
Untersuchungs- und Entwicklungsvorhaben im Auftrag des Ministerium für
Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes
Nordrhein-Westfalen

Optimierung der Leistungsfähigkeit von Regenüberlaufbecken mittels Schrägklärertechnologie

Kurzbericht

28. April 2015



Dipl.-Geoökol. M. Kemper¹⁾, Dr.-Ing. S. Fuchs¹⁾, Dipl.-Ing. Dipl.-Verwaltungsw. N. Vosswinkel
M. Eng., Prof. Dr.-Ing. M. Uhl²⁾, Prof. Dr.-Ing. R. Mohn²⁾, ²⁾, Dr.-Ing. G. Weiß³⁾

1) Karlsruhe Institut für Technologie, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG) Bereich
Siedlungswasserwirtschaft und Wassergütwirtschaft (SWW)

2) Fachhochschule Münster, Institut für Wasser · Ressourcen · Umwelt (IWARU)

3) UFT Umwelt und Fluid-Technik Dr. H. Brombach GmbH

Untersuchungs- und Entwicklungsvorhaben im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen mit dem Titel „Überwachung und Optimierung der Leistungsfähigkeit von Mischwasserbehandlungsanlagen“

Laufzeit: 10/2012 – 06/2014

Im Rahmen des Vorhabens sind zwei Abschlussberichte sowie jeweils eine Kurzfassung entstanden.

Der erste Bericht trägt den Titel: **„Ermittlung der Leistungsfähigkeit von Regenüberlaufbecken und Überwachung durch Online-Messtechnik“**.

Beteiligte Institutionen:

- Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Bereich Siedlungswasserwirtschaft und Wassergütewirtschaft
- Fachhochschule Münster, Institut für Wasser · Ressourcen · Umwelt (IWARU)
- Dahlem Beratende Ingenieure GmbH & Co. Wasserwirtschaft KG
- Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH

Der zweite Abschlussberichtes trägt den Titel: **„Optimierung der Leistungsfähigkeit von Regenüberlaufbecken mittels Schrägklärertechnologie“**. Hierzu liegt die Kurzfassung vor.

Beteiligte Institutionen:

- Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Bereich Siedlungswasserwirtschaft und Wassergütewirtschaft
- Fachhochschule Münster, Institut für Wasser · Ressourcen · Umwelt (IWARU)
- UFT Umwelt und Fluid-Technik Dr. H. Brombach GmbH

Inhalt

1	EINLEITUNG	- 1 -
2	REGENWASSERBEHANDLUNG MIT SCHRÄGKLÄRERN	- 2 -
2.1	Halbtechnische Versuche	- 2 -
2.2	Großtechnische Versuche	- 2 -
2.3	Numerische Untersuchungen	- 4 -
2.4	Empfehlungen zur Konzeption und Betriebsweise	- 6 -
3	WIRKSAMKEIT VON REGENBECKEN MIT SCHRÄGKLÄRERN.....	- 8 -
3.1	Ermittlung der Wirksamkeit durch Feldversuche	- 8 -
3.2	Berechnung der Wirksamkeit durch numerische Modellierung.....	- 9 -
4	LITERATURVERZEICHNIS.....	- 11 -

1 Einleitung

Der vorliegende zweite Teil des Forschungsprojektes widmet sich der Möglichkeiten zur Steigerung der Sedimentationsleistung von Regenbecken. Im Hinblick auf eine Anwendbarkeit bei möglichst vielen bestehenden und noch zu bauenden Becken ist hier insbesondere an den Einsatz von Schrägklärern gedacht, auch als Lamellenabscheider bezeichnet. Hierzu wurden halbtechnische und großtechnische Versuche sowie theoretische Untersuchungen (CFD-Modellierung) vorgenommen. Ziel des Vorhabens war es konstruktive Empfehlungen für Schrägklärer zu erarbeiten und Wirksamkeiten zu ermitteln, um die vorhandenen Bemessungsempfehlungen zu überprüfen.

Die Technologie dieser Abscheider kommt aus der industriellen Anwendung bzw. Produktaufbereitung. In der Industrie werden sie meist als Kompakt- oder Containeranlagen eingesetzt. Erste verfahrenstechnische Untersuchungen fanden Anfang der 70er Jahre statt (Beach, 1972; Willis, 1978, Delporte et al., 1995). Die Anwendung und Erfahrungen in der kommunalen Abwasserreinigung konzentrierten sich bisher auf den Einsatz in Belebungs- und Nachklärbecken (siehe Plass, 1998).

Schrägklärer werden in verschiedenen Varianten z.B. in der industriellen Wasseraufbereitung verwendet. Abbildung 1 zeigt drei Grundtypen, die sich in der Richtung der Durchströmung und des Abrutschens der abgeschiedenen Partikel unterscheiden (Abbildung 1).

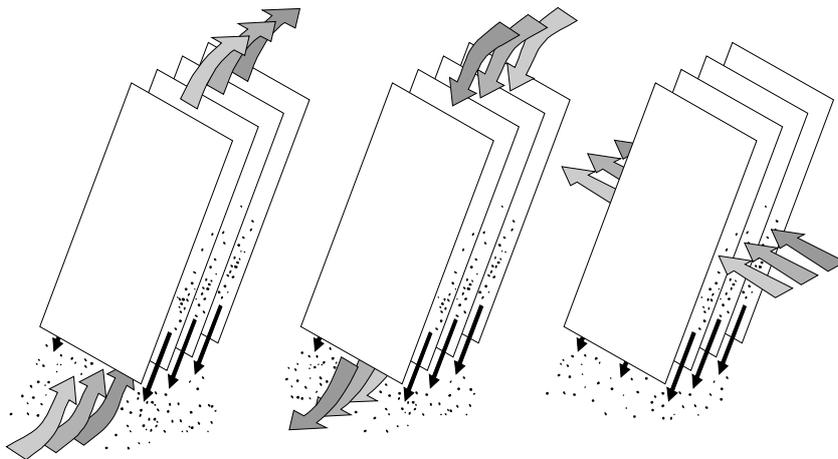


Abbildung 1: Schrägklärer im Gegenstrom-, Gleichstrom- und Kreuzstrom-Prinzip

Gegenstand der meisten Untersuchungen in der Siedlungswasserwirtschaft sind Gegenstromabscheider, bei denen die Platten- oder Wabenpakete aufwärts durchströmt werden und das Sediment entgegen der Strömung nach unten rutscht. Die in Regenbecken eingebauten Abscheiderelemente werden von Regen- bzw. Mischwasser in einer aufwärtsgerichteten Strömung durchströmt. Die mitgeführten Partikel sinken auf die geneigten Platten ab. Eine verbesserte Sedimentationsleistung ergibt sich dadurch, dass der Sedimentationsweg der Partikel auf den vertikalen Abstand der Platten verkürzt wird.

Für Regenwasserbehandlungsanlagen mit Schrägklärern liegen zum aktuellen Zeitpunkt noch wenige Erfahrungen vor. Bemessungsempfehlungen wurden innerhalb der Projektlaufzeit von Fuchs et al. 2012 publiziert. In ihrem Vorhaben wurden 3 Regenbecken mit Schrägklärern auf ihre Wirksamkeit untersucht. Aus den Ergebnissen wurden erste Bemessungsempfehlungen abgeleitet. Nach Fuchs et al. 2012 sind Regenbecken mit

Schrägklärern auf eine Oberflächenbeschickung von 4 m/h zu beschicken, um einen Feststoffrückhalt von 50 % zu erreichen.

In diesem Vorhaben wurden diese Bemessungsempfehlungen überprüft und Konstruktionsempfehlungen erarbeitet. Der Ablauf der systematischen Untersuchungen wird in Abbildung 2 dargestellt. Zu Beginn des Projektes wurden durch den Projektpartner UFT halbtechnische Modellversuche durchgeführt. Im Anschluss wurde eine großtechnische Pilotanlage konzipiert, an der Versuche mit realem Mischwasser durchgeführt wurden. Parallel führte die FH Münster numerische Strömungssimulationen durch.

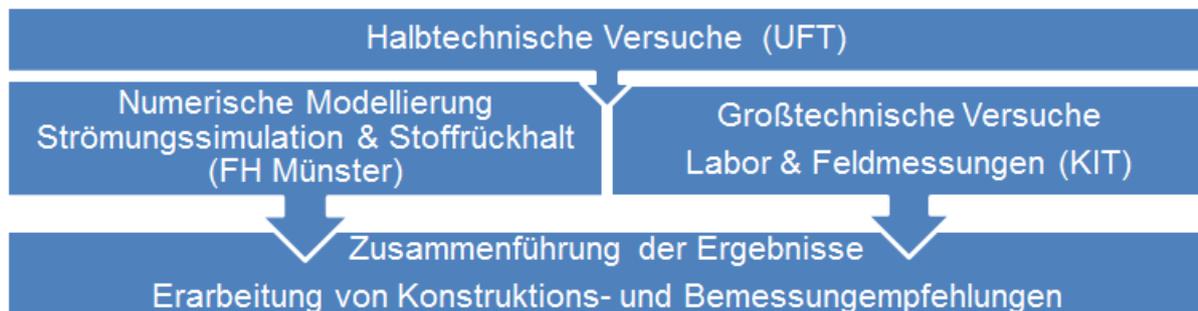


Abbildung 2: Strategie der Untersuchungen an der Pilotanlage

2 Regenwasserbehandlung mit Schrägklärern

2.1 Halbtechnische Versuche

Um einen ersten Eindruck von den in einem Gegenstrom-Schrägklärer auftretenden Prozesse zu erhalten, wurde im hydraulischen Labor des Projektpartners UFT ein physikalisches Modell erstellt. Dieser Versuchsstand erlaubte Untersuchungen mit variablem, aber während eines Versuchs konstantem Durchfluss an Original-Schrägklärerelementen. Als Sediment wurde Kunststoff-Modellsediment mit sehr eng gestufter, geringer Sinkgeschwindigkeit verwendet; zusätzlich wurde dem Wasser in einigen Versuchen Salz zur weiteren Verringerung der Sinkgeschwindigkeit zugegeben.

Die Versuche zeigten die erwartete Abhängigkeit des Abscheidewirkungsgrades von der Oberflächenbeschickung. Es wurde jedoch auch klar, dass das Abrutschen des Sediments von den Schrägen und das Wiedereinmischen in die von unten in die Schrägklärerpakete eintretende Strömung ein sehr wichtiger Effekt ist, der in den Modellversuchen nur einen vergleichsweise geringen Abscheidewirkungsgrad ergab. Die unter realen Bedingungen wichtigen Agglomerationsvorgänge konnten mit den eingesetzten Partikeln nicht nachgebildet werden.

2.2 Großtechnische Versuche

Für den Einsatz von Schrägklärern im Mischsystem liegen bisher nur wenige Praxiserfahrungen vor. Um bestehende Wissenslücken hinsichtlich Bemessung, konstruktiver Gestaltung, Betrieb und Sedimentationsleistung zu schließen, wurden großtechnische Versuche durchgeführt. Durch Untersuchungen an Großanlagen kann das nur unzureichend gelingen, daher wurde eine Pilotanlage in einem mobilen Container konzipiert (Abbildung 3).

Nach Anfertigung der Schrägklärer-Pilotanlage durch den Projektpartner UFT wurden zunächst hydraulische Untersuchungen mit Klarwasser durchgeführt, um die sehr wichtige Frage nach der Gleichmäßigkeit der Durchströmung zu beantworten. Aufgrund der guten Infrastruktur fand dies auf dem Gelände der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) in Karlsruhe statt.

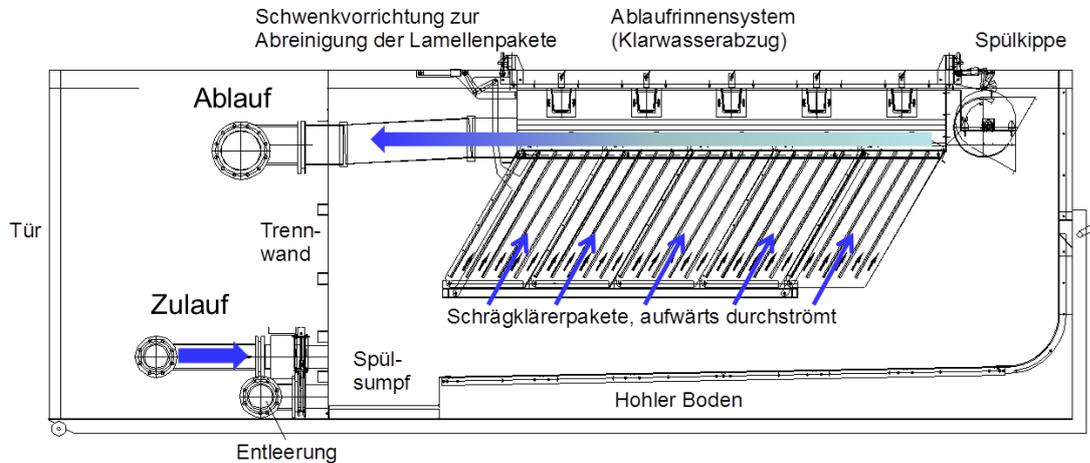


Abbildung 3: Querschnitt der Pilotanlage (Quelle: UFT 2012)

Die hydraulischen Untersuchungen an der Pilotanlage durch das KIT konzentrierten sich darauf, das Durchströmungsverhalten in der Sedimentationskammer bei verschiedenen Zulaufvarianten zu untersuchen. Es wurden die Varianten „Rohrzulauf“, „Rohrzulauf mit Prallblech“ und „Verteilerrohr“ untersucht. Als Methoden kamen Tracer Versuche zur Visualisierung der Strömung, Verweilzeitmessungen und Fließgeschwindigkeitsmessungen in den Plattenzwischenräumen zum Einsatz.

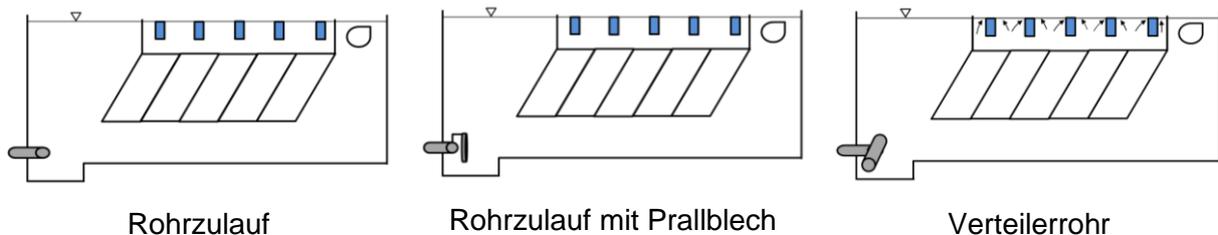


Abbildung 4: Experimentell untersuchte Einlaufvarianten

Parallel zum experimentellen Teil wurde von der FH Münster ein numerisches Modell für die Pilotanlage erstellt. Hierdurch sollten die Durchströmungs- und Absetzprozesse visualisiert und ein vertieftes Verständnis der Vorgänge in der Pilotanlage ermöglicht werden.

2.3 Numerische Untersuchungen

In einer ersten numerischen Simulationsstudie erfolgte die Validierung des numerischen Modells. Anhand der durchgeführten Tracerversuche und dem Vergleich der ermittelten Verweilzeitverteilung konnte nachgewiesen werden, dass das integrale Verhalten korrekt modelliert wird. Eine Abbildung der zeitlich veränderlichen Vorgänge ist hingegen nicht möglich. Hierzu sind sehr zeitintensive instationäre Simulationen durchzuführen. Diese konnten jedoch aufgrund der hohen Netzkomplexität innerhalb dieses Projektes nicht durchgeführt werden.

Die Abbildung 5 zeigt das Strömungsverhalten in der Sedimentationskammer mit der Einlaufvariante Rohrzulauf. Die linke Abb. visualisiert den Zulaufimpuls, der sich in der Sedimentationskammer ungehindert bis zur gegenüberliegenden Seite fortsetzt. Resultierend aus den hohen Fließgeschwindigkeiten entsteht im hinteren Teil der Sedimentationskammer eine rotierende Walze. Der Zulaufimpuls verursacht außerdem eine großräumige Rotationsströmung dadurch, dass die Zwischenräume der vorderen Lamellen stark aufwärts und in den hinteren Lamellen stark abwärtsgerichtet durchströmt werden.

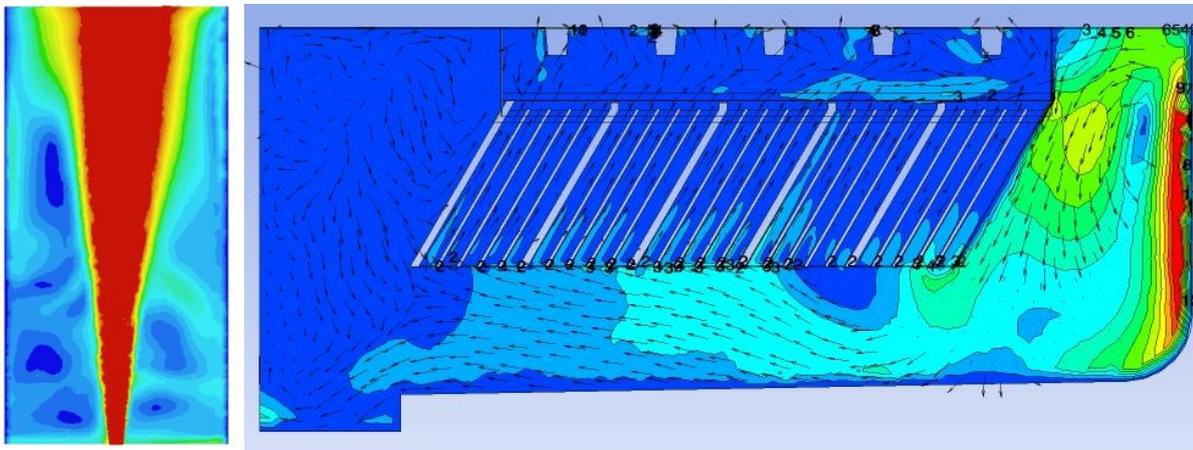


Abbildung 5: Strömungsverhalten auf einem Horizontalschnitt im sohnnahen Bereich (linkes Bild) und im Querschnitt (rechtes Bild) mit Einlaufvariante „Rohrzulauf“

Auf Basis der im physikalischen und numerischen Modell ermittelten Erkenntnisse, dass ein Rohrzulauf gravierende Fehlströmungen erzeugt wurden an der Pilotanlage weitere Einlaufvarianten experimentell untersucht. Die Einlaufvariante Rohrzulauf mit Prallblech zeigte eine Verbesserung des Strömungsverhaltens gegenüber dem Rohrzulauf, jedoch wurde noch keine gleichmäßige Durchströmung des Sedimentationskörpers erreicht. Auf eine aufwendige numerische Simulation wurde daher verzichtet. Für das im nächsten Schritt untersuchte Verteilerrohr, bei dem 4 Einläufe zur Sohle ausgerichtet sind, wurde über Tracerversuche und Fließgeschwindigkeitsmessungen ein deutlich besseres Strömungsverhalten nachgewiesen. Abbildung 6 zeigt die Ergebnisse der numerischen Strömungssimulation mit der Einlaufvariante Verteilerrohr. Der zur Sohle gerichtete Strömungsimpuls bewirkt eine Energiedissipation im zulaufseitigen Volumen der Sedimentationskammer. Die 25 Plattenelemente werden relativ gleichmäßig aufwärtsgerichtet durchströmt. Rotationsströmungen und abwärtsgerichtete Strömungen wurden in dem Sedimentationskörper nicht beobachtet.

Die Verweilzeitverteilung des Tracers sowie auch eine Detailbetrachtung der Strömung in den Lamellen lassen nur geringe Defizite erkennen für die gleichmäßige Durchströmung der Lamellen erkennen. Optimierungspotential besteht möglicherweise im Anströmbereich der

Lamellen. Leitbleche und Bauteile zur Energiedissipation könnten die Durchströmung zusätzlich zum Verteilerrohr im Zulauf der Pilotanlage vergleichmäßigen. Eine Validierung der simulierten Sedimentationswirkungsgrade konnte jedoch innerhalb des Projektes nicht durchgeführt werden.

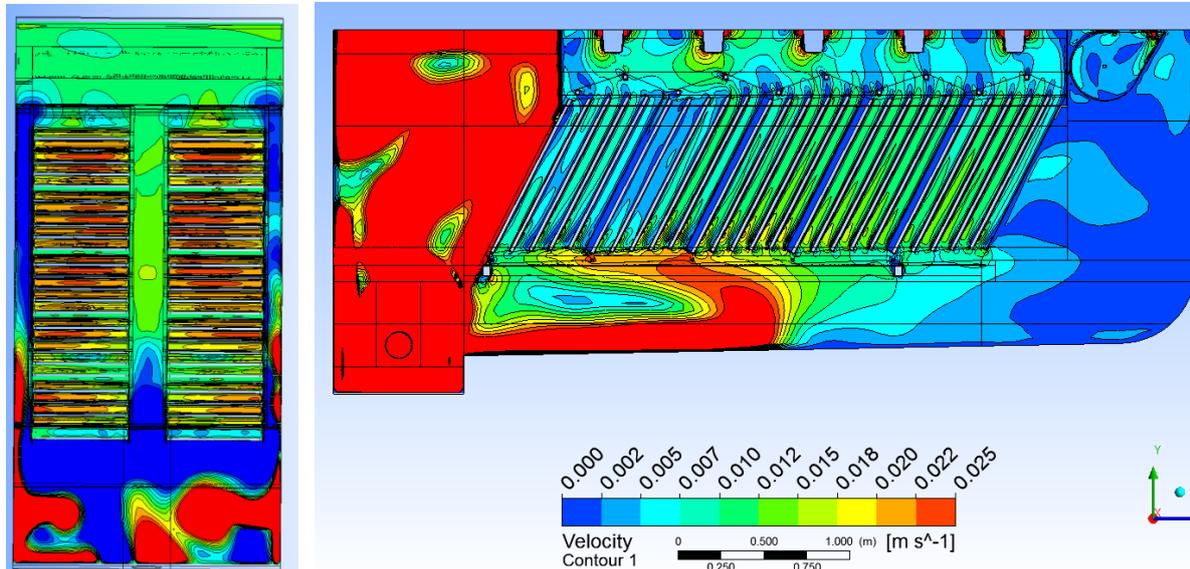


Abbildung 6: Strömungsverhalten auf einem Horizontalschnitt im sohnnahen Bereich (linkes Bild) und im Querschnitt (rechtes Bild) mit Einlaufvariante „Verteilerrohr“ (T-Stück)

Eine weitere Sensitivitätsanalyse wurde für die Gestaltung der Klarwasserabzüge durchgeführt. Hierzu wurde in einem ersten Schritt ein Referenzbecken mit einem spezifischen Volumen von 376 m³ modelliert (Abbildung 7). Aus den Ergebnissen ist abzuleiten, dass der Einbau von Überlaufwannen einen entscheidenden Einfluss auf die gleichmäßige Durchströmung der Lamellen hat (Abbildung 8). Diese Erkenntnis deckt sich mit den Erfahrungen von Fuchs und Mayer (2011) an einem mit Plattenabscheidern nachgerüsteten Regenklärbecken.

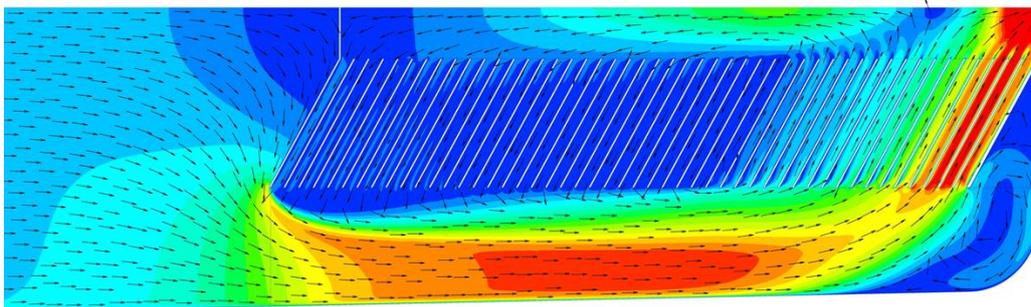


Abbildung 7: Visualisierung der Durchströmung eines Regenbeckens ohne Klarwasserüberlaufwannen

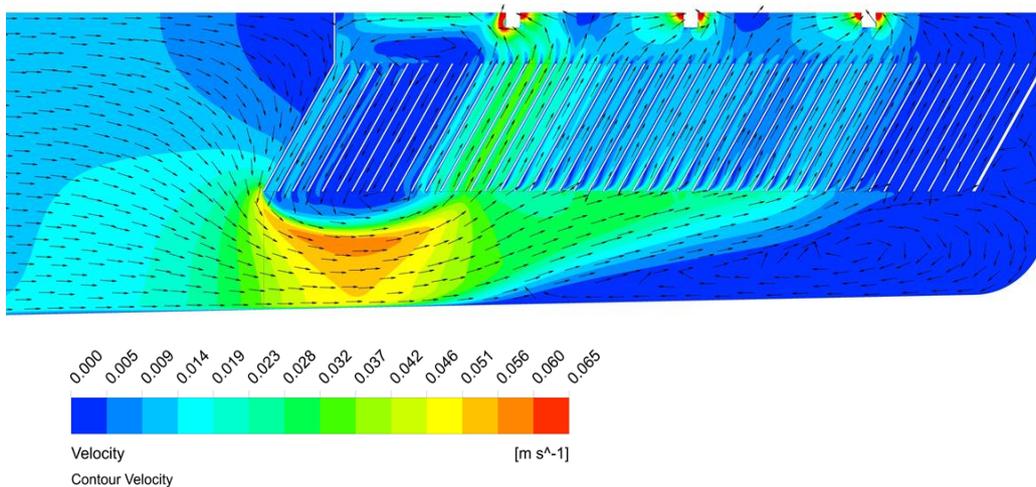


Abbildung 8: Visualisierung der Durchströmung mit Klarwasserüberlaufrinnen

2.4 Empfehlungen zur Konzeption und Betriebsweise

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen abermals, dass sich das Strömungsverhalten in Regenbecken auf die Sedimentationswirkung auswirkt. Grundsätzlich gelten die im DWA Arbeitsblatt 166 (2013) genannten Konstruktionshinweise auch für Regenbecken mit Schrägklärern. Im Falle einer Nachrüstung oder eines Neubaus sind daher die Empfehlungen des Arbeitsblattes zu den Geometrieverhältnissen und der Einlaufgestaltung umzusetzen. Weiterhin sind für die Konzeption von Regenbecken mit Schrägklärern die Empfehlungen aus dem DWA Merkblatt 176 (2013) zu berücksichtigen.

Im Rahmen der Untersuchung zur konstruktiven Gestaltung von Schrägklärern kann durch eine qualitative sowie quantitative Auswertung der physikalischen Versuche und numerischen Simulationen darüber hinaus folgendes festgestellt werden:

Die Einlaufkonstruktion beeinflusst die Anströmung der Lamellen. Diese hat letztlich einen entscheidenden Einfluss auf die gleichmäßige Durchströmung des Sedimentationskörpers. Die Zulaufvarianten „Rohrzulauf“ sowie „Rohrzulauf mit Prallblech“ erzeugen durch den Impuls des eintretenden Strahls im Container ein Strömungsbild, das für Sedimentationsanlagen als ungünstig zu bewerten ist. Die Variante „Verteilerrohr“ erzeugte relativ gleichmäßige Fließgeschwindigkeiten in der Sedimentationskammer. Gegenüber den beiden anderen Zulaufvarianten wird damit das Potential der Absetzflächen in den Schrägklärerpaketen besser ausgenutzt. Die Zulaufgestaltung von Schrägklärern muss hohe Anforderungen hinsichtlich Strömungsverteilung und Energiedissipation erfüllen, um möglichst günstige Sedimentationsbedingungen und einen hohen Feststoffrückhalt zu gewährleisten.

Aus den Sensitivitätsanalyse an der Pilotanlage lässt sich weiterhin ableiten, dass die Mächtigkeit des Wasserpolsters oberhalb des Sedimentationskörpers sowohl einen positiven als auch negativen Einfluss haben kann. Bei der Pilotanlage hat sich ein Wasserpolster mit einer Mächtigkeit von 200 und 300 mm als positiv erwiesen. Ein zu hohes Wasserpolster hat bei der Pilotanlage durch das in der Höhe eingeschränkte Bauwerk von 2,30 zu einer Strömungsbeschleunigung unterhalb der Lamellen geführt. Ähnliches ist auch bei der Mehrzahl der Großanlagen zu befürchten.

Hinsichtlich des Klarwasserabzuges hat sich bestätigt, dass eine gleichmäßige Anordnung der Abzugsrinnen über den Abscheiderenlementen eine Voraussetzung für die gleichmäßige

Durchströmung des Sedimentationskörpers ist. Für aufwärts durchströmte Gegenstrom-Schräglklärer ist die Anordnung von Klarwasserabzugsrinnen zu empfehlen, die die gesamte Fläche über den Schräglklärerelementen möglichst gleichmäßig erfassen. Rinnensysteme mit vielen kleinen Rinnen wirken sich hydraulisch günstiger aus als wenige Rinnen mit hohem Abfluss. Bei größeren Rinnen besteht die Gefahr, dass sie als Strömungshindernisse gegenüber den darunter liegenden Abscheidern wirken. Kleinere Rinnen bedeuten jedoch einen Mehraufwand in der Anfertigung, Montage und bei der Ausrichtung.

Aus den numerischen Simulationen geht allerdings auch hervor, dass eine alleinige Erhöhung der Ablaufrinnenanzahl nicht zwingend zu einem gleichmäßigeren Durchströmungsverhalten führt. Dennoch ist eine Mindestanzahl an Abzugsrinnen notwendig. Im Rahmen der Untersuchung an der Pilotanlage hat sich eine Abzugsrinne pro Lamellenpaket (5 Lamellen pro Paket) als positiv erwiesen.

Die Überlaufschwelle in die Rinnen sollten zweckmäßigerweise als langgestreckte justierbare Blechkanten mit freiem Überfall vorgesehen werden. Zahnschwellen und U-Profile hätten zwar den Vorteil, dass die Gleichmäßigkeit der Überströmung etwas weniger von Justageungenauigkeiten abhängt. An solchen Schwellen können aber Laub, Grobstoffe und Zellulose leichter hängen bleiben und dann das Strömungsverhalten in dem Abscheider negativ beeinflussen. Generell sollten offene Rinnen so angeordnet werden, dass sie überall einfach zugänglich sind. Angelagerte Strömungshindernisse sind regelmäßig zu entfernen. Rinnen mit Überfallkanten eignen sich insbesondere dort, wo der Zufluss zum Schräglklärer ohnehin begrenzt ist, etwa durch eine Drossel im Zulauf oder eine Pumpenbeschickung.

Die Nivellierung der Abzugsrinnen ist von Bedeutung, um konstruktiv keine Vorzugsströmungen zu induzieren. Ungenauigkeiten führen zu einer Erhöhung des Abflusses der niedriger liegenden Abzugsrinne und bewirken Vorzugsströmungen, die mit einer lokalen Erhöhung der Fließgeschwindigkeit einhergehen. Hierfür sind höhenverstellbare Schwellen, alternativ Blenden an den Schwellen einzuplanen. Für die Nivellierung der Schwellen ist eine Erfolgskontrolle durchzuführen. Eine Nachjustierung ist bei vollgefülltem Regenbecken nach einem Entlastungsereignis zu empfehlen, um auftriebsbedingte Durchbiegungen der Rinnen zu kompensieren.

Ergänzend zu den bereits genannten Hinweisen sind in der Langfassung des Abschlussberichtes Schemaskizzen für die Gestaltung von Regenbecken mit Schräglklärern enthalten, die als Anregung für die Planung herangezogen werden können.

Ein zusätzliches Anbringen von Trennblechen oberhalb des Sedimentationskörpers wirkt sich insgesamt positiv auf die Durchströmung aus. Hierdurch lässt sich die Strömung gezielter abführen. Zudem werden unerwünschte Fehlströmungen wie z.B. Rezirkulationen oberhalb der Lamellen verhindert.

Die Anzahl der Lamellenpakete hängt von der erwünschten Verbesserung des Wirkungsgrads und damit von der erforderlichen Absenkung der Oberflächenbeschickung ab.

3 Wirksamkeit von Regenbecken mit Schrägklärern

3.1 Ermittlung der Wirksamkeit durch Feldversuche

Nach Abschluss der hydraulischen Untersuchungen wurde die Pilotanlage auf dem Betriebsgelände der Kläranlage Rastatt installiert. Dort wurde das Untersuchungsprogramm zur Ermittlung der Wirksamkeit durchgeführt. Der Standortvorteil gegenüber der Positionierung an einem Regenbecken war, dass durch den kontinuierlichen Mischwasserzufluss zur Kläranlage, weitgehend unabhängig vom Überlaufgeschehen eines Regenbeckens, beliebig viele „Regenereignisse“ simuliert werden konnten. Die Kontrolle der Zuflusssituation erlaubte es darüber hinaus, unterschiedliche hydraulische Belastungssituationen in einem kurzen Zeitraum abzubilden.

Die Anlage erreichte unter hydraulisch optimierten Bedingungen (Zulaufvariante „Verteilerrohr“) bei einer Oberflächenbeschickung von $q_A = 4 \text{ m/h}$ einen Feststoffrückhalt für die Feinfraktion ($< 63 \mu\text{m}$) von 48% (Median). Bei einer Oberflächenbeschickung von $q_A = 2 \text{ m/h}$ wurde ein Wirkungsgrad von 75% (Median) erreicht. Somit wurden in diesem Vorhaben erstmals stationäre Wirkungsgrade mit definiertem, konstantem Mischwasserzufluss an großtechnischen Schrägklärern ermittelt. Diese Ergebnisse gehen über die Erwartungen hinaus und werden den Anforderungen, die an eine Regenwasserbehandlungsanlage gestellt werden, gerecht. Die Empfehlungen des DWA Merkblatts 176, das einen Bemessungsoberflächenbeschickungen von $q_A = 4 \text{ m/h}$ empfiehlt, sind beizubehalten und mit zunehmender Verdichtung der Datenlage nochmals zu überprüfen. Durch die Förderung des Landes NRW können weitere Daten zur Wirksamkeit von Schrägklärern im Trennsystem erwartet werden. Aus den Ergebnissen wird die erwartete Korrelation zwischen dem Feststoffrückhalt und der hydraulischen Belastung erkennbar: mit steigender Oberflächenbeschickung q_A nimmt der Wirkungsgrad η ab. Die Ergebnisse weisen allerdings eine weite Streuung auf. Die Zusammensetzung bzw. die Inhaltsstoffe werden als Ursache für die unterschiedlich hohen Wirkungsgrade angesehen.

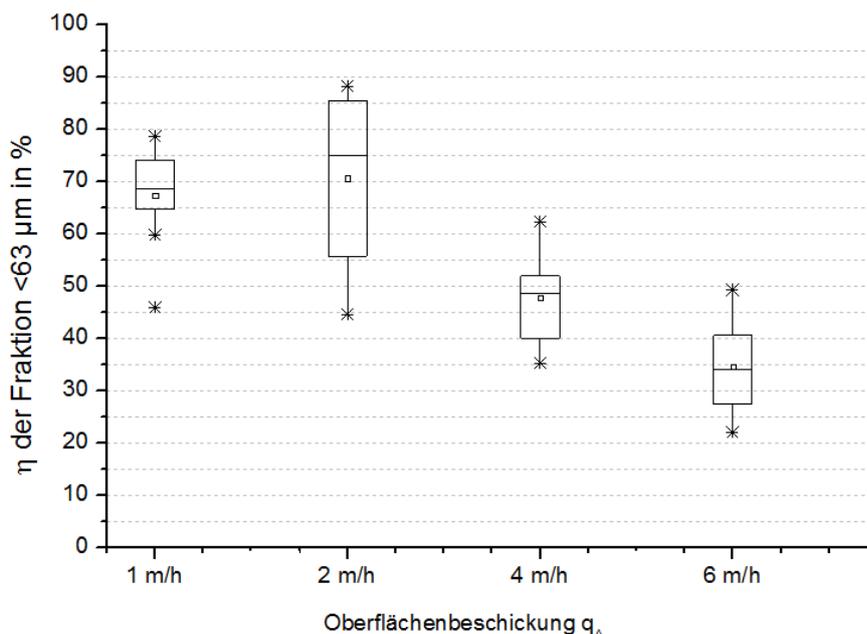


Abbildung 9: Frachtwirkungsgrade der Pilotanlage für die Feststofffraktion $< 63 \mu\text{m}$ bei Zulaufvariante „Verteilerrohr“ (T-Stück)

In 5 Stichproben, die bei $q_A = 4$ m/h durchgeführt wurden, sind Konzentrationen von CSB_{ges} im Zu- und Ablauf ermittelt und über das Durchflussvolumen die Frachten berechnet worden. Der Median des Frachtwirkungsgrades des Parameters CSB_{ges} liegt bei 29%.

In einer weiteren Versuchsreihe wurde der Einfluss der Zulaufsituation auf den Sedimentationswirkungsgrad für die Varianten „Rohrzulauf mit Prallblech“ und „Verteilerrohr“ untersucht. Zu der einfachen Variante „Rohrzulauf“ wurden keine Versuche durchgeführt, da bereits bei den hydraulischen Untersuchungen ein negatives Strömungsverhalten nachgewiesen wurde. Aus den Ergebnissen geht hervor, dass die strömungsoptimierte Variante mit Verteilerrohr bei einer Oberflächenbeschickung von $q_A = 2$ m/h einen Feststoffrückhalt von 75% (Median) erreicht. Dies ist ein gegenüber der Variante mit Prallblech 11% höherer Wirkungsgrad. Bei einer Oberflächenbeschickung von $q_A = 4$ m/h ist der Feststoffrückhalt um 8% höher.

Die im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Untersuchungsreihen unterstreichen die Notwendigkeit, Regenbecken und Schrägklärer hinsichtlich ihrer Durchströmung zu optimieren, um einen maximalen Feststoffrückhalt zu erreichen. Ohne eine solche Optimierung ist zu befürchten, dass neue oder nachgerüstete Regenbecken mit Schrägklärern deutlich hinter dem möglichen Frachtwirkungsgrad zurückbleiben.

3.2 Berechnung der Wirksamkeit durch numerische Modellierung

Ziel der numerischen Simulationsstudien war es, die Wirkungsweise von Lamellenklären durch numerische Simulationen zu untersuchen. Insbesondere sollten die Strömungs- und Stofftransportprozesse in Lamellenklären modelliert werden.

Erste Abschätzungen des Sedimentationswirkungsgrades wurden mit ausgewählten Partikelfraktionen vorgenommen. Diese zeigten, dass die Pilotanlage im Vergleich zu einem Becken, welches ohne Lamellenklärer ausgestattet ist, bei gleicher Oberflächenbeschickung höhere Sedimentationswirkungsgrade der Partikelfraktion < 63 μ m erzielt.

Mit Hilfe von Mehrphasensimulationen und einem dem Mischwasser ähnlichen Partikelgemisch wurden Sedimentationswirkungsgrade der Becken ermittelt. Zum einen sollte untersucht werden, ob sich eine gleichmäßige Durchströmung der Lamellen positiv auf den Sedimentationswirkungsgrad auswirkt und somit die Optimierungsmaßnahmen erfolgreich waren. Zum anderen sollte untersucht werden, ob der Einsatz von Lamellen in einem Regenüberlaufbecken im Vergleich zu einem baugleichen Becken ohne Lamellen zu einem verbesserten Sedimentationswirkungsgrad führt. In der Modellierung wurden für die Berechnung der Sedimentationswirkungsgrade Einzelereignisse unter kontrollierten, stationären Randbedingungen simuliert. Diese Vorgehensweise das Ziel, aufzuzeigen, wie hoch der maximal theoretische Sedimentationswirkungsgrad der Becken bei kontrolliertem Betrieb ist und soll so einen relativen Vergleich der unterschiedlichen im Projekt konzipierten Varianten ermöglichen.

Anhand von verschiedenen Partikeldichten und –größen wurden ein Gesamtwirkungsgrad sowie ein Fraktionswirkungsgrad für die AFS-Fraktionen kleiner als 63 μ m und größer als 63 μ m ermittelt. Die Ergebnisse zeigten, dass der Sedimentationswirkungsgrad durch den Einsatz von Lamellen gesteigert werden kann. Dieses entspricht den Erkenntnissen von Hermann et al. [2010] sowie Fuchs et al. [2010]. In der Arbeit von Dohmann [2003] erzielten die Lamellenklärer bei einer Lamellenoberflächenbeschickung von 3 - 5 m/h gegenüber

einem konventionellen Regenbecken (<10 m/h) bis zu 25% geringere AFS Ablaufwerte. Dabei wurden Becken mit gleichem Volumen und gleicher Form sowie identischer hydraulischer Belastung verglichen. Deren Oberflächenbeschickung unterscheidet sich lediglich wegen der nachträglich eingesetzten Lamellen, welche im vorhandenen Volumen weitere absetzwirksame Fläche zur Verfügung stellen.

Die Ergebnisse von Dohmann [2003] konnten in der hier vorliegenden Untersuchung bestätigt werden. Die Sedimentationswirkungsgrade für die Fraktionen mit einem Partikeldurchmesser $d < 63 \mu\text{m}$ konnten bei der simulierten Oberflächenbeschickung von 4 m/h durch den Einsatz von Lamellen um 23 %-Punkte erhöht werden.

Weiterhin ist auch anhand der Ergebnisse der Mehrphasensimulationen ersichtlich, dass eine gleichmäßige Durchströmung den Sedimentationswirkungsgrad im Becken verbessert.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass Resuspensionsvorgänge durch instationäre Effekte oder auch ein Abrutschen der Partikel von den Lamellen und ein Wiedereinmischen in die Strömung im numerischen Modell nicht berücksichtigt sind. Weiterhin wird in der Simulation lediglich die Überlaufphase betrachtet. Der Speicherwirkungsgrad des Beckens bleibt unberücksichtigt.

4 Literaturverzeichnis

- Beach, W.A. (1972): Fundamentals of tube settler design. Proceedings of the 27th Industrial Waste Conference, Princeton, New Jersey, pp 67-79.
- Delporte C., Pujol R., Vion P. (1995): Optimized lamellae settling for urban stormwater waste. In *Water science and technology* (1995), 32 (1), S. 127–136.
- Dohmann, M., Hördemann, K.-W., Stepkes, H., Arndt, D., Pape, E., Schleding, W., (2003): Einsatz von Lamellenabscheidern in Mischwasserbehandlungsanlagen, Schlussbericht, ISA der RWTH Aachen, 2003.
- DWA-A 166 (2013): Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung - Konstruktive Gestaltung und Ausrüstung. Arbeitsblatt, Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
- DWA-M 176 (2013): Hinweise zur konstruktiven Gestaltung und Ausrüstung von Bauwerken der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung.
- Fuchs, S., Mayer, I. (2010): Schrägklärer in der Regenwasserbehandlung – Wirksamkeit und betriebliche Randbedingungen. Bremen, DWA-Regenwassertage 2010.
- Fuchs, S., Mayer, I., Haller, B., Roth, H. (2010): Einsatz von Schrägklärern in der Regenwasserbehandlung. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall 2010 (57) Nr. 11, S. 1109-1117.
- Fuchs, S., Mayer, I. (2011): Untersuchung der Wirksamkeit eines Schrägklärers am Beispiel des RKB Klingklamm in Pforzheim. KIT Karlsruhe, Abschlussbericht (unveröffentlicht) Karlsruhe, 2011.
- Fuchs, S., Mayer, I. (2012): Untersuchungen zur Wirksamkeit von Schrägklärern am Beispiel von drei Anlagen zur Regenwasserbehandlung : Im Auftrag des Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg (unveröffentlicht). Karlsruhe, 2012.
- Fuchs, S., Mayer, I., Haller, B., Roth, H. (2014): Lamella settlers for storm water treatment - performance and design recommendations. In: *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research* 69 (2014), Nr. 2, S. 278–28.
- Hermann, E., Dinger, M., Steiner, M. und Boller, M. (2010): Behandlung von hoch belastetem Straßenabwasser - Ein mehrstufiges Verfahren aus der Schweiz. KA Korrespondenz Abwasser.
- Kemper, M., Nichler, T., Fuchs, S., Uhl, M., Ebbert, S., Vosswinkel, N., Maus, C., Engelberg, M., Gillar, M., Weiß, G., Gehrke, K., Eyckmanns-Wolters, R. (2015): Ermittlung der Leistungsfähigkeit von Regenüberlaufbecken und Überwachung durch Online-Messtechnik. Vorhaben im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen.
- Plass, R.: Untersuchungen zur Erhöhung des Trockensubstanzgehaltes im Belebungsbecken durch den Einsatz von Lamellenpaketen Dissertation, Technische Universität Hamburg-Harburg, Heft 21, 1998.
- UFT (2012): Vorläufige Betriebsanleitung der Mobilen Pilotanlage (Stand 03.05.2012), Umwelt- und Fluid- Technik Dr. H. Brombach GmbH.
- Willis, R. M. (1978): Tubular Settlers - A Technical Review. *Journal - American Water Works Association*, 70 (Number 6) pp. 331-335.