

Einsatz von Schrägklärern zur Regenwasserbehandlung: Sind Aussagen über Wirkungsgrade übertragbar?

Gebhard Weiß

Umwelt- und Fluid-Technik Dr. H. Brombach GmbH, Steinstrasse 7, 97980 Bad Mergentheim
E-Mail: g.weiss@uft-brombach.de

Kurzfassung Das Papier diskutiert qualitativ die Frage nach der Übertragbarkeit von stationären Abscheidewirkungsgraden von Schrägklärern zur Regenwasserbehandlung. Zwischen Modelluntersuchungen mit kugeligem Kunststoff-Modellsediment und großtechnischen Untersuchungen an einer mit konstantem Zufluss betriebenen Container-Versuchsanlage ergaben sich deutliche Abweichungen. Gründe dafür sind das unterschiedliche Verhalten von bereits abgesetztem Modell- bzw. realem Sediment (Abrutschen, Wiedereinmischen) sowie insbesondere auch das oft zu beobachtende spontane Flockungsverhalten des Letzteren. Da grundlegende Erkenntnisse zu diesen Sedimenteigenschaften bislang weitgehend fehlen, ist eine Übertragung von Modellergebnissen unbefriedigend. Reale Schrägklärer zur Regen- und Mischwasserbehandlung erreichen überraschend gute Wirkungsgrade.

Schlagwörter: Schrägklärer, Sedimentation, Wirkungsgrad

1 EINLEITUNG

Schräg- oder Lamellenklärer wurden in den letzten Jahren vermehrt in Bauwerken der Regen- und Mischwasserbehandlung eingesetzt, um die Sedimentationswirkung gegenüber klassischen Regenklär- oder Durchlaufbecken zu verbessern. Schrägklärer sind auch in technischen Regeln erwähnt (DWA-M 176, 2013). Zielgröße der Regenwasserbehandlung sind künftig die sehr feinen Fraktionen $< 63 \mu\text{m}$ der abfiltrierbaren Stoffe (AFS63), Schmitt (2012). Es gibt daher eine Reihe von Projekten, in denen die Abscheideleistung von großtechnischen Schrägklärern für diesen Schmutzparameter bestimmt wurde (z.B. Pinnekamp 2010, Fuchs et al. 2014) und die hier gute Erfolge zeigen.

Bei einigen Untersuchungen dieser Art wurden auch halbtechnische Versuche an Schrägklärern im Labor durchgeführt (Kemper et al. 2015, DESSIN 2016). Die erhaltenen Modellwirkungsgrade lassen sich unter bestimmten Voraussetzungen auf die Großausführung skalieren. Dabei stellt sich jedoch grundsätzlich die Frage, wie aussagekräftig diese Vorgehensweise ist, also wie vergleichbar Wirkungsgrade von Schrägklärern für die Regenwasserbehandlung sind. Dasselbe gilt für Untersuchungen am Schrägklärer mit definierten Prüfsedimenten, wie sie zur Prüfung von dezentralen Behandlungsanlagen eingesetzt werden (NRW 2011). Das vorliegende Papier soll hier einige Grundlagen und Effekte zeigen.

2 STOFFRÜCKHALT UND WIRKUNGSGRAD BEI SEDIMENTATIONSANLAGEN

Zunächst seien die verschiedenen Wirkungsmechanismen und Wirkungsgrade bei Sedimentationsanlagen, also Regenklärbecken im Trennsystem wie auch Durchlaufbecken im Mischsystem, näher betrachtet. Becken ohne Dauerstau und mit Entleerung (kontinuierlich oder nach einem Regenereignis) haben eine **Speicherwirkung**, während bei der Passage der Sedimentationskammer auch eine **Sedimentationswirkung** zum Tragen kommt (reine Fangbecken in der Mischkanalisation seien hier nicht weiter untersucht). Allgemein kann man deshalb

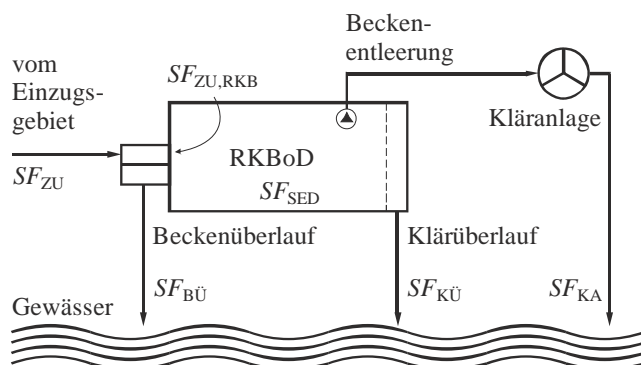


Abbildung 1: Regenklärbecken ohne Dauerstau (einschließlich Entleerung). Die genannten Wirkungsgrade berechnen sich hier zu $\eta_{\text{ges}} = 1 - (SF_{\text{BÜ}} + SF_{\text{KÜ}} + SF_{\text{KA}})/SF_{\text{ZU}}$ und $\eta_{\text{sed}} = SF_{\text{SED}}/SF_{\text{ZU,RKB}}$. SF kennzeichnet hier die Schmutzfracht, z.B. in kg AFS63/a.

folgende Wirkungsgrade unterscheiden: Der **Gesamtwirkungsgrad** η_{ges} entspricht dem Anteil des Schmutzfrachtdargebots aus dem Einzugsgebiet, welcher nicht in das Gewässer gelangt. Der **Sedimentationswirkungsgrad** η_{sed} betrachtet hingegen nur die Sedimentationsanlage und bezeichnet den Anteil der dort eingetragenen Schmutzfracht, der durch Absetzen darin abgeschieden wird. Beide Wirkungsgrade (vgl. Abbildung 1) lassen sich für einzelne Regenereignisse wie auch über Zeitperioden, z.B. ein Jahr, definieren. Nur der Sedimentationswirkungsgrad lässt sich hingegen auch als stationäre Größe definieren, etwa bei Untersuchungen am hydraulischen Modell mit konstantem Zufluss.

Sedimentationsanlagen mit Dauerstau – speziell Regenklärbecken mit Dauerstau (RKBmD), aber auch einige dezentrale Behandlungsanlagen – werden nur im Trennsystem eingesetzt. Hier ist der reine Sedimentationswirkungsgrad entscheidend, weil sich das Volumen im Bauwerk beim Durchgang eines Regens kaum ändert. Das zu einem Zeitpunkt t_0 eintretende verschmutzte Wasser verlässt das Becken nach einer bestimmten, vom Durchfluss abhängigen Verweilzeit wieder; in dieser Zeit sedimentieren die betreffenden Schmutzpartikel. Um großtechnisch Sedimentationswirkungsgrade zu ermitteln, muss diese Verweilzeit bei der Gegenüberstellung von zulauf- wie überlaufseitig gezogenen Proben berücksichtigt werden. Nur bei Laborversuchen kann man Durchfluss und Sedimentzudosierung konstant und den Vorgang damit zeitunabhängig halten. Es lassen sich dann stationäre Abscheidewirkungsgrade $\eta = f(Q, \text{Beckengeometrie, Sediment})$ definieren.

Daraus ergibt sich ein weiterer Effekt (Abbildung 2): Bei kleineren Regen verdrängt das zuströmende Volumen in mehr oder weniger großem Maße Beckeninhalt. Das Regenbecken beginnt zwar sofort nach Regenbeginn überzulaufen, dieses Wasser stammt aber nicht aus dem aktuellen Regen zufluss, sondern war vorher im Becken gespeichert. Dieses Wasser enthält dann natürlich praktisch kein Sediment, weil dieses die gesamte vorherige Trockenwetterzeit für den Absetzvorgang zur Verfügung hatte, noch dazu im Stillwasser. Man kann unter Ausnutzung dieses Effekts durch fortwährendes Verdrängen des Beckeninhalts und Absetzen in der Trockenwetterzeit einen „Batchbetrieb“ etablieren, bei dem sehr gute Gesamtwirkungsgrade erreicht werden können. Freilich müssen dann Sekundäreffekte wie chemisch bedingte Schadstoffrücklösungen aus dem Schlamm ausgeschlossen werden.

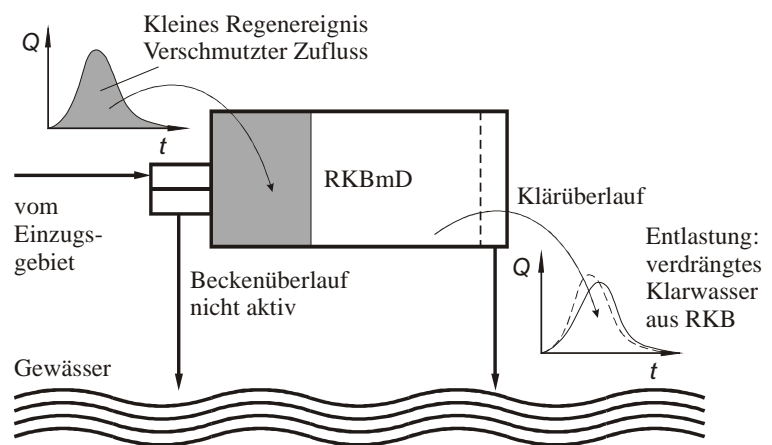


Abbildung 2: Regenklärbecken mit Dauerstau, Verdrängung des Beckeninhalts

3 VERGLEICH VON WIRKUNGSGRADEN BEI EINEM SCHRÄGKLÄRER-PROJEKT

In Regenbecken mit oder ohne Dauerstau eingebaute Schrägklärer können natürlich nur den Sedimentationswirkungsgrad, nicht aber den Speichereffekt einer Regenwasserbehandlungsanlage beeinflussen. Die Module werden je nach Regengeschehen mit wechselndem Zufluss belastet. Dort durch Probenahme gemessene Wirkungsgrade sind stets problematisch, weil dynamisch beeinflusst.

Beim in Kemper et al. (2015) dokumentierten Projekt des Landes Nordrhein-Westfalen wurde daher ein transportabler Container verwendet, der mit Gegenstrom-Lamellenmodulen versehen war. Die Beschickung (mit Mischwasser) mithilfe einer frequenzgeregelten Pumpe erlaubte es, einen konstanten Zufluss einzustellen, der außerdem von Versuch zu Versuch unterschiedlich gewählt werden konnte. Zur Bestimmung der großtechnischen Sedimentationswirkungsgrade wurden mit Peristaltikpumpen in sogenannten Feststoffsammlern nach Vollfüllung des Containers volumenproportional großvolumige Mischproben (1000 l) gezogen. Die Proben wurden eingeeengt, durch Nasssieben in zwei Fraktionen $< 63 \mu\text{m}$ und $> 63 \mu\text{m}$ aufgetrennt und dann getrocknet. Aus den rückgerechneten Konzentrationen ergab sich

für die Feinfraktion ein stationärer Sedimentationswirkungsgrad $\eta_{\text{sed,AFS63}}$ für den Schrägklärercontainer. Unter der Annahme, dass die gesamte Projektionsfläche $A_{\text{proj,tot}}$ der Schrägklärermodule die für den Absetzvorgang wesentliche Größe ist, wurden für jeden gewählten Durchfluss Q eine Oberflächenbeschickung $q_A = Q / A_{\text{proj,tot}}$ in m/h bestimmt und die gemessenen Wirkungsgrade über dieser Größe aufgetragen. Die Datenpunkte in Abbildung 3 zeigen, dass trotz der unvermeidlichen Streuung relativ gute Sedimentationswirkungsgrade erzielt werden konnten.

In einer zweiten Phase dieses Projektes wurden von der Arbeitsgruppe des Autors jedoch auch halbertechnische Versuche mit Modellsediment durchgeführt. Dazu wurden Schrägklärerelemente in Originalgeometrie mit definierten Oberflächenbeschickungen q_A belastet und das Absetzverhalten von kugeligem 0,5 mm-Polystyrolmaterial (unaufgeschäumtes Styropor®) untersucht. Dessen Sinkgeschwindigkeit v_s folgt einer gemessenen, sehr steilen Verteilung und konnte durch Zugabe von Salz variiert werden. Dabei konnten unter Laborbedingungen dimensionslose Kurven des Sedimentationswirkungsgrades in der Form $\eta_{\text{sed}} = f(q_A/v_s, \text{Geometrie})$ aufgestellt werden.

Grundsätzlich können solche Kurven unter Ansatz der hydraulischen Modellgesetze auch auf die Großausführung übertragen werden, vgl. Weiß (2016). Es muss dazu die Sinkgeschwindigkeit bzw. deren Verteilung des großtechnischen Sediments bekannt sein. Da diese von Kemper et al. 2015 nicht angegeben ist, wurde in Weiß (2014) eine Annahme über die Sinkgeschwindigkeitsverteilung von AFS63 getroffen, die auf gemessenen Verteilungen aus anderen Projekten beruht.

Überraschenderweise lieferten die hochgerechneten Modellergebnisse bei dieser Vorgehensweise einen relativ geringen Sedimentationswirkungsgrad für AFS63, während die genannten großtechnischen Versuche ein sehr viel günstigeres Resultat ergaben. Es stellt sich also unmittelbar die Frage nach der Ursache für diese Diskrepanz. Eine stark ungleichmäßige Durchströmung, womöglich mit Rückströmungszellen, wurde weder bei den Modell- noch bei den großtechnischen Versuchen beobachtet und scheidet daher als Ursache aus.

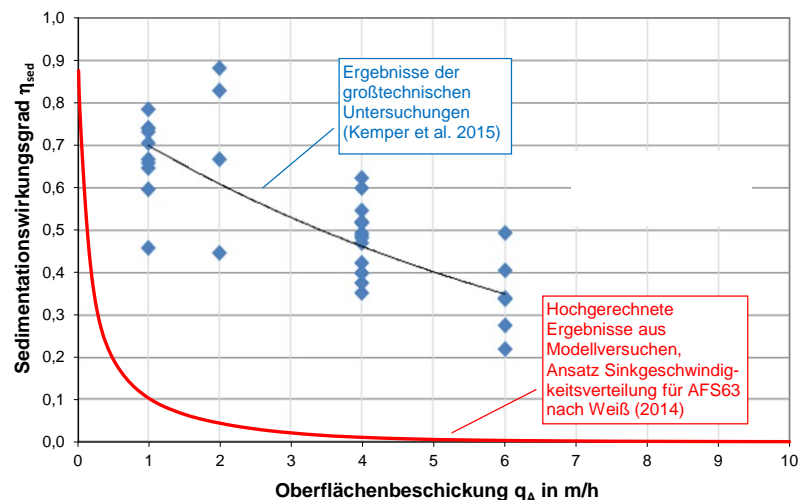


Abbildung 3: Vergleich von Sedimentationswirkungsgraden aus Modell- und großtechnischen Untersuchungen an Gegenstromschräglärern

4 DIE VORGÄNGE IM SCHRÄGKLÄRER UND IHRE BESCHREIBUNG

Schrägklärer sind in der Verfahrenstechnik seit Langem bekannte Elemente. Es gibt verschiedene Bauformen, die – um ein Abrutschen des abgesetzten Sedimentes in den Schlammsumpf zu begünstigen – geneigte Lamellen haben. Bei den bislang bei Projekten der Regenwasserbehandlung zumeist angewandten Gegenstrom-Schräglärern (Abbildung 4 links) bewegt sich abrutschendes Sediment gegen die Strömung, bei Kreuzstromklärern geschieht das Abrutschen seitlich.

Die meiste Literatur zur Theorie des Schrägklärers beschränkt sich auf den Absetzprozess, der als das für die Wirkung entscheidende Phänomen angesehen wird. Dabei wird stillschweigend angenommen, dass ein Sedimentkorn nur durch seine Sinkgeschwindigkeit v_s charakterisiert ist und aus dem Prozess ausgeschieden ist, wenn es die Oberfläche der Lamelle erreicht. Die Lamellenfläche des Schrägklärers ist folglich die entscheidende Größe und wird nach Maßgabe einer zulässigen Oberflächenbeschickung q_A bei einer definierten Regenspende bemessen, vgl. Fuchs et al. (2014), wo $q_A = 4$ m/h bei 15 l/(s·ha) vorgeschlagen werden. Dort wird auch auf die Wichtigkeit der gleichmäßigen Durchströmung der Schrägklärerelemente hingewiesen. Ein wichtiger Nebeneffekt wird von Fuchs et al. (2014) beschrieben:

Höhere Gesamtsedimentkonzentrationen korrelieren großtechnisch mit besseren Wirkungsgraden, weil bei stärkeren Regen mehr Sediment und auch gröbere leicht absetzbare Fraktionen in das Behandlungsbauwerk transportiert werden.

Das Abrutschen von Sediment wird zumeist als betriebliche Frage gesehen, die aber die Wirkungsweise der Anlage nicht ausschlaggebend beeinflusst. Bei Modellversuchen an Schrägklärern im Labor mit kugeligem Kunststoff-Modellsediment konnte man aber sehr gut sehen, dass das Abrutschen der Sedimentkörner und ein Wiedereinmischen in die Zuströmung wichtige Effekte sind, ebenso ein Transport liegen gebliebener Sedimentkörner durch die Strömung. Durch die Größe und die geringe Konzentration der Kunststoffkugeln verhalten sich diese als Einzelkörner auf der glatten Lamellenoberfläche. Deren Verhalten wird aber nicht nur durch die Sinkgeschwindigkeit, sondern auch durch andere Sedimenteigenschaften bestimmt, und zwar in noch weitgehend unbekannter Weise. Gegenüber theoretischen Ansätzen zeigen dadurch die Modellversuche teils beträchtliche Abweichungen im stationären Sedimentationswirkungsgrad (Weiß 2014). Sollte das Abrutschen von Sediment von den Schrägklärerlamellen auch in der Großausführung in dieser Weise wirken, so würde das meiste Material natürlich sofort, wie in Abbildung 4 angedeutet, wieder in den Zustrom eingemischt und erneut in den Schrägklärer eingetragen und der Wirkungsgrad wäre gering. In diesem Fall wären Kreuzstromschrägklärer (Abbildung 4 rechts) vorteilhafter.

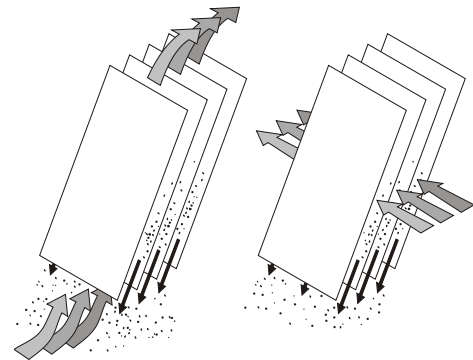


Abbildung 4: Links ein Gegenstrom-, rechts ein Kreuzstrom-Schrägklärer (schematisch)

Eine Gesamtbeschreibung der Sedimentbewegung im Schrägklärer einschließlich der Vorgänge nach dem Absetzen wäre daher wichtig. Brenda et al. (2016) untersuchten einen Gegenstromklärer zur Schlammabtrennung durch numerische Simulation. Sie beschreiben in den Lamellenzwischenräumen eine gegenläufige Dichteströmung und erhalten auch eine Akkumulation von Schlamm im Volumen des Schrägklärers bis zum Durchbruch. Allerdings ist die von den Autoren für Schlamm verwendete Modellvorstellung, u.A. mit einer dichteabhängigen Sinkgeschwindigkeit, auf die geringen Sedimentkonzentrationen in Regenwasser nicht anwendbar.

Es wird vermutet, dass in Gegenstromklärer-Laborversuchen das Abrutschen und Wiedereinmischen der relativ großen, einzelnen Modellsedimentkörner in sehr starkem Maß auftritt. Dadurch werden dort diese wirkungsgradmindernden Effekte überbetont. Echtes feines Kanalsediment bleibt hingegen durch Adhäsionskräfte an den Lamellenoberflächen „kleben“ und rutscht während eines Regenereignisses gar nicht bzw. erst dann ab, wenn die Sedimentschicht hinreichend dick und schwer ist, um in Plaggen aufzureißen. Diese werden beim Abrutschen zudem nicht vollständig desaggregiert und werden dann nur zu einem geringen Teil in die Zuströmung wieder eingemischt. Im Umkehrschluss wird dann aber in der Praxis die regelmäßige Abreinigung großtechnischer Schrägklärer nach einem Regen, etwa durch Schwenken unter Wasser oder durch Abspritzen nach Entleerung, eine sehr wichtige Rolle spielen.

5 EIGENSCHAFTEN DES KANALSEDIMENTS

Die größte Unsicherheit besteht für gewöhnlich beim Kanalsediment wegen der großen Streuung seiner Eigenschaften. Nur im Labor kann man die Sinkgeschwindigkeit von Modellsediment recht genau ermitteln. Viele Untersuchungen setzen stillschweigend einen eindeutigen Zusammenhang zwischen Korngröße und Sinkgeschwindigkeit und damit für eine bestimmte Sedimentprobe auch eine eindeutige Beziehung zwischen den Verteilungen dieser beiden Größen an. Auch bei einer Übertragung von Laborergebnissen auf die Großausführung muss dieser Zusammenhang postuliert werden (Weiß 2016).

Doch auch dort, wo man die Verteilungen kennt oder durch Nasssiebung zumindest eine Trennung nach feinen und groben Fraktionen erreichen kann, ist diese Eindeutigkeit zwischen Korn- und Sinkgeschwindigkeitsverteilung nicht immer gegeben. Eine wesentliche Ursache ist das oft zu beobachtende spontane Flocken echten feinen Kanalsediments. Sedimentflocken können – anders als die

feinen Einzelkörner, aus denen sie zusammengesetzt sind – eine relativ große Sinkgeschwindigkeit haben. Geflocktes Material lässt sich dann sehr gut durch Absetzen entfernen. Bei der Untersuchung von Sedimentproben per Nasssiebung werden diese Flocken aber wieder zerstört, das Material wird so wieder der Klasse AFS63 zugeordnet und es ergibt sich für diese Fraktion ein recht hoher Wirkungsgrad. Qualitativ wird also flockendes Sediment in großtechnischen Versuchen deutlich höhere Wirkungsgrade zeigen als solches, welches nur wenig oder gar nicht flockt. Leider lässt sich mit dem derzeitigen Kenntnisstand die Flockungseigenschaft für ein bestimmtes Sediment nicht voraussagen.

Bei einigen dezentralen Regenwasserbehandlungsanlagen wird gleichfalls die Schrägklärertechnik eingesetzt und die Wirkung dieser Anlagen z.B. im Zulassungsverfahren des Landes Nordrhein-Westfalen (NRW 2011) unter Einsatz von nicht flockendem Quarzmehl (Millisil®) bekannter Korn- und Sinkgeschwindigkeitsverteilung bestimmt. Die Verwendung als Prüfsediment mag angebracht sein, zumal die Prüfverfahren speziell auf dezentrale Anlagen mit Filterwirkung abzielen und man dort für flockendes Sediment tendenziell bessere Wirkungsgrade erwarten kann und somit auf der sicheren Seite liegt. Trotzdem ist auch hier eine direkte Übertragung der Wirkungsgrade auf reales Sediment kaum zulässig.

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Übertragung von Aussagen über den stationären Sedimentationswirkungsgrad bei Schrägklärern ist problematisch. Ergebnisse von Modell- oder großtechnischen Versuchen unter Laborbedingungen mit nicht flockendem Sediment lassen sich nicht ohne Weiteres auf echtes Kanalsediment übertragen, selbst wenn dessen Verteilung der Sinkgeschwindigkeit bekannt ist. Tendenziell haben Schrägklärer in der Regenwasserbehandlung für echtes Abwassersediment einen überraschend guten Sedimentationswirkungsgrad. Gründe dafür sind die dort offenbar eher gering ausgeprägte Tendenz des abgesetzten Sedimentes zum Abrutschen und Wiedereinmischen, vor allem aber auch die Eigenschaft der Feinfraktion vieler Kanalsedimente, spontan Flocken zu bilden, die relativ gut absetzbar sind. Beide Effekte beeinflussen offensichtlich die Wirkung der Behandlung im Schrägklärer sehr stark, während die Oberflächenbeschickung und die gleichmäßige Durchströmung keinesfalls allein maßgebend sind.

Künftige Forschung am Schrägklärer sollte daher abhängig von der Herkunft des Regen- oder Mischwassers auch die Eigenschaften von Kanalsediment samt dessen Flockungseigenschaften näher untersuchen: Wie verhält sich das Sediment auf geneigten, überströmten Flächen? Wie ist die Dynamik des Abrutschvorganges von Sedimentplaggen? Was passiert im Sumpf und unter welchen Voraussetzungen wird abrutschendes Sediment wieder eingemischt?

7 REFERENZEN

- Brenda, M., Sonnenburg, A., Urban, W. (2016): Hybride Schlammmodellierung in der Abwasserreinigung. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall Nr. 6, S. 521-526
- DESSIN (2016): Demonstrate ecosystem services enabling innovation in the water sector. EU-Forschungsprojekt. Webseite des Projekts https://dessin-project.eu/?page_id=40, 13.06.2016
- DWA-M 176 (2013): Hinweise zur konstruktiven Gestaltung und Ausrüstung von Bauwerken der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung. Merkblatt, Deutsche Vereinigung für Wasser und Abfall (DWA).
- Fuchs, S., Mayer, I., Haller, B., Roth, H. (2014): Lamella settlers for storm water treatment - performance and design recommendations. *Water Science and Technology* 69, No. 2, pp. 278–283.
- Kemper, M., Fuchs, S., Voßwinkel, N., Mohn, R., Uhl, M., Rechten, S., Weiß, G. (2015): Optimierung der Leistungsfähigkeit von Regenüberlaufbecken mittels Schrägklärertechnologie. Schlussbericht. Untersuchungs- und Entwicklungsvorhaben im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. http://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_mmkresearchprojects/20151216_Schlussbericht_Schraegklaerer_01.pdf, besucht am 24.02.2016
- NRW (2011): Dezentrale Niederschlagswasserbehandlung in Trennsystemen – Umsetzung des Trennerlasses. Abschlussbericht des Forschungsprojektes, gefördert vom MKULNV NRW. Stand: November 2011. http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/forschung/pdf/20111125_Gesamtbericht.pdf, besucht am 11.02.2015
- Pinnekamp, J. (2010): Lamellenabscheider in der Mischwasserbehandlung. Teil 1: Literaturrecherche. Teil 2: Messkampagne RÜB Homberg-Hakenfeld. Abschlussbericht, gerichtet an LINEG. http://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_mmkresearchprojects/Abschlussbericht_Messkampagne_RUEB_Homberg-Hakenfeld.pdf, besucht am 24.02.2016
- Schmitt, Th. (2012): Weiterentwicklung des DWA-Regelwerks für Regenwetterabflüsse. Ein Werkstattbericht. *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall*, 59, Heft 3, S. 192-200.

-
- Weiß, G. (2014): Sedimentation in rechteckigen Durchlauf- und Regenklärbecken. 13. DWA-Regenwassertage, Dresden, 01.07.-02.07.2014.
- Weiß, G. (2016): Lamella settlers for treatment of urban storm runoff: Experience with model and prototype tests. NOVATECH 2016, Lyon (Frankreich), 28.06.-01.07.2016.