

# Abschlussbericht

Entwicklung und Bau des Demonstrators "SandLeitModul" zur umweltschonenden Abscheidung von Sanden und Fetten in unbelüfteten Sandfängen kommunaler Abwasserreinigungsanlagen

Stand: Juni 2023

AZ.: 37856/01-23

**Antragsteller:**

Grimmel Wassertechnik GmbH (kurz: GWT)  
Dieselstraße 3  
61239 Ober-Mörlen

**Dienstleister:**

IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH (kurz: IWW)  
Moritzstraße 26  
Mülheim an der Ruhr

## Inhalt

1	Angaben zu den Projektpartnern .....	1
2	Einleitung.....	3
2.1	Motivation .....	3
2.2	Ziele .....	5
3	Stand des Wissens / der Technik zur Bemessung von Sand- und Fettfängen.....	6
3.1	Inhaltsstoffe Sand und Fett im Abwasser.....	6
3.1.1	Sand .....	6
3.1.2	Fette .....	7
3.2	Entwicklung und Anwendung von Sand-und Fettfängen .....	7
3.3	Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Fett- und Sandabscheidung .....	9
4	Methoden und Ergebnisse .....	11
4.1	Umsetzung der neuen Technologie in einer Versuchsanlage .....	11
4.1.1	Aufbau der LW-Kompa-Versuchsanlage.....	11
4.1.2	Versuchsablauf in der LW-Kompa-Anlage.....	14
4.1.3	Untersuchungen mit numerischen Modellen .....	16
4.1.4	Verwendete CFD-Software.....	16
4.2	Ergebnisse.....	16
4.2.1	Ergebnisse Sandabscheidung .....	16
4.2.2	Ergebnisse Fettabscheidung.....	19
4.2.3	Anlagendimensionierung mit CFD-Modellen .....	21
5	Verbreitung, Fortführung und Perspektiven.....	22
5.1	Wissenschaftliche Weiterführung.....	22
5.2	Inter- und transdisziplinäre Weiterführung des Projekts durch die Projektpartner.....	22
6	Literaturverzeichnis.....	23

## Anlagen

Verwendungsnachweis

# 1 Angaben zu den Projektpartnern

Tabelle 1 Angaben zum Antragsteller

<b>Name</b>	Grimmel Wassertechnik GmbH
<b>Kurzform im Antrag</b>	GWT
<b>Rechtsform</b>	GmbH
<b>Eigentumsverhältnisse</b>	Olaf Grimmel
<b>Handelsregisterauszug</b>	HRB 1453 AG Friedberg/ Hessen
<b>Umsatz</b>	5,4 Mio. €
<b>Mitarbeiteranzahl</b>	35
<b>Geschäftsfelder/Referenzen</b>	Umwelttechnik, Maschinenbau. Eigene Produktentwicklungen im Bereich der mechanischen Abwasserreinigung für Kläranlagen, Fertigung, Montage und Service.
<b>Qualifikation des Antragstellers für die Projektdurchführung</b>	Bereits mehrere durchgeführte Forschungsprojekte mit unterschiedlichen Trägern und Kooperation mit verschiedenen Hochschulen und Kooperationspartnern. U.a. DBU-AZ 34073/01-23
<b>Name Ansprechpartner</b>	Geschäftsführender Gesellschafter Olaf Grimmel
<b>Adresse</b>	Dieselstraße 3, 61239 Ober-Mörlen
<b>Telefon (Ansprechpartner)</b>	06002/9122-15
<b>Fax</b>	06002/9122-29
<b>E-Mail</b>	<a href="mailto:o.grimmel@werkstoff-und-funktion.de">o.grimmel@werkstoff-und-funktion.de</a>

Tabelle 2 Angaben zum Dienstleister

<b>Name</b>	IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft mbH, Moritzstraße 26, Mülheim a.d. Ruhr
<b>Kurzform im Antrag</b>	IWW
<b>Rechtsform</b>	GmbH
<b>Mitarbeiteranzahl</b>	Ca. 150
<b>Geschäftsfelder/Referenzen</b>	Am IWW, Standort Rhein-Main, Geschäftsfeld CFD-Anwendungen liegen die Kernkompetenzen in der der Planung sowie dem Bau und Betrieb siedlungswasserwirtschaftlicher und verfahrenstechnischer Versuchsanlagen sowie der hybriden Modellierung. Die hybride Modellierung vereint eine Kombination aus EFD (Experimental Fluid Dynamics) und CFD (Computational Fluid Dynamics). Insbesondere bei Verfahren der mechanischen Wasseraufbereitung und Abwasserreinigung liegen umfangreiche Erfahrungen vor.

<b>Qualifikation des Dienstleisters für die Projektdurchführung</b>	<p>Erfahrungen des wissenschaftlichen Mitarbeiters Dr. Alexander Sonnenburg im Projektmanagement und im Themengebiet „Sandfang“:</p> <p>Herr Dr. Sonnenburg leitete am IWAR der TU Darmstadt zwischen 2011 und 2018 die Arbeitsgruppe „Experimental &amp; Computational Fluid Dynamics“ (kurz: EFD &amp; CFD“) und hat innerhalb dieser Zeit das Leitwandsandfangkonzept in der heutigen Form mitentwickelt sowie das Projekt „Sand-LeitModul“ bei der DBU beantragt.</p> <p>Im April 2018 ist Herr Dr. Sonnenburg zum IWW gewechselt und ist dort am Standort Rhein-Main Geschäftsfeldleiter CFD-Anwendungen und seit Anfang 2022 kommissarischer Bereichsleiter im Bereich Wassernetze des IWW. Herr Dr. Sonnenburg war im Vorgängerprojekt „Sand-LeitModul“ als Wissenschaftlicher Mitarbeiter des IWW beratend tätig. Herr Dr. Sonnenburg hat mehrere Projekte, insgesamt mehr als 15 Jahre, im Bereich „Sandfang“ und „Absetzbecken“ geleitet. Die Dienstleistung des IWW in „LW-Kompa“ wird vor allem durch Herrn Dr. Sonnenburg durchgeführt.</p> <p>Am 01. April 2023 wird Herr Dr. Sonnenburg als Professor für Siedlungswasserwirtschaft an die Frankfurt University of Applied Sciences wechseln.</p>
<b>Name Ansprechpartner</b>	Dr. Alexander Sonnenburg
<b>Adresse Standort Ansprechpartner</b>	Justus-von-Liebig-Str. 10, 64584 Biebesheim am Rhein
<b>Telefon (Ansprechpartner)</b>	0208/40303-615
<b>E-Mail</b>	<a href="mailto:a.sonnenburg@iww-online.de">a.sonnenburg@iww-online.de</a>

## 2 Einleitung

### 2.1 Motivation

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 (Kläranlage) 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 weitere organische Bestandteile. Diese Stoffe werden in diesem Antrag nachfolgend als Sand, Fett und Organik bezeichnet.

Im DBU-Projekt „Sand-LeitModul – Entwicklung eines modularen Leitwandsandfangs zur Abscheidung von Sanden und Fetten aus kommunalen Abwasserreinigungsanlagen“ AZ 34073/01-23 wurde sich verschiedenen Herausforderungen im Bereich der Sand- und Fettabscheidung in kommunalem Abwasser gestellt und diese auch erfolgreich umgesetzt (Grimmel et al., 2021). Die Verfahrenstechnik im „Sand-LeitModul“ ist schwerkraftbasiert, d.h. im Abwasserstrom sedimentiert der Sand zur Sandfangsohle, die Organik (außer dem Fett) wird weitertransportiert. Damit dies gelingt muss die Fließgeschwindigkeit im Sandfang in einem Bereich zwischen ca. 0,1 und 0,3 m/s gehalten werden. Der im damaligen Projektnamen erwähnte modulare Betrieb bedeutet, dass mehrere parallele Sandfänge unterschiedlicher Baugröße für unterschiedliche fixe Abwasserzulaufmengen notwendig sind, um die unterschiedlichen Abwasserströme, die im Jahresgang in einem Verhältnis von 1:3,5 bis 1:4 im Trocken- ( $Q_T$ ) bzw. Regenwetter ( $Q_{RW}$ ) auftreten, im zuvor genannten Fließgeschwindigkeitsbereich zu behandeln. Im Projekt „Sand-LeitModul“ hat sich gezeigt, dass die Verfahrenstechnik in einem modularen System bzgl. des Sandabscheidegrads sehr gut funktioniert. Das Verfahren soll in Zukunft für individuelle Kundenanfragen durch GWT als auf die wechselnden Abwasserströme reagierender, kombinierter Sand- und auch Fettfänge geplant und gebaut werden. Meistens wird eine derartige Einheit noch mit einer Grobstoffabscheidung im Zulaufbereich, einer sogenannten Rechenanlage versehen. Diese Verfahrenskombination, welche somit die komplette Stufe der mechanischen Reinigung einer kommunalen Kläranlage abbildet, wird als Kompaktanlage bezeichnet. GWT verfügt bereits über ein Produkt im Bereich der Kompaktanlagen mit einer sehr hohen Marktdurchdringung und wird für diesen Bereich das neue Produkt „Leitwandsandfang-Kompakt“, kurz: LW-Kompa entwickeln. Motivation sind bessere erreichbare Sand- Abscheidewerte, bei wechselnden Abwasserzulaufmengen bei deutlich geringerem Energieeinsatz. Die Produktentwicklung „LW-Kompa“ ist Inhalt dieses Berichts.

Hierbei ist es so, dass sich bei der Planung und dem Bau kommunaler Abwasserreinigungsanlagen in den letzten 30 Jahren ein Bereich etabliert hat, der innerhalb des Marktes unter dem Begriff „Kompaktanlagen“ bekannt ist. Hierbei handelt es sich um Anlagentypen aus Edelstahl, die mehrere verfahrenstechnische Stufen (z.B. Rechenanlage, Rechengutpresse, Sandfang, Fettfang, Sandklassierer), in einem kompakten Baukörper verbinden können. GWT bietet seit ca. 20 Jahren den Walzensandfang an, bei dem es sich um einen belüfteten Sandfang mit Rechenanlage und Fettabscheidung handelt. GWT besitzt somit bereits jahrelange Erfahrung in diesem Konstruktionsbereich. Der Walzensandfang ist in verschiedenen Baugrößen ( $Q_{Bem} = Q_{RW}$ ) erhältlich und auf einen Sandabscheidegrad der Trennkorngröße  $200 \mu\text{m} \geq 95 \%$  ausgelegt.

Das Projekt „Sand-LeitModul“ hat gezeigt, dass höhere Sandabscheidegrade für wesentlich feinere Partikelgrößen möglich sind, als dies in konventionellen, belüfteten Sandfanganlagen möglich ist. Bereits in der Vergangenheit zeigten Untersuchungen, dass viele konventionelle belüftete Sandfänge den geforderten Sandabscheidegrad  $\geq 95\%$  bereits bei einer Trennkorngröße  $200\ \mu\text{m}$  und größer nicht erreichen können.

Zudem werden seit einigen Jahren vermehrt dezentrale Regenwasserbehandlungsanlagen ergänzend mit sogenannten Schrägklärern ausgestattet, da Fließgewässer vom erhöhten Eintrag von Fein- und Mittelsanden als auch Fett entlastet werden sollen. Diese Abscheideverfahren halten den Sand und auch Schlamm sehr solide in den Regenbecken zurück und konzentrieren die abgeschiedenen Stoffe folglich entsprechend in den Becken auf. Die hier abgeschiedenen Feststofffraktionen werden bei der notwendigen Regenbeckenspülung/-reinigung zur nachgeordneten Kläranlage transportiert und belasten diese mit einer zusätzlichen Sandfracht sehr feiner Fraktion. Es ist daher absehbar, dass die Sedimente aus den Regenbecken in Zukunft in den Kläranlagensandfängen zu erhöhten Anforderungen führen. Ansonsten würde der Sand feinerer Zusammensetzung in die nachfolgenden verfahrenstechnischen Stufen gelangen und es dort zu sich negativ auswirkenden Betriebsergebnissen kommen.

Durch die Einbindung der Leitwandtechnik in eine Produktlinie der Grimmel-Kompaktanlagen entsteht ein ganz neues Produkt, mit sehr effizienter Sandabscheidung bei geringerem Energieeinsatz. Hierbei wird ein bisher am Markt nicht verfügbares Kompaktformat für Anlagenbetreiber erschlossen, die Kompaktanlagen für ihre Kläranlagen priorisieren. Zum anderen eröffnet das Verfahren in der Produktpalette die technischen Einsatzmöglichkeiten im Bereich der Abscheidung von Fein- und Mittelsanden, bis hin zu sehr hohen Abscheidegraden von Sandpartikeldurchmessern von  $100\ \mu\text{m}$ , auf die belüftete Sandfanganlagen nicht ausgelegt werden können.

Des Weiteren hat sich im Sand-LeitModul-Projekt gezeigt, dass das Fett dazu neigte sich an den waagrecht installierten Vergleichmäßigerrohren im Zulaufbereich des Sandfangs zu sammeln, da diese sich quasi dem oberflächennah antreibenden Fett als Barriere entgegenstellten. Der bereits vorab getrennte Fettanteil sammelte sich hier an und führte bei bestimmten Wasserspiegelverhältnissen zu betrieblichen Ärgernissen. Zudem staute sich die im Sand-LeitModul-Projekt an der Tauchwand abgeschiedene Fettfracht eben dort und über die gesamte Sandfanglänge an. Bei der Fettsammlung vor der ablaufseitigen Tauchwand ist daher darauf zu achten, dass die oberflächennahen Fließgeschwindigkeiten hoch genug sind, um das Fett über die gesamte Sandfanglänge in Richtung Tauchwand zu transportieren. Im Leitwandsandfang wurde in manchen Fällen diese Geschwindigkeit nicht erreicht, so dass eine ausgedehnte Fettschicht auf dem Sandfang bis zur Tauchwand zu beobachten war (Abbildung 1).

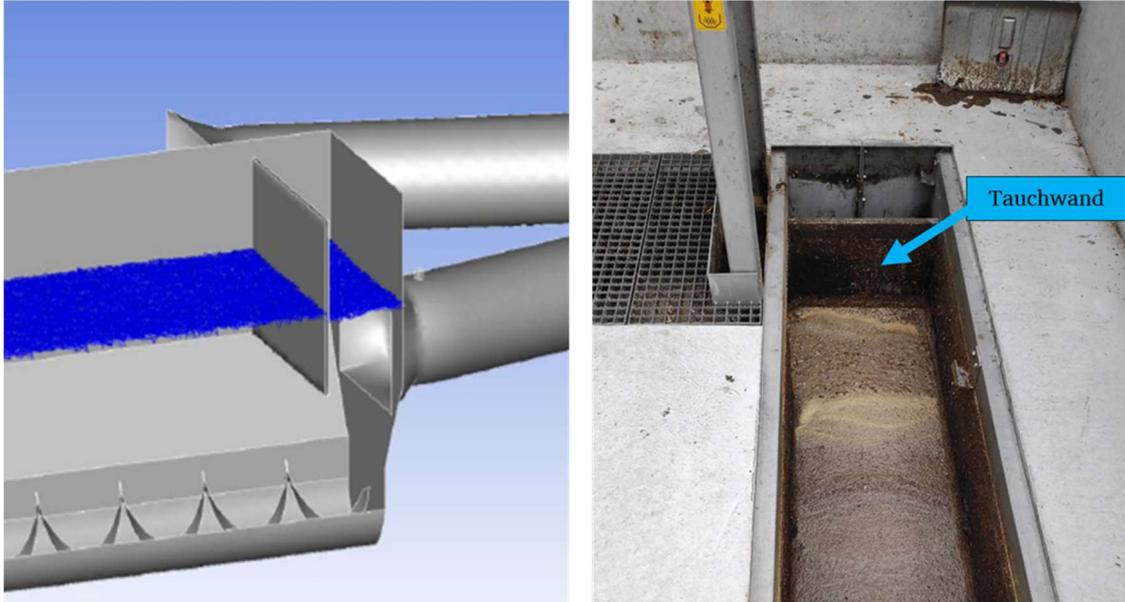


Abbildung 1 CFD-Simulation der Tauchwand (links) und Fettschicht vor der Tauchwand (rechts)

## 2.2 Ziele

Das Ziel des Folgeprojektes ist es, einen hydraulisch breitbandig einsetzbaren Kompakt-Leitwandsandfang zu entwickeln, der im Bereich von  $Q = 10$  bis  $100$  l/s in mehreren Baugrößen kosten- und energieeffizient sehr hohe Fein- und Mittelsandabscheidegrade sowie hohe Fettabscheidegrade erreichen kann. Aus den Erfahrungen des vorgelagerten Projekts soll die Verfahrenstechnik verbessert werden:

- Nutzbarmachung der Leitwandtechnik für einen großen Teil kommunaler Klärwerke welche die Kompaktanlagenbauformen präferieren.
- Nutzung der Leitwandtechnik und hydrodynamisch wirksamer Bauteile, um innerhalb eines einzigen Baukörpers in einer Baugröße ein Abwasservolumenstromverhältnis von bis zu 1:4 zu ermöglichen.
- Entwicklung mehrerer Baugrößen, um die Bandbreite von 10 bis ca. 100 l/s abdecken zu können.
- Integration einer bereits existenten Rechenanlage mit Rechengutentnahme
- Anpassung der effektiven Leitwandlänge für die Sandabscheidung unter Berücksichtigung einer Vorkonditionierung (siehe Kapitel 3.3)
- Änderung der Rohrvergleichmäßigerkonstruktion
- Integrierte Fettabscheidung, Fettoberflächentransport und Fettabzugsrinne in der Kompaktanlage, unter Berücksichtigung der Vorkonditionierung

## 3 Stand des Wissens / der Technik zur Bemessung von Sand- und Fettfängen

### 3.1 Inhaltsstoffe Sand und Fett im Abwasser

#### 3.1.1 Sand

In der Abwasserreinigung von Städten und Gemeinden fallen unterschiedliche Reststoffe im Verlauf des Reinigungsprozesses an. Der Sand wird vorwiegend über Straßeneinläufe, insbesondere in Neubaugebieten und auch teilweise über das marode Kanalsystem eingetragen und gelangt von dort in die Kläranlage. In der Kläranlage soll der Sand im Sandfang abgeschieden und anschließend aufbereitet (entwässert, Abscheidung von organischen Stoffen) und zudem als Bauzusatzstoff genutzt werden. Wird der Sand nicht aus dem Abwasser entfernt, können, wie weiter oben bereits erwähnt, in den weiteren Verfahrensstufen der biologischen Behandlung und Schlammbehandlung schwerwiegende verfahrenstechnische Probleme auftreten und zu einem erhöhten Energieeinsatz führen.

Neuere Untersuchungen der DWA (DWA AG KA-5, 2008) an Sandfängen in Deutschland zeigen, dass insbesondere der Anteil an Feinsanden (Siebkorngröße 0,063 bis 0,2 mm) gegenüber früheren Untersuchungen erheblich angestiegen ist. Die damaligen Untersuchungen führten u.a. zu den Dimensionierungsansätzen heutiger Sandfänge, die folglich heutzutage im unteren Sandkornspektrum nur eingeschränkt funktionieren. Hier wird angenommen, dass der erhöhte Anteil bspw. von der Kanalbewirtschaftung und Kanalgefälle, von der Witterung und vom Ausbau der Regenwasserbehandlung beeinflusst wird. Messungen zeigen deutlich gestiegene Feinsandanteile an der Gesamt-Sandfraktion zwischen 33 % und 85 %. Der geforderte Sandabscheidegrad von 100% Abscheidegrad für die Fraktion Siebkorngrößen  $\geq 0,3$  mm (DIN EN 12255) bzw. der üblicherweise angesetzte Wert 95% für Siebkorngrößen  $\geq 0,2$  mm wird (DIN 19569, Teil 2) unter diesen Umständen in den wenigsten konventionellen, belüfteten Sandfängen erreicht.

Sand, der nicht abgeschieden wird, kann sich in nachfolgenden Stufen absetzen. In 2020 wurde von IWW und IWAR (TU Darmstadt) ein Sandfang in Nordrhein-Westfalen (Sonnenburg, 2022) mit einem  $Q_{TW} = 300$  l/s mit Hilfe der Sandprobenahmetechnik untersucht und ein Abscheidegrad zwischen 84 bis 88 % für Sandpartikel  $\geq 200$   $\mu\text{m}$  berechnet. Hochgerechnet auf das Jahr ergibt sich daraus ein Sandanfall von 4.000 kg  $\geq 200$   $\mu\text{m}$  im Ablauf des Sandfangs bzw. bei einer Schüttdichte von 1.500 kg/m<sup>3</sup> wäre dies ein Sandschüttvolumen von 2,67 m<sup>3</sup>. Bei einem Belebungsbecken mit 200 m<sup>2</sup> Grundfläche würde der Sand nach 10 Jahren eine ca. 14 cm dicke Sandschicht bilden, die zum einen als verfahrenstechnischer Raum (26,7 m<sup>3</sup>) für den biologischen Schadstoffabbau fehlt und, was wesentlich wichtiger ist, zum anderen die Belüftungsteller an der Sohle des Beckens verschütten. Dies wird sukzessive die Belüftungsleistung im Belebungsbecken negativ beeinflussen und zu einem erhöhten Belüftungs- bzw. Energieeinsatz führen. Zusätzlich wird bei der geringen Sandabscheideleistung noch feinerer Sand verbracht ( $< 200$   $\mu\text{m}$ ), der nicht Gegenstand der Untersuchung war. Nach Hirschbeck (2010) ist ein Sandanteil von 50 %  $< 200$   $\mu\text{m}$  häufiger in kommunalem Abwasser anzutreffen. Wird dieser Anteil für die vermessene Anlage angesetzt und von einem niedrigeren Abscheidegrad von 30 % ausgegangen, d.h. 70 % waren im Ablauf des Sandfangs noch vorhanden, so wären dies ca. 18.500 kg Sand  $< 200$   $\mu\text{m}$  gewesen bzw. mit gleicher Schüttdichte wie oben 12,3 m<sup>3</sup> Sandvolumen pro Jahr. Es wäre damit zu rechnen, dass dieser Sand aufgrund seiner geringen Absetzgeschwindigkeit in die Nachklärbecken, bei sehr kleinen Korngrößen in das Fließgewässer und, wenn vorhanden, in den Faulturm gelangt.

### 3.1.2 Fette

Über das Verhalten von Fetten (schwerflüchtige lipophile Stoffe, tierische und pflanzliche Speisefette und -öle sowie deren Emulsionen, Hautpflegeprodukte) in Sand- und Fettfängen auf kommunalen Abwasserreinigungsanlagen und deren Abscheidegrad ist relativ wenig bekannt. Untersuchungen von Unterweger (2006) zeigen, dass der Wirkungsgrad auf den untersuchten 24 Kläranlagen mit belüfteten Sand- und Fettfängen mit ca. 10 bis 15 % sehr gering ist. Tatsächlich ist der Anteil der nicht emulgierten Fette für die Beurteilung des Wirkungsgrads notwendig, da nur diese mit den schwerkraftbasierten Verfahrenstechniken der Sand- und Fettfänge entfernt werden können. Nach Sbiechni (2005) beträgt dieser Anteil, je nach Randbedingungen im Abwasser und auf der Kläranlage, ca. 30 bis 70 %.

Fette sind mitverantwortlich für die Bildung von Bläh- und Schwimmschlamm und einem reduzierten Schadstoffabbau in der Biologie. Zudem wird für die biologische Umsetzung der Fette zusätzlicher Sauerstoff benötigt, d.h. der Luftbedarf in der Belebungsstufe steigt bei steigenden Fettkonzentrationen deutlich an. Fette haften an diversen Wänden an, wie z.B. Becken- und Tauchwänden aber auch an Rührern und Räumern. Fette in langsam durchflossenen Rohrleitungen können zu Inkrustationen und somit zu einem erhöhten Druckverlust führen. Bei der Schlammwässerung stört Fett und führt zu niedrigeren Trockensubstanzgehalten. Das führt zu höheren Schlammengen, die mit LKWs abtransportiert werden müssen. Auf der anderen Seite könnten die größeren Fettmengen bei Kläranlagen mit Faulturm mitverarbeitet werden. Hierdurch steigt die gewonnene Biogasmenge, die für die Energiegewinnung auf der Anlage genutzt werden kann (DWA Themenband, 2010).

## 3.2 Entwicklung und Anwendung von Sand- und Fettfängen

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:

$$v_s = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot (\rho_s - \rho) \cdot d}{3 \cdot c_w \cdot \rho}} \quad \text{Gleichung 1}$$

$v_s$ :	Sinkgeschwindigkeit	[m/s]
$g$ :	Erdbeschleunigung	[m/s <sup>2</sup> ]
$\rho_s$ :	Reindichte des Feststoffpartikels; mit $\rho_s \geq \rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho$ :	Dichte der Flüssigkeit	[kg/m <sup>3</sup> ]
$d$ :	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 Sand, die auch Schwankungen unterworfen ist, wird häufig mit 2.650 kg/m<sup>3</sup> angegeben, der Sand sinkt somit zur Beckensohle ab. Die Stoffgruppe Fett hat unterschiedliche Reindichten, per Definition sind diese allerdings alle kleiner als die des Rohabwassers (< 1000 kg/m<sup>3</sup>). Bei Botsch

(2013) wird ein Wertebereich zwischen 800 und 940 kg/m<sup>3</sup> 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/m<sup>3</sup> 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 sohlennahe Fließgeschwindigkeit des Rohabwassers überschritten wird. Im Sandfang soll der Sand an der Beckensohle sedimentiert werden, die Organik aber nicht. Somit muss eine Mindestfließgeschwindigkeit (ca. 0,1 m/s) erreicht werden, damit die Organik nicht sedimentiert und eine Maximalgeschwindigkeit (ca. 0,35 m/s), damit der Sand nicht erodiert. 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 (Abbildung 2). 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. Bedingung für das Funktionieren dieser Technik ist es, dass die Fließgeschwindigkeit durch den Sandfang vernachlässigbar gegenüber der Walzengeschwindigkeit ist. Dadurch werden große Querschnittsflächen und hohe Energieeinträge (Luft) im belüfteten Sandfang notwendig, die der unbelüftete Sandfang vermeiden kann.

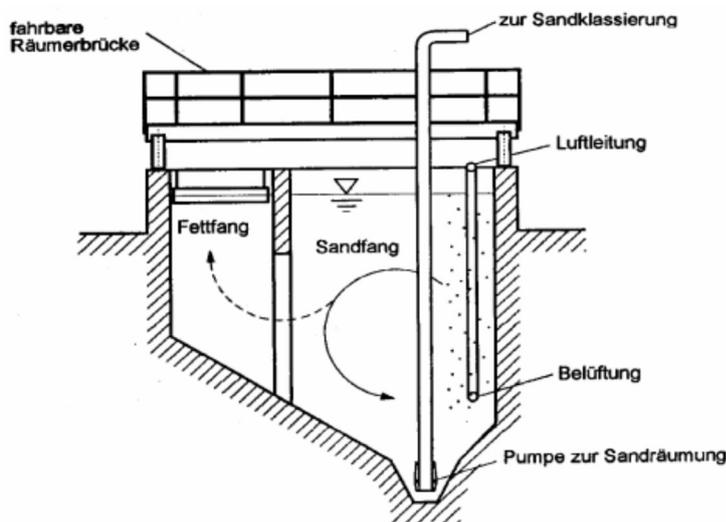


Abbildung 2 Querschnitt eines belüfteten Langsandfangs (in Beton) gemäß Auslegung nach ATV-AG 2.5.1

Nach Kalbskopf (1966) ist der belüftete Sandfang in seiner Leistungsfähigkeit bei der Sandabscheidung mit der eines unbelüfteten Langsandfangs vergleichbar. An der TU Darmstadt wurden Untersuchungen zu dieser Thematik durchgeführt (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. Untersuchungen mit Hilfe von CFD-Simulationen 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.

Aus den Ergebnissen des Projekts Sand-LeitModul (Grimmel et al., 2021) folgt außerdem, dass die Leistungsfähigkeit des Leitwandsandfangs gegenüber dem in Kalbskopf (1966) beschriebenen unbelüfteten Langsandfang nochmal deutlich erhöht ist.

### **3.3 Entwicklung eines neuen Verfahrens zur Fett- und Sandabscheidung**

Die in diesem Projekt zu entwickelnde Kompaktsandfanganlage unterscheidet sich, wie bereits oben angemerkt, von dem Sand-LeitModul durch den Baugrößenansatz. Während bei dem Sand-LeitModul zwischen Trocken- und Regenwettersandfängen unterschieden wird, um die große Durchflussspreizung in einer kommunalen Kläranlage zu realisieren, soll in der LW-Kompa die Durchflussspreizung innerhalb eines Baukörpers abgedeckt werden können. Um gleichzeitig die Baukosten in einem realistischen Rahmen zu halten, sollte dieser Baukörper mit möglichst wenig mechanischen und motorisierten Bauteilen auskommen.

Hierbei können die physikalischen Grundlagen des Feststoffabsetzvorgangs natürlich nicht außer Kraft gesetzt werden. Unbelüftete Sandfänge besitzen in der Regel einen Sandsammelraum und einen Sandabsetzraum. Die Fließgeschwindigkeit im Sandfang sollte bei ca. 0,2 bis 0,3 m/s liegen, um den Sand abzusetzen und gleichzeitig die Organik weiter zu transportieren. Eine Durchflussspreizung bei gleichbleibender Fließgeschwindigkeit ist im unbelüfteten Sandfang nur durch die Veränderung der durchströmten Querschnittsfläche zu erreichen, was im Regelfall durch Wasserspiegelschwankungen im Sandfang realisiert wird. Über schräge Wände wird der Sandfang nach unten schmaler und mündet schließlich in den Sandsammelraum mit Absaugpumpe oder Förderschnecke. Die schrägen Wände können auch für die Anpassung der Fließgeschwindigkeit an den Durchfluss genutzt werden. Letztlich sind aber die Wasserspiegelschwankungen durch die starke Durchflussspreizung in kommunalen Sandfängen bei einer Baugröße sehr groß. Eine wesentliche Herausforderung bei vielen Sandfängen ist aber, dass die Kläranlagenhydraulik oft nur geringe Wasserspiegeldifferenzen vom Fließgewässer bis zum Kläranlagenzulauf zulässt. Das führt dazu, dass die Wasserspiegeldifferenz vom Sandfangzulauf zum Sandfangablauf nicht sehr groß sein darf. Am kleinsten ist diese, wenn sich die Querschnittsfläche über die Sandfangtiefe nicht ändert. Dann kann der Sand aber nicht richtig aus dem zu breiten Sand-

sammelraum abtransportiert werden. Im LW-Kompa wird dieser scheinbare Widerspruch dadurch gelöst, dass nur der obere Sandfangteil mit senkrechten Wänden als durchströmter Sandfang genutzt wird (Abbildung 3, grün), während der untere Teil mit schrägen Wänden und der Bereich mit dem Schneckentrog nur als Sandsammelraum fungiert. Der untere Teil erhält Sperrwände in einem bestimmten Abstand, der dazu führt, dass sich die Längsströmung nur wenige cm ausdehnen kann (Abbildung 3, Sperrwände). Die Wasserspiegelschwankungen können somit im gesamten Durchflussspreizungsbereich auf maximal 20 cm gehalten werden.

Vor dem eigentlichen Sandfang wird die Fließstrecke mit der Rechenanlage gleichzeitig als eine Art „Vorkonditionierung“ genutzt, auf der der Sand bereits auf der Sohle abgesetzt und von dort weiter in den Sandfang transportiert wird. Durch einen speziellen Sohlübergang von dieser waagrechten Sohle in den Sandfang, der bei dem Forschungsprojekt „Ultraflachsandfang“<sup>1</sup> entwickelt wurde, kann bereits in diesem Anfangsbereich ein nennenswerte Sandanteil im Sandfang abgesetzt werden. Diese Vorkonditionierung wäre nur von unbelüfteten Sandfängen wie dem Leitwandsandfang nutzbar, da dort der sohnah transportierte Sand tatsächlich auch sohnah abgesetzt werden kann. Im belüfteten Sandfang hingegen strömt das Wasser in die von der Belüftungsenergie erregte Wasserwalze ein, so dass der Effekt der Vorkonditionierung nicht genutzt werden kann, weil der bereits sohnah vorliegende Sand wieder aufgewirbelt wird. Es ist davon auszugehen, dass durch die geordnete Vorkonditionierung der Sandfang erheblich verkürzt und dadurch wesentlich ressourcenschonender errichtet werden kann.

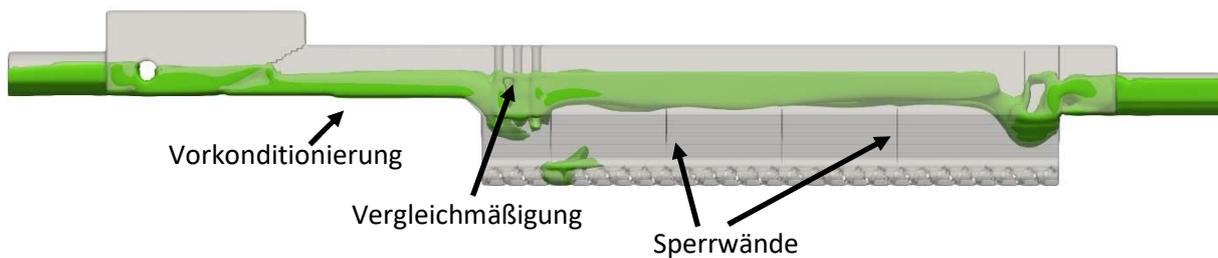


Abbildung 3: LW-Kompa, Seitenansicht, Fließrichtung von links nach rechts; grün: Fließgeschwindigkeit 0,2 m/s

Im Sand-LeitModul wurde die Strömungsvergleichmäßigung durch waagrechte Rohre im Zulaufbereich des Sandfangs herbeigeführt. Dies hatte, wie oben beschrieben, zu Fettablagerungen an den Rohrwänden geführt. Deshalb wurden die Rohre in diesem Projekt um 90° gedreht und senkrecht eingebaut. Es wurde geprüft, ob senkrechte Vergleichmäßigungsrohre den Abwasserstrom ebenfalls ausreichend vergleichmäßigen und bereits sortierte Fettanteile freier in den nachgeordneten Leitwandsandfang gelangen können. Wenn, wie im Trockenwettersandfang des Sand-LeitModul, das Fett nicht bis zur Abzugsrinne der Tauchwand strömt, soll eine oberflächennahe Zwangsströmung in Richtung Tauchwand sowie eine Abzugsrinne an der Tauchwand eingerichtet werden, um die abgeschiedene Fettfraktion besser fassen und energetisch nutzen zu können.

<sup>1</sup> KMU-innovativ Verbundprojekt Ultraflachsandfang: Entwicklung eines Verfahrens zur Abscheidung von Feinsanden aus kommunalen Kläranlagen, FKZ: 02WQ1379B

## 4 Methoden und Ergebnisse

### 4.1 Umsetzung der neuen Technologie in einer Versuchsanlage

#### 4.1.1 Aufbau der LW-Kompa-Versuchsanlage

Im verfahrenstechnischen Modellbau wird teilweise, z.B. bei reinen Strömungsvorgängen in Luft und Wasser, ähnlichkeitsmodelltechnisch gearbeitet, d.h. mit verkleinerten Maßstäben von z.B. 1:5 bis 1:10. Bei schwerkraftbasierten Verfahrenstechniken ist eine Ähnlichkeitsmodellierung aufgrund der komplexen Vorgänge beim Absetzen des Sandes jedoch nicht sinnvoll. Das bedeutet, dass die wesentlichen verfahrenstechnischen Vorgänge an einer realen 1:1-Anlagengröße abgebildet werden müssen und ein kleinerer Modellmaßstab nicht gewählt werden kann. Daraus resultiert eine aussagekräftige Mindestgröße der Versuchsanlage. Dies ist eine Anlage bis zu einem maximalen Durchfluss von ca.  $Q = 60 \text{ l/s}$ .

Auf Basis der Erkenntnisse der Entwicklung des Leitwandsandfangs und des sogenannten Ultraflachsandfangs wurde eine virtuelle Basisvariante entwickelt und mit Hilfe von CFD-Simulationen bzgl. der Ziele Durchströmung, Absetzen von Sand und Aufstieg von Fett untersucht und die Auslegung der Versuchsanlage iterativ angepasst. Darauf aufbauend wurde die Kompaktversuchsanlage geplant und gebaut. Die Versuchsanlage wurde in einem Versuchsfeld auf dem Firmengelände von GWT in Ober-Mörlen aufgestellt. Die Versuchsanlage (Abbildung 4 bis Abbildung 6) der LW-Kompa besteht aus einem Leitwandsandfang mit Vergleichsmäßigern, Sandförderschnecken, einer vorgeschalteten Rechenanlage sowie einer Räumeinrichtung (Zwangsströmung) für Fette und einem Ablaufbereich. Die Versuchsanlage muss mit der maximal angedachten Wassermenge über einen längeren Zeitraum beschickt werden können, um stationäre hydraulische Bedingungen zu erhalten, bevor mit den eigentlichen Sandabscheideversuchen begonnen werden kann. Um dies umzusetzen wird die Anlage über einen Vorlagebehälter, eine Pumpe und Rohrleitungen im Kreislauf betrieben. Die Durchlaufwassermenge kann hierbei mit einem MID erfasst und über einen Schieber eingestellt werden. Der Sand wird über eine Zugabestelle im Zulaufkanal der Anlage zugegeben. Hierfür wurde ein einfaches Zugabesystem, ähnlich einer Sanduhr, entwickelt, mit dem sehr konstant die gewünschte Sandmenge pro Zeiteinheit dosiert werden kann (Abbildung 7). Ergänzend muss noch ein gesonderter Schrägklärer nachgeschaltet werden, um die Bemessungsgröße Sand bis zu einer Siebkorngröße von  $200 \mu\text{m}$  im Kreislaufbetrieb vollständig aussondern zu können. Im realen Betrieb wird die Rechenanlage und der Fetteräumer automatisch betrieben. In der Versuchsanlage wären die Kosten für die Automatisierung viel zu hoch und auch nicht sinnvoll. Daher wurde darauf verzichtet.

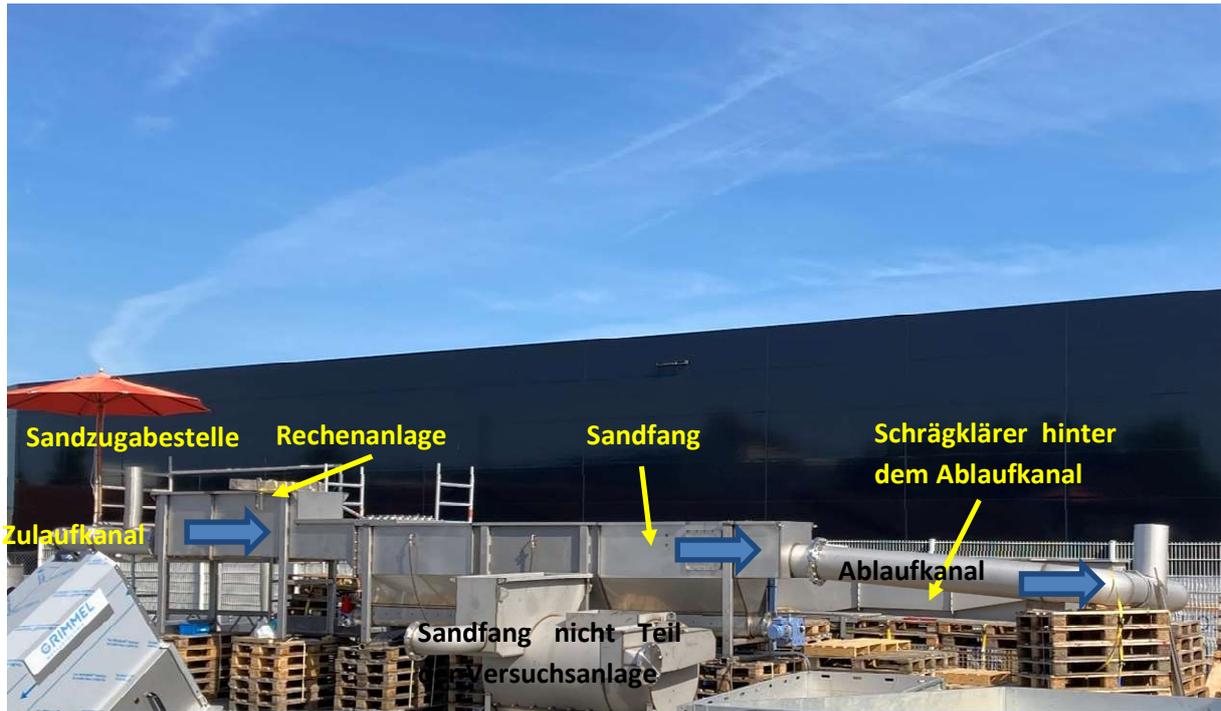


Abbildung 4: Versuchsanlage auf dem Werksgelände, Seitenansicht



Abbildung 5: Versuchsanlage, Foto aufgenommen vom Podest der Sandzugabestelle

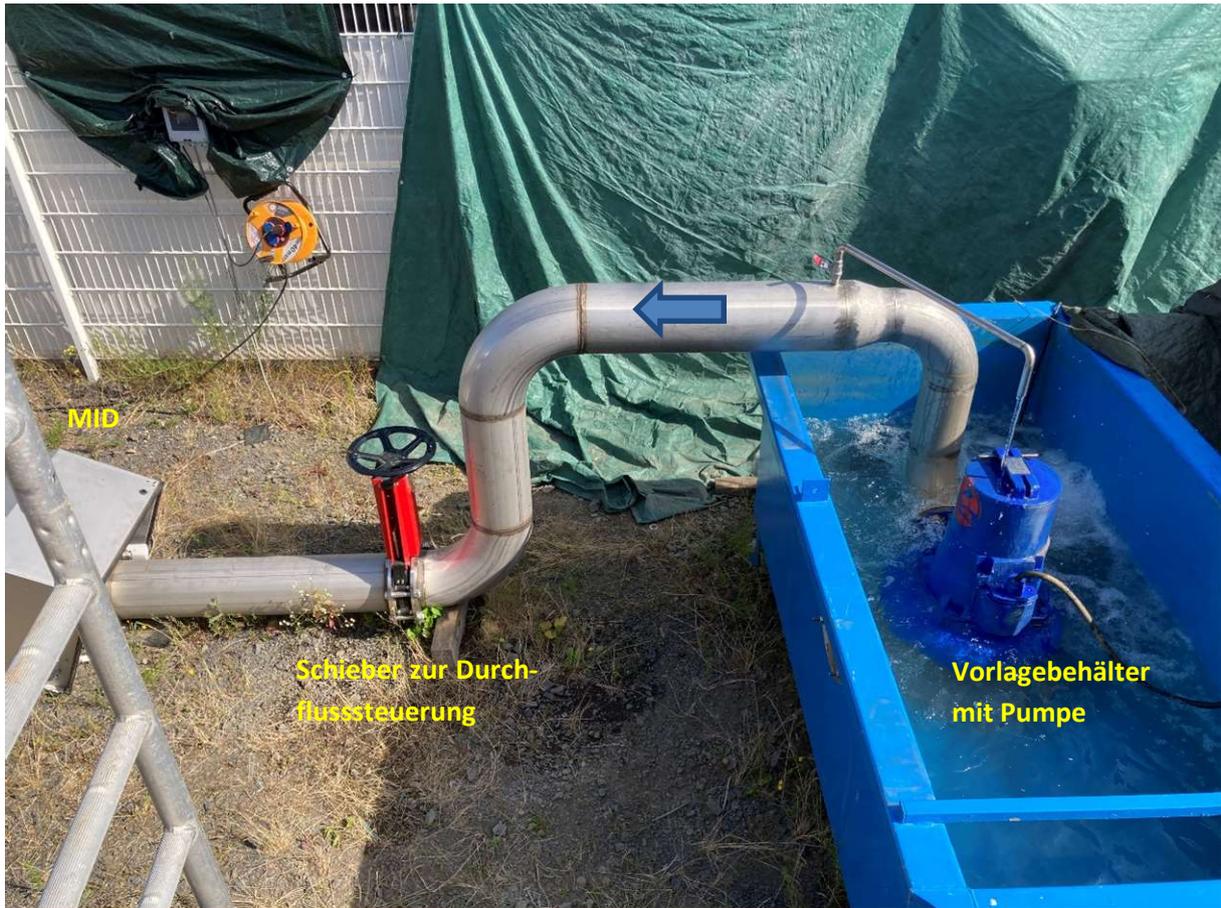


Abbildung 6: Ausschnitt Versuchsanlage, Vorlagebehälter mit Pumpe, Schieber und MID

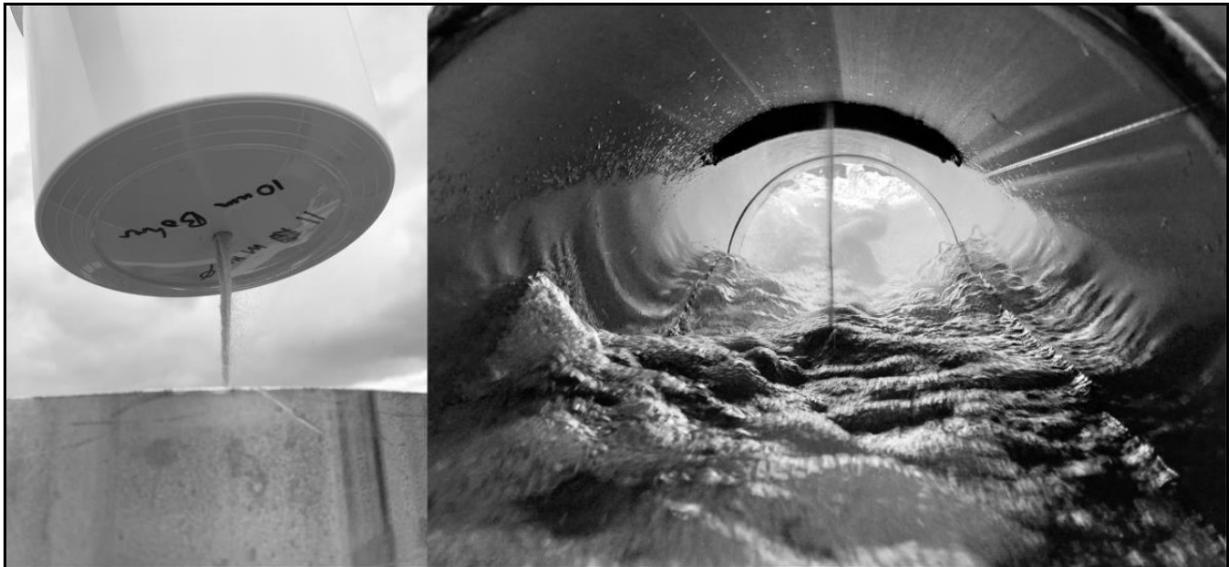


Abbildung 7: Sandzugabe; links Dosiereimer mit rieselndem Sand, rechts in das Wasser einrieselnder Sand; aus Fleckenstein (2022)

Die CAD-Zeichnung der zuletzt verwendeten Sandfanganlage wird aus schutzrechtlichen Gründen in diesem Abschlussbericht nicht gezeigt. In den CFD-Ergebnissen (Kapitel 4.2) wurden Darstellungen gewählt, die Teile der Anlage zeigen.

Nur ein Teil der Maßnahmen können in CFD simuliert werden, mechanische Bewegungen sind kaum oder nur sehr aufwendig zu simulieren und werden daher an der Versuchsanlage untersucht. Außerdem werden für die Kalibrierung der Absetzvorgänge in CFD Absetzversuche in der Versuchsanlage benötigt. Eine Auslegung auf eine maximale Abscheidung ist in der Versuchsanlage nicht notwendig, da diese später anhand der Absetzversuche und CFD-Simulationen berechnet werden kann. Die Anlage wird in der Länge unterdimensioniert, um eine Wiederfindungsrate des Sandes auch im Sandfangablauf zu ermöglichen. Für die Fettabscheidung ist eine Tauchwand vorgesehen. Im Gegensatz zum Sand, der zwischen der Räumtschnecke liegen bleibt, soll das Fett durch die Fließgeschwindigkeit im Sandfang an der Wasseroberfläche zur Tauchwand transportiert werden. Da dies bei niedrigen Fließgeschwindigkeiten (Trockenwetter) eventuell nicht möglich ist, soll eine Abströmvorrichtung für das Fett dafür sorgen, dass ab einer bestimmten Grenzgeschwindigkeit diese Strömung damit induziert wird.

#### 4.1.2 Versuchsablauf in der LW-Kompa-Anlage

Die Anlage wird mit Trinkwasser betrieben und ein definierter Prüfsand im empfohlenen Sandkorngrößenbereich nach DWA (Hirschbeck, 2015) im Zulaufkanal vor der Anlage zugegeben.

In vorangegangenen Projekten hat sich ein Baumarkt-Estrichsand als Versuchssand bewährt, der in kleinen Chargen von 25 kg eine relativ gleichmäßige Sieblinie aufweist. Es gibt diesbezüglich jedoch Kritik aus der Fachwelt, dass dieser Sand nicht exakt reproduziert werden kann. Daher wurden innerhalb einer Studentischen Arbeit (Fleckenstein, 2022) zwei Sande der Quarzwerke GmbH auf deren Reproduzierbarkeit im Labor (Siebanalyse) hin untersucht. Diese sind als „Quarzsand Frechen F 32“ und „Quarzsand WIT 0,1–0,5 mm fg“ deklariert. Hierbei hat sich herausgestellt, dass der „Quarzsand WIT 0,1–0,5 mm fg“ bei den Siebanalysen sehr unterschiedliche Verteilungen aufwies, der „Quarzsand Frechen F 32“ dagegen eine sehr gleichmäßige Verteilung aufzeigte. Der „Quarzsand Frechen F 32“ (Deklaration im Anhang) wurde daher für alle Versuche verwendet. Die Sieblinie in Tabelle 3 gilt pro einem 25 kg-Sandsack. Beim Transport der Säcke vom Werk bis zum Versuchsfeld aber auch beim Umschütten von Sandsäcken in andere Behältnisse entmischt sich dieser. Würde man nur einen Teil des Sackes für einen Versuch verwenden, wäre dessen Sandgrößenverteilung nicht mehr nachvollziehbar. Es wurden daher in jedem Versuch immer vollständige 25 kg-Säcke verwendet. Für die Untersuchung des Fettrückhalts wurde ein Fettersatzstoff (Kunststoffgranulat, siehe Grimmel et al., 2021) zugegeben.

**Tabelle 3: Siebanalyse im Labor eines gesamten 25 kg Sacks aus repräsentativer Teilprobe von ca. 100 g**

Maschenweite	"Quarzsand Frechen F32"
µm	%
1000-2000	0,0
500-1000	0,8
400-500	3,3
300-400	17,3
250-300	20,3

224-250	16,5
200-224	16,4
160-200	20,2
125-160	4,1
100-125	0,9
63-100	0,2
40-63	0,0
< 40 $\mu\text{m}$ (Schale)	0,0
Summe	100,0

In der Versuchsanlage konnte pro Tag ein definierter Versuch mit einem Durchfluss und der kontinuierlichen Zugabe einer definierten Sandmenge bzw. Sandkonzentration durchgeführt werden. Eine Herausforderung war es, die Wassertemperatur im Sommer niedrig zu halten. Die Versuche mussten aufgrund des verschobenen Zeitplans durch die verspäteten Materiallieferungen und des sich dann verspätenden Anlagenbaus im Zeitraum Mitte Juli bis Anfang Oktober 2022 stattfinden. Je wärmer das Wasser ist, umso höher ist der Sandabscheidegrad. Der Sandabscheidegrad ist daher in den Herbst-/Wintermonaten niedriger. Sandfanganlagen werden daher auf eine Wassertemperatur von 10 bis 15 °C ausgelegt. Um möglichst realistische Bedingungen zu schaffen, und da sich das Wasser jeden Tag aufheizte, musste es jeden Morgen ersetzt werden. Diese Zeit (ca. 1 bis 2 Stunden), die Zeit für den Versuch (ca. 1,5 bis 3 h) und die Zeit für die händische Probensammlung nach Entleerung der Anlage (ca. 2 bis 3 h) und die abschließende Spülung des Versuchstandes führte dazu, dass nur ein Versuch pro Tag durchgeführt werden konnte.

Die Laufzeit der Versuche richtete sich nach der Zugabezeit der 25 kg-Sandsäcke und der anvisierten Zugabekonzentration von ca. 200 bis 300 mg Sand pro Liter Wasser. Es ergaben sich somit Zugabezeiten von ca. 50 min bis 2 h 40 min. Nach der Zugabezeit und einer Nachlaufzeit von ca. 10 Minuten wurde die Anlage abgeschaltet und nach einer Ruhezeit von ca. 10 Minuten entleert. Die Sandproben wurden entweder händisch (im Schrägklärer) oder mit einem Absaugsystem aus der Anlage entnommen. Die Proben wurden in Weithals-Flaschen abgefüllt und zum Labor geschickt. Die Versuchsanlage wurde nach der Probenahme gereinigt und für den nächsten Versuch am nächsten Morgen vorbereitet. Es wurden insgesamt folgende Versuche durchgeführt:

- 4 Durchflussversuche zum Test der Anlagenhydraulik und dem Einstellen einzelner Komponenten (z. B. Tauchwand)
- Insgesamt 12 Sandabscheideversuche mit Durchflüssen  $Q = 4, 15, 30, 50$  oder  $60 \text{ L/S}$
- Zusätzliche „Fett“-Abscheideversuche

Folgende Daten wurden während oder nach den Versuchen aufgenommen:

- Durchfluss ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) durch die Anlage
- Wassertemperatur in der Anlage
- Zugabe Sandmenge, Fettersatz (qualitativ)
- Gesamte Sandmenge im Schrägklärer pro Versuch

Alle Siebanalysen des Sandes wurden im Wasserlabor des Fachbereichs 1 der Frankfurt University of Applied Sciences durchgeführt. Die Proben wurden entweder bereits auf dem Werksgelände von GWT oder später im Labor getrocknet. Die Siebanalysen (Fraktionierung) erfolgten nach DIN-Vorgaben mit

Hilfe einer Vibrationssiebmaschine (Trockensiebung). Dafür wurden Analysensiebe im Korngrößenbereich zwischen 0 (Schale) und 2 mm verwendet.

#### 4.1.3 Untersuchungen mit numerischen Modellen

Ein wesentliches Ziel der Untersuchungen an der Versuchsanlage war es, für das Verfahren einfache, auf den Sandfang anzuwendende Bemessungsregeln für die Sandfanganlage bei verschiedenen Durchflüssen abzuleiten. Da nur eine Baugröße untersucht wird, werden alle weiteren Baugrößen in CFD simuliert und somit ausgelegt. Die Baugrößen unterscheiden sich hierbei nicht durch den Sandfangquerschnitt, sondern durch die Länge der Sandfanganlagen.

Folgende CFD-Modellierungen und –Simulationen wurden durchgeführt:

- CFD-Modellierung und Simulation der LW-Kompa-Entwurfsanlage für die Vorplanung der Versuchsanlage, inkl. Partikelsimulation; Modell ist durch vorangegangene Projekte mit Sandfang-CFD-Modellen vorkalibriert
- Nachträgliche Kalibrierung des Modells (Anpassung von Rand- und Feldbedingungen) mit den Ergebnissen aus den Strömungs- und Absetzversuchen in der LW-Kompa-Versuchsanlage
- CFD-Modellierung und Simulation von weiteren Durchflüssen und Baugrößen

#### 4.1.4 Verwendete CFD-Software

CFD ermöglicht die realitätsnahe Simulation verschiedenster geometrischer Varianten sowie Variationen der Fluideigenschaften in relativ kurzer Zeit. In vorangegangenen Projekten hat sich gezeigt, dass über diese Reihensimulationen physikalischer Wirkprinzipien eine gute Vorauswahl für die nachfolgenden Untersuchungen an realen Anlagen sowie die Auslegung von zukünftigen Baureihen möglich ist. Dagegen sind Langzeituntersuchungen, d.h. alles über einer Stunde Realzeit im Experiment, in CFD oft nicht oder nur in Ausnahmefällen möglich. Hierfür ist die Versuchsanlage besser geeignet. Im Projekt wird die CFD-Software FLOW-3D verwendet.

## 4.2 Ergebnisse

### 4.2.1 Ergebnisse Sandabscheidung

Abbildung 8 und Abbildung 9 zeigen die CFD-Simulation der Versuchsanlage bei einem Durchfluss von 60 L/s. Die Leit- und Sperrwände, die Tauchwand, das Wehr und der Rechen sind in diesen Darstellungen ausgeblendet. Die meisten Bleche liegen auch unterhalb des Wasserspiegels und wären daher nicht sichtbar. Die CFD-Software berücksichtigt bei der Simulation der Partikel die Partikelgröße, die Reindichte, einen Formfaktor, das Widerstandsverhalten im Wasser, den Einfluss der Strömungsturbulenz auf die Partikel und das Partikelverhalten an den Wänden. In den Tabelle 4 bis Tabelle 6 sind nur die Partikel von 200 bis 500  $\mu\text{m}$  dargestellt, da der Schrägklärer in der Versuchsanlage nur auf eine hundertprozentige Abscheidung der  $\geq 200 \mu\text{m}$ -Partikel bei 60 L/s ausgelegt werden konnte und sollte. 200  $\mu\text{m}$  ist eine typische Trennkorngröße auf die Sandfanganlagen ausgelegt werden. Je kleiner die Partikel, umso geringer ist die Absetzgeschwindigkeit und somit der Abscheidegrad. Da die Sandpartikel im Versuch im Kreis transportiert werden und bei den Versuchslaufzeiten ca. 50 bis 100 mal den Sandfang passieren, setzen sich bei jeder Durchströmung des Sandfangs einige Partikel zusätzlich ab und der Abscheidegrad von Partikeln  $< 200 \mu\text{m}$  ist im Versuch stark überhöht. Bei den CFD-Simulationen werden die Partikel nur jeweils einmal durch den Sandfang transportiert, entsprechend niedriger ist die Abscheidung.

Durch die jahrelange Erfahrung mit der CFD-Simulation von Sandpartikeln können entsprechende Übereinstimmungen zwischen Messungen und Simulationen erzielt werden. Dies zeigt sich auch bei den in den Tabellen dargestellten Abweichungen zwischen Messung und Simulation, die meist unter 1 %, maximal bei 2,8 % liegen. Die Abweichungen sind gering und aufgrund der Ungenauigkeit der Datenlage bei den Partikelvariablen als sehr gut zu bezeichnen. In Abbildung 10 ist das Ergebnis am Ende der Partikelsimulation des Versuchs Nr. 1 dargestellt.

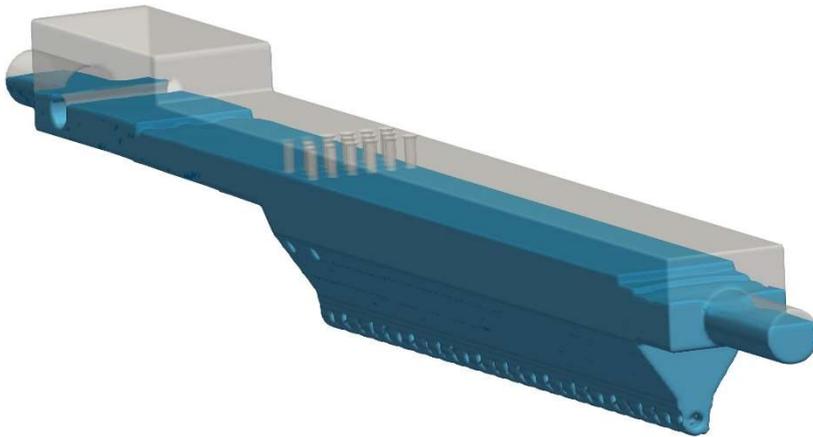


Abbildung 8: CFD-Simulation Versuchsanlage mit Wasser

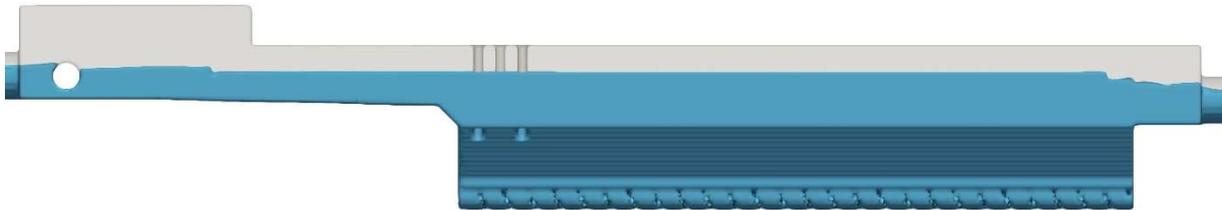


Abbildung 9: Seitenansicht CFD-Simulation mit Wasser

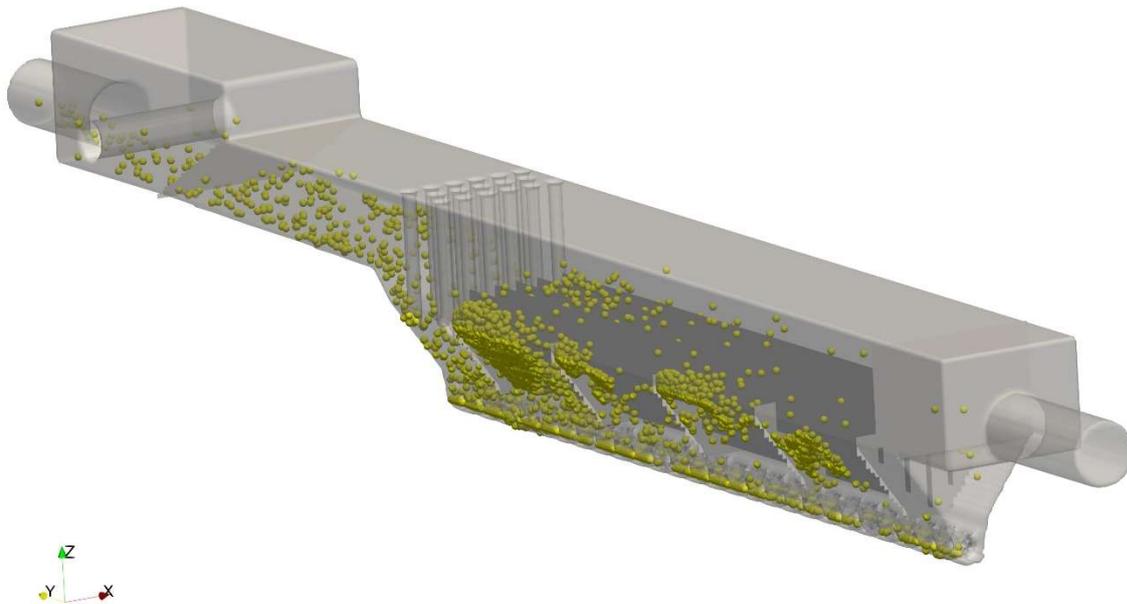


Abbildung 10: CFD-Simulation Sandpartikel 200 bis 400  $\mu\text{m}$

Tabelle 4: Versuch Nr. 1; Durchfluss: 60 L/s

Maschenweite Partikelgröße: 1. Wert	Abscheidegrad Messung	Abscheidegrad Simulation	Abweichung Mes- sung - Simulation
$\mu\text{m}$	%	%	%
400-500	99,7	100,00	-0,33
300-400	99,8	99,97	-0,12
250-300	99,6	99,51	0,05
224-250	99,0	98,77	0,25
200-224	97,6	96,39	1,21

Tabelle 5: Versuch Nr. 2; Durchfluss: 60 L/s

Maschenweite Partikelgröße: 1. Wert	Abscheidegrad Messung	Abscheidegrad Simulation	Abweichung Mes- sung - Simulation
$\mu\text{m}$	%	%	%
400-500	100,0	100,00	0,00
300-400	99,9	100,00	-0,10
250-300	99,5	99,63	-0,18
224-250	98,6	98,42	0,23
200-224	96,7	95,71	0,99

Tabelle 6: Versuch Nr. 5; Durchfluss: 60 L/s

Maschenweite Partikelgröße: 1. Wert	Abscheidegrad Messung	Abscheidegrad Simulation	Abweichung Mes- sung - Simulation
µm	%	%	%
400-500	100,0	100,00	0,00
300-400	99,9	99,96	-0,08
250-300	99,4	99,53	-0,17
224-250	98,5	97,93	0,52
200-224	96,4	93,61	2,78

#### 4.2.2 Ergebnisse Fettabscheidung

Das Abwasser, bzw. in der Versuchsanlage das Brauchwasser, strömt über den Sperrwänden entlang zur Tauchwand, dort schräg nach unten unter der Tauchwand hindurch und von dort schräg nach oben über das Ablaufwehr in den Auslaufkanal. Diese Strömung bewirkt anscheinend eine verstärkte Turbulenzbildung. Es hat sich gezeigt, dass an der längs angeströmten Tauchwand regelmäßig in den Ecken aber auch unregelmäßig über die gesamte Tauchwandbreite Wirbel entstehen, mit einer Ausdehnung bis unter die Tauchwand. Die Kunststoffgranulate wurden der Anlage zugegeben und deren Durchströmung gefilmt und fotografiert. In Abbildung 11 sind links die Granulate an der Tauchwand und rechts ein Wirbel innerhalb des rot markierten Bereichs zu sehen, der die Granulate unter der Tauchwand durchzieht. Es ist davon auszugehen, dass dies ein allgemeingültiges Phänomen darstellt und nicht auf den unbelüfteten Langsandfang beschränkt bleibt. Im modularen Trockenwettersandfang trat dieses Phänomen so nicht auf. Es wird vermutet, dass dies an der Art der Anströmung liegt. Im modularen Sandfang strömt ein Großteil des Abwassers über mehrere Meter unterhalb der Unterkante der Tauchwand entlang, während in der Kompa-LW die Strömung systembedingt erst nach unten, dann nach oben, also U-förmig umgelenkt wird.

Es wurden mehrere Anpassungen vorgenommen, um diesen Einfluss zumindest zu reduzieren. Die nachfolgenden 3 Sandabscheideversuche (Tabelle 7 bis Tabelle 9) wurden mit diesen Umbauten vorgenommen und auch nachsimuliert. Die Abweichungen liegen, wie auch bei den vorherigen Versuchen fast immer unter 1 %. Abbildung 12 zeigt die umgebaute Anlage. Somit lassen sich Bau- und Durchflussvarianten mit einer Genauigkeit von ca.  $\pm 2$  % mit Hilfe von CFD-Simulationen dimensionieren.

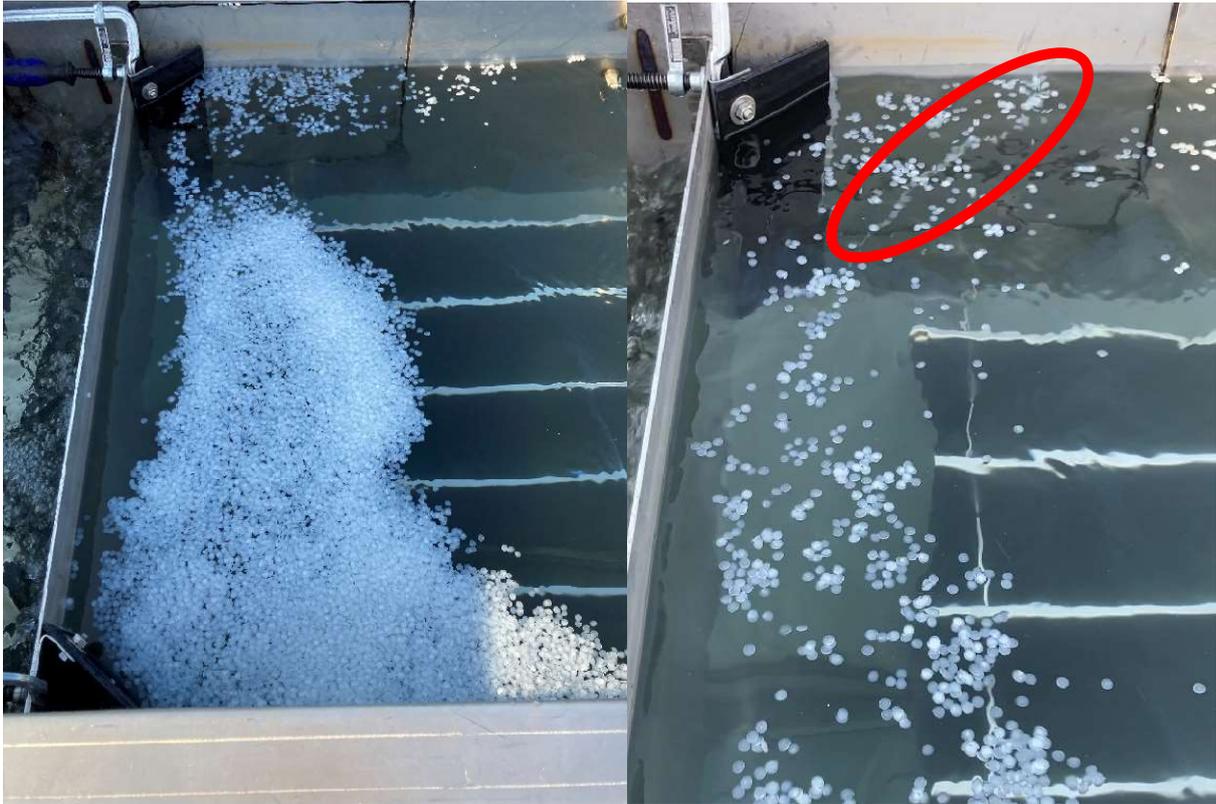


Abbildung 11: „Fett“-Granulat an der Tauchwand (links) und Wirbel in der Ecke, der Granulat nach unten zieht (rechts)

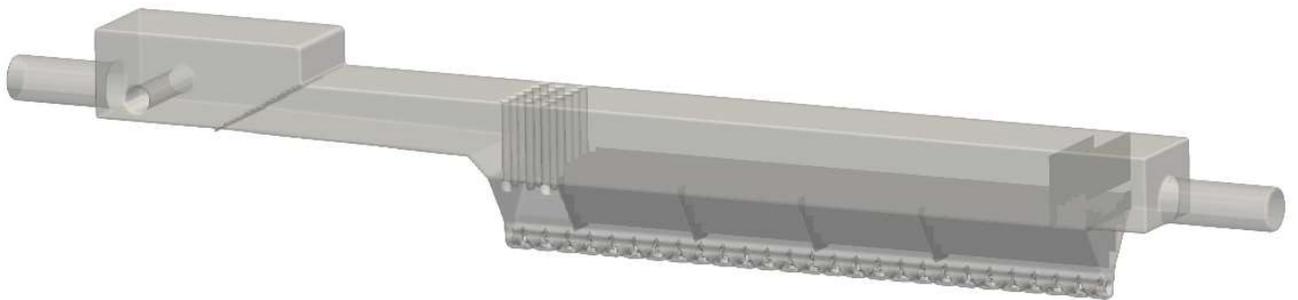


Abbildung 12: Umgebaute Sandfanganlage

Tabelle 7: Versuch Nr. 10; Durchfluss: 60 L/s

Maschenweite Partikelgröße: 1. Wert	Abscheidegrad Messung	Abscheidegrad Simulation	Abweichung Mes- sung - Simulation
µm	%	%	%
400-500	99,9	100,00	-0,12
300-400	99,8	99,85	-0,01
250-300	99,2	98,65	0,59
224-250	97,7	95,50	2,22
200-224	91,8	91,44	0,40

**Tabelle 8: Versuch Nr. 11; Durchfluss: 3,7 L/s**

Maschenweite Partikelgröße: 1. Wert	Abscheidegrad Messung	Abscheidegrad Simulation	Abweichung Mes- sung - Simulation
µm	%	%	%
400-500	99,3	100,00	-0,04
300-400	100,0	100,00	-0,02
250-300	100,0	100,00	-0,05
224-250	100,0	100,00	-0,11
200-224	99,9	100,00	-0,37

**Tabelle 9: Versuch Nr. 12; Durchfluss: 30 L/s**

Maschenweite Partikelgröße: 1. Wert	Abscheidegrad Messung	Abscheidegrad Simulation	Abweichung Mes- sung - Simulation
µm	%	%	%
400-500	99,99	100,00	-0,01
300-400	99,99	100,00	-0,01
250-300	99,97	100,00	-0,03
224-250	99,92	99,81	0,11
200-224	99,67	98,98	0,69

#### 4.2.3 Anlagendimensionierung mit CFD-Modellen

Auf Grundlage der umgebauten Versuchsanlage wurden folgende CFD-Simulationen mit der Anlage aus Abbildung 12 durchgeführt:

- Sandfanglänge: 5,0 m, 4,0 m oder 3,0 m
- Durchfluss 15, 30, 60 oder 100 L/s
- Insgesamt 11 Varianten

Mit Hilfe dieser 11 Varianten können Tabellen und Diagramme für die Dimensionierung der LW-Kompa erstellt werden. Da die Partikelabscheideleistung pro Partikelgröße aus den Simulationen bekannt ist, kann für eine bestimmte Sandzusammensetzung und eine bestimmte Konfiguration der Sandabscheidegrad für Einzelgrößen und für eine Trennkorngröße angegeben werden.

Aus schutzrechtlichen Gründen werden die Ergebnisse aus diesen Simulationen nicht im Bericht aufgeführt. Es kann nur genannt werden, dass die Sandabscheidung sehr gut funktioniert und die Trennkorngröße 200 µm mit einem typischen, feinen Prüfsand der DWA (Hirschbeck, 2015) bei einer Sandfanglänge von 5,0 m bei 60 L/s bei über 96 % und selbst für 100 L/s bei über 92 % liegt.

## **5 Verbreitung, Fortführung und Perspektiven**

### **5.1 Wissenschaftliche Weiterführung**

Es ist geplant Ergebnisse aus dem Projekt zeitnah nach Projektende in mindestens einer Fachzeitschrift zu veröffentlichen. Des Weiteren wurden die ersten Ergebnisse während der Projektlaufzeit auf der IFAT 2022 (30.05. bis 03.06.2022) auf dem Messestand von GWT präsentiert.

### **5.2 Inter- und transdisziplinäre Weiterführung des Projekts durch die Projektpartner**

Die wissenschaftlich transdisziplinäre Anschlussfähigkeit des Forschungsvorhabens wird als sehr hoch eingeschätzt. Herr Dr. Sonnenburg wird zum 01.04.2023 als Professor der Siedlungswasserwirtschaft an die Frankfurt University of Applied Sciences wechseln. Dort besteht ein Wasserlabor und mit Frau Prof. Dr. habil. A. Welker eine Expertin im Bereich Feststoffpartikel in der Niederschlagswasserbehandlung. Die Möglichkeiten dort weiter im Bereich Feststoffpartikel in Sandfängen zu forschen sind daher gegeben und verstärkt die dortige Expertise enorm.

Insbesondere eröffnet das Verfahren neue Perspektiven für Akteure der Siedlungswasserwirtschaft im Umgang mit der Sand- und Fettabcheidung. Deren Wissensbasis für die strategische und operative Planung zur Risikominimierung im Bereich des Betriebs und der Reduzierung von Betriebskosten von Abwasserreinigungsanlagen wird um wesentliche Erkenntnisse erweitert. Darüber hinaus kann das Verfahren als Argumentationswerkzeug für die Arbeit der Fachverbände dienen und auch in die Erstellung von Normen und Regelwerken einfließen. Sowohl das IWW als auch die Frankfurt uas können dabei den Transfer der Forschungsergebnisse in die Arbeitsgruppen der Fachverbände ermöglichen.

## 6 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.

DIN 19569, Teil 2 Besondere Baugrundsätze für Einrichtungen zum Abtrennen und Eindicken von Feststoffen, Dezember 2002.

DIN EN 12255, Teil 3 Kläranlagen: Abwasservorreinigung, März 2001.

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

Grimmel et al. (2021) 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, unveröffentlicht.

Fleckenstein, L. (2022) Prüfung eines werksmäßig hergestellten Sandfangs. Bachelorarbeit, unveröffentlicht. Frankfurt University of Applied Sciences

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

Hirschbeck, C., Güntert, F.W. (2015): Vorschlag für ein Prüfverfahren und Prüfsand zur Messung des Abscheidegrads von Sandfängen. Korrespondenz Abwasser Heft 7, 2015.

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

Sbiechni, G. (2005) Verhalten von Fetteinleitungen in den Anlagen der Abwasserableitung und –behandlung. Korrespondenz Abwasser, Abfall, Heft 4, 2005.

Sonnenburg, A., Mosbach, J., Eichhorn, C., Urban, W. (2022) SaBi-Tool: Neues Verfahren zur Bilanzierung der Sandfracht im Sandfang kommunaler Kläranlagen. gwf Wasser Abwasser, Vulkan Verlag GmbH.

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



**Quarzwerke**

Quarzwerke GmbH  
Hauptverwaltung | Head office

Karlshagenweg 40  
50225 Frechen  
fon: +49 (0) 22 34 151-0  
fax: +49 (0) 22 34 101-466  
sales@quarzwerte.com

Stoffdaten | Product data

**Quarzsand Frechen F 32**

**Silica Sand Frechen plant F 32**

Frechener Quarzsand F 32 ist ein aufbereitetes, in seinen chemischen und physikalischen Kennwerten standardisiertes Produkt. Es wird in der Gläßerei als Formgrundstoff, in der chemischen und Glasindustrie sowie von anderen Verbrauchern eingesetzt. Der Rohsand der Lagerstätte Frechen wird im Tagebau mit Schaufelradbaggern gewonnen. Die Aufbereitung umfasst die Entschlammung und Hydroklassierung des Quarzsandes. Die Frechener Quarzsandsorte F 32 zeichnet sich durch hohe chemische Reinheit aus. Ihr SiO<sub>2</sub> Gehalt liegt über 99 %. Die Quarzsandsorte ist burketeucht, getrocknet und gekühlt lieferbar.

The silica sand grade F 32 from Frechen plant is a processed product, which is standardised by its chemical and physical parameters. It is used as raw material by the glass- and chemical industry as well as by other consumers. Silica sand from the Frechen deposit is mined by bucket wheel excavators in an open pit. The processing includes washing, hydroclassification and drying. Silica sand from Frechen are mainly distinguished for their high refractoriness and chemical purity. The silica sand grade F 32 characterized by a high SiO<sub>2</sub> content greater 99 %. The silica sand grade can be supplied moist, dried and cooled.

Typische Korngrößenverteilung | Typical grain size

AFS	AFS		50
mittlere Korngröße	Average grain size	mm	0,24
Theor. spez. Oberfläche	Theoretical spec. surface area	cm <sup>2</sup> /g	102
Kornklasse   Grain size mm		Rückstand in Gew.-%   Residue in weight-%	
	>0,355		5
	0,250 - 0,355		29
	0,180 - 0,250		49
	0,125 - 0,180		16
	<0,125		2

Siebanalysen erfolgen mit "Vibrationsiebmaschine EML 200 digital plus der Fa. Haver & Boecker" (Siebdauer: 5 Min, Amplitude 0,3 mm). Berechnungsgrundlage der Kennwerte (AFS, Oth, mK) ist das VDG-Merkblatt P27.

The grain size distribution is analysed with "Test sieve shaker EML 200 digital plus" of Haver & Boecker (Sieving time: 5 min, sieving amplitude: 0,3 mm). The formulas for the AFS-, Oth (theoretical surface-area)-, mK (medium grain size)-values are given in the "VDG-Merkblatt P27".



Typische physikalische Eigenschaften | *Typical physical properties*

Dichte (DIN EN ISO 781-3)	Density	g/cm <sup>3</sup>	2,65
Mohs Härte	Mohs Hardness		7
Linearer Ausdehnungskoeffizient (DIN 51045)	Linear coefficient of thermal expansion	α 20-300°C	14 · 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
		α 20-600°C	24 · 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
Sinterbeginn	Start of sintering	°C	1.575
Umwandlungstemperatur β Quarz ↔ α Quarz	Transformation point (β Quarz ↔ α Quarz)	°C	573
Schüttwinkel für trockenen Quarzsand	Angle of repose of dried silica sand		α = 33°
Schüttgewicht	Bulk density	sm <sup>3</sup>	1,4

Typische chemische Analyse | *Typical chemical analysis*

			Gew.-%   weight-%
	SiO <sub>2</sub>		99,7
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0,03
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0,2
Glühverlust (DIN EN ISO 2163-1)	Loss on ignition	1.000°C	0,1

Allgemeine Informationen | *General information*

HS-Nummer	HS number	2505 1000
-----------	-----------	-----------

Der Frechener Quarzsand F 32 ist ein aufbereiteter natürlicher Rohstoff. Alle Daten und Richtwerte mit vorkommens- und produktionsbedingter Toleranz. Sie dienen nur zur Beschreibung und stellen keine zugesicherten Eigenschaften dar. Größere und feinere Anteile sind in Säuren möglich. Dem Benutzer obliegt es, die Tauglichkeit für seinen Verwendungszweck zu prüfen. Wir geben auf Wunsch gerne Auskunft über Toleranzbreiten und anwendungstechnische Erfahrungen. Verkäufe erfolgen gemäß unseren Verkaufs- und Lieferbedingungen.

Silica sand F 32 from Frechen is a prepared natural raw mineral. All data are approximate values with tolerances depending on occurrences and production. They only serve as description and do not represent any warranty concerning the existence of specific characteristics. Traces of coarser particles may be possible. It applies to the user to test the suitability for his purposes. If wanted, we are prepared to give further information on tolerances and on our experience in technical applications. Sales are subject to our sales and delivery conditions.