationsschwankungen partikulärer Stoffe unterworfen ist, so dass es sinnvoll ist das Monitoring langfristig anzulegen.

2 Theorie und Grundlagen

2.1 Sandabscheidung in Sandfanganlagen

Der physikalische Vorgang des Abscheidens basiert auf dem Kräftegleichgewicht des Auftriebs, des Gewichts und der Reibung. Die grundlegende Formel für den Absetzvorgang durch die Schwerkraft wurde von STOKES aufgestellt. Danach wird die Sinkgeschwindigkeit v_s eines kugelförmigen Partikels über ein Kräftegleichgewicht zwischen Massenkraft, Auftriebskraft und Widerstandskraft ermittelt. Für kugelförmige Partikel mit einem Durchmesser d gilt:

$$v_s = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot (\rho_s - \rho) \cdot d}{3 \cdot c_w \cdot \rho}}$$

v_s : Sinkgeschwindigkeit [m/s]

g : Erdbeschleunigung [m/s²]

ρ_s : Reindichte des Feststoffpartikels; mit $\rho_s \geq \rho$ [kg/m³]

ρ : Dichte der Flüssigkeit [kg/m³]

d : Durchmesser des kugelförmigen Feststoffpartikels [m]

c_w : Widerstandsbeiwert [-]

Partikuläre Stoffe mit einer höheren Reindichte als die der Flüssigkeit sinken senkrecht ab, Stoffe mit einer geringeren Reindichte steigen senkrecht auf. Partikuläre Stoffe mit einer sehr ähnlichen oder gleichen Reindichte wie die der Flüssigkeit schweben in der Flüssigkeit. Die Reindichte von Quarzsand, die auch Schwankungen unterworfen ist, wird häufig mit 2.650 kg/m³ angegeben, der Sand sinkt somit zur Beckensohle ab. Wird nachfolgend von Sand geschrieben, ist damit Quarzsand gemeint, der im Regelfall den größten Teil des Sandes im Abwasser ausmacht. Die Stoffgruppe Fett hat unterschiedliche Reindichten, per Definition sind diese allerdings alle kleiner als die des Rohabwassers (< 1.000 kg/m³). Bei Botsch (2013) wird ein Wertebereich zwischen 800 und 940 kg/m³ angegeben. Fette steigen somit zum Wasserspiegel auf. Die Reindichte organischer Partikel ist ebenfalls sehr unterschiedlich. Insbesondere wenn die Organik bereits als Flockenstruktur vorliegt ist es sehr schwierig eine Reindichte zu bestimmen. Bei Botsch (2013) wird die organische Reindichte mit 1.200 kg/m³ angenommen. Die organischen Partikel sinken somit, wenn auch wesentlich langsamer als der Sand, zur Beckensohle ab. Partikel, die sich auf der Beckensohle abgesetzt haben, können allerdings wieder erodiert werden, wenn die auf sie wirkenden Scherbeanspruchungen zu groß werden. Dies ist dann der Fall, wenn für einen bestimmten partikulären Stoff eine kritische sohlnahe Fließgeschwindigkeit des Rohabwassers überschritten wird. Im Sandfang soll der Sand an der Beckensohle sedimentiert werden, die Organik aber nicht.

Somit muss eine Mindestfließgeschwindigkeit erreicht werden, damit die Organik nicht sedimentiert und eine Maximalgeschwindigkeit, damit der Sand nicht erodiert. Nach Hjulström (1935) kann dieser Bereich im Sandfang auf ca. 0,15 bis 0,3 m/s eingegrenzt werden.

Damit im zuführenden Kanal oder Rohr vor dem Sandfang keine Sedimentationen stattfindet, muss eine höhere Fließgeschwindigkeit eingehalten werden. Dementsprechend wird die Fließgeschwindigkeit des Abwassers im Sandfang durch eine Vergrößerung des Fließquerschnitts reduziert. Der belüftete Sandfang ist der häufigste Sandfangtyp in Deutschland und wird in vielen anderen europäischen Ländern und auch außerhalb der EU sehr häufig eingesetzt. Bei dem belüfteten Sandfang wird an einer Seite des Sandfangs Luft zugegeben. Die entstehenden Luftblasen strömen aufwärts und reißen dabei Abwasser mit. Hierdurch entsteht eine Strömungswalze die sich näherungsweise im rechten Winkel zur axialen Hauptströmung bewegt. Ist die Luftzufuhr richtig eingestellt, strömt die Wasserwalze mit einer wandnahen Fließgeschwindigkeit von ca. 0,3 m/s und somit im optimalen Bereich zwischen der Minimal- und Maximalgeschwindigkeit. Eine Trennwand zwischen Fettfang und Sandfang sorgt dafür, dass die Walze umgelenkt wird. Die Wasserwalze im Sandfang induziert dabei im Fettfang eine Wasserwalze mit umgekehrter Drehrichtung. Das Fett soll im Austausch zwischen den beiden Walzen in den Fettfang transportiert werden und dort verbleiben. Mit den Sandpartikeln setzt sich im Sandfang verfahrensbedingt auch immer ein gewisser Anteil an organischen Partikeln ab, der eigentlich weitertransportiert werden soll.

Seit Mitte der neunziger Jahre wird daher in Deutschland immer häufiger die Kombination aus Sandfang und Sandwäscher eingesetzt. Die Sandwäscher sollen das im Sandfang gesammelte Sand-Organik-Gemisch in den Sandanteil und den Organikanteil trennen, um den gewaschenen Sand z.B. in der Baustoffindustrie wieder zu verwenden. Der Sand wird anschließend in einem Container gesammelt. Die Organik wird in den Abwasserkanal, meist am Ablauf der Sandfanganlage, mit dem Waschwasser wieder in den Abwasserstrom eingeleitet. Wenn der Sandwäscher das Sand-Organik-Gemisch nicht richtig trennt, wird an dieser Stelle der Sand, der bereits abgeschieden wurde, wieder in den Abwasserstrom eingetragen.

2.2 Eigene Untersuchungen zum belüfteten Sandfang

Nach Kalbskopf (1966), S. 106-107, ist der belüftete Sandfang in seiner Leistungsfähigkeit bei der Sandabscheidung mit der eines unbelüfteten Langsandfangs vergleichbar. Am IWAR-WV wurden Untersuchungen zu dieser Thematik durchgeführt, veröffentlicht (Sonnenburg, 2016) und sollen hier kurz für das Problemverständnis dargestellt werden.

Die mittlere Fließzeit durch den belüfteten Sandfang soll laut DWA (DWA AG KA-5, 2008, in Anlehnung an Messergebnisse von Kalbskopf (1966)) bei Regenwetterzufluss mindestens 300 Sekunden betragen, damit Siebkorngrößen von $\geq 0,2$ mm nahezu

vollständig abgeschieden werden können. Die Voruntersuchungen mit Hilfe von CFD-Simulationen (CFD: Computational-Fluid-Dynamics) zeigen aber, dass die vereinfachten Randbedingungen in den Untersuchungen von Kalbskopf nicht auf reale belüftete Sandfanganlagen übertragbar sind. Die CFD-Voruntersuchungen für geänderte, realistische Einlaufbedingungen zeigen, dass die Absetzzeiten bis auf das Vierfache ansteigen können. Zudem ist durch Kalbskopf (1966) und andere Autoren bekannt, dass die Sandabscheidung bei kleinen Siebkorngrößen stark nichtlinear ist, was systembedingt auf die Strömungsturbulenzen im Sandfang zurückzuführen ist. Daraus folgt:

- Die Erreichung hoher Fein- und Mittelsandabscheidegrade benötigt im belüfteten Sandfang sehr lange Zeiträume,
- bzw. es werden für die Fein- und Mittelsandabscheidung große Reaktionsräume benötigt.
- Die Leistungsfähigkeit der Sandabscheidung eines unbelüfteten Langsandfangs ist wesentlich größer als die eines belüfteten Sandfangs.

Fazit ist, dass der unbelüftete Sandfang bei Neuplanungen und bei Leistungssteigerungen bestehender Sandfanganlagen immer mitberücksichtigt werden sollte. Die Voruntersuchungen und Untersuchungen zum unbelüfteten Sandfang am IWAR-WV in der Vergangenheit, führten zur Entwicklung des Leitwandsandfangs.

3 Der Leitwandsandfang - Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Sand- und Fettabscheidung

Die Untersuchungen für dieses Projekt wurden auf der Kläranlage Heusenstamm durchgeführt, die südöstlich von Frankfurt (Main) liegt. Neben dem Abwasser der Stadt Heusenstamm wird auch das Abwasser des südöstlich gelegenen Stadtteils Rembrücken behandelt sowie das der ortsansässigen Industrie- und Gewerbebetriebe. Die Ausbaugröße der Kläranlage beträgt 40.000 Einwohnerwerte und entspricht somit der Größenklasse 4 (AbwV 2004).

Die großtechnische Demonstrationsanlage stellt ein neues Anlagenkonzept dar, das so bisher auf keiner anderen Kläranlage zu finden ist. In diesem Kapitel wird zuerst das Konzept sowie die Dimensionierung der gesamten Sandfanganlage (Trockenwettersand- und Fettfang, Regenwettersandfang sowie Sandwäscher) vorgestellt. In den anschließenden Kapiteln werden diese im Rahmen der verschiedenen Projektphasen in einem iterativen Prozess beprobt und betrieblich bzw. konstruktiv angepasst. Die Gesamtheit der Versuche und Maßnahmen führten schließlich zu einem erfolgreichen Abschluss des Projektes.

3.1 Konzept und Dimensionierung der Sandfanganlage

Die Sandfanganlage in Heusenstamm besteht aus drei Straßen. Zwei Straßen für Regenwetter und eine Straße mit zwei Rinnen für Trockenwetter. Die Trockenwetterstraße fungiert dabei gleichzeitig als Sandklassierer für die Regenwetterstraßen. Das bedeutet, dass bei Beschickung der Regenwetterstraßen zeitverzögert eine Saugpumpe den Sand aus der Regenwetterstraße in die beiden Trockenwetterstraßen fördert. Das Sandfanggut in den Trockenwetterstraßen wird über eine Förderschnecke entgegen der Fließrichtung in einen Pumpensumpf gefördert, von wo aus es über jeweils eine Pumpe in je einen Sandwäscher gepumpt wird. Ein Fließschema des in diesem Projekt untersuchten Bereiches enthält Abbildung 3-1.

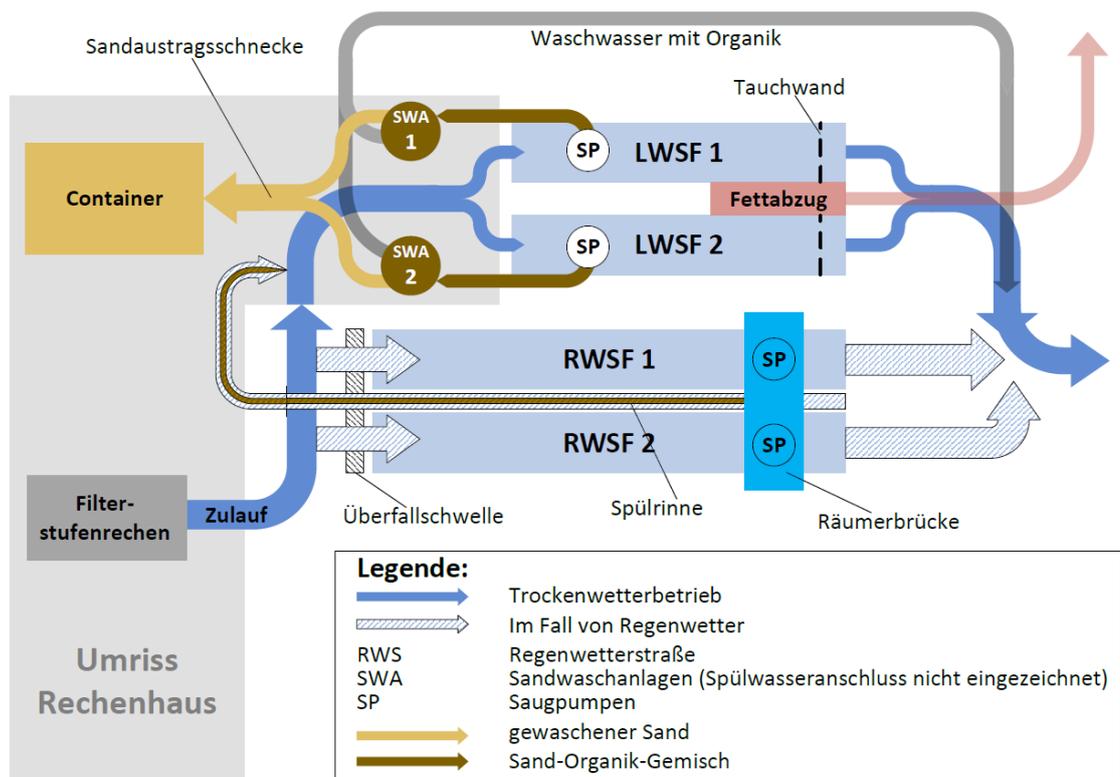


Abbildung 3-1: Fließschema Sandfanganlage

Die in diesem Projekt hauptsächlich im Fokus stehenden Trockenwetterrinnen bestehen aus zwei baugleichen Modulen, im Folgenden LWSF 1 (LeitWandSandFang in Fließrichtung links) bzw. LWSF 2 (LeitWandSandFang in Fließrichtung rechts) genannt. Beide Straßen wurden jeweils auf 30 l/s ausgelegt. Am Ende der beiden LWSF wird das aufströmende Fett vor einer Tauchwand gesammelt. Der Fettabzug wird über einen Ablasschieber bedient, von dem aus das Fett zum Eindicker gelangt.

Ab einem Zufluss von ca. 80 l/s überschreitet der Wasserspiegel die Überfallschwelle der ersten Regenwetterstraße, sodass der RWSF 1 in Betrieb geht. Dieser ist auf 135 l/s dimensioniert. Wird dieser Zufluss überschritten, öffnet ein Schieber den Zufluss in

den zweiten Regenwettersandfang (RWSF 2), welcher mit weiteren 135 l/s beschickt werden kann. Wie die beiden LWSF-Straßen besitzt auch der RWSF Leitwände über einen Großteil der Beckenlänge. Der in beiden RWSF sedimentierte Sand wird über jeweils eine eigene Saugpumpe den beiden Trockenwetterrinnen zugeführt. Der Zufluss der Trockenwetterrinnen wird grundsätzlich mittels eines sich im Ablauf des TWSF befindlichen MID, mit zugehörigem Regelschieber gesteuert, sodass diese durch das zusätzliche Sand-Wasser-Gemisch der beiden RWSF nicht überlastet werden können.

Das mit Hilfe der Förderschnecken in den Pumpensumpf der beiden LWSF transportierte Sand-Organik-Gemisch wird mit zwei Tauchmotorpumpen in die Sandwäscher gefördert. Der Dichteunterschied zwischen Organik und Sand bewirkt, dass die Sandpartikel tendenziell schneller absinken. Der von Organik umhüllte Sand wird durch Zugabe von Wasser gewaschen und mit einem Krählwerk umgeschichtet (Fabrikat Grimmel Wassertechnik 2016). Optional kann auch eine vorübergehende Zugabe von Spülluft erfolgen. Die Organik steigt dabei mit dem Waschwasser auf, fließt über eine Überlaufkante aus dem Sandwäscher ab und wird dem Abwasserstrom hinter dem Sandfang zugegeben. Der abgesetzte Sand bildet eine Art „Sandfilterbett“, das sich mit zunehmender Tiefe verdichtet. Der Sandaustrag in einen Entsorgungscontainer erfolgt über eine Sandförderschnecke, die über einen Drucksensor am Boden des Sandwäschers gesteuert wird.

3.2 Aufbereitung und Analyse der Proben im Labor

Sämtliche in den folgenden Kapiteln beschriebenen Versuche bzw. dabei gewonnenen Proben wurden entsprechend folgender Beschreibung im Labor des IWAR behandelt:

Die Vorgehensweise zur Trocknung von Schlammproben wird in der DIN EN 12880 beschrieben und auf die gesammelten Sandproben übertragen. Hierzu wurden Porzellantiegel zuerst in einem Trockenschrank bei 105°C erhitzt und anschließend in einem Exsikkator bis auf Raumtemperatur heruntergekühlt. Anschließend wurden die leeren Tiegel auf 1mg genau eingewogen und die Proben in die Tiegel gefüllt. Danach wurden die Tiegel mit den Proben wieder in den Trockenschrank gestellt und über mehrere Tage getrocknet.

Um die Masse des mineralischen Anteils und somit die Sandmasse der Proben zu bestimmen, wurden die getrockneten Proben nach den Vorgaben der DIN EN 15935 in einem Muffelofen bei 550°C bis zur Massenkonstanz geglüht. Die in der Norm vorgegebene Mindestglühdauer von zwei Stunden wurde mit knapp vier Stunden deutlich überschritten. Im Anschluss wurden die getrockneten Proben erneut in den Exsikkator gestellt um den Einfluss von Luftfeuchtigkeit auf das Probengewicht und damit auf die Ergebnisse zu minimieren. Die mineralische Probenmasse lässt sich aus der Differenz der Masse der Abdampfschale mit der geglühten Probe und der Masse der leeren Abdampfschale berechnen.

Die geglühten Sandproben wurden anschließend durch Siebanalysen nach den Vorgaben der DIN 66165-1 und DIN 66165-2 mit Hilfe einer Vibrationssiebmaschine fraktioniert (Trockensiebung). Aufgrund der oftmals sehr geringen Sandmenge im Trockenwetterbetrieb wurde die Siebung mit einer reduzierten Anzahl an Prüfsieben in den Maschenweiten 300 µm, 200 µm, 100 µm sowie einem Auffangboden durchgeführt.

3.3 Projektphase I – Untersuchungen an der Demonstrationsanlage

Voruntersuchungen zeigten, dass mit Hilfe einer hybriden Modellierung aus CFD und Praxisversuchen wesentlich bessere Erkenntnisse in Bezug auf die verfahrenstechnischen Komponenten (hier Leitwände und Einlaufzylinder) gewonnen werden können, als dies jeweils mit einer der beiden Methoden allein möglich gewesen wäre. Bei der Pilotanlage handelte es sich um einen einstraßigen Sandfang einer Abwasserreinigungsanlage im laufenden Betrieb. Viele sinnvolle Untersuchungen in der Praxis (z.B. zu den Leitwänden) konnten nicht durchgeführt werden, da im laufenden Betrieb keine Umbauten erfolgen konnten. Dies wäre aber für die Entwicklung eines praxistauglichen Sandfangs notwendig gewesen.

Das vordergründige Ziel bestand nun in der Optimierung des Gesamtsystems, sodass die einzelnen Module im laufenden Systembetrieb auf ihre Funktionsfähigkeit und ihre Wechselwirkung hin untersucht werden mussten. Im Gegensatz zu den in vorangegangenen, systemunabhängigen Betrachtungen der technischen Komponenten ließen sich auf diese Weise Erkenntnisse über gegenseitige Beeinflussungen gewinnen und in den Optimierungsprozess miteinbeziehen.

Zur Untersuchung des Sandabscheidegrades bei unterschiedlichen Betriebszuständen und Betriebsarten wurde der LWSF in einer ersten Phase im Kreislaufbetrieb mit Betriebswasser und künstlicher Sandzugabe betrieben. Aufgrund zeitlicher Verzögerungen in Verbindung mit einem großflächigen Umbau des Zulaufbereiches auf der Kläranlage Heusenstamm musste die Versuchsanlage bereits für die ersten Untersuchungen an ihrem finalen Verwendungsort und nicht an externer Stelle aufgestellt werden. Die Versuchsanlage konnte jedoch wie geplant mit Brauchwasser und isoliert von der restlichen Anlage betrieben und beprobt werden.

3.3.1 Planung und Bau des Leitwandsandfangs

Der LWSF in Heusenstamm wurde als Stahlkörper aufgebaut (siehe Abbildung 3-2). Er besteht im oberen Teil aus einem quaderförmigen Grundbaukörper, in den sehr einfach Leitwandmodule eingehängt werden können. Der untere Teil des Sandfangs entspricht einer Trapezform mit untenliegender Sandgutterrinne und Förderschnecke.

Im Zulaufbereich besitzt der LWSF zylindrische Vergleichmäßigungsrohre, die quer zur Fließrichtung angeordnet sind und zur Vergleichmäßigung der aus dem Zuflussrohr (DN300) resultierenden Eintrittsfahne dienen. Die Leitwände sind dahinter, parallel zur Fließrichtung angeordnet. Sie dienen der Reduzierung der Strömungsturbulenz. Der

LWSF besitzt in Fließrichtung ein großes Einlaufleitwandmodul sowie 6 weitere, kleinere Leitwandmodule.

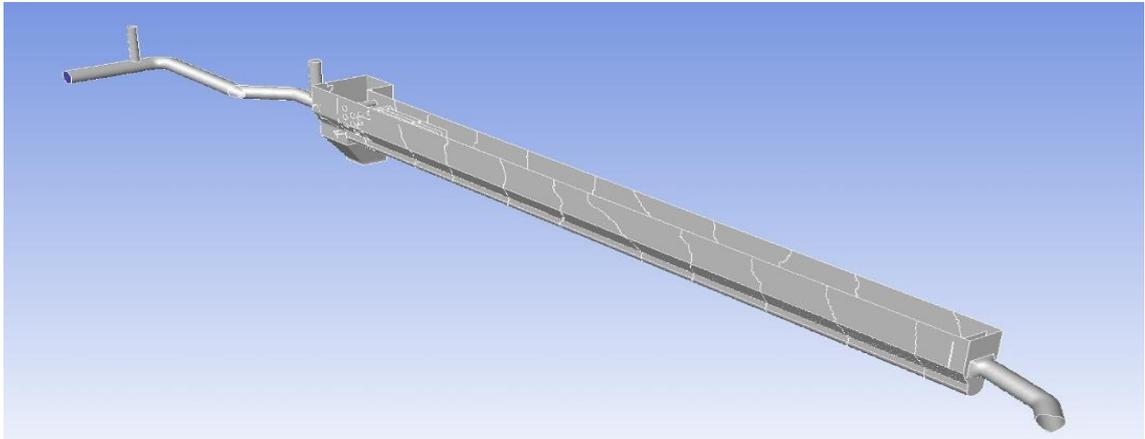


Abbildung 3-2: CFD-Modell Leitwandsandfang mit Zu- und Ablaufrohren

3.3.2 Versuchsvorbereitung: Auswahl Prüfsand

Für derzeit in Betrieb befindliche kommunale Sandfänge wird oftmals als Ziel vorgegeben, Partikel mit einer Reindichte von ca. 2.650 kg/m³ (Quarzsand) ab 200 µm Korngröße aufwärts mit hohen Prozentanteilen abzuscheiden. Der Leitwandsandfang soll darüber hinaus auch feinere Partikel ab 100 µm Korngröße aufwärts mit hohen Prozentanteilen abscheiden. Für die Versuche wurde daher ein Sand gewählt, der diesen Korngrößenbereich abdeckt und gut reproduzierbar ist. Es handelt sich um das Produkt:

- Probau eco, Firma Bauhaus; Quarzsand, Körnung 0,1 bis 0,4 mm; feuergetrocknet

Die Kornverteilung entspricht den strengen Vorgaben der Prüfsand-Empfehlung nach Arbeitsbericht des DWA-Fachausschusses KA-5 „Absetzverfahren“ in KA 5/2008. Die Reindichte des Sandes wurde mit Hilfe eines Pyknometers bestimmt. Die Dichteuntersuchung des geglähten Sandfanggutes aus dem Zulauf der Kläranlage Heusenstamm bestätigt diese Werte und legitimiert somit zusätzlich die Wahl des Prüfsandes. Die Abweichung der ermittelten Reindichten beträgt ca. 1% und wird als akzeptabel eingestuft. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3-1 dargestellt.

Tabelle 3-1: Pyknometermessung und Vergleich der (Quarz-) Sanddichte

Probe	Reindichte [g/cm ³]
Probau eco Quarzsand 63-400 µm	2.635
Zulauf KA Heusenstamm 63-400 µm	2.608

Zur Untersuchung des Absetzverhaltens verschiedener Korngrößen bei variierenden Rahmenbedingungen (Durchfluss, Fließgeschwindigkeit, Sandfracht) muss der Sand nach den Vorgaben der DIN 66165-1 und DIN 66165-2 mit Hilfe einer Vibrationssiebmaschine (Firma Retsch, Modell AS 200) fraktioniert werden. In Anhängigkeit des zu untersuchenden Durchflusses bzw. der Sandfracht wurden pro Versuch ca. 20 – 25 kg Quarzsand benötigt. Die Vorgaben für die Beladung eines Analysesiebes nach DIN ISO 3310-1/DIN ISO 3310-2 lässt jedoch nur wenige Gramm pro Siebung zu. Eine vollständige Fraktionierung der 25 kg Quarzsandsäcke ist für umfangreiche Versuchsreihen, wie sie in diesem Projekt durchgeführt wurden, bei einer Siebdauer von 10min für wenige Gramm zeitlich nicht vertretbar. Deshalb wurden aus jedem 25 kg Sandsack je 5 Stichproben á 100 g in verschiedenen Lagen innerhalb des Sandsacks entnommen, da eine selbstständige Sortierung der Korngrößen bereits während der Produktion, Verfüllung und des Transports eintritt. Diese wurden anschließend in die Korngrößen 63-100 µm, 100-125 µm, 125-200 µm, 200-224 µm, 224-250 µm, 250-300 µm, 300-400 µm, > 400 µm fraktioniert und das gemittelte Ergebnis auf die Sandmasse des gesamten 25 kg Sack hochgerechnet.

3.3.3 Aufbau der Versuchsanlage

Zur Untersuchung unterschiedlicher, fest definierter Betriebszustände und damit Generierung reproduzierbarer Ergebnisse wurde der LWSF im Sommer 2019 vor der eigentlichen Inbetriebnahme in mehreren Versuchsreihen mit Brauchwasser und künstlicher Sandzugabe betrieben. Dazu wurde eine der beiden Trockenwetterstraßen vom System entkoppelt bzw. erst zu einem späteren Zeitpunkt in den Regelbetrieb integriert.

Entsprechend folgender Abbildung 3-3 wurde der spätere Zu- sowie Ablauf des LWSF durch Schieber geschlossen und eine Tauchmotorpumpe (Modell FLYGT-Tauchmotorpumpe KS/MT Standardausführung) im Bereich des Ablaufs installiert. Diese förderte das Wasser über einen Feuerwehrdruckschlauch (Größe F bzw. DN150), einen Drosselschieber und ein MID in einen Parallelplattenabscheider bzw. Schrägklärer. Über das MID bzw. den Drosselschieber konnten verschiedene Durchflüsse im LWSF simuliert und damit untersucht werden. Der Schrägklärer war auf einen Abscheidegrad von 100% bezogen auf die Korngröße 100 µm bei 40 l/s ausgelegt, sodass die ggf. vom LWSF nicht abgetrennten Sandpartikel der Korngröße $\geq 100 \mu\text{m}$ im Schrägklärer vollständig abgetrennt wurden. In Fließrichtung zwischen Schrägklärer und LWSF wurde über ein Trichterrohr der Prüfsand in das zuvor vom Sand gereinigte Wasser gegeben. Um die gewählte Sandkonzentration kontrolliert in den Zulauf der Versuchsanlage einbringen zu können, wurde ein vertikales Rohr zwischen Schrägklärer und Zulauf in den LWSF installiert. Zur Gewährleistung einer ausreichenden Durchmischung wurde dabei auf einen ausreichend großen Abstand zwischen Sandeintrag und LWSF geachtet (Sonnenburg, A., Urban, W. 2016).

Nach der Sandzugabe fließt das Wasser über einen weiteren Schlauch (DN150) und eine geodätische Höhendifferenz von ca. 3 m zwischen dem Wasserspiegel im Schrägklärer und LWSF wieder in den LWSF und schließt somit einen Kreislauf. Auf Grundlage der eingestellten Durchflüsse zwischen 20 – 38 l/s und der in einem DN150 Schlauch resultieren Fließgeschwindigkeiten zwischen 1,13 – 2,15 m/s, konnte ein Sedimentieren des Sandes (Korngrößenbereich 63-400 µm) im Schlauch verhindert bzw. der gesamte Sand in den LWSF eingetragen werden. Im Zulauf des LWSF wurde das Wasser-Sand-Gemisch anschließend durch Einbauten um 45° umgelenkt. Dies führte zu erheblichen Turbulenzen beim Eintritt des Wassers in den LWSF, welche beim Anströmen des LWSF im Realbetrieb nicht auftreten. Die Turbulenzen wirken sich negativ auf die Sandabscheidung aus, sodass unter realen Bedingungen von günstigeren Anströmverhältnissen in Bezug auf die Sandabscheidung ausgegangen werden kann. Nach Eintritt des Wasser-Sand-Gemischs in den LWSF werden die Turbulenzen zuerst durch zylindrische Strömungsvergleichmäßiger reduziert bevor die Leitwandmodule durchströmt werden. Diese reduzieren in Abhängigkeit ihrer Spaltweite zwischen den Leitwänden die Turbulenz weiter, sodass ein Absinken der Sandkörner begünstigt wird. Der Sand sinkt auf den Boden des LWSF ab und wird von dort mit einer Förderschnecke entgegen der Fließrichtung in einen Pumpensumpf gefördert. Die für den Regelbetrieb vorgesehene Saugpumpe zum Austrag des Sandes in den Sandwäscher wurde hierzu während der Versuche nicht in Betrieb genommen bzw. diente nur dem Austrag des Wassers bzw. Sandes nach Beendigung eines Versuchs.

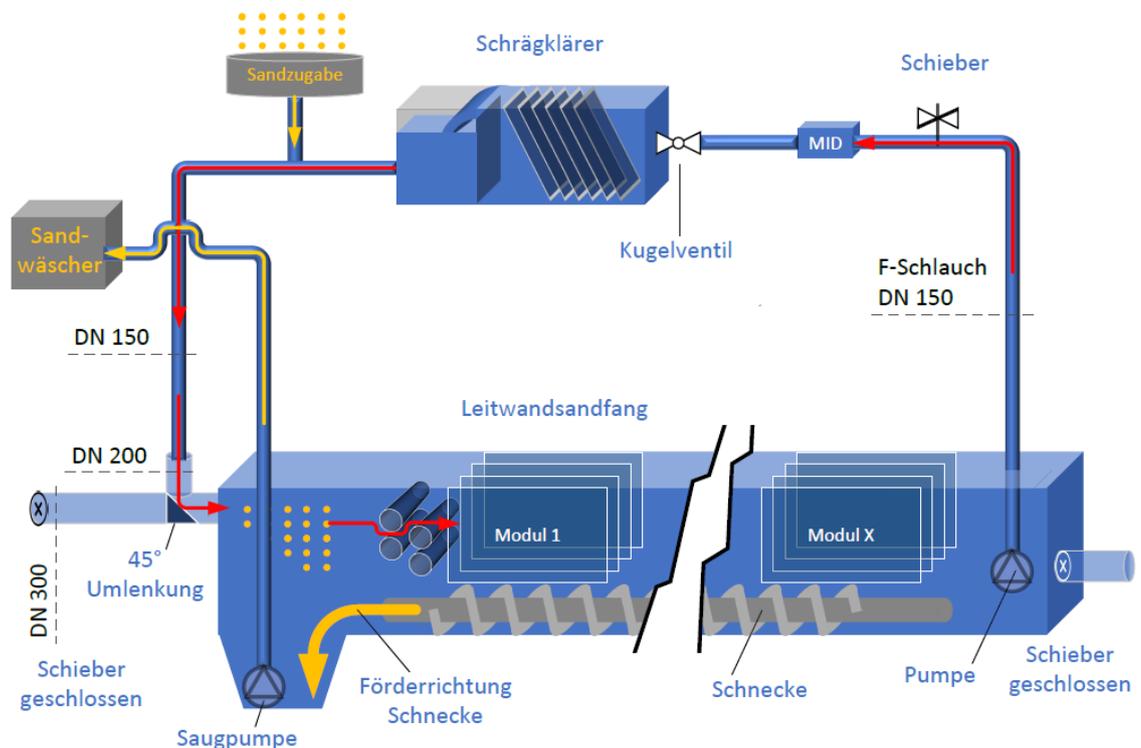


Abbildung 3-3: Skizze Versuchsaufbau

3.3.4 Versuchsdurchführung

Vor Beginn des Versuchs wurde das System (LWSF, Schrägklärer, Verbindungselemente) mit Brauchwasser gefüllt und der Durchfluss über das MID bzw. den Drosselschieber eingestellt. Wie auch bei Langsandfängen ist die Fließgeschwindigkeit mit der das Wasser den LWSF durchfließt für die Sandabscheidung maßgeblich.

Im Rahmen des Projektes wurden Versuche mit verschiedenen Durchflüssen ($Q = 20$ l/s, $Q = 30$ l/s) sowie unterschiedlichen Wasserständen ($\Delta h = -0,54\text{m}$, $-0,62\text{m}$, $-0,7\text{m}$) im LWSF durchgeführt. Gemessen wurde dabei der Abstand der Beckenoberkante zur Wasseroberfläche. Das bedeutet, dass der höchste Wasserstand bei der Messung des geringsten Abstandes vorlag. Ziel war die Untersuchung verschiedener Fließgeschwindigkeiten durch Verringerung/Erhöhung des Fließquerschnitts resultierend aus dem Wasserstand bei gleichbleibendem Durchfluss. In der Realität sind diese extremen Bedingungen (niedriger Wasserstand bei hohem Durchfluss) aufgrund der hydraulischen Abhängigkeit bzw. dem Wasserspiegel in den nachfolgenden Verfahrensstufen nicht möglich. Diese Bedingungen dienten vielmehr der Ermittlung der Belastungsgrenzen.

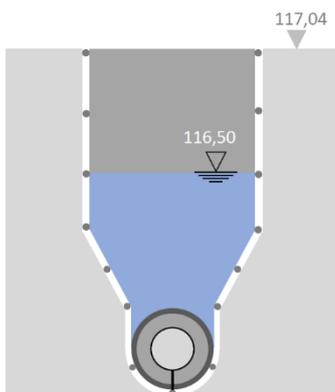


Abbildung 3-4: Schnitt LWSF (nicht maßstabsgetreu), WSP im Regelbetrieb

Um realistische Sandfrachtkonzentrationen auch im Testbetrieb zu gewährleisten, wurde die Sandzugabe pro Zeiteinheit für jeden Versuch an den entsprechenden Durchfluss angepasst. Für die Versuche wurden Sandkonzentrationen zwischen 80 – 160 mg/l gewählt. Damit lagen sie unter der von Hirschbeck (2010) empfohlenen Sandkonzentrationen bei Trockenwetter von 200 mg/l bzw. von Theilen & Luthard-Behle (2004) von 300 – 370 mg/l. Eigene CFD-Untersuchungen sowie Ergebnisse eines Sandprobenahmesystems für kommunale Kläranlagen, das zum Teil in diesem Projekt weiterentwickelt und in einer späteren Projektphase zum Einsatz kam (siehe Kapitel 3.4.1) zeigen jedoch, dass bedingt durch ein sehr geringes Gefälle im Zufluss zur KA Heusenstamm deutlich geringere Sandkonzentrationen (tw. nur wenige mg/l) im Trockenwetter auf der Kläranlage Heusenstamm die Regel sind. Gleichzeitig führen geringere Sandfrachtkonzentrationen nach Hirschbeck (2010) tendenziell zu

schlechteren Abscheidewerten, sodass die hier gewählten Konzentrationen Ergebnisse „auf der sicheren Seite“ bedeuten. Die Sandzugabe erfolgte kontinuierlich über den gesamten Versuchszeitraum.

Nach Beendigung der Sandzugabe wurde die Anlage entsprechend der vorherrschenden Fließgeschwindigkeit so lange weiter betrieben, bis auch die zuletzt zugegebenen Sandpartikel ggf. bis zum Auslass bzw. zum Schrägklärer transportiert werden können. Im Anschluss wurde die kreislaufferhaltende Pumpe gestoppt und zeitgleich das Kugelhahn-Absperrventil am Eingang des Schrägklärs zur Verhinderung eines Rückflusses geschlossen. Dann wurden die herausnehmbaren Kunststoffschragplatten entfernt und anhaftende Sandpartikel in den Schrägklärer gewaschen. Mit Hilfe eines Absaugsystems wurde dann der gesamte verbliebene Inhalt des Schrägklärs in 15 l Eimer abgepumpt und das Wasser nach einer Absetzzeit von mindestens 30 Minuten dekantiert.

Nach Versuchsende wurde zudem der gesamte LWSF gründlich vom abgeschiedenen Sand gereinigt. Das Sand-Spülwassergemisch wurde über die Saugpumpe im Pumpensumpf ausgetragen.

Die Probenverarbeitung erfolgte im Labor des Institutes IWAR. Die Proben wurden entsprechend der Trocknung von Schlammproben nach DIN EN 12880 sowie der Bestimmung des Glühverlusts nach den Vorgaben der DIN EN 15935 getrocknet und gegläht. Die Siebanalysen (Fraktionierung) erfolgten nach den Vorgaben der DIN 66165-1 und DIN 66165-2 mit Hilfe einer Vibrationssiebmaschine (Trockensiebung). Dafür wurden Analysensiebe nach DIN ISO 3310-1/DIN ISO 3310-2 verwendet.

Der Vergleich der Korngrößenverteilung der gewonnenen Probe mit der zuvor ebenfalls bestimmten Korngrößenverteilung des zugegebenen Sandes ermöglichte es, Abscheidegrade für verschiedene Korngrößenbereiche bzw. den Abscheidegrad des neu entwickelten Leitwandsandfangs bei künstlicher Sandzugabe zu bestimmen.

3.3.5 Versuchsergebnisse bei künstlicher Sandzugabe

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Versuche mit künstlicher Sandzugabe vorgestellt. Für die Beprobung des Leitwandsandfangs wurden 30 Versuche durchgeführt. Bei 4 Versuchen kam es zum Ausfall der Messtechnik, Eintrag von Abwasser aus der benachbarten (im Regelbetrieb befindlichen) Trockenwetterstraße oder Schmutzeintrag aus der umliegenden Baustelle, sodass sie von der Bewertung ausgeschlossen werden.

Die beiden Trockenwetterstraßen des LWSF wurden auf einen Durchfluss von je $Q = 30$ l/s bei einer Höhendifferenz ab GOK von $\Delta h = -0,54$ m ausgelegt. Die Versuche zeigen, dass ein sehr hoher Abscheidegrad von knapp 95% bezogen auf sämtliche Korngrößenbereiche erreicht werden kann. Die Gesamtabseidung bezogen auf die Zugabemenge liegt bei 99,8% und entspricht damit einer nahezu vollständigen Sandabscheidung.

3.3.6 CFD-Modellierung Leitwandsandfang

Es war ursprünglich angedacht im Projekt ein OpenFoam-CFD-Modell (Open Source CFD-Software) zu entwickeln und auf leistungsfähigeren Rechnern in einem Rechenzentrum zu betreiben. Während des Projektverlaufs hat sich gezeigt, dass der notwendige Aufwand für die Einarbeitung und Erstellung von verifizierten und validierten OpenFoam-Sandfangmodellen im Projektteam in keinem Verhältnis zum Nutzen steht. Zudem haben günstigere Rechnerarchitekturen dazu geführt, dass die am IWAR-WV und am IWW zwischenzeitlich vorhandenen Rechner (12 bis 24 und 36 Kerne) mit den durchschnittlich im Rechenzentrum zur Verfügung stehenden Rechnerkapazitäten in etwa vergleichbar waren, so dass auch diese Nutzung keinen Vorteil bot. Für die CFD-Modellerstellung und die CFD-Simulationen wurden daher die CFD-Programme Fluent (Ansys) und FLOW-3D (Flow Science) genutzt.

Für die Mehrphasensimulation wurde in beiden Programmen das VOF-Modell (Volume of Fluid) mit freiem Wasserspiegel verwendet. Für die Turbulenzmodellierung wurden K-Epsilon-Modelle eingesetzt. Im Partikelmodell (Discrete Phase Model; ebenfalls in beiden Programmen), das Sandpartikel im Größenbereich des Versuchssands enthielt, wurde ebenfalls das Turbulenzmodell aktiviert.

CFD-Simulationen von Sandpartikeln in Wasser/Abwasser wurden bereits in verschiedenen Projekten und Anlagentypen im Projektverbund (IWW/IWAR) durchgeführt. In der nachfolgend vorgestellten Versuchsanordnung werden Proben des Probenahmesystems mit Ergebnissen aus der CFD-Simulation verglichen. Da der Sand im LWSF praktisch vollständig abgeschieden wird, sollte das Verhalten an zwei Stellen im Sandfang untersucht werden, an denen aufgrund der Absetzgeschwindigkeiten noch Sand bei Größenklassen bis 400 µm Durchmesser zu erwarten sind.

Abbildung 3-5 zeigt den linken Trockenwettersandfang im Kreislaufbetrieb mit zufließendem Wasser (blau). In Abbildung 3-6 ist ein Beispiel der Partikelsimulation in diesem Sandfang zu sehen. Die Versuchsdurchführung erfolgte wie in Kapitel 3.3.4 beschrieben. Zusätzlich wurde an 2 Stellen im Sandfang Abwasser mit Hilfe des Probenahmesystems (Kapitel 3.4.1) abgesaugt und der Sand daraus gesammelt. Im CFD-Modell wurde je eine Durchtrittsfläche (Quadrate) an den Probenahmestellen angelegt und dort die durchtretenden Partikel gezählt.

Das Probenahmesystem ist auf die vollständige Abscheidung der 200 µm-Sandpartikel bei 10°C Wassertemperatur ausgelegt. Da der Versuch bei einer Wassertemperatur von ca. 20 °C durchgeführt wurde, ist in diesem Fall davon auszugehen, dass auch die 100 µm näherungsweise zu 100 % abgeschieden wurden. Es wird deutlich, dass bei nahezu gleichen Randbedingungen mit dem Probenahmesystem reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen sind. Die Unterschiede sind gering und liegen bei allen Größenklassen im Bereich von 0 bis 5 %. Leicht erhöhte Abscheidewerte bei der Probe 2 sind durch eine Erhöhung der Wassertemperatur um ca. 3 °C im zweiten Versuch zu erklären. Probe 1

enthielt keine Partikel im Korngrößenbereich $\geq 400 \mu\text{m}$, sodass diese in der Gegenüberstellung fehlt.

Für die CFD-Simulation wurde eine konstante Wassertemperatur von $19,5 \text{ }^\circ\text{C}$ angesetzt, bei der ersten Probenahme stieg die Wassertemperatur von $18,4$ auf $20,8 \text{ }^\circ\text{C}$, bei der zweiten Probenahme von $21,8$ auf $23,3 \text{ }^\circ\text{C}$. Auch bei der CFD-Simulation lässt sich der geringere Abscheidegrad zumindest teilweise durch die Wassertemperatur erklären, die zu einer Verringerung der Absinkgeschwindigkeit von ca. 5 bis 10 % geführt haben könnte. Zwischen 100 und $224 \mu\text{m}$ liegt der Unterschied zwischen CFD und Probenahme im Abscheidegrad bei ca. 10 bis 15 %, darüber ab $224 \mu\text{m}$ bei ca. 0 bis 2 %. Unterschiede, die zurzeit nicht weiter reduziert werden können, ergeben sich durch den Formfaktor des Sandes, die Reindichte des Quarzsandes, die Massenanteile in der jeweiligen Größenklasse, Einflüsse schwankender Durchflüsse und Temperaturen sowie der Einfluss der Turbulenz auf die Partikel. Insgesamt wird der Abscheidegrad in der Simulation etwas unterschätzt.

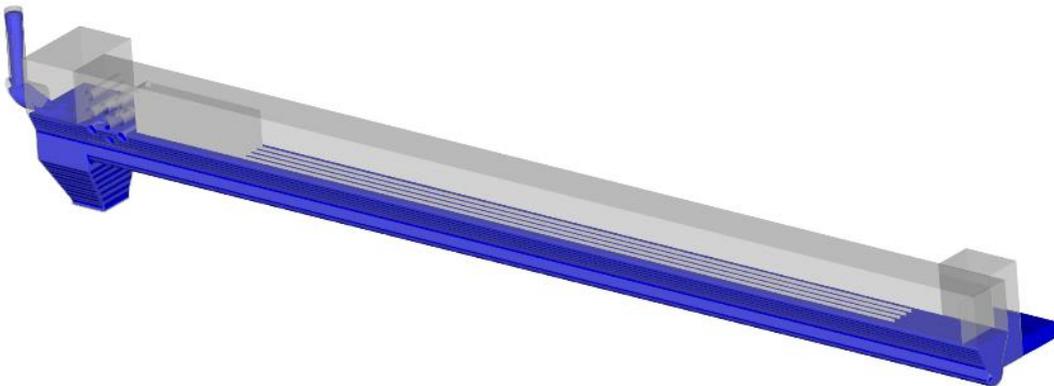


Abbildung 3-5: CFD-Modell des Leitwandsandfangs im Versuchsbetrieb mit Wasser (blau)

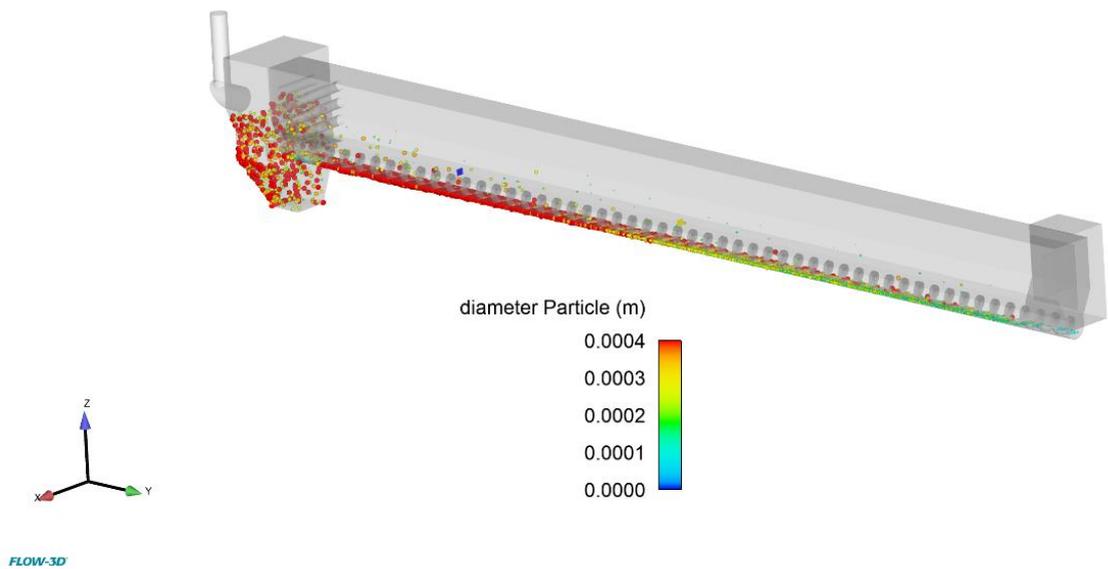


Abbildung 3-6: CFD-Modell des Leitwandsandfangs im Versuchsbetrieb mit Sandpartikel 100 bis 400 μm und Probenahmestellen (kleines blaues und gelbes Quadrat im Sandfang)

Die CFD-Partikelsimulationen wurden unter anderem dazu verwendet festzulegen bis zu welchem Durchfluss ein hoher Sandabscheidegrad im Realbetrieb zu erwarten ist.

3.4 Projektphase II: Versuche im Regelbetrieb

Die Untersuchungen des Gesamtsystems wurden nach Inbetriebnahme der Anlage ab dem Frühjahr 2020 unter Realbedingungen fortgesetzt. Hierbei waren neben den zuvor beschriebenen LWSF-Modulen u.a. Untersuchungen zur Fettabscheidung, der Regenwettersandfang, der nachgeschaltete, trocken aufgestellte Sandwäscher sowie Untersuchungen zum Glühverlust und Schwermetallkonzentration des Sandfanggutes Gegenstand der Betrachtung. Gleichzeitig wurde in dieser Projektphase auf Grundlage vorangegangener Untersuchungen gemeinsam mit dem IWW Zentrum Wasser ein Sandprobenahmegerät (weiter-) entwickelt, das seit 2019 als Prototyp auf verschiedenen Sandfanganlagen im Einsatz ist. Zu dem Gerät gehört ein eigenes Probenahmeverfahren, das u.a. CFD-Simulationen mit einbezieht.

3.4.1 Entwicklung eines Probenahmesystems zur Sandfrachtbilanzierung

Die Herausforderungen bei der Bestimmung des Sandabscheidegrads einer kommunalen Sandabscheideanlage sind komplex. Ein wesentlicher Punkt hierbei ist, dass Sandpartikel im Abwasser an keiner Stelle volldurchmischt vorliegen, sondern im Gegenteil jederzeit absinken können. Das führt zu einer Entmischung und teilweise ungleichmäßigen Verteilung an möglichen Probenahmestellen. Dies ist ein wesentlicher

Unterschied zur Beprobung chemisch gelöster Stoffe (z.B. Ammonium, Nitrat) und erschwert somit die Probenahme. Theoretisch müsste für die Beprobung einer in Betrieb befindlichen Sandfanganlage der gesamte Zufluss erfasst, gesammelt und anschließend der darin enthaltene Sand ermittelt werden. Schon aufgrund der entstehenden Abwasservolumina ist dieses Vorgehen schwierig bis unmöglich durchzuführen. Das im Folgenden beschriebene Probenahmesystem entnimmt dagegen auf Grundlage von in CFD-Simulationen vorab definierten Messpunkten einen Teilstrom des Abwassers. Der Betrieb des Sandfangs wird dabei zu keiner Zeit unterbrochen oder beeinflusst, sodass reale Bedingungen untersucht werden. Das bereits zuvor in Teilen entwickelte Probenahmesystem wurde im Rahmen des Projektes insbesondere im Hinblick auf den Praxiseinsatz weiterentwickelt.

Das Beprobungsgerät besteht aus einem Absaugrohr, einer trocken aufgestellten Pumpe mit MID sowie einem portablen Leitwandsandfang, welcher gemeinsam vom Institut IWAR sowie dem IWW entwickelt wurde. Das Absaugrohr wird knapp über der Sohle fixiert. Dann wird mit Hilfe der Pumpe ein Teilstrom des Abwassers punktuell entnommen und über den portablen Leitwandsandfang geleitet. Um eine Absaugung der Partikel zu gewährleisten, muss auf eine Mindestfließgeschwindigkeit im Absaugrohr geachtet werden. Bei dieser ist der portable Sandfang auf eine 100%ige Abscheidung von Sand mit einer Korngröße $\geq 200 \mu\text{m}$ ausgelegt, während die Organik weitestgehend im Abwasser verbleibt und ausgetragen wird. Kleinere Kornfraktionen werden entsprechend nicht zu 100% abgeschieden. In weiterführenden Versuchen konnte jedoch gezeigt werden, dass relativ konstant 75% der Kornfraktion $100\text{-}125 \mu\text{m}$ abgeschieden werden. Es ist somit von einem kontinuierlichen Fehler auszugehen, sodass ein Vergleich der Abscheidung dieser Kornfraktionen bei gleichzeitigen Zu- und Ablaufbeprobungen möglich ist. Das Beprobungsgerät existiert in doppelter, identischer Ausführung, sodass eine gleichzeitige Beprobung von zwei Messstellen möglich ist. Ein Schema des Versuchsablaufs zur gleichzeitigen Bilanzierung des Zu- und Ablaufs enthält folgende Abbildung 3-7.

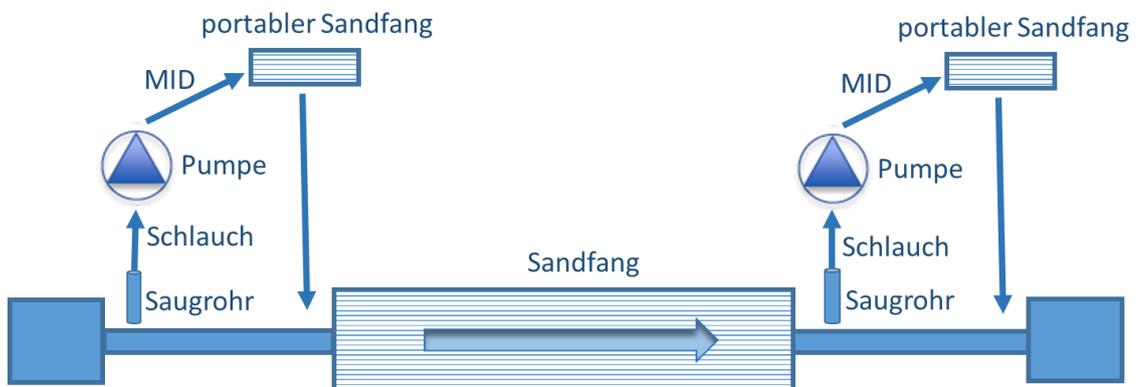


Abbildung 3-7: Schema Aufbau Sandfangbeprobung im Realbetrieb

Aufgrund der häufig sehr geringen mittleren Sandkonzentration im Abwasser (teilweise wenige mg/l) und zur Reduzierung des statistischen Fehlers, muss die Beprobung über einen längeren Zeitraum erfolgen. Zahlreiche Versuche auf verschiedenen KA zeigten, dass je nach örtlichen Rahmenbedingungen (hierzu gehören u.a. Durchflussschwankungen z.B. durch die Rechenreinigung) Versuchsdauern von 30-120 Minuten als sinnvoll angesehen werden, da erst dann ausreichende Sandmengen für die weitere Laboruntersuchung zur Verfügung stehen. Mit den notwendigen Sauggeschwindigkeiten und dem Rohrdurchmesser des Saugrohres ergeben sich Volumina von ca. 1.500 bis 6.000 Liter Abwasser pro Versuch. Würde die gesamte Abwasserprobe gesammelt werden, müsste ein entsprechend großer Sammelbehälter vorgehalten werden. Die Beprobung eines bestehenden Sandfangs während des realen Betriebs mit Abwasser ist dadurch mit bisher bekannten Verfahren quasi unmöglich. Nach Beendigung der Beprobung wird der im portablen Leitwandsandfang sedimentierte Sand in Probeflaschen gefüllt und im Labor des Instituts IWAR weiterverarbeitet und analysiert (siehe Kapitel 3.2).

3.4.2 Beprobung des Leitwandsandfangs unter Realbedingungen

Die Beprobung des Trockenwetterandfangs in Heusenstamm wurde mit unterschiedlichen Zielsetzungen durchgeführt. Primär soll ein hoher Abscheidegrad für beide Trockenwetterstraßen auch unter Realbedingungen nachgewiesen werden. Gleichzeitig muss jedoch ein störungs- und wartungsarmer Betrieb gewährleistet werden. Insgesamt wurden am LWSF 70 Versuche in Form von Doppelbeprobungen durchgeführt, sodass 140 Proben untersucht wurden. Die Versuche umfassten die Untersuchung der Abscheideleistung durch Beprobungen des Zu- und Ablaufs der beiden Trockenwetterrinnen bei Variation der Anzahl an Leitwand-Modulen sowie die Sandfrachtaufteilung durch gleichzeitige Beprobung beider Zuläufe.

Die Probeentnahmestellen wurden auf Grundlage von CFD-Simulationen festgelegt. Diese zeigen, dass Sand und Abwasser insbesondere bei Trockenwetter nicht volldurchmischt vorliegen und der Sand vorwiegend entlang der Rohrsohle transportiert wird. Aus diesem Grund wurden die Absaugrohre ca. 10 cm im und jeweils ca. 1 cm über der Rohrsohle des Zu- bzw. Ablaufrohr fixiert. Folgende Abbildung 3-8 zeigt die Installation des Absaugrohres exemplarisch (links) bzw. an Zulauf (mitte) und Ablauf (rechts).



Abbildung 3-8: Saugrohr (links), Beprobung Zulauf (Mitte), Beprobung Ablauf (rechts)

Die Versuche bei Einsatz aller Leitwandmodule belegen, dass sehr hohe Abscheidegrade erreicht werden. Bezogen auf die Partikelgröße $\geq 300 \mu\text{m}$ liegt der über alle Versuche ermittelte durchschnittliche Abscheidegrad bei 98% (bei einer Standardabweichung von 0,65%). Im Abwasser enthaltene und während des Glühens der Sandproben nicht entfernte anorganische Stoffe (z.B. kleine Stücke Aluminiumfolie) sowie sehr flache anorganische Partikelplättchen verhindern den Nachweis einer vollständigen Abscheidung. Bezogen auf die Siebkorngröße $\geq 200 \mu\text{m}$ beträgt der durchschnittliche Abscheidegrad 96% (bei einer Standardabweichung von 1,3 %). Unter Beachtung der in Kapitel 3.4.1 beschriebenen Auslegungsgrenzen des Probenahmesystems und Voraussetzung eines kontinuierlichen Fehlers bei der Ermittlung des Abscheidegrades von Korngrößen im Bereich 100-200 μm beträgt die Abscheidung des LWSF bezogen auf die Siebkorngröße $\geq 100 \mu\text{m}$ immer noch knapp 88% (bei einer Standardabweichung von 3,9%). Die Versuchsdaten im realen Betrieb bestätigen somit die sehr hohen Abscheidewerte des LWSF aus den Versuchen mit künstlicher Sandzugabe (vgl. Kapitel 3.3.5).

Zur Sicherstellung weiterhin hoher Abscheidegrade wurden weitere Versuche im Regelbetrieb durchgeführt. Einen negativen Effekt auf den Abscheidegrad ist nur bezogen auf die Siebkorngröße $\geq 100 \mu\text{m}$ zu erkennen (unter Annahme eines kontinuierlichen Fehlers aufgrund der Auslegung des Probenahmesystems auf die 100% Abscheidung der Korngröße 200 μm). Außerdem zeigt sich, dass über alle Siebkorngrößen die Standardabweichung zunimmt. Der durchschnittliche Abscheidegrad bezogen auf die Korngröße $\geq 300 \mu\text{m}$ beträgt fast 99%, bezogen auf die Korngröße $\geq 200 \mu\text{m}$ knapp 96%.

Da der LWSF bei Regenwetter als Sandklassierer des RWSF dient, wurde die Abscheideleistung des LWSF im Regenwetter separat untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Abscheideleistung im Vergleich zum Trockenwetterbetrieb tendenziell zunimmt. Bezogen auf die Siebkorngrößen $\geq 300 \mu\text{m}$ und $\geq 200 \mu\text{m}$ beträgt der

durchschnittliche Abscheidegrad 99%. Bezogen auf die Siebkorngröße $\geq 100 \mu\text{m}$ (und Annahme eines kontinuierlichen Fehlers) beträgt der durchschnittliche Abscheidegrad 96%. Die im Vergleich zum Trockenwetter leicht erhöhten Abscheidegrade können dadurch erklärt werden, dass nach Hirschbeck (2010) höhere Sandfrachtkonzentrationen tendenziell zu besseren Abscheidewerten führen.

Durch den 90° Knick vor der Aufteilung des Abwassers auf die beiden Sandfangstraßen (Abbildung 3-9, links) liegen besondere Anströmverhältnisse vor. Der durch die Kurve entstehende Drall führt dazu, dass die Sandfracht ungleichmäßig auf die beiden Straßen aufgeteilt wird. Die gleichzeitige Beprobung der Zuläufe zeigt, dass in den LWSF 2 (in Fließrichtung rechts) deutlich mehr Sand eingetragen wird (ca. 70-80%). Aus den Daten der Siebanalysen wird deutlich, dass dieser Effekt mit der Partikelgröße zunimmt. Daraufhin durchgeführte CFD-Simulationen bestätigen dies (Abbildung 3-9, rechts). Die Simulationen wurden mit unterschiedlichen Durchflüssen zwischen 20 – 80 l/s (und daraus resultierenden unterschiedlichem Wasserspiegel) durchgeführt. Interessant ist, dass das Wasser und die Partikel ein entkoppeltes Transportbild zeigen. Während die Sandpartikel auch im CFD-Modell mit zunehmender Größe eher dem LWSF 2 zufließen (bei $Q = 40 \text{ l/s}$ sind es z.B. 66 % der $200 \mu\text{m}$ -Partikel, 98 % der $500 \mu\text{m}$ -Partikel und 100 % der 1000 und $2000 \mu\text{m}$ -Partikel), fließt dem in Fließrichtung links liegenden LWSF 1 gleichviel oder sogar leicht mehr Wasser zu. Das Phänomen des entkoppelten Transportbilds für Sandpartikel und Wasser konnte zwischenzeitlich auch in anderen Projekten festgestellt werden (unveröffentlicht).

Um eine gleichmäßigere Sandfrachtbeaufschlagung der beiden LWSF zu erreichen, müsste entweder der 90° Knick beseitigt oder Einbauten zur Beeinflussung des Strömungsverhaltens in das Rohr eingebaut werden. Dies ist aus baulichen bzw. jetzigen Bestandsbedingungen nicht möglich. Erschwerend kommt hinzu, dass sich die Einbauten je nach Durchfluss unterschiedlich auf das Strömungsverhalten auswirken könnten. Das Abscheideverhalten sowie der Sandabzug aus dem LWSF 2 wurde deshalb genauer untersucht und der Pumpensumpf angepasst (siehe Kapitel 3.4.3).

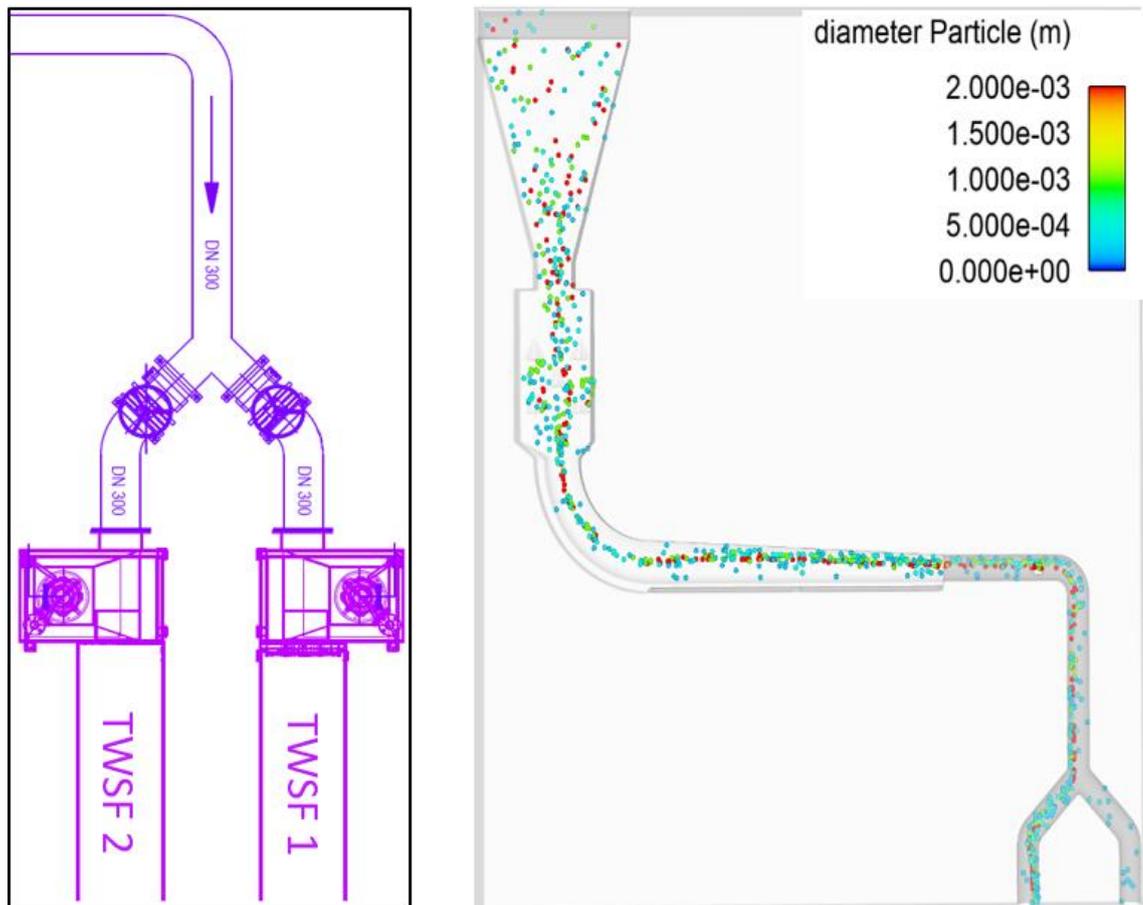


Abbildung 3-9: Untersuchung der Sandaufteilung: Zulaufbereich LWSF (links), Aufteilung Partikel (rechts)

3.4.3 Probleme und konstruktive Anpassungen

Das Hauptproblem im Betrieb stellten anfänglich vom vorgelagerten Stufenrechen nicht erfasste Störstoffe dar, die zu Verzopfungen im Bereich der Querstreben zur Befestigung der Leitwände führten. Wie in Kapitel 3.3.1 beschrieben, besteht der LWSF aus einem großen Einlaufleitwandmodul sowie 6 weiteren, kleineren Leitwandmodulen. Insbesondere bei Regenereignissen wurden die 6 kleineren Module überströmt, sodass sich vom Rechen nicht erfasste Störstoffe (Tücher, Haare, etc.) an diesen, quer zur Fließrichtung verlaufenden Aufhängungen, anlagern konnten. An diese lagerten sich im Anschluss auch bei Trockenwetter weitere Störstoffe (insbesondere Haare und Fette) an, sodass es zu einem sukzessiven Zuwachsen des Spalts zwischen den Leitwänden und damit Beeinträchtigung des Betriebes kam (Abbildung 3-10). Die Folge sind regelmäßige und intensive Reinigungsarbeiten.



Abbildung 3-10: Anfang einer Brückenbildung infolge überströmter Leitwandbefestigung

Die Sandräumung stellte über einen langen Zeitraum ein weiteres schwerwiegendes Problem dar. Insbesondere im Pumpensumpf des LWSF 2 wurde der abgeschiedene Sand aufgrund von „Toträumen“ im Pumpensumpf nicht von der Pumpe erfasst bzw. ausgetragen. Es wurde deutlich, dass sich der Sand an diesen Stellen mit der Zeit verdichtet hat und die Sandablagerungen um die Pumpe herum kontinuierlich anwuchs (Abbildung 3-11, links). Daten des Sandwäschers zeigten gleichzeitig, dass relativ wenig Sand ausgetragen wurde. Es wird davon ausgegangen, dass sich zwischen Sand und Pumpe kleine „Kanäle“ bildeten, in denen primär Abwasser mit wenig Sand zum Ansaugstutzen gelangte. Diese Ablagerungen konnten nur durch eine „Notreinigung“ des LWSF mit einem Saugwagen entfernt werden. Der Pumpensumpf wurde deshalb auf Grundlage von CFD-Simulationen mit Einbauten versehen, die den Sand einerseits direkt in Richtung des Absaugstutzens lenken, andererseits Toträume reduzieren. Zusätzlich wurde eine Spüllanze installiert, die bei Verstopfungen der Pumpe hinzugezogen werden kann oder zum Aufbrechen eventuell auftretender Sandablagerungen dient (Abbildung 3-11, rechts). Über die Projektdauer wurde deutlich, dass die Problematik des Sandaustrags fast ausschließlich den LWSF 2 (in Fließrichtung rechts) betraf. Dies spiegelt die Ergebnisse der in Kapitel 3.4.2 beschriebenen gleichzeitigen Beprobungen der Zuläufe wider, die zeigen, dass in den LWSF 2 eine deutlich höhere Sandfracht und im Verhältnis deutlich mehr größere Partikel eingetragen werden.



Abbildung 3-11: Sandablagerungen im Pumpensumpf (links) und LWSF (mitte) vor Anpassung des Pumpensumpfs, Einbauten Pumpensumpf nach Anpassung (rechts)

3.4.4 Beprobung des Regenwetersandfangs unter Realbedingungen

Aufgrund des trockenen Sommers 2020 erfolgte die Beprobung des RWSF erst im Winter 2020/21. Der Zu- und Ablauf des RWSF 1 wurden hierzu gleichzeitig mit Hilfe des Probenahmesystems beprobt. Die baulichen Gegebenheiten vor Ort führten dazu, dass die Räumerrücke für die Versuche bis an den Anfang des RWSF gefahren wurde, um von dort das System zur Beprobung des Einlaufs zu installieren. Während der Probenahme wurde die Räumerrücke deshalb außer Betrieb genommen. Der Ablauf wurde hinter dem RWSF beprobt (Abbildung 3-12).



Abbildung 3-12: Beprobung RWSF, Zulauf (links), Ablauf (rechts)

Entsprechend den Messdaten der KA Heusenstamm lag der Zufluss vor, während und nach der Beprobung des RWSF zwischen 250-280 l/s und entsprach somit dessen Auslegung (2x 135 l/s). Auf Grundlage betrieblicher Erfahrungen kann der RWSF 2 bei dieser Zuflussmenge jedoch außer Betrieb genommen werden, sodass der gesamte Zufluss in den RWSF 1 (und zu einem geringen Anteil in den LWSF) fließt, ohne diesen zu überlasten. Grund für diese positive Erkenntnis könnten die entlang der Beckenlänge eingesetzten Leitwände sein, die sich positiv auf die Sandabscheidung auswirken. Unter Annahme einer vollständigen Durchmischung der Sandpartikel im Abwasser ergeben sich aus den Daten des Probenahmesystems Abscheidewerte zwischen 94-98% bezogen auf die Korngröße $\geq 200 \mu\text{m}$. Die betrieblichen Erfahrungen werden unter Berücksichtigung der getätigten Annahmen somit bestätigt.

3.5 Beprobung des Sandwäschers

Nach DIN 19569-13 (2020) muss der Abscheidegrad aus Sandfang und Sandwäscher gemeinsam bzw. in Bezug auf das Gesamtsystem betrachtet werden. Aus diesem Grund wird in diesem Kapitel u.a. die Abscheideleistung der Sandwaschanlage ermittelt. Die Funktionsweise der Sandwaschanlage im Gesamtsystem wird in Kapitel 3.1 beschrieben. Durch die Beschickung der Sandwäscher über Saugpumpen bzw. mit

einem Sand-Wasser-Gemisch weicht die Sandfanganlage von der Planung ab, in der trocken beschickte Sandwäscher vorgesehen waren. Grund hierfür sind die beschränkten Platzverhältnisse zwischen LWSF und der Sandwaschanlage, die schräg aufgestellte Sandförderschnecken nicht zulassen. Zur Untersuchung der Leistungsfähigkeit und Ableitung der Betriebsparameter wurden nach dem Bau der Sandwaschanlage im Sommer 2019 verschiedene Versuche durchgeführt.

3.5.1 Anforderungen an den abgeschiedenen Sand

Die Abfallhierarchie des Kreislaufwirtschaftsgesetz besagt, dass eine Verwertung von Abfällen deren Beseitigung vorzuziehen ist. Das durch einen Sandfang abgeschiedene Sandfanggut besitzt neben den mineralischen Bestandteilen oftmals auch einen organischen Anteil, der i.d.R. durch einen nachgeschalteten Sandwäscher reduziert wird. Für die Lagerung des Sandfanggutes auf einer Deponie muss dieser gemäß TA Siedlungsabfall, ergänzt durch die Abfallablagerungsverordnung (AbfAbIV), einen Glühverlust (organischer Anteil der Trockensubstanz) von < 3 Masse-% (Deponieklasse I) bzw. < 5 Masse-% (Deponieklasse II) aufweisen. Nach DIN 19569-13 (2020) darf der gewaschene Sand für eine kostengünstige Entsorgung oder Verwertung als Baumaterial einen Glühverlust von maximal 3% aufweisen (DIN 19569-13, 2020).

3.6 Bestimmung des Gesamtabscheidegrades der Sandfanganlage

Nach DIN 19569-13 (2020) berechnet sich der Gesamtabscheidegrad aus Sandfang und Sandwäscher aus:

$$Abscheidegrad_{gesamt} = \frac{1}{1 + \frac{1-x}{x \cdot y}}$$

Mit x = Abscheidegrad Sandfang [%] y = Abscheidegrad Sandwäscher [%]

Bei einem mittleren Sandabscheidegrad bezogen auf die Siebkorngröße $\geq 200 \mu\text{m}$ des Sandfangs von 96% sowie des Sandwäschers von ca. 90% berechnet sich der Gesamtabscheidegrad der Sandfanganlage zu 95,5% bezogen auf die Siebkorngröße $\geq 200 \mu\text{m}$.

Unter Annahme eines kontinuierlichen Verlusts/Fehlers durch das Probenahmesystem für Siebkorngrößen 100-200 μm , berechnet sich der Gesamtabscheidegrad der Anlage bezogen auf die Siebkorngröße $\geq 100 \mu\text{m}$ zu 82,8%.

3.7 Untersuchung der Fettabscheidung

Die Fette der Trockenwetterstraßen sammeln sich vor einer Tauchwand am Ende des LWSF. Durch das Öffnen eines Schiebers wird das Fett-Wasser-Gemisch in den Vorschacht der Fettpumpe geleitet, von wo aus es, bei entsprechender Menge, in die anaerobe Schlammbehandlung gepumpt wird.

Die Tauchwand ist quer zur Fließrichtung ausgerichtet und hält die aufgrund ihrer geringeren Dichte aufschwimmenden Fette zurück. Die Reduzierung der Turbulenzen durch das Leitwandmodul wirkt sich somit in zweierlei Hinsicht positiv aus: einerseits wird das Sedimentieren der Sandpartikel, andererseits auch das Aufschwimmen der Fette begünstigt. Abbildung 3-13 zeigt die Tauchwand des LWSF im Modell (links) bzw. im Betrieb (rechts).

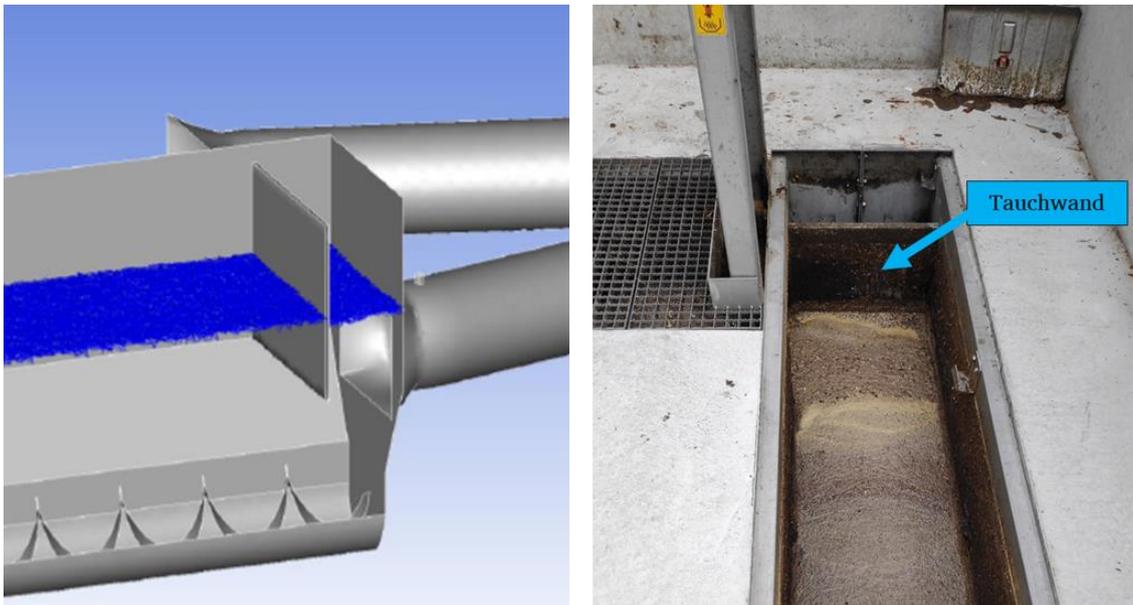


Abbildung 3-13: Fettfang im Modell (links) und im Betrieb (rechts)

Die Bilanzierung von Fett im Abwasser auf kommunalen Kläranlagen stellt die Verfahrenstechnik jedoch vor große Probleme. Einerseits tritt Fett in unterschiedlichsten Formen auf (als Tröpfchen bis zu ganzen Fettbrocken), andererseits bleibt es an Probenahmegeräten haften und erschwert eine spätere Bilanzierung. Den Projektverantwortlichen ist hierzu kein Probenahmeverfahren bekannt, sodass die Überlegung besteht, dies im Rahmen eines eventuellen Nachfolgeprojektes zu entwickeln. Der Einsatz eines Fettersatzstoffs unter realen Bedingungen ist ebenso keine Option, da einerseits die Wiederfindung der Partikel im Abwasser schwierig ist, andererseits ein Eintrag der Partikel in nachfolgende Verfahrensstufen nicht ausgeschlossen werden kann.

Um den Einfluss der Leitwandmodule auf die Fettabscheidung dennoch nachweisen zu können, wurden Versuche an einer Laboranlage mit Brauchwasser durchgeführt. Hierzu wurden in den verfahrenstechnisch ähnlichen portablen Leitwandsandfang (siehe Kapitel 3.4.1) Tauchwände eingebaut und Versuche mit variierendem Tauchwandabstand vom Zulauf durchgeführt. Voraussetzung ist der Einsatz eines quantifizierbaren Fett-Ersatzstoffs dessen physikalische Eigenschaften den Realbedingungen möglichst nahekommen. Verwendet wurde ein Polyethylengranulat mit einer Dichte von 0,952 g/ml bei einer Temperatur von 25°C. Die Morphologie lässt

sich mit geringen Abweichungen als kugelförmig mit einem Durchmesser von ca. 2 mm beschreiben. Den Versuchsaufbau enthält Abbildung 3-14. Darin rot dargestellt ist die Tauchwand zum Zurückhalten der Fettpartikel. Der Abstand der Tauchwand vom Einlass wurde in den Weiten 15 cm, 30 cm und 45 cm sowie 94 cm variiert.

Vor Versuchsstart wurde die Versuchsanlage mit Wasser befüllt. Dann wurde der Fettersatzstoff in Form von exakt 50 Granulatkügelchen in einen mit Wasser gefüllten (Zugabe-) Behälter gegeben. Mit einer Pumpe (und MID) wird das Granulat-Wasser-Gemisch über den portablen Leitwandsandfang in einen Auffangbehälter gefördert. Der Förderstrom betrug konstant 56 l/min, sodass sich die Eintauchtiefe der eingesetzten Tauchwand in allen Abstandskonfigurationen bei 2,5 cm einstellte. Anschließend wurde eine weitere Minute Wasser gefördert, um mögliche Remobilisierungen zu berücksichtigen. Nach Beendigung eines Einzelversuchs wurde die Pumpe abgestellt und die abgeschiedenen bzw. nicht abgeschiedenen Polyethylen-Kügelchen gezählt.

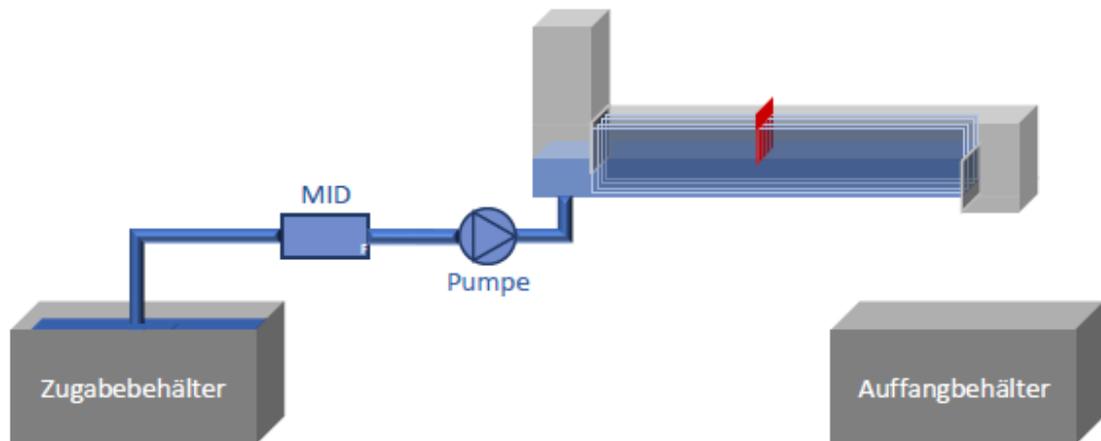


Abbildung 3-14: Versuchsaufbau Fettfang

Die Auswertung zeigt, dass bei eingesetzten Leitwänden das Rückhaltevermögen mit zunehmendem Abstand der Tauchwand vom Zufluss, wie zu erwarten, verbessert wird. Während bei einem Abstand von 15 cm noch mindestens 7 Kügelchen (14 %) nicht abgeschieden wurden, wurden bei einem Abstand von 45 cm in vier Versuchswiederholungen alle 50 Kügelchen zurückgehalten. Demgegenüber konnten nach Entnahme der Leitwände in allen Abstandskonfigurationen der Tauchwände immer mehr als 10 Kügelchen die Barriere passieren. Folgende Abbildung enthält die Ergebnisse der Untersuchung. Der positive Einfluss der Leitwände auf die Abscheidung des Fettersatzstoffes, sowie ein Anstieg der Verluste durch Verringerung des Abstandes der Tauchwand vom Zufluss ist sehr deutlich erkennbar. Im Rahmen der Versuche konnte somit der positive Effekt der Leitwände auf die Fettabscheidung nachgewiesen werden. Die Oberflächenbeschickung liegt hierbei zwischen ca. 70 und 200 m/h und damit deutlich über der Oberflächenbeschickung des realen Leitwandsandfangs (ca. 10

bis 20 m/h). Es ist daher zu vermuten, dass der Fettabscheidegrad im realen Leitwandsandfang für vergleichbare Fettpartikel höher ist.

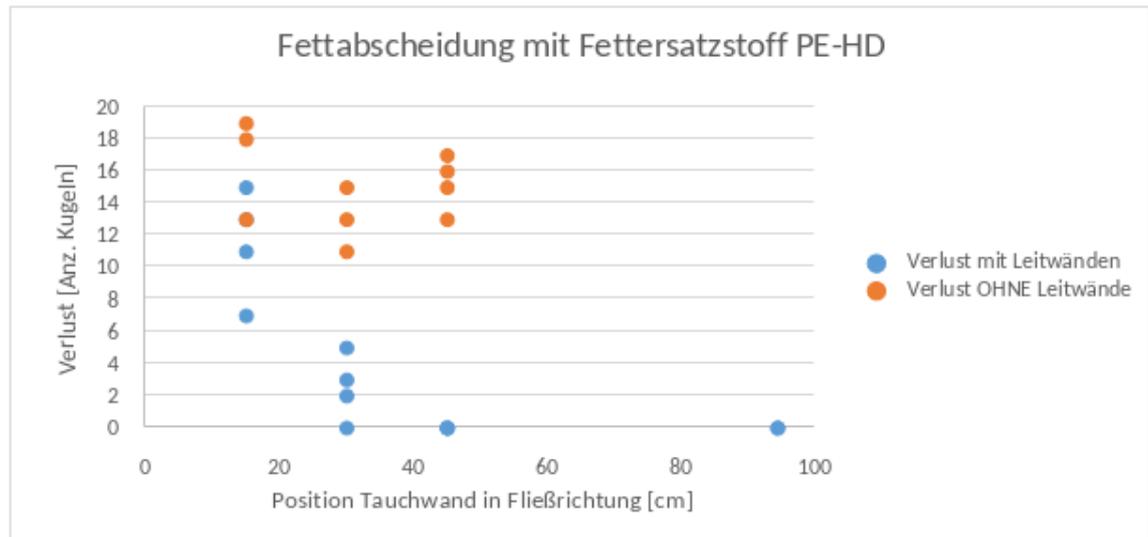


Abbildung 3-15: Laborversuche zur Fettabscheidung mit einem Fettersatzstoff

3.8 Schwermetallanalyse des abgeschiedenen Sandes

Zur analytische Bestimmung der Schwermetallkonzentrationen einzelner Proben wurden diese entsprechend den Vorgaben der DIN 38414-S7 bzw. DIN EN 13346:2001-04 mit Königswasser aufgeschlossen. Für den Aufschluss wurde eine Probenmasse von 6 g eingesetzt, für eine Doppelbestimmung entsprechend 12 g. Im Anschluss erfolgte die Ermittlung des Schwermetallgehalts durch optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES).

Zur Untersuchung wurden Proben mit ausreichender Sandmenge aus vier Zulauf-, vier Ablauf-LWSF Beprobung (Sand vor Wäsche) sowie Sandproben aus dem Sandcontainer (d.h. gewaschener Sand) ausgewählt und per Siebmaschine in Korngrößenbereiche die Korngrößenbereiche < 63µm (hoher Ascheanteil), 63-100 µm, 100-125 µm, 125-200 µm, 200-224 µm, 224-250 µm, 250-300 µm, 300-400 µm, 400-1000 µm, 1000-2000 µm, > 2000 µm fraktioniert. Insbesondere bei den Ablaufproben war aufgrund der geringen Sandmassen der einzelnen Fraktionen nicht in allen Fällen eine Doppelbestimmung möglich. Gleichzeitig zeigten vorangegangene nicht-fraktionierte Proben bei Doppelbestimmungen hohe Spannweiten der Messwerte. Als Grund konnten die Inhomogenität der Proben bzw. Partikelgröße identifiziert werden. Als eine weitere Quelle von Inhomogenitäten stellten sich die im Glührückstand enthaltenen Aschepartikel der nicht-gewaschenen Sandproben heraus. Die Aschepartikel haften ohne Fraktionierung an den Sandpartikeln und weisen hohe Schwermetallgehalte auf. Dies führt dazu, dass der vom ICP-OES detektierte Messwert den realen Schwermetallgehalt des Sandes überschätzt.

Ergebnisse der ICP-OES Messungen der Elemente Aluminium, Calcium und Eisen sind in Abbildung 3-16 dargestellt. Darüber hinaus wurde der Gehalt von Cadmium, Chrom, Kupfer, Magnesium, Nickel, Phosphor, Blei, Schwefel und Zink bestimmt. Neben den Siebfractionen der Zulaufproben ist der Schwermetallgehalt der abgetrennten Asche ebenfalls abgebildet. Die eingezeichneten Fehlerbalken geben die Spannweite der Messwerte an, sofern die Messwerte der Doppelbestimmungen eine Spannweite > 20% aufweisen. Spannweiten < 20% werden nicht angegeben. Auffallend ist, dass der Ascheanteil, im Vergleich zu den übrigen Kornfraktionen, die höchsten Schwermetallkonzentrationen aufweist, mit Ausnahme von Chrom und Nickel. Generell ist unterhalb eines Korndurchmessers von 1 mm für alle untersuchten Stoffe eine Zunahme des Schwermetallgehalts mit kleiner werdender Korngröße zu beobachten. Dies kann mit der -größeren spezifischen Oberfläche der kleineren Korngrößen begründet werden, welche das Adsorbieren höherer Schwermetallmengen ermöglicht. Ab einem Korndurchmesser von 1 mm steigt der Metallgehalt stark an. Dies kann mit der zerklüfteten und zum Teil porösen Struktur des grobkörnigen Anteils erklärt werden, wodurch sich die spezifische Oberfläche vergrößert.

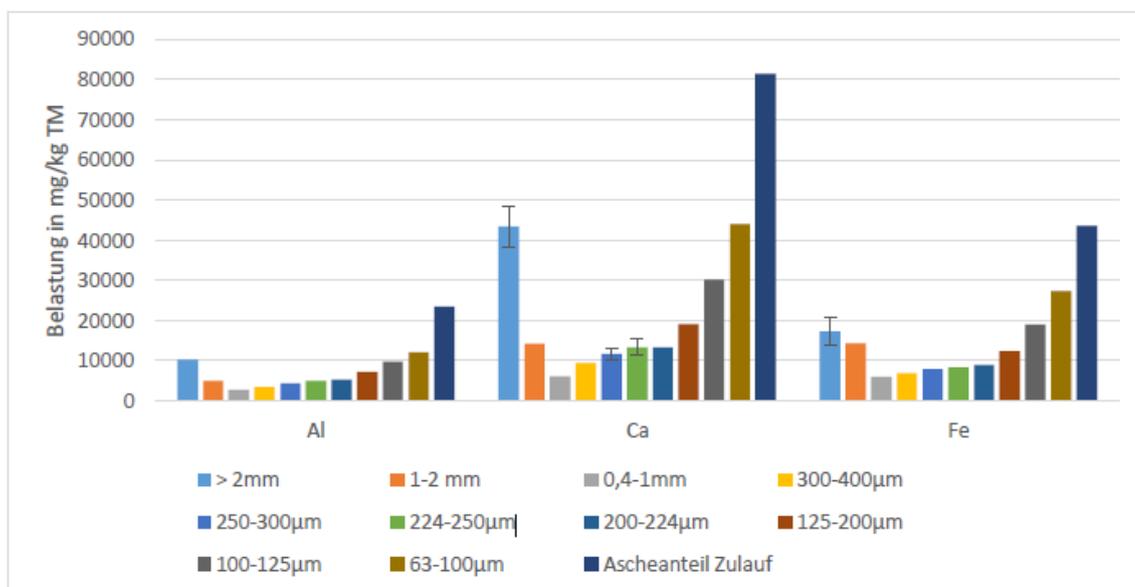


Abbildung 3-16: Auszug der Ergebnisse der ICP-OES Messungen

Der Glühverlust der untersuchten Probe des gewaschenen Sandfangguts aus dem Container beträgt < 3% und erfüllt somit den Grenzwert zur Verwertung. Für den Einbau in technischen Bauwerken sind die Zuordnungswerte der LAGA M 20 maßgeblich. Tabelle 3-2 vergleicht die durch die ICP-OES ermittelten Schwermetallgehalte des gewaschenen Sandes separiert nach Kornfraktionen mit einem Auszug der in der LAGA M20 aufgeführten Stoffe. Cadmium fehlt in dieser Darstellung, da die theoretische Nachweisgrenze aufgrund der Signalstärke des Detektors von 5mg/kg TS unterschritten wurde. Bezüglich der anderen Stoffe wird deutlich, dass sämtliche Kornfraktionen und

deren Schwermetallgehalte unterhalb den in der LAGA M 20 definierten Zuordnungswerten Z 1 und Z 2 für den eingeschränkten Einbau in technischen Bauwerken liegen. Die farblich hervorgehobenen Werte zeigen eine Überschreitung des Zuordnungswerts Z 0 für den uneingeschränkten Einbau an, welcher insbesondere bei Zink auftritt. Folglich ist lediglich ein eingeschränkter Einbau des gewaschenen Sandes in technischen Bauwerken möglich.

Tabelle 3-2: Schwermetallgehalt nach Sandwäsche, Vergleich mit Zuordnungswerten der LAGA M 20

Gewaschener Sand Korngrößenbereich	Schwermetallgehalt in mg/kg TM				
	Blei	Chrom	Kupfer	Nickel	Zink
> 2mm	8,58	36,8	35,9	23,9	106
1-2 mm	20,7-5,9	13,4-18,4	13,5-16,6	11,7-15,3	105-71,4
0,4-1mm	4,7-4,1	5,04	8,18	4,79	139-62,6
300-400µm	5,8-10,6	6,7-4,2	12,1-25,7	4,9-4,0	86,4
250-300µm	6,2-9,8	5,3-12,1	13,8-25,4	4,7-7,7	82,6
224-250µm	8,83	6,1-7,9	18,0	5,63	94,1
200-224µm	13,9-9,0	8,2-10,1	20,4	7,8-6,4	104
125-200µm	16,4	19,6	32,1-38,8	13,0	141
100-125µm	34,3	45,2	87,7	32,3	275
63-100µm	35,0	51,4	84,7	33,7	227
Zuordnungswerte Boden					
Z 0 Sand	40	30	20	15	60
Z 1	210	180	120	150	450
Z 2	700	600	400	500	1500

Um die Effektivität der Sandwäsche hinsichtlich der Reduktion des Schwermetallgehalts der Sandpartikel zu betrachten, erfolgte ein Vergleich der im Zulauf ermittelten Schwermetallbelastung mit der Schwermetallbelastung nach der Sandwäsche. Wie am Beispiel Kupfer in Abbildung 3-17 dargestellt, reduziert die Sandwäsche den Kupfergehalt, sodass das gewaschene Sandfanggut den für Kupfer gültigen Zuordnungswert Z 1 von 120 mg/kg TM sicher einhält.

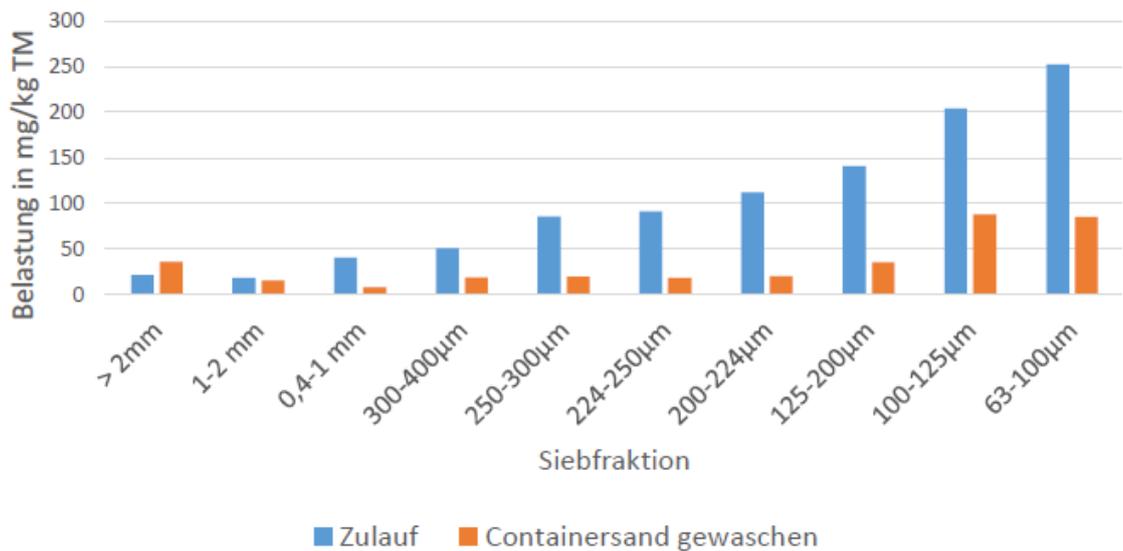


Abbildung 3-17: Kupfergehalt der Zulaufproben und nach Sandwäsche

Bei Zink beweist sich die Sandwäsche als besonders wirksam. So würden die aus dem Zulauf entnommenen Sandproben unterhalb eines Korndurchmessers von 300 µm den für Zink gültigen Z 1 von 450 mg/kg TM überschreiten. Durch die Sandwäsche wurde der Zinkgehalt auf einen Wert von maximal 275 mg/kg TM reduziert (Abbildung 3-18).

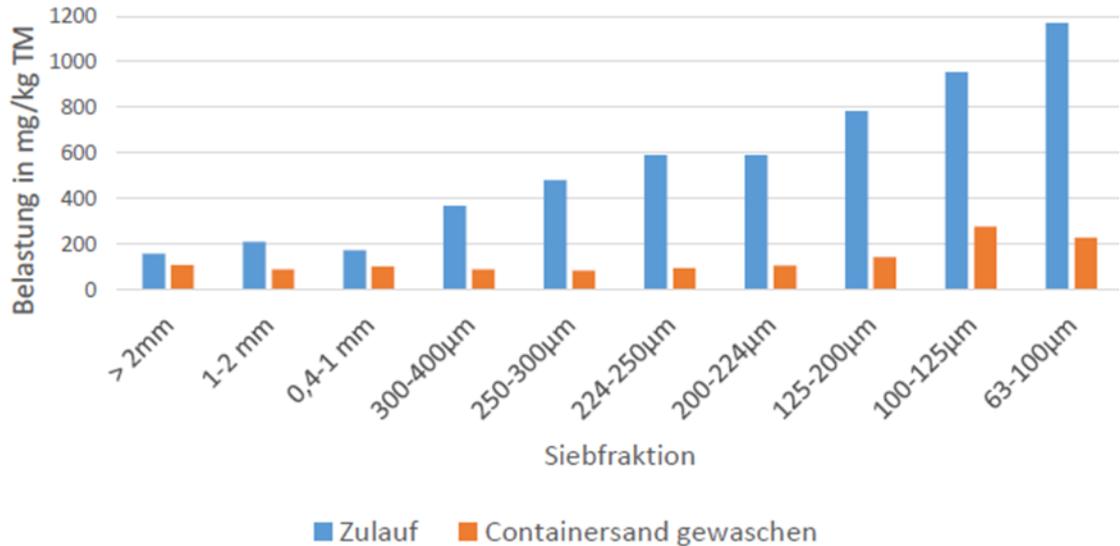


Abbildung 3-18: Zinkgehalt der Zulaufproben und nach Sandwäsche

Die leistungsfähige Sandwäsche bringt potentielle Auswirkungen mit sich, die in den kommenden Jahren in Form von betrieblichen Erfahrungen gemacht und bewertet werden müssen. Bezüglich der Wirksamkeit zur Auswaschung von Schwermetallen verbleiben diese entsprechend im Abwasserstrom und werden den nachfolgenden Stufen mit künftig erhöhter Fracht zugeführt. Dies wird sich nahezu vollständig in der

Analytik des Klärschlammes widerspiegeln. Durch betrieblich Quartalsweise angesetzte Untersuchungen wird ein entsprechendes Monitoring erfolgen.

Ebenfalls bedingt durch die sehr gute Sandwäsche wurde ein Anstieg der Schmutzfrachtparameter CSB, BSB₅, Ammonium und P_{ges} in den Zulaufproben der Kläranlage Heusenstamm von etwa 15% festgestellt. Dies stellt für die KA Heusenstamm keine erhebliche zusätzliche Herausforderung dar. Die Auswirkung an sich sollte aber grundsätzlich bei Planungsvorbereitungen berücksichtigt werden.

3.9 Einfluss des Verfahrens auf die nachfolgenden Verfahrensstufen

Der Umbau des gesamten Zuflussbereiches der KA Heusenstamm insgesamt sowie der Einsatz des neuen LWSF haben Auswirkungen auf die nachfolgenden Verfahrensstufen, die in Teilen bereits in den vorangegangenen Kapiteln thematisiert wurden.

Durch die Veränderung des Zulaufs kommt es zu einem stärkeren Rückstau in den Kanal, sodass aufgrund der geringen Fließgeschwindigkeit eine erhöhte Sandmenge im Kanal sedimentiert. Diese Problematik ist kein Bestandteil des Forschungsprojektes, muss jedoch bei der Interpretation der Daten berücksichtigt werden. Die Daten der jährlich anfallenden Sandmengen belegen eine Zunahme des „Kanalsandes“ bei gleichzeitiger Abnahme des abgeschiedenen Sandes aus dem Sandfang (Abbildung 3-19).

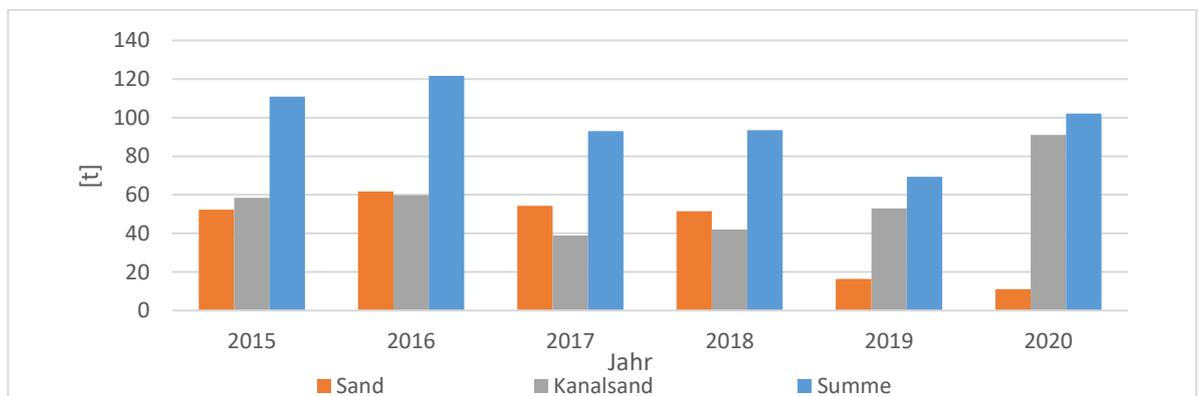


Abbildung 3-19: Gegenüberstellung des Sandanfalls

Dabei muss jedoch bedacht werden, dass die Sandmasse aus dem LWSF durch die sehr gute Reinigungsleistung des Sandwäschers einen im Vergleich sehr viel geringeren Organik- und Wassergehalt aufweist, wodurch sich die Masse zusätzlich reduziert. Insgesamt erscheint die Bilanz relativ ausgeglichen (geringere Werte 2019 aufgrund Umbau KA/Baustellenbetrieb). Ein Verlust von Sand durch Eintrag in nachfolgende Verfahrensstufen ist nicht zu erkennen. Dies konnte im Rahmen von Tauchinspektionen der biologischen Stufen, des Faulbehälters und des Nacheindickers belegt werden. Hierbei konnten keine Sandablagerungen identifizieren werden. Kontinuierlich erhobene Messdaten des Glühverlusts im Klärschlamm (FS und TS) zeigten während des

Projektes ebenfalls keine Auffälligkeiten. Auch in Zukunft sind vom Betreiber turnusmäßige Tauchinspektionen und Messungen des Glühverlusts geplant, die Hinweise auf eine nicht funktionierende Sandabscheidung geben. Zusätzlich kann das in Kapitel 3.4.1 beschriebene Probenahmesystem auch nach Projektabschluss den Abscheidegrad des LWSF mit vertretbarem Aufwand prüfen bzw. nachweisen. Zur Sicherstellung eines langfristig hohen Abscheidegrades des neuen LWSF vereinbaren die Projektpartner deshalb, dass bei begründetem Verdacht auf Störungen bzw. verminderte Sandabscheideleistung aufgrund des LWSF in den kommenden zwei Folgejahren erneut Proben genommen und analysiert werden.

Die beschriebenen Sandablagerungen im Kanal könnten in Zukunft durch den Einbau von Schwallspül-Anlagen remobilisiert und somit der KA Heusenstamm zufließen. Dies führt zu einer Erhöhung der Sandfracht bei Trockenwetter und somit zu anderen Bedingungen im LWSF. Wird davon ausgegangen, dass die in Abbildung 3-19 dargestellte Kanalsandmenge nun kontinuierlich der Kläranlage zufließt, erhöht dies die Sandfracht um den Faktor 9-10. Die derzeitige sehr geringe Sandfracht (tw. wenige mg/l während Trockenwetter) würde dann im Bereich der Literaturwerte für Trockenwetter liegen (200 mg/l nach Hirschbeck (2010) bzw. 300 – 370 mg/l nach Theilen & Luthard-Behle (2004)). Geringere Sandfrachtkonzentrationen führen nach Hirschbeck (2010) tendenziell zu schlechteren Abscheidewerten, sodass bei einer Zunahme der Sandfracht durch Änderungen im Kanal bessere Abscheidewerte im LWSF zu erwarten sind. Dieser Effekt wurde bereits während Regenereignissen beobachtet, bei denen dem LWSF der sedimentierte Sand der beiden Regenwetterstraßen zugeführt wird, bzw. der LWSF als Sandklassierer dient (siehe Kapitel 3.4.2). Bezogen auf die Siebkorngrößen $\geq 300 \mu\text{m}$ und $\geq 200 \mu\text{m}$ beträgt der durchschnittliche Abscheidegrad bei erhöhter Sandfracht 99%. Bezogen auf die Siebkorngröße $\geq 100 \mu\text{m}$ (und Annahme eines kontinuierlichen Fehlers) beträgt der durchschnittliche Abscheidegrad 96%.

3.10 Literaturrecherche und Datenerhebung zu kommunalen Sand- und Fettfängen sowie Sandwäschern

Die Literaturrecherche über den relevanten Themenbereich Sandfang/Sandwäscher im deutsch- und englischsprachigen Raum ergab, dass wissenschaftliche Publikationen zum größten Teil die Implementierung herkömmlicher Sandfangtechnik in spezifische Anwendungsfälle betrachten. So beschäftigen sich zahlreiche Veröffentlichungen mit dem Zusammenhang zwischen belüfteten Sandfängen und der Biologischen Stufe oder den Auswirkungen von Filtergeschwindigkeiten in Sandfängen mit simultaner Denitrifikation. Innovative Ansätze zur Sandabscheidung werden dagegen nur selten beschrieben und orientieren sich in den meisten Fällen stark an den Grundbauformen. Die Tabelle 3-3 enthält einen Auszug dieser Literaturrecherche als Liste mit Autor, Erscheinungsjahr, Titel und Schlüsselbegriffen des Inhalts.

Tabelle 3-3: Auszug Literaturrecherche zum Themenbereich Sandabscheidung

Autor	Jahr	Titel	Deskriptoren
Andritschke, Nico	2010	Lamellenfilter zur Regenwasserreinigung.	Schadstoff; Partikelabscheidung; Gewässerschutz; Regenwasser; Filtersystem
Asher Brenner; Mordechai H. Diskin	1991	Model study of Jet-Circulated grit chamber	Querschnitte; Hydrologische Modelle; Jets (Fluid); Belüftung; Skalenmodelle
Baumann, T.	1998	Aufbereitung von kommunalen Sandfangrückständen.	Sedimentation; Fließbild; Siebmaschine; Hydrozyklon; Exzentrerschneckenpumpe
Dougherty, S. J.	1984	A review of recent developments in debris removal and chemical recovery from pulp.	Betriebskosten; Holz; Siebvorrichtung; Waschen; Zellstoffherstellung
Kolb, Frank; Hunze, Michaela; Freimann, Robert	2006	Kompaktanlagen zur Vorreinigung. Flächenbedarf minimiert.	Kompaktbauweise; Mehrphasenströmung; Strömungswiderstand; Geschwindigkeitsprofil; Fettabscheider
Lindemann, J.	1996	Entwicklung eines Verfahrens zur biologischen Reinigung kontaminierter Sandfangrückstände.	Ölabscheider; Mikrobiologie; Kohlenwasserstoffe; Korngrößenverteilung; Tensid
Schlegel, Franco; Lifa, Imad	2019	Coanda-Rechen - eine innovative Wasserrfassung	Wasserkraftwerk; Rechenanlage; Coanda-Effekt; Selbstreinigung; Feldversuch
Schlutter, Stefan	2008	Hundertschaften sorgen für Ordnung. Dosierkugelhähne optimieren Sandfangleistung.	mechanisches Trennen; Dosiereinrichtung; Kugelhahn; Druckluft; Zuführung
Sunil K. Agrawal University of Windsor	1986	Optimum velocity requirements in grit chambers and aeration tanks based on critical shear stress.	Kritische Solschubspannung; Partikel in Suspension; Aufbereitungsanlagen; Strömungsgeschwindigkeiten

Autor	Jahr	Titel	Deskriptoren
Theilen, U.; Luthardt-Behle, T.	2004	Studies in a recently developed aerated cylindrical grit chamber with a circular cross-section.	Absetzbehälter; Walzensandfang; Geschwindigkeitsverteilung; Korngrößenverteilung; Abscheidevermögen
Sonnenburg, Alexander; Theilen, Ulf	2009	Sandabscheidung in einer kompakten Walzensandfanganlage - Herleitung der physikalischen Wirkmechanismen mithilfe von CFD.	Walzensandfang; Strömungssimulation; Modellierung; Zentrifugalkraft; turbulente Strömung;
Sonnenburg, Alexander; Urban, Wilhelm	2016	Der Leitwandsandfang – Entwicklung eines neuen, unbelüfteten Sandfangs zur Erreichung hoher Abscheidegrade von Feinsanden.	Leitwandsandfang; Abscheidegrad; Feinsand; fluide Strömung; Reaktionskammer; Prallfläche; Inhaltsstoff; Partikelgeschwindigkeit;

Zusätzlich wurde im Rahmen des Projektes eine Datenerhebung zu kommunalen Sand- und Fettfängen sowie Sandwäschern in Deutschland in Form eines Fragebogens durchgeführt. Der Fragebogen wurde durch die Projektpartner an Verbände, Kunden und Betreiber von Kläranlagen verteilt und ist dem Anhang zu entnehmen. Zusätzlich wurde der Fragebogen online auf der Homepage des Instituts IWAR zur Verfügung gestellt. Aufgrund des insgesamt mäßigen Rücklaufs lässt sich jedoch keine belastbare Aussage zu einzelnen Fragen aufstellen. Auffällig ist, dass keinerlei Vorgaben für die Reinigungsstufe Sandfang hinsichtlich Abscheidegrad von Sand, Organik oder Fetten existieren. Folglich konnte von keiner/m Teilnehmer/in eine Angabe über den tatsächlichen (Sand-) Abscheidegrad der Anlage gemacht werden. Die Sandfänge sind in der Mehrzahl nach dem DWA-Regelwerk bemessen, Angaben zur Trennkorngröße variieren jedoch (200 µm, 400 µm, etc.) oder sind nicht vorhanden/unbekannt. Bzgl. der Bauform besitzen alle Teilnehmer der Datenerhebung Sandfänge in Betonausführung, welche meist mehrstraßig ausgelegt sind. Eine Tendenz zu belüfteten oder unbelüfteten Sandfängen lässt sich aufgrund der geringen Datengrundlage nicht erkennen. Der Rücklauf zeigt insgesamt, dass im Bereich der Sandabscheidung, insbesondere im Hinblick auf einen Nachweis von Abscheidegraden, weiterhin Forschungsbedarf besteht.

Eigene, vorangegangene Untersuchungen zeigten, dass im kommunalen Bereich sehr unterschiedliche Bauformen von Sandfängen anzutreffen sind. Hierbei sind bei den Sand- und Fettfängen vor allem fertige Kompaktanlagen von verschiedenen Herstellern und in der Regel in Beton erstellte Baukörper zu unterscheiden. Sand- und Fettfänge

aus Betonbaukörpern werden in der Regel von Ingenieurbüros geplant, deren Berechnungen und Bauausführungen auf den Empfehlungen der DWA basieren. Hierbei ergeben sich durch die Spannweite der Empfehlungen und der vor Ort vorhandenen Erfordernisse z.T. sehr große Unterschiede in der Bauweise des Sand- und Fettfangs, des eventuell vorhandenen Sandwäschers sowie der Zu- und Ablaufkanäle am Baukörper.

4 Ökologische, technologische und ökonomische Bewertung der Vorhabensergebnisse

Aus den durchweg positiven Ergebnissen der Untersuchungen kann sich für bestehende belüftete Sandfanganlagen auf kommunalen Klärwerken eine gute Perspektive zur maßgeblichen Verbesserung der Sandabscheideleistungen ableiten lassen. Dies geht zudem mit einer Reduzierung des Energieeinsatzes für die Sandabscheidung, durch Entfall der ansonsten notwendigen Belüftungsleistung konventioneller Sandfanganlagen, einher.

Der bereits an verschiedenen Stellen erwähnte Energieeinsatzes beträgt im Bereich der mechanischen Reinigung ca. 5 - 6 % des Gesamtenergiebedarfs einer konventionellen Abwasserreinigungsanlage, welcher durch den Einbau der Leitwandtechnik deutlich reduziert werden kann. Davon ausgehend, dass die Sandfangbelüftung hierbei komplett eingespart wird, könnte dieser Anteil rund um die Hälfte reduziert werden (Gasse et. al. (2017)). Aus Hansen et. al. (2010) geht hervor, dass der Energieverbrauch der bundesdeutschen Kläranlagen auf rund 4 TWhel pro Jahr geschätzt wird. So gering hierbei auch eine Einsparung von 2,5 - 3 % durch den Entfall der ansonsten notwendigen Sandfangbelüftung erscheint, so groß ist dann doch das tatsächliche Einsparpotential absolut zu bewerten.

Die tatsächliche konstruktive Umsetzung und mögliche Implementierung der Technik in die Kläranlage ist hierbei immer individuell zu bewerten. Die bestehende Infrastruktur wie z.B. Sandfangbecken aus Beton oder auch deren Zu- und Ablaufbereiche sind bei der möglichen Umstellung der Technik als werthaltige Bestandteile der Kläranlage immer vorhanden und nach Möglichkeit zu erhalten. Ein kosten- und auch energieintensiver Umbau/ Neubau dieser Bestandsbauwerke ist zu vermeiden. Hierbei ist die CFD Simulation als erkanntes wichtiges Instrument der Auslegung in die vorhandene Verfahrensstufe zu berücksichtigen. Gepaart mit den betrieblich erfahrenen Verbesserungen kann es hiermit gelingen eine effizienter platzierte technische Umsetzung im Bestand zu erreichen. Sofern sich durch höhere zukünftige Kläranlagenanschlusswerte auch die hydraulisch zu verarbeitende Menge an Abwasser erhöht, besteht unter Berücksichtigung der gewonnenen Ergebnisse die Möglichkeit die alten Baustrukturen weiterhin einsetzen zu können. Durch eine höhere Effizienz der Sandabscheidung könnte durch die nachträgliche Leitwandinstallation eine adäquate

Abscheideleistung im alten Sandfangvolumen, bei größeren Durchflussmengen umgesetzt werden. Um eine Einschätzung der zu erreichenden Abscheidewerte zu erhalten können die erarbeiteten CFD Ergebnisse und Messergebnisse gute Dienste leisten.

Im Bereich der Fettabscheidung konnte wie berichtet eine ebenfalls gute Elimination festgestellt werden. Diese zu qualifizieren ist allerdings nur eingeschränkt gelungen, da das auftretende Spektrum an Leichtstoffen derzeit keine besonders gute Datenlage und auch die Analyse hohe Hürden aufweist. Im speziellen Einsatzfall in Heusenstamm hat sich aber die Fettbelastung in nachfolgenden Vorklärbecken deutlich reduziert, was zumindest für eine effizientere Abscheidung gegenüber der Sandfang- Altinstallation spricht. Ein hoher Fettanteil im Abwasser wird oftmals mit dem begünstigten Wachstum von Fadenbakterien in Verbindung gebracht, welche das Abbauvermögen in der biologischen Behandlungsstufe einschränken und ggf. auch zu einem höheren Energieverbrauch durch höhere Luftmengen führen können. Das abgeschiedene Fett-/ Schwimmstoffgemisch wird in Kläranlagen mit einer anaeroben Schlammbehandlung dieser zugegeben und führt hierbei zu einer höheren Gasausbeute und somit Verstromungsrate führen. In Anlagen ohne Faulturm ist die Entsorgung des Gemisches oftmals ein betriebliches Problem, welches nur durch die Verbrennung zu lösen ist.

5 Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse

Eine Verbreitung der Vorhabensergebnisse erfolgt in Form von studentischen Abschlussarbeiten im Fachgebiet Wasserversorgung und Grundwasserschutz am IWAR der TU Darmstadt, Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und die Ergebnispräsentation im Rahmen von Vortragsveranstaltungen. Aufgrund der Corona-Pandemie konnten die Projektergebnisse bislang jedoch nicht wie geplant einem erweiterten Fachpublikum auf der IFAT 2020 präsentiert werden. Die Projektpartner hoffen dies auf der IFAT 2022 nachholen zu können.

Folgende Seminar- und Masterarbeiten (M.Sc.) sind im Rahmen des Forschungsprojektes am Lehrstuhl IWAR der TU Darmstadt entstanden:

- Marcel Robert (M.Sc.): „Experimentelle Untersuchung des modularen Leitwandsandfangs zur Abscheidung von Fein- und Mittelsandpartikeln auf der Kläranlage Heusenstamm“
- Randy Schäfer (Masterseminar Wasserversorgung: Optimierung, Modellierung und Fallstudien): „Leitwandsandfang - Abscheidegrad von Sand-, Organik-, und Fettpartikeln in einem unbelüfteten Sandfang“

Folgende Veröffentlichungen in Fachzeitschriften bzw. Ergebnispräsentationen im Rahmen von Vortragsveranstaltungen sind entstanden:

- Sonnenburg, A., Mosbach, J., Grimmel, O., Urban, W. (2020): Leistungssteigerung von Sandfängen. Kapazitätserweiterung auf Kläranlagen, Wiener Mitteilungen, TU Wien.
- Sonnenburg, A., Mosbach, J., Eichhorn, C., Urban, W. (2020b): Entwicklung und Praxisanwendung eines Verfahrens zur Bilanzierung der Sandfracht im Sandfang kommunaler Kläranlagen. Noch unveröffentlicht, angenommen in KA Korrespondenz Abwasser, Abfall
- Mosbach, J, Sonnenburg, A (2020): Sandfangoptimierung: Ermittlung des Abscheidegrades sowie Beprobung von Sandfängen zur Ableitung von Handlungsempfehlungen während des Betriebs, call for abstracts, Aachener Tagung Wassertechnologie

6 Fazit

Ziel des Projektes war die Entwicklung eines modular aufgebauten Leitwandsandfangs, der einen sehr hohen Abscheidegrad an Fein- und Mittelsanden (Quarzsand) erzielt und gleichzeitig Fette im Abwasser reduziert sowie die Organik weitertransportiert. Im Projektbericht wurde beschrieben, dass dieses Ziel erreicht wurde. Wird das Gesamtsystem Leitwandsandfang mit Sandwäscher betrachtet, was bisher häufig nicht gemacht wird, ergibt sich für die Trennkorngröße $\geq 100 \mu\text{m}$ ein mittlerer Gesamt-Abscheidegrad von 83 %. Da es sich um einen unbelüfteten Sandfang handelt, ist die Sandabscheidung aus energetischer Sicht zudem sehr effizient.

Hierbei stellt sich jedoch die Frage, wie ein hoher Sandabscheidegrad nachgewiesen werden kann, bzw. im Projekt nachgewiesen wurde, obwohl es kein allgemein anerkanntes Prüfverfahren gibt? Nach Ansicht der Autoren wird dem Thema Probenahme generell ein viel zu geringes Gewicht gegenüber der späteren Probenauswertung eingeräumt. Ein wichtiger Teil der Projektarbeit beschäftigte sich daher mit der Art der Probenahme. Innerhalb des Projekts wurden drei z.T. ganz neue Nachweisverfahren verwendet:

- Nachweis über einen Prüfsand im Kreislaufbetrieb mit Brauchwasser (Bilanzierung über Schrägklärer)
- Nachweis bei Realtrieb mit Abwasser und Sand im Abwasser (Bilanzierung über Sandprobenahmesystem)
- Nachweis über CFD-Simulationen des Sandfangs

Die Herangehensweise und die Ergebnisse im Projekt haben gezeigt, dass der Nachweis über die Güte des Messverfahrens ebenso wichtig ist wie der Nachweis der Verfahrenstechnik (Leitwandsandfang) selbst. Daher ist ein wichtiges Fazit, dass für den Nachweis des Abscheidegrads von Sand in Sandfängen ein reproduzierbares Bilanzierungsverfahren zur Verfügung stehen muss. Im Projekt wurde ein am IWW und IWAR entwickeltes Sandbilanzierungsverfahren verwendet, das in weiteren Projekten an verschiedenen Sandfangtypen validiert werden soll, damit die Nachweisgenauigkeit weiter geschärft werden kann.

Aus diesem Grund findet sich in den Ergebnissen nur ein qualitativer Ansatz für die Fettabscheidung. Innerhalb des Projekts hat sich gezeigt, dass ein quantitativer Ansatz mit den zur Verfügung stehenden Mitteln zurzeit nicht erbracht werden kann. Hierbei fehlt vor allem ein adäquates Gerät zur Fettprobenahme und zudem Wissen über die Fettverteilung und -struktur im Abwasser. Es stellt sich also die Frage wo und wie gemessen werden muss. In einem Folgeprojekt in diesem Bereich sollte besonderes Augenmerk auf die Fettproblematik und die Entwicklung eines Probenahmegeräts für die Fettbeprobung gelegt werden.

Ein weiteres Phänomen das sich hier, zwischenzeitlich aber auch in anderen Projekten, gezeigt hat, ist die Phasentrennung „Sand“ (Feststoffe) und Abwasser (Flüssigkeit). Dieses Phänomen wird explizit bei der Sandprobenahme genutzt, um die Probenahme zu verbessern. Es führt aber in der Sandfangstufe zu bisher nicht berücksichtigten Randbedingungen. Allgemein werden mehrstraßige Abwassereinigungsanlagen in allen Straßen identisch ausgelegt, da davon ausgegangen wird, dass das Abwasser in seiner Konsistenz zwar zeitlich variabel vorliegen kann (z.B. Tagesgang oder Jahresgang), nicht aber räumlich. Im Projekt wurde bei der Probenahme, im Sandfang selbst sowie bei anschließenden CFD-Simulationen das Phänomen festgestellt, dass sich die Feststoffphase „Sand“ vom Abwasser trennt (z.B. Abbildung 3-9), so dass die beiden Trockenwetterrinnen sehr unterschiedlich mit Sand beaufschlagt werden. Dieses Phänomen ist in Folgeprojekten zu berücksichtigen, sowohl für das Verfahren selbst als auch für die Probenahme.

Schließlich können folgende beiden Ergebnisse als Fazit den Abschluss bilden. Zum einen zeigen a) die sehr positiven Ergebnisse, dass der unbelüftete Sandfang in Zukunft bei Neuplanungen und bei Leistungssteigerungen bestehender Sandfanganlagen als technische und ökonomische Alternative immer berücksichtigt werden sollte. Zudem sollten b) neue Berechnungstechniken, wie die CFD-Modellierung und gegebenenfalls die Hybride Modellierung (Kombination aus empirischer Messung und numerischer Simulation mittels CFD-Programmen) bei der Bemessung von Sandfanganlagen und anderer verfahrenstechnischer Stufen der Siedlungswasserwirtschaft wesentlich stärker genutzt werden.

Literaturverzeichnis

ATV AG 2.5.1 (1998): Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 2.5.1 "Sandfänge" im ATV-Fachausschuss 2.5 Absetzverfahren", in: Korrespondenz Abwasser/Abfall Heft 3, 1998

Botsch, B. (2013) Der Sandwäscher als limitierende Größe von Sandfanganlagen – Die vernachlässigte Wechselwirkung von Sandfang und Sandwäscher. KA - Abwasser, Abfall 2013 (60), S. 299-309.

DWA AG KA-5 (2008): Arbeitsbericht DWA-Arbeitsgruppe KA-5 „Absetzverfahren“ (2008) Sandfänge – Anforderungen, Systeme, Bemessung. Korrespondenz Abwasser Heft 5, 2008.

Gasse, J.; Reinhardt, T.; Meyer, C.; Kolisch, G.; Taudien, Y.; Steinmetz, H.; Morck, T.; Baumann, P.; Poppe, B.; Meier, W. (2017): Energieverbrauch von Teilprozessen auf kommunalen Kläranlagen, In: Korrespondenz Abwasser, Abfall, 64 (9)

Hjulström, F. (1935): Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by River Fyriers. Bulletin of the Geological Institute, University of Uppsala 25, pp. 221-527; In Louis, H. u. Fischer, K.: Allgemeine Geomorphologie. De Gruyter, 1979.

Kalbskopf (1966) Über den Absetzvorgang in Sandfängen. Veröffentlichungen des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Hochschule Hannover.

Hansen, J.; Kolisch, G.; Hobus, I.; Osthoff, T. (2010): Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen – eine Ergebnisbetrachtung zu durchgeführten

Hirschbeck, Christina. (2010) Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit von belüfteten Sandfängen auf Kläranlagen. Mitteilungen / Universität der Bundeswehr, München, Institut für Wasserwesen 104. Aachen: Shaker.

Sander, T. (2003): Ökonomie der Abwasserbeseitigung, S. 140ff. Nienburg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.

Sonnenburg, Alexander; Urban, Wilhelm (2016): Der Leitwandsandfang – Entwicklung eines neuen, unbelüfteten Sandfangs zur Erreichung hoher Abscheidegrade von Feinsanden. In: Korrespondenz Abwasser: KA; Informationsblatt für das Abwasserwesen; Wasser, Abwasser, Abfall, (5), S. 63. ISSN 0341-1540,

Theilen, U., Luthardt-Behle, Th., (2004): Untersuchungen an einem neu entwickelten belüfteten Walzensandfang mit Rundprofil, in: Korrespondenz Abwasser, Heft 5, 51.Jhrg., Seite 511-516, Hennef

Theilen, U. (2011) Arbeitshilfe zur Verbesserung der Energieeffizienz von Abwasserbehandlungsanlagen – Anforderungen an die Planung und Durchführung. Hrsg.: Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

Unterweger, A. (2006): Funktion und Reinigungsleistung der kommunalen Kläranlagen Stand 2006, Der Wirkungsgrad von Fettfängen. Verleger: Land Salzburg, vertreten durch Abteilung 13 Naturschutz, Referat 13/04 Gewässerschutz

Normen

DIN 19569-13:2020-01: Kläranlagen – Baugrundsätze für Bauwerke und technische Ausrüstungen – Teil 13: Einrichtungen zum Abtrennen und Behandeln von mineralischen Feststoffen wie Sand

DIN 38414-7:1983-01 - Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Schlamm und Sedimente (Gruppe S) - Aufschluss mit Königswasser zur nachfolgenden Bestimmung des säurelöslichen Anteils von Metallen (S 7) (mittlerweile zurückgezogen)

DIN 66165-1:2016-08 - Partikelgrößenanalyse - Siebanalyse - Teil 1: Grundlagen

DIN 66165-2:2016-08 - Partikelgrößenanalyse - Siebanalyse - Teil 2: Durchführung

DIN EN 12880:2001-02 - Charakterisierung von Schlämmen - Bestimmung des Trockenrückstandes und des Wassergehalts; Deutsche Fassung EN 12880:2000

DIN EN 13346:2001-04 - Charakterisierung von Schlämmen - Bestimmung von Spurenelementen und Phosphor - Extraktionsverfahren mit Königswasser; Deutsche Fassung EN 13346:2000

DIN EN 15935:2012-11 - Schlamm, behandelter Bioabfall, Boden und Abfall - Bestimmung des Glühverlusts; Deutsche Fassung EN 15935:2012

DIN ISO 3310-2:2015-07 - Analysensiebe - Technische Anforderungen und Prüfung - Teil 2: Analysensiebe mit Lochblechen (ISO 3310-2:2013)

DIN ISO 3310-1:2017-11 - Analysensiebe - Technische Anforderungen und Prüfung - Teil 1: Analysensiebe mit Metalldrahtgewebe (ISO 3310-1:2016)

Anhang:

Fragebogen zur Datenerhebung auf kommunalen Kläranlagen

Allgemeine Fragen zum Einzugsgebiet

Wie viele Einwohner sind an das Entsorgungsgebiet angeschlossen?			
Wie groß ist das Einzugsgebiet A_E insgesamt? [ha]			
Wie groß ist die Fläche des kanalisierten bzw. durch ein Entwässerungssystem erfassten Einzugsgebietes $A_{E,k}$? [ha]			
Wie groß ist die befestigte Fläche $A_{E,b}$? [ha] (Summe aller befestigten Flächen des Einzugsgebietes – beinhaltet sämtliche befestigten Flächen, unabhängig davon, ob diese an das Entwässerungssystem angeschlossen sind und ein Abfluss zur Kanalisation erfolgt)			
Welche Größenklasse und Ausbaugröße hat die Kläranlage?			
Wie hoch ist der Fremdwasseranteil?			
Wie ist die Topographie des Einzugsgebietes?	Flach	Hügelig	Gebirgig
Wie viele Regenbecken gibt es im Einzugsgebiet?			
Wann wird die Entleerung der Regenbecken aktiviert und in welchem Zeitraum erfolgt diese?			
Gibt es zur Zeit Baugebiete im Einzugsgebiet?			
Falls ja: wie viele (Anzahl) und falls bekannt wie groß (Hektar)?			
Weitere Bemerkungen zum Fragenteil „Einzugsgebiet“?			

Fragen zur Verfahrensstufe Sandfang

Gibt es behördliche Vorgaben zum Betrieb des Sandfangs?	Abscheidegrad Sand [%]	Abscheidegrad Organik [%]	Abscheidegrad Fett [%]	Andere
Falls andere, welche?				
Wie wurde der Sandfang bemessen?	Nach DWA-Regelwerk	CFD-Simulation	Anders	
Falls anders: Wie?				
Auf welchen Durchfluss wurde bemessen?				
Zurzeit vorhandener max. Regenwetterzufluss?				
Mittlerer, realer Trockenwetterzufluss?				
Auf welchen max. Organikanteil (% Glühverlust) wurde bemessen?				
Auf welchen Sandabscheidegrad wurde bemessen? Trennkorngröße 200 µm?				
Wie erfolgt der Abwasserzulauf zur Kläranlage?	Freier Zulauf	Schneckenpumpwerk	Anders	
Falls anders: Wie?				

Weitere Bemerkungen zum Fragenteil „Verfahrensstufe“?	
---	--

Fragen zur Rechenanlage

Typ		
Spaltweite [mm]		
Kriterium der Räumung?	Zeitlich	Wasserspiegeldifferenz
Falls zeitlich: in welcher Taktung wird geräumt [s]?		
Gibt es eine Bewirtschaftungsstrategie? z.B.: Unterschiedliches Räumungsintervall bei Trockenwetter und Regenwetter bzw. nach langen Trockenwetterphasen		
Weitere Bemerkungen zum Fragenteil „Rechen“?		

Fragen Sandfang: Typ, Bauart, Konstruktion, Betrieb

Bauart	Kompaktanlage aus Edelstahl	Betonausführung	Andere
Falls andere: welche?			
Anzahl der Becken / Straßen?	Gesamt =in Betrieb während Q_{min} = In Betrieb während Q_{max} =		
Langsandfang oder Rundsandfang?			
Belüftet oder unbelüftet?			

Wenn belüftet, wie?:	Querschnitt Luftrohrleitung [mm]?				
	Luftrohrleitung	Durchgehend	Abschnittsweise		
	Lochdurchmesser [mm]?				
	Lochabstand [mm]?				
	Luftverteilung gleichmäßig über die Sandfanglänge?	Ja	Nein		
Falls nein: wie?					
Belüftungsluftmenge [Nm ³ /h]?					
Beckenlänge, -breite, - tiefe?	L [m] =				
	B [m] =				
	T [m] =				
Falls: Rundsandfang: Beckendurchmesser und -tiefe?	D [m] =				
	T [m] =				
Beckenvolumen Sandfangteil [m ³]?					
Zulaufbedingung des Abwassers in den Sandfang?	Wasserspiegel- nah	Sohlnah	Mittig/achsial	tangential	
Typ der Sandräumung?	Räumer (Pumpensumpf: Mammutpumpe o.a.)	Saugräumer		Förderschnecke	
Räumintervall (Zeit)?					
Gibt es eine Bewirtschaftungs- strategie?					

z.B.: Unterschiedliches Räumungsintervall bei Trockenwetter und Regenwetter bzw. nach langen Trockenwetterphasen	
Weitere Bemerkungen zum Fragenteil „Sandfang“?	

Fettfang: Typ, Bauart, Konstruktion, Betrieb

Sandfang mit/ohne Fettfang?	Mit	Ohne	
Wenn ja, welcher Verfahrenstyp?			
Beckenvolumen Fettfangteil [m³]?			
Beckenbreite Fettfang [m]?			
Typ der Räumung?			
Räumintervall (Zeit)	Nach Zeitintervall?	Ja	Nein
	Falls ja: Zeitintervall [min]?		
	Nach Durchflussmenge?	Ja	Nein
	Falls ja: Durchflussmenge [m³/h]?		
Gibt es eine Bewirtschaftungsstrategie? z.B.: Unterschiedliches Räumungsintervall bei Trockenwetter und Regenwetter bzw. nach langen Trockenwetterphasen			
Weitere Bemerkungen zum Fragenteil „Fettfang“?			

Austrag und Analyse

Welche Daten sind vorhanden?	Täglich	Monatlich	Jährlich
Welche Sandgutmenge fällt pro Zeiteinheit (z.B. täglich, jährlich) an? Ungewaschen?	Trockenwetter		Regenwetter
Welche Fettmenge fällt pro Zeiteinheit (z.B. täglich, jährlich) an?	Trockenwetter		Regenwetter
Energiebedarf der Aufbereitungsstufe? (Sandfang + Fettfang + Belüftung) [kWh/a]			
Welchen Organikanteil besitzt das Sandfanggut im Mittel? Gewaschen/ungewaschen? [%]			
Wie wird der Organikanteil ermittelt (Analysemethode)?			
Auffälligkeiten (z.B. Kerne, Mais o.ä.) im Organikanteil?			
Sind weitere Daten zum Sandgut vorhanden?	Siebanalysen	Schwermetalle	Andere
Treten in nachfolgenden verfahrenstechnischen Stufen Sande auf?	Ja		Nein
Wenn ja, wo? (Vorklärung, Belebungsbecken, Nachklärbecken, Eindicker, Faulturm, Schlammwässerung, Verteilbauwerke, Einleitstelle Vorfluter)			
Sind Verschleißerscheinungen bekannt, die durch Sande entstanden sind?			
Personal auf Sandfangbetrieb geschult? Wenn ja, durch welche			

Maßnahme(n)?	
Personalaufwand Sandfang pro Tag? [h]	
Betriebskosten des Sandfangs inkl. möglicher Belüftung pro m ³ Abwasser? [€/m ³]	
Wie wird der Sand entsorgt?	
Wie wird das Fett entsorgt?	
Weitere Bemerkungen zum Fragenteil „Austrag und Analyse“?	

Energieversorgung der Kläranlage

Faulbehälter vorhanden?	Ja	Nein
Wird Biogas gewonnen?	Ja	Nein
Welche Schlämme werden für die Biogaserzeugung verwendet?		
„Bezeichnung der Schlämme“ (z.B. Vorklärschlamm, Nachklärbeckenschlamm)		
Wird das Fett des Sandfangs verwendet?		
Weitere Bemerkungen zum Fragenteil „Energieversorgung“?		

Fragen zum Sandwäscher

Gibt es behördliche Vorgaben zum Betrieb des Sandwäschers (z.B. Abscheidegrad Sand und Organik)?		
Wie wurde der Sandwäscher bemessen?	CFD-Simulationen	Anders
Auf welchen Durchfluss wurde der Sandwäscher bemessen? [m ³ /h]		
Sandwäschertyp?		
Wo wird der Abfluss aus dem Sandwäscher zugegeben? (z.B. Zulaufkanal Sandfang)		
Personalaufwand pro Tag? [h]		
Weitere Bemerkungen zum Fragenteil „Sandwäscher“?		