

Leistungssteigerung von Sandfängen

Alexander Sonnenburg¹, Julian Mosbach², Olaf Grimmel³, Wilhelm Urban²

¹ IWW Zentrum Wasser, Standort Rhein-Main, Justus-von-Liebig-Str. 10, D-64584 Biebesheim am Rhein

² Technische Universität Darmstadt, Institut IWAR, Fachgebiet Wasserversorgung und Grundwasserschutz, Franziska-Braun-Straße 7, 64287 Darmstadt

³ Werkstoff und Funktion Grimmel Wassertechnik GmbH, 61239 Ober-Mörlen

Abstract:

Der Bericht beinhaltet nach einer kurzen Einführung zu belüfteten und unbelüfteten Sandfängen Literaturdaten zur Bemessung und Leistungssteigerung von belüfteten Sandfängen sowie eigene Erfahrungen dazu. Anschließend wird auf zwei Neuentwicklungen im Bereich unbelüfteter Sandfänge eingegangen, die im Rahmen von Verbundforschungsprojekten zwischen dem mittelständischen Unternehmen W+F, der TU Darmstadt und dem IWW Zentrum Wasser entstanden sind.

Zur Untersuchung der Leistungsfähigkeit von Sandfängen ist es erforderlich den Sandabscheidegrad zu bestimmen. Dies erweist sich aufgrund des Absetzverhaltens der Sandpartikel als schwierig. Im Bericht wird eine neue Probenahmetechnik, als Teil eines Verfahrens zur Berechnung des Sandabscheidegrads von Sandfängen, vorgestellt, die am IWAR und IWW Zentrum Wasser entwickelt wurde. In allen beschriebenen Maßnahmen wurde das Prinzip der hybriden Modellierung umgesetzt, d.h. es wurden Experimente, numerische Simulationen (CFD) sowie Messungen an bestehenden Anlagen durchgeführt, um Erkenntnisse zu gewinnen und Verfahren zu entwickeln.

Key Words: Sandfang, Sandprobenahme, Sandabscheidegrad, CFD, Strömungsmessung

1 Warum sollten Sandfänge in ihrer Leistung gesteigert werden und was kann eigentlich gesteigert werden?

Die Bemessung von Sandfängen, z.B. für die in Deutschland am häufigsten anzutreffenden belüfteten Sandfänge, beruht auf Erfahrungswerten aus wissenschaftlichen Forschungsprojekten der letzten Jahrzehnte. Im Arbeitsbericht des DWA-Fachausschusses KA-5 „Absetzverfahren“ (DWA, 2008) sind die wesentlichen Bemessungskennwerte zusammengefasst aufgeführt. In diesen

werden weder Zulaufkonzentrationen noch die Korngrößenverteilung des Sandes berücksichtigt, sodass diese auch nicht in die Anlagenplanung eingehen. Literaturdaten (DWA, 2008) zeigen, dass die Wertbereiche für die Sandzulaufkonzentrationen bei Trockenwetter eine große Spanne von 10 bis 180 mg/l aufweisen. Ähnlich groß ist die Spreizung bei Regenwetter, nur mit grundsätzlich höheren Konzentrationen. Somit wäre es sinnvoll vor einer Neuplanung, Erweiterung oder Änderung einer Sandfanganlage die vor Ort vorhandenen Zulaufkonzentrationen zu erfassen. Dies gestaltet sich allerdings als schwierig, da es bisher keine allgemein anerkannten Probenahmeverfahren für Sandfänge gibt. Es gibt somit bei den empfohlenen Bemessungskennwerten einen Wertebereich, der an individuelle Gegebenheiten vor Ort anzupassen ist, ohne zu wissen welche Bedingungen vor Ort eigentlich vorliegen.

Die vorhandenen Empfehlungen zur Sandfangauslegung sind auf der einen Seite daher eine bewährte Planungshilfe, ohne die eine sinnvolle Bemessung überhaupt nicht möglich wäre. Auf der anderen Seite ist es mit den zur Verfügung stehenden Planungsmitteln nicht möglich den Sandfang für einen individuellen Fall auf einen Sandabscheidegrad exakt auszulegen. Somit kann es passieren, dass selbst bei neuen Sandfängen der Sandabscheidegrad zu niedrig ist und mehr Sand aus der Anlage in die nachfolgenden verfahrenstechnischen Stufen ausgetragen wird als geplant. Eine Leistungssteigerung bei einem Sandfang bedeutet daher als erstes eine Steigerung des Abscheidegrads des Sandes, bei gleichzeitig niedrigem Organikgehalt im Sandfanggut. Sand, der im Sandfang nicht abgeschieden wird, gelangt in die nachfolgenden verfahrenstechnischen Stufen und kann sich dort, z.B. im Belebungsbecken, im Nachklärbecken oder dem Faulturm ablagern und das zur Verfügung stehende Reaktionsvolumen verkleinern. Außerdem kann scharfkantiger Sand Pumpenlaufräder, Räumanlagen und andere Bauteile mechanisch angreifen oder zerstören. Eine Erhöhung des Sandabscheidegrads vermindert diese Risiken. Eine Leistungssteigerung kann auch unter dem Gesichtspunkt der Energieminimierung gesehen werden, z.B. bzgl. des Lufteintrags bei belüfteten Sandfängen. Diesbezüglich sind auch mögliche biologische Abbaureaktionen zu erwähnen, die bei niedriger Luftzufuhr reduziert werden könnten. Während bei den beiden letztgenannten Prozessen der einzustellende Parameter „Lufteintrag“ klar benannt ist, ist dies bei der Erhöhung des Abscheidegrads von Sand nicht eindeutig. Verschiedenste Parameter können den Prozess beeinflussen. Somit ist eine Leistungssteigerung schwierig zu planen.

Oft handelt es sich bei den mechanischen, schwerkraftbasierten Verfahrensstufen um kombinierte Sand- und Fettfänge. Der Fokus dieses Berichts liegt auf den Sandfängen, da die Beschreibung von Fettfängen den Rahmen sprengen würde. Ebenso ist den Autoren bewusst, dass zu einer vollständigen Beschreibung der

mechanischen Reinigung auf kommunalen Kläranlagen die Berücksichtigung der mittlerweile meist vorhandenen Sandwäscher gehört. Beide Themen, sowohl Fettfänge als auch Sandwäscher, werden zurzeit in dem Forschungsprojekt „SandLeit-Modul“ (gefördert aus Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt), bei dem ein unbelüfteter Sandfangtyp entwickelt wird, mit untersucht.

Der Bericht beinhaltet nach einer kurzen Einführung zu belüfteten und unbelüfteten Sandfängen eigene Erfahrungen mit belüfteten Sandfängen, die Beschreibung von Eigenentwicklungen im Bereich unbelüfteter Sandfänge sowie die Möglichkeit der Sandprobenahme in bestehenden Sandfängen, ebenfalls mit Hilfe einer Eigenentwicklung. In allen Maßnahmen wurde das Prinzip der hybriden Modellierung umgesetzt, d.h. es wurden Experimente, numerische Simulationen (CFD) sowie Messungen an bestehenden Anlagen durchgeführt, um Erkenntnisse zu gewinnen und Verfahren zu entwickeln.

2 Sandfangtypen

2.1 Schwerkraftbasierter Absetzvorgang partikulärer Stoffe

Die grundlegende Formel für den Absetzvorgang partikulärer Stoffe 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/s ²]
ρ_s :	Reindichte des Feststoffpartikels; mit $\rho_s \geq \rho$	[kg/m ³]
ρ :	Dichte der Flüssigkeit	[kg/m ³]
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 der Reindichte von Quarzsand (2.650 kg/m^3) angegeben, der Sand sinkt somit in Sandfängen zur Beckensohle ab. Die Reindichte organischer Partikel ist sehr unterschiedlich. Insbesondere wenn die Organik bereits als Flockenstruktur vorliegt ist es sehr schwierig eine Reindichte zu bestimmen. Es wird aber davon ausgegangen, dass die Dichte organischer Partikel größer ist, als die des sie umgebenden Abwassers. Die organischen Partikel bleiben daher entweder näherungsweise in Schwebelage oder sinken, wenn auch wesentlich langsamer als der Sand, zur Beckensohle ab. Die 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 Abwassers überschritten wird. Im Sandfang soll der Sand an der Beckensohle sedimentiert werden, die Organik jedoch nicht. Somit muss eine Mindestfließgeschwindigkeit erreicht werden, damit die Organik möglichst 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 stattfinden muss eine höhere Fließgeschwindigkeit eingehalten werden. Dementsprechend wird die Fließgeschwindigkeit des Abwassers im Sandfang durch eine Vergrößerung des Fließquerschnitts reduziert.

Die Strömung in Sandfängen muss zudem generell als turbulent angesehen werden. In turbulenten Strömungen treten Verwirbelungen des Wassers auf, die im Sandfang dazu führen, dass der Absetzvorgang der Sandpartikel eine Spreizung erfährt. In einem längsdurchströmten Rechteckkanal wird dies dazu führen, dass ein Teil der Sandpartikel schneller abgeschieden wird als bei laminarer Strömung. Ein bestimmter Anteil, je nach Turbulenzgrad der Strömung, wird dagegen langsamer abgeschieden.

Die zuvor beschriebenen Grundlagen gelten sowohl für unbelüftete als auch für belüftete Sandfänge. Diese beiden Typen werden nachfolgend genauer beschrieben. Nicht beschrieben werden Rundsandfänge, für die bei den Autoren keine Erfahrungen vorliegen.

2.2 Unbelüfteter Sandfang

Bei dem unbelüfteten Sandfang wird letztendlich die zuvor erwähnte Maßnahme der Vergrößerung des Fließquerschnitts umgesetzt. Bei unbelüfteten Sandfängen handelt es sich meist um einen langgestreckten Kanal, der mit dem Abwasser durchflossen wird. Die Fließrichtung verläuft längs des Kanals, die mittlere Fließgeschwindigkeit sollte zwischen 0,2 und 0,3 m/s liegen. Die Sandpartikel

setzen sich schwerkraftbasiert mit einer bestimmten Absetzgeschwindigkeit (nach Gleichung Kapitel 2.1) ab. Die Strömung ist hierbei turbulent. Die Strömungsturbulenz wird in der STOKES-Gleichung nicht berücksichtigt. In Hirschbeck (2010) werden Untersuchungen von Camp (1944) und Londong (1987) zum Einfluss der Strömungsturbulenz auf das Sandabscheideverfahren beschrieben. Bei den in Kapitel 3.2.1 aufgeführten eigenen Untersuchungen wurden für die Beschreibung des Sandabsetzvorgangs CFD-Modelle verwendet, die über ein Partikelmodell verfügen (Discrete Phase Model), das die Auswirkungen der Strömungsturbulenz auf die Sandabscheidung berücksichtigen kann.

Abbildung 1 zeigt den Absetzvorgang von Sandpartikeln in einem von links nach rechts durchströmten Kanal in der Seitenansicht. Die Sandpartikel sind als helle Punkte eingetragen und setzen sich ausgehend von der linken oberen Ecke in dem Strömungskanal ab. Die turbulente Strömung im Kanal führt zu einer Aufspreizung der Sandabscheidung (Abbildung 1, Bild oben, gestrichelte Linien), die zu einer sehr langen Fahne führen kann, wenn der oberste Partikel am Wasserspiegel mit dem längsten turbulenten Fließweg im Sandfang abgesetzt werden soll. Im mittleren Bild ist der idealisierte Zustand dargestellt, der eintreten würde, wenn die Strömung laminar wäre. Die Sandfanglänge würde sich stark verkürzen, alle Partikel würden sich an der gleichen Stelle an der Sohle absetzen. Wenn aus Platz- oder Kostengründen ein kurzer Sandfang von Vorteil ist, ist es erstrebenswert die Strömungsturbulenz im Sandfang zu reduzieren. Im unteren Bild von oben ist dies anhand der hellgrau gestrichelten Linien dargestellt. Das Maximum des Sandfanghaufens bleibt an gleicher Stelle wie in den beiden anderen Bildern aber die Länge der Fahne ist stark verkürzt.

Der Bereich der Mindest- und Maximalfließgeschwindigkeit wird über den Durchfluss und den näherungsweise rechteckigen Durchflussquerschnitt eingestellt. Dieser Sandfangtyp reagiert relativ empfindlich auf Durchflussschwankungen, die in der Kläranlage bedingt durch Trocken- und Regenwetter auftreten. Daher ist es sinnvoll den unbelüfteten Sandfang mehrstrahlig in unterschiedlichen Größen auszuführen oder es sind verfahrenstechnische Einbauten vorzusehen, die bis zu einem bestimmten Grad eine Anpassung der Fließgeschwindigkeit auf den Durchfluss erlauben (z.B. Querschnittsveränderung durch das Abschrägen der Seitenwände oder durch angepasste Wehrprofile). In kleineren Anlagen kann der Sand über Räumerschnecken an der Sohle abgezogen werden. Bei größeren Anlagen können, wie bei den belüfteten Sandfängen, Räumerschilde oder Saugräumer zum Einsatz kommen.

- Turbulente Strömung



- Laminare Strömung (bei $v_m = 0,25$ m/s eigentlich nicht möglich)



- Auswirkung einer Verkleinerung der Turbulenz



Abbildung 1: Beispiel Absetzvorgang für Sandpartikel bei einer mittleren Fließgeschwindigkeit von 0,25 m/s von links nach rechts (eigene Darstellung)

2.3 Belüfteter Sandfang

Bei dem belüfteten Sandfang wird quer zur Fließrichtung des Abwassers mit Hilfe einer Blasenbelüftung am Rand des Sandfangbeckens eine Strömungswalze erzeugt. Luftblasen steigen im Abwasser mit einer Geschwindigkeit von ca. 0,3 bis 0,5 m/s auf, reißen hierbei das Abwasser mit und erzeugen somit eine relativ gleichmäßige Mindestfließgeschwindigkeit des Abwassers im Sandfang, die bei ca. 0,2 bis 0,4 m/s liegt. Die Strömung ist hierbei turbulent. Häufig werden belüftete Sandfänge als kombinierte Sand- und Fettfänge ausgeführt (Abbildung 2). Der Fließquerschnitt wird hierbei so groß gewählt, dass die Fließgeschwindigkeit des Durchflusses so gering ist, dass dieser praktisch keinen Einfluss auf die Mindestfließgeschwindigkeit hat. Der Sand sammelt sich in der Sandsammelrinne an der Sohle und wird von dort entweder mit einem Räumschild in den Sandtrichter geschoben und von dort z.B. mit Hilfe einer Mammutpumpe abgesaugt. Alternativ wird der Sand direkt mit einer Pumpe aus der Sandsammelrinne abgesaugt. Bei kleineren Anlagen kann auch eine Räumschnecke zum Einsatz kommen. Der wesentliche Vorteil des belüfteten Sandfangs gegenüber dem unbelüfteten Typ ist somit die Unabhängigkeit gegenüber den Durchflussschwankungen. Dies bedingt natürlich entsprechend große Fließquerschnitte, damit die Unabhängigkeit vom Durchfluss gewährleistet ist. Grundsätzlich benötigt dieser Sandfangtyp darüber hinaus eine Belüftung.

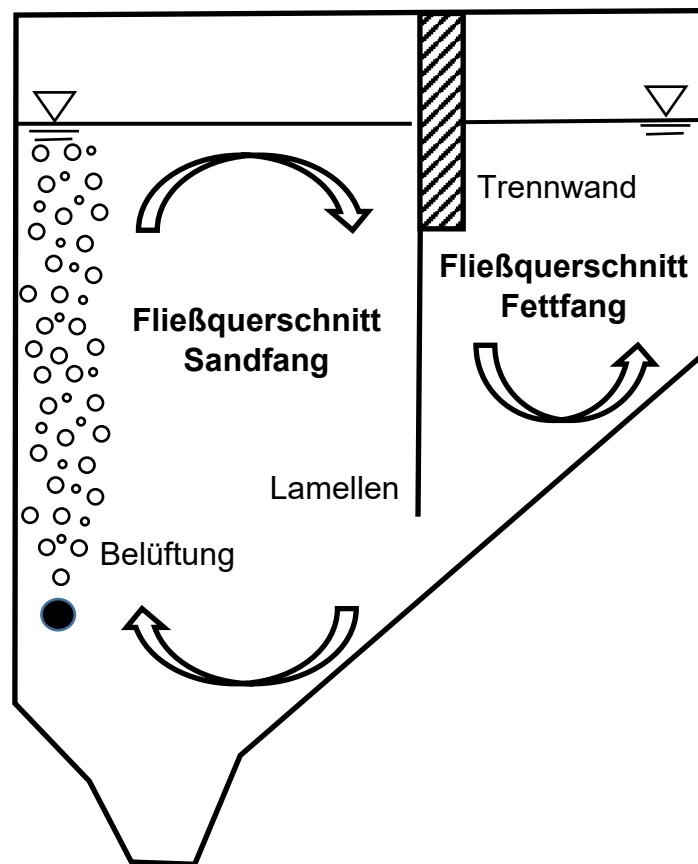


Abbildung 2: Querschnittsform für belüftete Sandfänge mit Fettfangkammer, in Anlehnung an DWA (2008)

3 Möglichkeiten der Leistungssteigerung

Nachfolgend werden Möglichkeiten der Leistungssteigerung in belüfteten Sandfängen beschrieben (Kapitel 3.1), die sowohl auf Literaturrecherchen als auch eigenen Erfahrungen beruhen. Bei unbelüfteten Sandfängen wird auf eine Verallgemeinerung verzichtet, da die Autoren nur über sehr wenige Daten verfügen. Stattdessen liegt der Fokus auf der Beschreibung der Eigenentwicklungen (Kapitel 3.2).

3.1 Belüftete Sandfänge

3.1.1 Einlaufsituation

Die Art und Weise der Ausgestaltung des Einlaufs von einem Zulaufkanal in ein Becken sollte eine besondere Berücksichtigung erfahren. Eigene Untersuchungen

zeigen, dass bei mechanischen Reinigungsstufen die Phasentrennung, z.B. von Sand und Abwasser, bereits im Zulaufkanal beginnt. D.h. der Sand setzt sich tendenziell an der Kanalsohle ab und wird bei ausreichenden Sohlgeschwindigkeiten nach dem Absetzvorgang an der Kanalsohle weiter transportiert. Somit muss die Zuführung des Abwassers und die Zuführung des Sandes in das Becken verfahrenstechnisch getrennt betrachtet werden.

Wird das Abwasser über einen Kanal dem Sandfang zugeführt, stellt sich die Frage, wie der Einlaufimpuls auf die Strömung im Becken wirkt. In den meisten Fällen ist die Querschnittsfläche des zuführenden Kanals wesentlich kleiner als die Querschnittsfläche des Sandfangs. Wird das Abwasser kopfseitig zugeführt, kann eine Strahlströmung entstehen, die sich erst nach einem von der Einlaufimpulsgröße abhängigen Zeitraum und einer entsprechenden Strömungstrecke in der Strömungswalze auflöst. Dies kann sich negativ auf die Sandabscheideleistung auswirken. Strömt das Abwasser dagegen im 90° -Winkel zum Sandfangquerschnitt in das Becken ein, kann die Strömung in die Walze eindrehen und unterstützt den Walzeneffekt (Boes, 1990). Es wird davon ausgegangen, dass sich dies positiv auf den Absetzvorgang auswirkt, wenn die eindrehende Fließgeschwindigkeit der Walzengeschwindigkeit angepasst ist.

Existiert ein mehrere Meter langer Zulaufkanal vor dem Sandfang, ist auch bei größeren Wassertiefen im Kanal mit einem nahezu vollständigen Absinken des Sandes zur Sohle zu rechnen. Somit kann die bereits erfolgte Phasentrennung für eine Verbesserung der Sandabscheidung genutzt werden, indem konstruktive Maßnahmen am Einlauf den Sand möglichst einer Wand zuleiten, die den Sand direkt in die Sandsammelrinne überführt. Hierzu gibt es im Prinzip sehr viele verschiedene Möglichkeiten, ein entsprechender Ansatz verfolgt der sogenannte Walzensandfang von Werkstoff und Funktion Grimmel Wassertechnik GmbH (W+F) der in einem F+E-Projekt untersucht und bei Sonnenburg und Theilen, 2009 beschrieben wird. Bei dem Walzensandfang wird der Abwasserstrom tangential in den zylindrischen Behälter eingeleitet und dadurch die Walzenwirkung der Belüftung unterstützt (Abbildung 3).

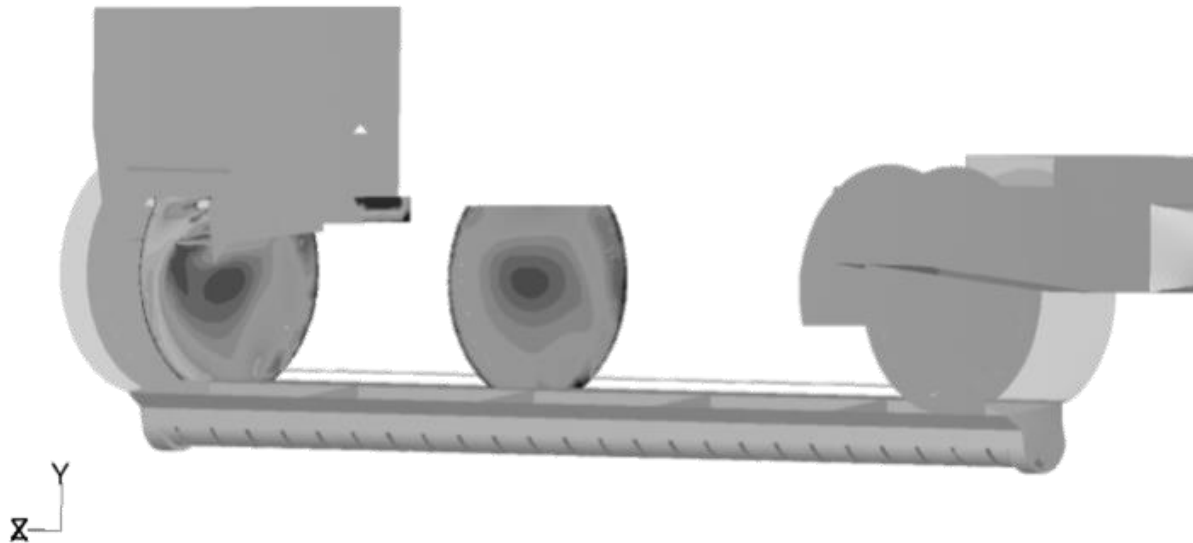


Abbildung 3: Walzensandfang mit Einlaufbereich links und Schnittflächen der Strömungsgeschwindigkeit, aus Sonnenburg und Theilen, 2009

In Sonnenburg und Urban (2016) wurden anhand eines CFD-Modells der Versuchsanlage von Kalbskopf (1966) verschiedene Sandzugabestellen untersucht. Der vorgenannte Effekt lässt sich mit Hilfe des Versuchs indirekt nachweisen. Im Versuch erfolgt die Sandzugabe punktuell, es liegt praktisch eine Phasentrennung vor, wie sie für die Zuführung über den Zulaufkanal angenommen wird. Bei der numerischen Simulation mit CFD zeigte sich, dass die Zugabestelle einen erheblichen Einfluss auf den Sandabscheidegrad hat. Eine punktuelle oder sohlnahe, phasentrennte Einleitung kann sich sowohl positiv als auch negativ auf den Abscheidegrad auswirken. Die günstigste Zugabestelle stellt demnach die wasserspiegelnahe Zugabe dar.

In der Simulation ist ersichtlich, dass die wasserspiegelnahe Zuführung des Sandes dazu führt, dass die Sandpartikel nach der Zugabe sehr schnell sehr nahe an die der Belüftung gegenüberliegenden Wand gelangen. Berühren die Partikel die Wand, verlieren sie einen erheblichen Teil ihrer Bewegungsenergie und rutschen entlang der Wand in die Sandsammelrinne ab.

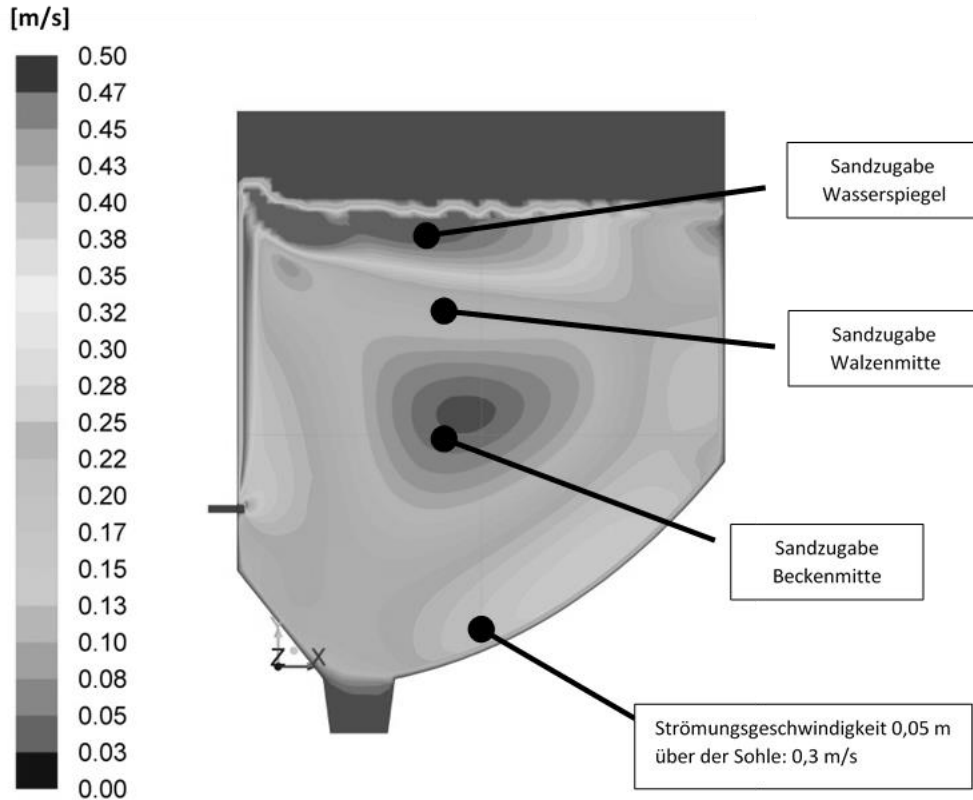


Abbildung 4: CFD-Modell der Versuchsanlage nach Kalbskopf (1966), Darstellung der Strömungsgeschwindigkeit in (m/s), aus Sonnenburg und Urban, 2016

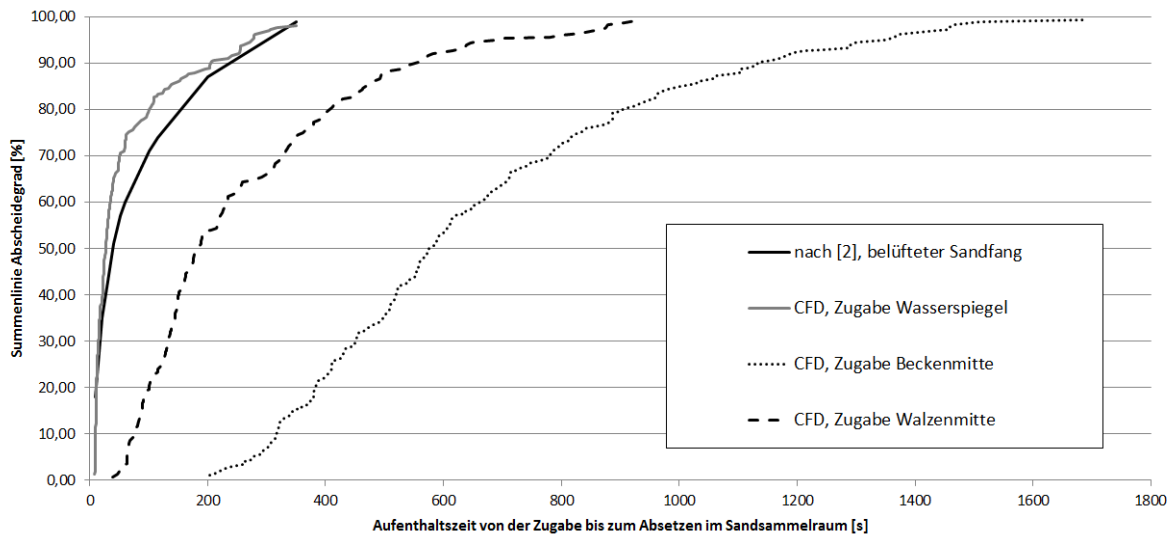


Abbildung 5: Ergebnisse der Partikelabscheidung im CFD-Modell, aus Sonnenburg und Urban, 2016

Der steile Anstieg in der Variante „Wasserspiegel“ (Abbildung 5) scheint aus der wandnahen Zugabe der Sandpartikel zu resultieren, da diese Steigung bei der Sandzugabe in der Beckenmitte nicht vorhanden ist und in der Zwischen-Variante

„Walzenmitte“ wesentlich geringer als in der Ursprungsvariante ausfällt. Mit zunehmender Absetzzeit scheint der Einfluss des wandnahen Partikeltransports auf die Sandabscheidung abzunehmen. In der Variante „Beckenmitte“ ist deutlich der nichtlineare Verlauf zu erkennen, der sehr wahrscheinlich aus dem Einfluss der Strömungsturbulenz resultiert. In den beiden anderen Varianten ergibt sich der nichtlineare Verlauf aus der Überlagerung des wandnahen Einflusses im unteren Teil der Kurve und der Strömungsturbulenz im oberen Teil der Kurve.

Würde ein belüfteter Sandfang mit einem Einlauf konstruiert, der dem der „Zugabe Beckenmitte“ in Abbildung 4 entspricht, dann würde sich ein 90 %-iger Abscheidegrad der 200-250 μm -Partikel in ca. 1150 s (19 min) einstellen. Bei einer „Zugabe Wasserspiegel“ wäre dies in 200 s (3,3 min), also ca. einem Sechstel der Zeit, möglich.

3.1.2 Sandsammeltrichter am Einlauf

Wird ein Schildräumer an der Sohle in Zusammenhang mit einer Mammutpumpe eingesetzt, ist ein Sandsammeltrichter notwendig, der den nach vorne geschobenen Sand aufnimmt und gleichzeitig eine ausreichende Tiefe für das Mammutpumpenprinzip bereitstellt. Basiert das Räumprinzip des Sandfangs dagegen auf einer Saugräumung, die die Sandsammelrinne kontinuierlich frei saugt, ist kein Trichter notwendig.

Bei den in Kapitel 3.2.1 genannten Untersuchungen wurde mit Sandkonzentrationen gearbeitet, die so niedrig waren, dass die Sandkonzentration einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Strömung hat und somit der Sandabscheidegrad unabhängig von der Sandkonzentration ist. Nach Gesprächen mit Kläranlagenbetreibern sowie ersten eigenen Sandprobenahmen (Kapitel 4.2) wird von den Autoren davon ausgegangen, dass der Sand schubweise in Abhängigkeit des Durchflusses in die Kläranlage gelangt. Die ersten Auswertungen der Sandprobenahme zeigen tageszeitabhängige Veränderungen der Sandfrachten bei Trockenwetter, mit höheren Sandfrachten in den Morgenstunden, bei gleichzeitig größerem Durchfluss am Morgen. Messungen nach Regenereignissen zeigen, wie zu erwarten, höhere Sandfrachten direkt nach diesen Ereignissen.

Da der Sand sich nach derzeitigem Untersuchungsstand der Autoren wie ein Geschiebe auf der Kanalsohle entlang bewegt, kann es dort möglich sein, dass eine zu bestimmten Zeiten hohe Sandkonzentration Einfluss auf die Strömung und somit auf den Sandabscheideprozess hat. Ein hochkonzentriertes Geschiebe konnte messtechnisch noch nicht nachgewiesen werden. In CFD gibt es Modelle, die ein solches Geschiebe rechnen können. Allerdings ist die Genauigkeit durch z.T. fehlende Eingangsparameter beschränkt, rechenintensiv (und numerisch

empfindlich. Numerische Simulationen dieses Prozesses sind aber für die Zukunft angedacht. Daher bleibt es zurzeit eine Annahme, dass sich ein hochkonzentriertes Geschiebe direkt nach Eintritt in das Becken am Anfang des Sandfangs absetzen könnte. Dieser Prozess hat nichts mit dem zuvor beschriebenen Prozess in Kapitel 3.1.1 zu tun, der auch bei beliebig niedrigen Sandkonzentrationen stattfindet. Ist ein Trichter vorhanden, können entsprechend große Sandmengen über den Trichter aufgenommen werden. Ist dieser nicht vorhanden bzw. die Sandablagerungen extrem groß, sind eventuell die Räumzeiten anzupassen, damit hohe Sandablagerungen (bzw. das vermutete Geschiebe) an der Sohle nicht zu betrieblichen Problemen führen. Der Sandsammeltrichter wird somit bei Anlagen, die im Regenwetterfall einen großen Sandanfall haben, zurzeit als Vorteil angesehen. Bei niedrigen Zuflüssen (z.B. nachmittags oder nachts) kann es insbesondere bei Anlagen mit Trichter dazu kommen, dass sich verstärkt Organik absetzt, da im Trichterbereich meist keine Luftzufuhr erfolgt und keine ausreichende Fließgeschwindigkeit sohlnah vorhanden ist ($\geq 0,1$ m/s) um Organikablagerungen zu verhindern.

3.1.3 Querschnittsfläche

Bei Hirschbeck (2010) sind verschiedene Autoren benannt, die sich mit der Querschnittsfläche von belüfteten Sandfängen auseinandergesetzt haben. Auch ist dort der Vorschlag der DWA (2008) zur Querschnittsfläche aufgeführt und der Neigungswinkel der Sandfangsohle auf der der Belüftung gegenüberliegenden Seite angegeben. Die Sohlgeschwindigkeiten sollten so groß sein, dass die Organik weitertransportiert wird und so klein, dass sedimentierter Sand nicht wieder erodiert und erneut in die Strömungswalze gerät. Unter diesen Randbedingungen wäre es bei relativ niedrigen sohlnahen Fließgeschwindigkeiten möglich, dass der Sand sedimentiert und an Ort und Stelle liegen bleibt, wenn der Neigungswinkel der Sohle zu klein wäre. Sand besitzt, u.a. in Abhängigkeit der Rauheit der Partikel und der Kornzusammensetzung, einen Schüttwinkel von ca. 30° . Bei 35° bis 45° ist sichergestellt, dass der Sand auch dann in die Sandsammelrinne rutscht, wenn praktisch keine Fließgeschwindigkeit vorhanden ist.

Bei Hirschbeck (2010) finden sich weitere Informationen zur Querschnittsfläche, z.B. zum Höhen-/Breitenverhältnis des Sandfangteils sowie der Einblastiefe der Luft.

3.1.4 Luftmenge

Bei Hirschbeck (2010) sind die empfohlenen Lufteinträge in Abhängigkeit der Querschnittsfläche des Sandfangs dargestellt. Die Empfehlungen gehen auf verschiedene Autoren zurück. Boes (1990) hat darauf hingewiesen, dass die

Empfehlungen eine große Spreizung aufweisen und die daraus entstehenden Unsicherheiten in der Praxis aus einem Sicherheitsdenken heraus dazu führen, dass größere Gebläse angeschafft und eher mehr bzw. zu viel Luft eingetragen wird. Höhere Lufteinträge führen zu höheren Walzengeschwindigkeiten und in der Folge bei zu hohen sohnahen Fließgeschwindigkeiten zu niedrigeren Sandabscheideleistungen. Außerdem steigt der Energiebedarf. Der Fachartikel von Boes (1990) ist bereits 30 Jahre alt, aufgrund der Lebensdauer der Bauwerke und des oftmals gleichbleibenden Betriebs, sind die dortigen Erfahrungen für viele Anlagen sicher noch als aktuell anzusehen. Empfehlungen zu den Lufteinträgen werden z.B. bei Hirschbeck (2010) und Boes (1990) aufgezeigt. Hirschbeck (2010) empfiehlt aus energetischen Überlegungen eine niedrige Lufteintragsmenge von unter $0,5 \text{ Nm}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$.

Darüber hinaus erwähnt Hirschbeck (2010) eine Veröffentlichung von Seyfried (1994), die sehr niedrige Luftmengen empfiehlt, um einen vorzeitigen Abbau organischer Substanzen zu verhindern, die für die Denitrifikation und die biologische Phosphorumsetzung benötigt werden. Obenaus et al. (1998) führten Untersuchungen zum Einfluss der Belüftung auf die Auswirkungen in der belüfteten Reinigungsstufe durch. Sie empfehlen für Sandfänge mit einer Querschnittsfläche bis 8 m^2 einen Lufteintrag zwischen $0,3$ bis $0,5 \text{ Nm}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ und ab 8 m^2 zwischen $0,2$ bis $0,3 \text{ Nm}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ (aus Hirschbeck, 2010).

Zur Anpassung der Sohlgeschwindigkeit wird des Weiteren von verschiedenen Autoren (z.B. Boes, 1990) empfohlen die Abstände der Luftzufuhröffnungen zu variieren und am Einlauf mehr Öffnungen anzuordnen als am Ablauf. Da die Luftzufuhr anlagenspezifisch in Abhängigkeit der Querschnittsfläche zu einer Fließgeschwindigkeit an der Sohle führt, können hierbei keine allgemeinen Fließgeschwindigkeiten bestimmten Luftmengen zugeordnet werden.

Durch die Autoren wurden bereits mehrfach Strömungsmessungen (Messung der Fließgeschwindigkeit) durchgeführt, um Erkenntnisse über die Strömung in den Sandfängen und Vergleichsmesswerte für die CFD-Simulationen zu erhalten. Die Erkenntnisse haben gezeigt, dass es generell zu empfehlen ist, solche Messungen durchzuführen.

3.2 Unbelüftete Sandfänge

3.2.1 Eigene Ansätze

In den letzten Jahrzehnten ersetzte der belüftete Sandfang zunehmend den unbelüfteten Sandfang in Deutschland. Der Grund hierfür ist, zumindest aus Autorensicht, nicht ganz klar, da beide Sandfangtypen Vor- und Nachteile aufweisen.

Es wird empfohlen den unbelüfteten Sandfang bei Neuplanungen und Leistungssteigerungen von bestehenden Sandfängen mit zu untersuchen. Am Institut IWAR der TU Darmstadt wurden gemeinsam mit dem Unternehmen W+F und dem IWW Zentrum Wasser in den letzten Jahren zwei neue, unbelüftete Sandfangtypen entwickelt. Dies ist zum einen der Leitwandsandfang, der zurzeit in einem Forschungsprojekt („Sand-LeitModul“, gefördert aus Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt) in einer volltechnischen Pilotanlage untersucht wird, sowie zum anderen der Ultraflachsandfang (KMU-innovativ Verbundprojekt; gefördert aus Mitteln des BMBF).

3.2.2 Leitwandsandfang

Der Leitwandsandfang wurde auf Grundlage einer sogenannten hybriden Modellierung (Experimental (EFD) und Computational (CFD) Fluid Dynamics) entwickelt. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde 2019 eine volltechnische Anlage konzipiert, die derzeit auf einer kommunalen Kläranlage in Hessen (Heusenstamm) in Betrieb ist und wertvolle Erkenntnisse bzgl. weiterer Optimierungsmöglichkeiten liefert. Mit dieser Technik ist es möglich, dass auch feiner Sand (Quarzsand bis Siebkorngröße 100 μm) in hohen Anteilen abgeschieden werden kann, was in belüfteten Sandfängen so praktisch technisch nicht möglich ist. Die modulare Bauweise des Systems soll den Einsatz des Systems als Kompaktanlage als auch als Nachrüstung in bestehende Sandfanganlagen ermöglichen.

Das Kernelement des Leitwandsandfangs ist ein unbelüfteter Langsandfang, in welchem strömungswirksame, modulare Bauteile (Elemente) integriert werden. Im Einlaufbereich werden zylindrische Körper zur Vergleichmäßigung der Strömung über die gesamte Beckenhöhe angeordnet, die zu einer kleineren mittleren Fließgeschwindigkeit führen. Dies bewirkt zudem in der Folge eine erste Verringerung der Strömungsturbulenzen im Zulauf. Auf der weiteren Fließstrecke werden Leitwandmodule bestehend aus parallelen, senkrechten Leitwänden zur weiteren Reduzierung der Strömungsturbulenzen und weiteren Vergleichmäßigung der Strömung über die Beckenbreite eingesetzt. Der abgeschiedene Sand wird mit Hilfe einer Förderschnecke entgegen der Fließrichtung in einen Pumpensumpf gefördert, von wo aus er mit einer Pumpe einem Sandwäscher zugeführt werden kann.

In Abbildung 6 wurde Abbildung 1 um weitere Bilder ergänzt (Benennung von oben nach unten mit 1 bis 5). Es ist ungünstig für den Abscheidegrad, wenn die Sohle des Zulaufs nah an der Wasseroberfläche des unbelüfteten Sandfangs anschließt. In diesem Fall besitzen alle Sandpartikel den längsten Absetzweg (Bilder 1 bis 3). Kann der Zulauf tiefer angeordnet werden oder ist es möglich mit

Vergleichmäßiger eine bessere Verteilung über den gesamten Sandfang zu erreichen (Bild 4 und Bild 5), dann ist der Absetzweg für den Großteil der Sandpartikel kleiner als bei einem wasserspiegelnahen Zulauf. Kann zusätzlich die Turbulenz reduziert werden, verkürzt sich die Fahne weiter (Bild 3). Der Leitwandsandfang kombiniert die technischen Maßnahmen optimal und somit kann der Sandfang erheblich verkürzt werden.

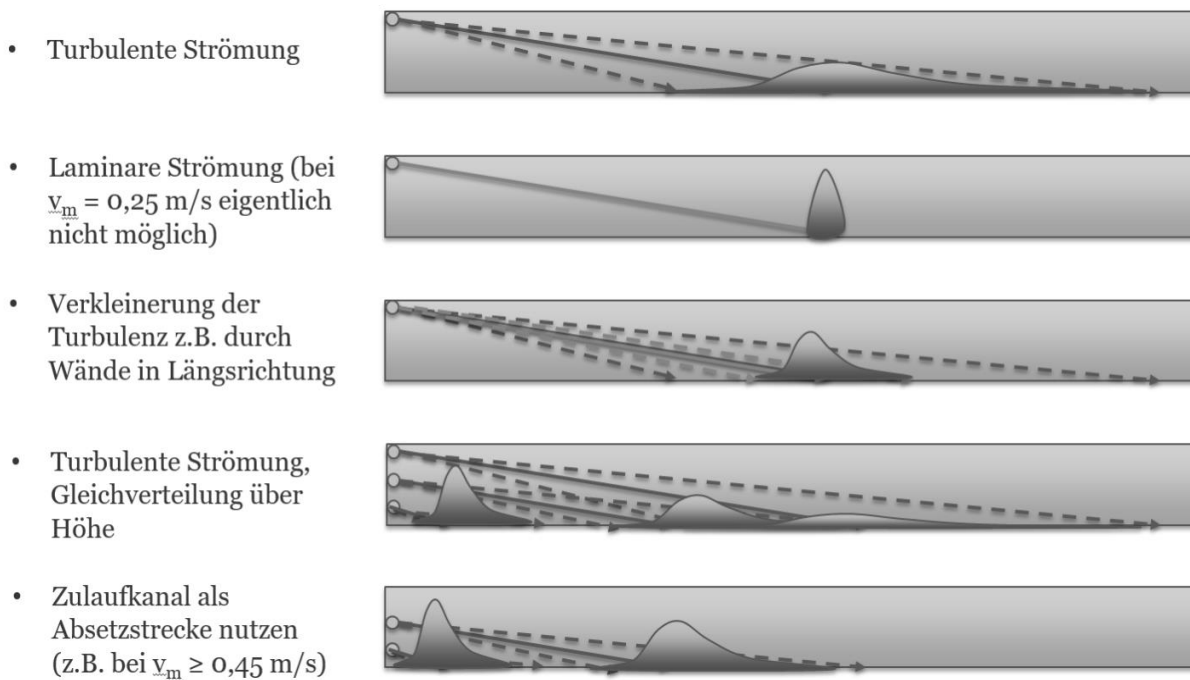


Abbildung 6: Prinzip der Absetzwirkung im Leitwandsandfang (eigene Darstellung)

Gegenüber normalen Plattenabscheidern mit einem Neigungswinkel gegenüber der Waagrechten, sind die Leitwände in Strömungsrichtung, im rechten Winkel zum waagrechten Wasserspiegel und somit ohne Neigungswinkel angeordnet. Somit sind Ablagerungen auf den Platten systembedingt minimiert. Während bei normalen Plattenabscheidern die Platten als Abscheidefläche genutzt werden, besitzen die Leitwände des Leitwandsandfangs andere Funktionen. Zum einen dienen sie der Reduzierung der Turbulenz der Fluidströmung, um somit die Sink- und Aufstiegsgeschwindigkeiten von Partikeln deutlich zu erhöhen. Zum anderen dienen die Leitwände den abzuscheidenden Partikeln als Prallfläche, an der die normal zur Wand wirkenden Partikelgeschwindigkeiten, insbesondere in der laminaren Grenzschicht, sehr klein werden, jedoch die Sink- und Aufstiegsgeschwindigkeiten der Partikel erhalten bleiben. Abbildung 7 zeigt die Pilotanlage mit Zu- (links) und Ablaufkanal (rechts). Im vorderen Teil der Anlage ist der Pumpensumpf zu erkennen, danach folgt der Sandfang, mit Vergleichmäßiger und Leitwänden.

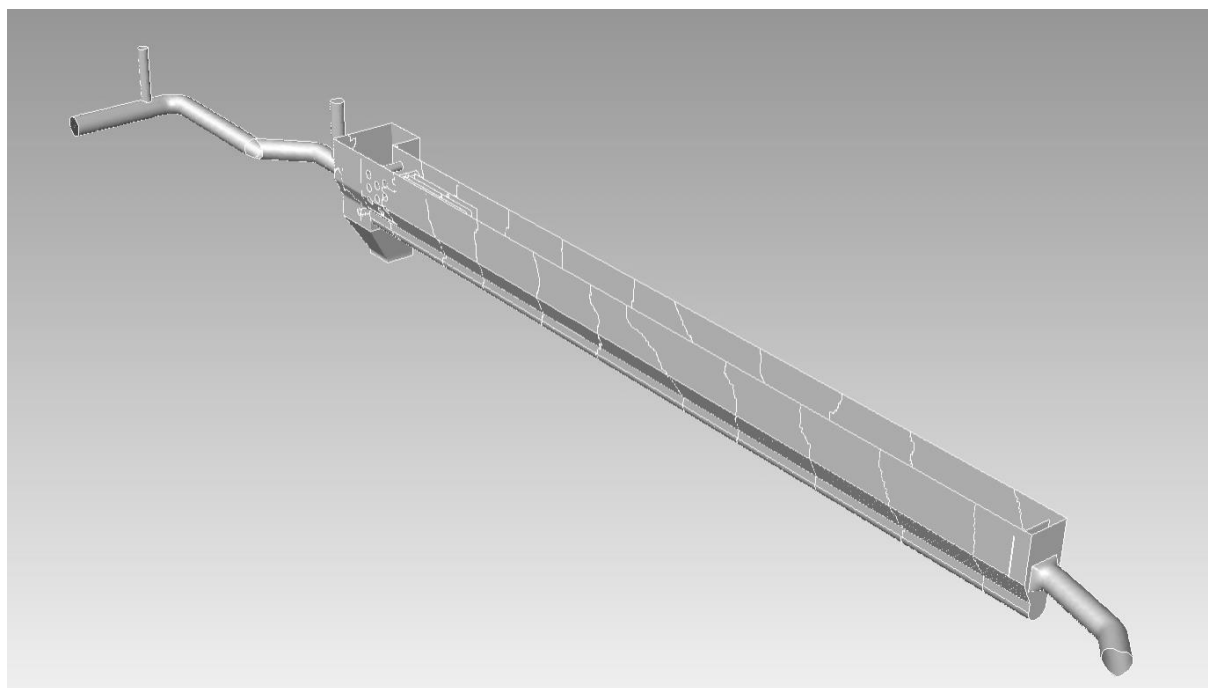


Abbildung 7: CFD-Geometrie der Pilotanlage des Leitwandsandfangs (eigene Darstellung)

Im Sommer 2019 wurden auf der volltechnischen Pilotanlage ca. 30 Sandabscheideversuche im Kreislaufbetrieb mit einer vollständigen Bilanzierung der Sandfracht durchgeführt. Die Pilotanlage wurde auf die weitergehende Abscheidung von Feinsanden bis zu einer Siebkorngröße von $100\ \mu\text{m}$ ausgelegt. Die Anlage wurde mit Trinkwasser betrieben, als Prüfsand wurde ein feuergetrockneter Quarzsand der Körnung 100 bis $400\ \mu\text{m}$ verwendet. Der Prüfsand liegt somit in den von der DWA (2008) vorgeschlagenen Grenzen und zwar an der Grenze mit dem sehr kleinen Maximaldurchmesser von $400\ \mu\text{m}$. Bei Durchflüssen zwischen ca. 20 und $40\ \text{l/s}$ wurden bei Wassertemperaturen zwischen 15 und $20\ ^\circ\text{C}$ für den Kornbereich $\geq 100\ \mu\text{m}$ in allen Versuchen ein Sandabscheidegrad von $>95\ \%$ erreicht, für den Kornbereich $\geq 200\ \mu\text{m}$ wurde in allen Versuchen ein Sandabscheidegrad $>99,8\ \%$ erreicht. Es ist geplant in 2020 CFD-Simulationen der Pilotanlage mit Partikelmodellen für verschiedene Durchflüsse, Wasserstände und Wassertemperaturen durchzuführen, um weitere Erkenntnisse zu gewinnen. Außerdem werden in 2020 über das ganze Jahr Sandproben mit dem in 4.2 beschriebenen Probenahmesystem genommen.

3.2.3 Ultraflachsandfang

Der Ultraflachsandfang (UFS) stellt eine komplette Sandabscheideanlage im realen Maßstab mit integriertem Rechen, Bandräumer und Förderschnecke dar. Durch die Bauweise als Kompaktanlage und deren geringen Platzbedarf von ca.

3-5 m² eignet sich der UFS für den Einsatz auf kommunalen Kläranlagen im Bestand, als ergänzende Maßnahme zu bereits bestehenden Sandfängen oder als vorübergehende Lösung während bspw. Instandsetzungsarbeiten. Die Funktionsweise des UFS beruht auf einem anderen Wirkprinzip als die Mehrzahl der derzeit auf dem Markt befindlichen Sandfanganlagen. Anstelle der (Ab-)Sinkdauer eines Partikels stehen beim UFS die physikalischen Prinzipien der Erosion und Sedimentation im Vordergrund. In Sandfängen besitzen Sandpartikel mit kleinen Durchmessern und Organikpartikel ab einer bestimmten Größe ähnliche Absetzgeschwindigkeiten. Es kann nicht verhindert werden, dass sich mit dem Sand auch gleichzeitig Organik absetzt. Dies passiert auch beim UFS. Der UFS macht sich allerdings den Umstand zunutze, dass Sand- und Organikpartikel bei unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten in Bewegung geraten und zwar Organikpartikel bei wesentlich geringeren Werten (ca. 5-10 cm/s) als Sand in den maßgeblichen Korngrößen (ca. 20-25 cm/s). Die Bewegung erfolgt bei den Partikeln schiebend, rollend oder hüpfend. Hierbei ragen außerdem bei gleicher Absetzgeschwindigkeit die Organikpartikel aus der ca. 1 bis 2 mm dünnen, sogenannten laminaren Unterschicht an der Sohle heraus, während die Sandpartikel, wenn sie direkt auf der Sohle liegen, mit ca. 0,1 bis 1,0 mm Durchmesser in dieser gänzlich eingebunden sind. Die Annahme ist, dass dies dazu führt, dass die Sandpartikel nicht so leicht von Strömungsturbulenzen in eine hüpfende Bewegung übergehen und auch nicht weggerissen werden können. Da nur die hydrodynamischen Effekte auf der Sohle und nicht die Absetzzeit entscheidend für die Abscheidung sind, beträgt die Aufenthaltszeit im UFS nur wenige Sekunden (<10 Sekunden).

Die theoretischen Grundlagen wurden mit Hilfe einer hybriden Modellierung (Abgleich der Ergebnisse von CFD-Modellvarianten mit denen einer realen Laboranlage) im Rahmen von zahlreichen Dosier- und Durchflussversuchen verifiziert. Hierbei wurden die Auswirkungen u.a. der Gestaltung des Zulaufbereichs, verschiedener Fließhöhen und -geschwindigkeiten, Materialeigenschaften (Korngrößen und -formen) und Zugabekonzentrationen auf das Absetzverhalten von Sand- und Organikpartikel untersucht. Die Laboruntersuchungen zeigen, dass durch geeignete Wahl des Zulaufbereiches sowie eine geringe Fließhöhe (daher der Name Ultraflachsandfang) relativ konstante Strömungsverhältnisse und somit weitestgehend einheitliche Fließgeschwindigkeiten über den Querschnitt erreicht werden können. Hierbei wurden im Anschluss an die Laborversuche Versuche an einer volltechnischen Pilotanlage an zwei Kläranlagenstandorten durchgeführt, die wiederum von CFD-Simulationen flankiert wurden. In Abbildung 8 ist die Pilotanlage des UFS auf einer Stadtteil-Kläranlage von Wölfersheim / Hessen zu sehen.



Abbildung 8: Pilotanlage des UFS am Standort in Wölfersheim (Foto: Sonnenburg)

Der in Wölfersheim verwendete UFS besteht aus einem vorgeschalteten Rechen, der einen wesentlichen Teil des Aufbaus ausmacht, sowie dem eigentlichen UFS, der für einen Durchfluss von 20 l/s in der Größe einem Tischfußball-Gerät ähnelt. Das Abwasser gelangt durch den Rechen auf die UFS-Platte, auf der sich der Sand absetzt. Der darin abgesetzte Sand wird entweder durch die eigene Rollbewegung oder mittels Bandräumer in Fließrichtung geräumt. Der abgeschiedene Sand gelangt über einen Schneckenförderer, in welchem eine Entwässerung des Sandgutes erfolgt, in einen Container und kann entsorgt werden. Das vom Sand getrennte Abwasser fließt über ein höhenverstellbares Ablaufwehr. Das Wehr ist stufenlos regelbar und bestimmt somit die Einstauhöhe und damit die mittlere Fließgeschwindigkeit im UFS.

Die Versuchsergebnisse in Wölfersheim zeigen, dass bei dem Bemessungsdurchfluss (20 l/s) sehr hohe Abscheidegrade ab der Siebkorngröße 100 μm >95% mit realem Abwasser und dem gleichen Prüfsand wie im Leitwandsandfang (Korngrößen zwischen 100 und 400 μm , Reindichte ca. 2650 kg/m^3) erreicht werden. Der TS-Gehalt der Organik im Sandfanggut lag bei dem Bemessungsdurchfluss bei ca. 3 %.

4 Prüfung der Leistungsfähigkeit von Sandfängen

4.1 Bemessungsgröße Sandabscheidegrad

Die generelle Bemessungsgröße von Sandfängen bildet der prozentuale Abscheidegrad von Sand, d.h. die Differenz der Sandfracht zwischen Sandfangzulauf und -ablauf in Prozent. Die DIN 19569, Teil 2 (2002) empfiehlt für Sand (Reindichte 2.650 kg/m^3) für die Trennkorngrößen 0,16, 0,2, 0,25 oder 0,3 mm bei einer Wassertemperatur von $10 \text{ }^\circ\text{C}$ einen Abscheidegrad von 95 oder 99 %. In Deutschland wird häufig ein Sandabscheidegrad der Trennkorngröße $\geq 200 \text{ }\mu\text{m}$ von 95 % gefordert. Die Planungsvorgabe ist allerdings nicht einheitlich geregelt. So sind bei den Sanden sowohl prozentuale Abscheidegrade einer Korngröße (z.B. Korngröße $200 \text{ }\mu\text{m}$) als auch einer Trennkorngröße (Sandabscheidung von 95 % der Trennkorngröße $\geq 200 \text{ }\mu\text{m}$) als Vorgabe durchaus möglich. Bemessungstechnisch liegen die beiden Größen oft weit auseinander.

Wie eigene Untersuchungen (Sonnenburg und Urban, 2016) zeigen, ist es für Planer und Betreiber von kommunalen Abwasserreinigungsanlagen schwierig die Zu- und Ablaufkonzentrationen von Sanden mit den derzeit am Markt verfügbaren Probenahmetechniken in einem überschaubaren Rahmen zu bestimmen, um daraus entweder die Planungsgrundlagen zu ermitteln oder aber die geforderten Abscheidegrade zu überwachen. Die individuell angepasste verfahrenstechnische Lösung für einen Sandfang zu finden, gestaltet sich somit als besondere Herausforderung. Wenn diese Messung aber nicht durchgeführt werden kann, bleibt der Abscheidegrad als Planungsvorgabe ein theoretischer Wert.

Verschiedene Autoren (z.B. Hirschbeck, 2010, Branner und Roediger, 2018) schlagen die Durchführung einer Prüfung des Sandabscheidegrads mithilfe von Prüfsand vor. Im DWA (2008) wird für den Nachweis des Sandabscheidegrads mit Hilfe eines Prüfsands ein Korngrößenbereich vorgeschlagen.

Die Autoren verwenden für die Planung und die Prüfung der Leistung neuer und bestehender Sandfanganlagen die numerische Simulation mit CFD (Computational Fluid Dynamics) als Hilfsmittel. Mit CFD können Sandpartikelabscheidegrade für bestimmte Korngrößen in der bestehenden Anlage und in Varianten über die Sandpartikelbestimmung im Zu- und Ablauf berechnet werden. Hierfür minimiert sich der Aufwand, da keine Messungen vor Ort notwendig sind.

Wie zuvor beschrieben, wurden für die Sandfrachtbilanzierung am Leitwandsandfang und am Ultraflachsandfang aber auch Versuche mit Prüfsand durchgeführt. Der verwendete Prüfsand entspricht den Anforderungen der DWA (2008). Dies ist für kleine Durchflüsse noch möglich, der Aufwand ist aber

erheblich. Versuche mit Prüfsand für den Bemessungsfall bei Regenwetter sind aufgrund des Aufwands nicht durchgeführt worden.

Aufgrund der Herausforderungen bei den Versuchen mit Prüfsand wurde am IWW und IWAR ein Verfahren zur Bilanzierung von Sandfrachten des im Abwasser bereits vorhandenen Sandes entwickelt, das nachfolgend beschrieben wird.

4.2 Eigenes Verfahren zur Berechnung der Sandfrachtbilanz

Vom IWW und IWAR wurde ein Verfahren zur Bilanzierung der Sandfracht in Sandfängen entwickelt. Das Verfahren basiert auf der Hybriden Modellierung. Diese Methodik wird vom Hauptautor bereits seit vielen Jahren verwendet. Hierbei werden Experimente, Messungen und Computersimulationen so miteinander verwoben, dass Methoden entstehen, die ohne derartige Verknüpfung überhaupt nicht oder nur mit erheblich größerem Aufwand möglich wären. Das Probenahmeverfahren für Sandfänge soll in Zukunft am IWAR und am IWW für die Berechnung des Sandabscheidegrads und damit der quantitativen Bilanzierung von Sandfängen genutzt werden.

Bei dem Verfahren handelt es sich um eine punktuelle Absaugung von Abwasser aus einem Kanal mit Hilfe eines Schlauchsystems und einer trocken aufgestellten Pumpe sowie eines für dieses Verfahren entwickelten Sandfangs. Im Sandfang wird der Sand aus dem Abwasser gesammelt, es wird kein zusätzlicher Sand zudosiert. Zum Verfahren gehören CFD-Simulationen des Bereichs vor und nach einer oder mehrerer Messebenen. Am IWW und IWAR gibt es mittlerweile 3 Probenahmesysteme, 2 davon sind baugleich. Somit können an einem Sandfang zeitgleich am Zu- und Ablauf Sandproben entnommen werden (Abbildung 9).

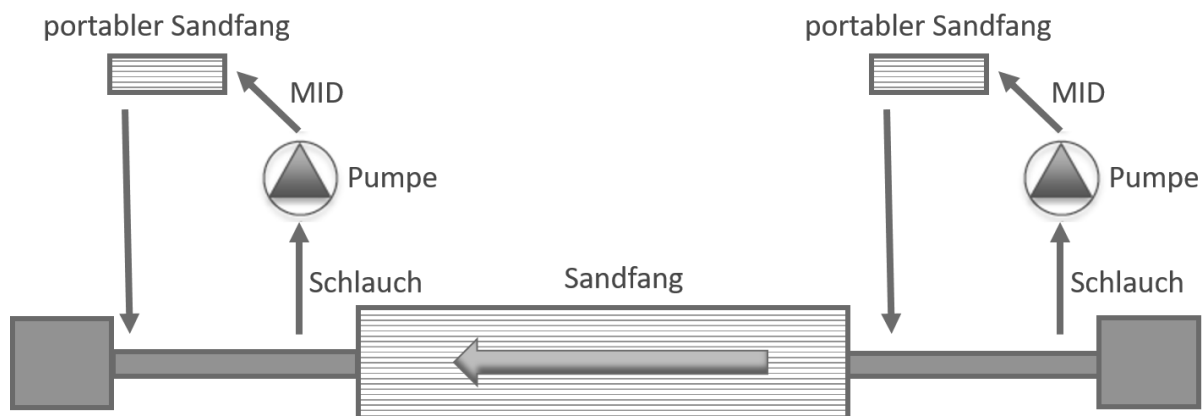


Abbildung 9: Schema des Versuchsablaufs zur Bilanzierung eines Sandfangs (eigene Darstellung)

Es wurden Kalibrierungen des Probenahmegeräts unter nachvollziehbaren Bedingungen für die Sandprobenahme an einem Messpunkt durchgeführt (noch unveröffentlicht). Auf Grundlage der Ergebnisse ist derzeit davon auszugehen, dass an einem Messpunkt unter Einhaltung geeigneter Messparameter (Absauggeschwindigkeit, Absaughöhe, Partikeldurchmesser, Fließgeschwindigkeit im Kanal) die abgesaugte Sandfracht zu 98 % der vorbeiströmenden Sandfracht entspricht. Da die abgesaugte Sandfracht hierbei immer kleiner ist als die reale Sandfracht, kann der Fehler durch die Multiplikation der gemessenen Sandfracht mit dem Faktor 1,02 minimiert werden. Bei der Umrechnung auf die gesamte Sandfracht an einer Messebene wird aus Ergebnissen vorangegangener Untersuchungen an Anlagen im volltechnischen und Labormaßstab zurzeit davon ausgegangen, dass ein Gesamtfehler von 20 % in der Berechnung der Gesamtsandfracht an einer Messebene entstehen kann. Da der Fehler im Wesentlichen auf physikalischen Prozessen basiert (z.B. Abweichung im Kornformfaktor oder in Strömungsturbulenzfaktoren) ist davon auszugehen, dass der Fehler in der zweiten Messebene ebenfalls auf diesen Faktoren beruht und die gleiche Fehlerrichtung aufweist. Das würde bedeuten, dass eine durch Differenzen bei den simulierten und realen physikalischen Prozessen um 20 % zu kleine Sandfracht im Zulauf auch im Ablauf eher zu einer um 20 % zu kleinen Sandfracht führt, der Gesamtfehler im Sandabscheidegrad sich somit verkleinert bzw. aufhebt. Würde man aber beispielsweise davon ausgehen, dass sich ein Fehler im Zu- und Ablauf jeweils in beide Richtungen entwickeln kann und der Gesamtfehler läge bei jeweils $\pm 10\%$ bei einer Sandfracht von 10 g/s im Zu- und 1 g/s im Ablauf, dann läge der berechnete Sandabscheidegrad bei 90 %, und der reale Sandabscheidegrad zwischen 87,8 und 91,8 %.

Aus den bisherigen Messungen lässt sich zum heutigen Stand ableiten, dass das Verfahren funktionsfähig ist und nachvollziehbare Ergebnisse bringt. Unter Laborbedingungen lassen sich prozentual genaue Ergebnisse reproduzierbar herstellen. In volltechnischen Anlagen kann das Verfahren für die Leistungssteigerung des Sandabscheidegrads von Sandfängen bereits eingesetzt werden.

5 Literatur

- Boes, M. (1990) Anordnung und Bemessung der Luftzufuhr von belüfteten Sandfängen. Korrespondenz Abwasser , 7, S. 785.
- Branner, W. und Roediger, M. (2018) Ein verifiziertes Prüfverfahren für Sandfänge. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall; 2018 (65) Nr. 7.
- Camp, T. R. (1944). Effect of Turbulence on Sedimentation (Discussion). American Society of Civil Engineers Transactions , Paper No. 2218, S. 660-667.

- Chebbo, G., Ashley, R., Gromaire, M.-C. (2002) The nature and pollutant role of solids at the water-sediment interface in combined sewer networks. Sewer Processes and networks, Paris.
- DWA-Arbeitsgruppe KA-5 „Absetzverfahren“ (2008) Sandfänge – Anforderungen, Systeme, Bemessung. Korrespondenz Abwasser Heft 5, 2008
- Hirschbeck, Christina. (2010) Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit von belüfteten Sandfängen auf Kläranlagen. Mitteilungen / Universität der Bundeswehr, München, Institut für Wasserwesen 104. Aachen: Shaker.
- Kalbskopf, K. H. (1966). Über den Absetzvorgang in Sandfängen. Veröffentlichungen des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der TH Hannover, 24 .
- Londong, J. (1987). Beitrag zur Bemessung belüfteter Sandfänge unter besonderer Berücksichtigung der gleichzeitigen Nutzung als Adsorptionsstufe. Gewässerschutz Wasser Abwasser, 94 . Aachen.
- Obenaus, F., Hinrichs, W., Scheer, C., Seyfried, C. F., & Rosenwinkel, K.-H. (1998). Bemessung von belüfteten Sandfängen unter Berücksichtigung des Einflusses auf die biologische Reinigungsstufe. Awt abwassertechnik, 2, S. 42-46.
- Seyfried, C. F. (1994). Rechen, Siebe und Sandfänge - Betriebserfahrungen und Entwicklungen. Schriftenreihe WAR der Technischen Hochschule Darmstadt, 36. Darmstädter Seminar: Betrieb von Abwasserbehandlungsanlagen, 75 , 189-223. Darmstadt.
- Sonnenburg, A. und Theilen, U. (2009) Sandabscheidungen in einer kompakten Walzensandfanganlage – Herleitung der physikalischen Wirkmechanismen mithilfe von CFD. KA Abwasser, Abfall 2009 (56), Nr. 12
- Sonnenburg, A. und Urban, W. (2016) Der Leitwandsandfang – Entwicklung eines neuen, unbelüfteten Sandfangs zur Erreichung hoher Abscheidegrade von Feinsanden. KA Abwasser, Abfall 2016 (63), Nr. 5

Korrespondenz an:

Dr. Alexander Sonnenburg

IWW Zentrum Wasser
Regionalstandort Rhein-Main

Justus-von-Liebig-Str. 10
D-64584 Biebesheim am Rhein

Tel.: +49 208 40303-615

Mail: a.sonnenburg@iww-online.de