

# Physikalische Modellversuche zum Nachweis der Vermeidung von Remobilisation in Sedimentationsanlagen

H. Milke\*, D. Hennig und T. Sahlbach

<sup>1</sup>HTWK Leipzig, Institut für Wasserbau und Siedlungswasserwirtschaft, Karl-Liebknecht Str. 132, D-04277 Leipzig

\*Email des korrespondierenden Autors: milke@iws.htwk-leipzig.de

**Kurzfassung** Im nachfolgenden Beitrag wird ein Verfahren zur Einordnung dezentraler und semizentraler Sedimentationsanlagen in das DWA M-153 vorgestellt. Dezentrale und semizentrale Sedimentationsanlagen werden heute oft industriell hergestellt, sind für die Behandlung der belasteten Regenwasserabflüsse von kleinen bis mittelgroßen Flächen gedacht und unterliegen heute zum Teil schon Bauartzulassungen. Institutionelle Nachweise werden zudem üblicherweise von den Genehmigungsbehörden eingefordert. Die vorgestellte Methode basiert auf einem Referenzverfahren im Rahmen von Modellversuchen nach dem Froude'schen Ähnlichkeitsgesetz. Als Referenzanlage wird ein in der DWA M-153 gelistetes Regenklärbecken mit Dauerstau zugrunde gelegt, an dessen Leistungsfähigkeit die Einordnung nicht gelisteter Anlagen vorgenommen werden kann. Eine bessere Differenzierung von empirischen Durchgangswerten im DWA M-153 wäre nach dieser Methode perspektivisch denkbar.

**Schlagerwörter:** Regenwasserbehandlung, Sedimentation, Strömungstrenner, Modellversuche

## 1 EINLEITUNG

Die Forderung nach einer Behandlung von belasteten Regenabflüssen entsprechend dem Stand der Technik, nicht zuletzt mit der Novellierung des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG 2009) für Deutschland, hat zu einer vielfältigen und breiten Marktentwicklung von dezentralen und semizentralen Regenwasserbehandlungsanlagen geführt. Der überwiegende Teil dieser Anlagen beruht auf den Prinzipien „Sedimentation“ oder/und „Filtration“. Die Aufgabenfülle der Anlagen reicht dabei von der Vorbehandlung der Abflüsse von stark verschmutzten Flächen als Indirekteinleiter über die Behandlung als Direkteinleiter oder den Leichtstoffrückhalt. Der Vorteil von industriemäßig hergestellten Anlagen für angeschlossene befestigte Flächen von wenigen Quadratmetern bis zu einigen Tausend Quadratmetern liegt in der Möglichkeit der Nachweisführung für größere Stückzahlen bzw. Modulhaft aufgebaute Systeme gegenüber Einzellösungen nach DWA M153, wie sie bei zentralen Behandlungsanlagen für das Regenwasser meist üblich sind. Dies setzt natürlich voraus, dass entsprechend definierte und anerkannte Randbedingungen für die Zulassung existieren. Problematisch wird es, wenn den Anlagentypen ein unterschiedlicher Wirkmechanismus zugrunde liegt. Speziell Filteranlagen sind für eine kontinuierliche Reinigungsleistung bei vorgegebener hydraulischer Belastung ausgelegt, wohingegen Sedimentationsanlagen mit Dauerstau, durch ihr größeres Puffervolumen, vor der sich einstellenden „kontinuierlichen“ Sedimentationsleistung gewissermaßen als BATCH-Reaktor [Schmidt et.al. 2011] funktionieren. Eine weitere Problematik bei kleinen Anlagen stellt die Begrenzung auf einen kritischen Abfluss dar, wie sie in zentralen Anlagen für  $r_{krit} = 15, 30$  oder  $45 \text{ l/(s*ha)}$  üblich ist. Die Abflussbegrenzung würde bei Flächen von unter einem Hektar, nicht dauerhaft verstopfungsfrei funktionieren. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass auch Starkregenereignisse durch die Anlage hindurchgeleitet werden müssten, ohne dabei aber eine Remobilisierung der abgesetzten Schmutzstoffe hervorzurufen.

## 2 ANLAGENPRÜFUNG VS. PHYSIKALISCHE MODELLVERSUCHE

Anlagen zur Regenwasserbehandlung können im Rahmen eines Wasserrechtsverfahrens oder über eine Bauartzulassung nach [DIBt, 2011] geprüft und eingesetzt werden. In den letzten Jahren sind eine Reihe von Anlagentypen im Rahmen von Forschungsvorhaben untersucht und Vorschläge zur Optimierung von Prüfverfahren unterbreitet worden [Schmidt et.al; 2011]. Währenddessen die Wirksamkeit von Anlagen der zentralen Regenwasserbehandlung nach ATV A166 (z.B. Regenklärbecken mit und ohne Dauerstau) weitgehend nur dahingehend überprüft werden ob augenscheinlich die Regeln der Technik eingehalten werden, nicht aber ein Funktionsnachweis gefordert wird, werden bei der Bauartzulassung strenge

Grundsätze zugrunde gelegt. Aber auch die Bauartzulassung bei dezentralen Anlagen dürfte ihre Grenzen in der Grösse der anschließbaren Fläche haben, wenn der maximale Durchfluss der Anlage unter Laborbedingungen geprüft werden soll.

Als Alternative zu Bauartzulassungen und der Möglichkeit des Nachweises von zentralen Behandlungsanlagen mit Sedimentationsprinzip bieten sich Modellversuche nach dem Froude'schen Ähnlichkeitsgesetz an. Für eine Vergleichbarkeit des Wirkungsgrades unterschiedlicher Sedimentationsanlagen sind dabei Prüfmehle definierter Zusammensetzung erforderlich, wie sie auch bei Bauartprüfungen durch das DIBt verwendet werden. In Frage kommen für diese Untersuchung auf Grund der vorhandenen Wichte beispielsweise Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) oder die Prüfmehle Millisil W4 oder W11 wie sie beispielsweise vom DIBt zur Prüfung eingesetzt werden. Um eine Verhältnismäßigkeit darzustellen, ist weiterhin von einem Referenzverfahren auszugehen. Damit kann die Wirkung einer Sedimentationsanlage im Vergleich zu einer bekannten Anlage dargestellt werden. Zum besseren Verständnis soll im Folgenden am Beispiel der SediPipe® der Fränkischen Rohrwerke das Vorgehen erläutert werden.

Als Referenzanlage soll das Modell eines Regenklärbeckens mit Dauerstau, welches die üblichen Klärbedingungen einhält, im Maßstab 1:5 dienen. Die Abmessungen im „Naturmaßstab“ betragen Länge 10m x Breite 4m x Tiefe 2m. Für die Umrechnung wurde das Froude'sche Ähnlichkeitsgesetz zugrunde gelegt, bei dem sich die in Tabelle 1 dargestellten Maßstabsfaktoren der interessierenden physikalischen Größen vom Natur- in den Modellmaßstab ergaben.

**Tabelle 1 Umrechnungsfaktoren nach dem Froude'schen Modellgesetz für den Maßstab 1 : 5**

Physikalische Größen	Einheit	1 : $L_r$	Maßstab 1 : 5
Längen, Breiten, Höhen	m	$(L_r)^1$	5,0
Flächen	m <sup>2</sup>	$(L_r)^2$	25,00
Volumina	m <sup>3</sup>	$(L_r)^3$	125,00
Zeiten	s	$(L_r)^{1/2}$	2,24
Geschwindigkeiten	m/s	$(L_r)^{1/2}$	2,24
Durchflüsse	m <sup>3</sup> /s	$(L_r)^{5/2}$	55,90
Gewichte, Kräfte	N	$(L_r)^3$	125,00
Arbeit, Energie	Nm	$(L_r)^4$	625,00

Daraus leiteten sich für das Modell Abbildung 1 die Abmessungen 2m x 0,8m x 0,4m ab. Gleichermäßen wurde das Modell einer SediPipe® Anlage 2 in Plexiglas nachgebaut.



**Abbildung 1: Modell Regenklärbecken**



**Abbildung 2: Modell Sedi-pipe**

Zum Nachweis der Vergleichbarkeit wurden parallel Versuche an Original Anlagen der SediPipe® im Labor durchgeführt und konnten belegen, dass Modellversuche eine alternative Möglichkeit für Referenzuntersuchungen darstellen.

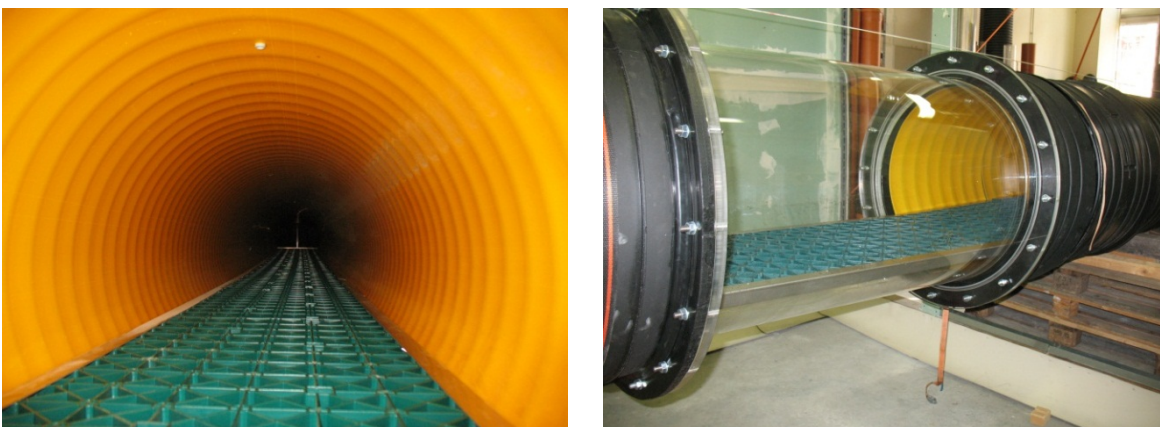


**Abbildung 3 Originalanlage einer SediPipe® (li 6m Anlage, re 12m Anlage) im Labor für die Prüfung aufgebaut**

Die Prüfung der Originalanlage erfolgte unter den gleichen Bedingungen, wie sie für die Einzelzulassung nach DIBt üblich sind. Deutlich wird, dass für Prüfungen entsprechend den Grundsätzen des DIBt, bei welchem das Ergebnis sehr stark von der jeweils festgelegten Prüfmethodik abhängig ist. Die derzeit festgelegten Prüfgrundsätze sind somit nicht dazu geeignet gleiche Versuche im Modellmaßstab durchzuführen. Im Gegensatz dazu stellen deshalb die Modellversuche nicht auf eine Applikation der DIBt Einzelzulassungen ab, sondern sind auf einen Vergleich zur „Referenzmethode Wirkung im Regenklärbecken“ ausgerichtet.

### **3 STRÖMUNGSTRENNER ZUR VERMEIDUNG DER REMOBILISIERUNG**

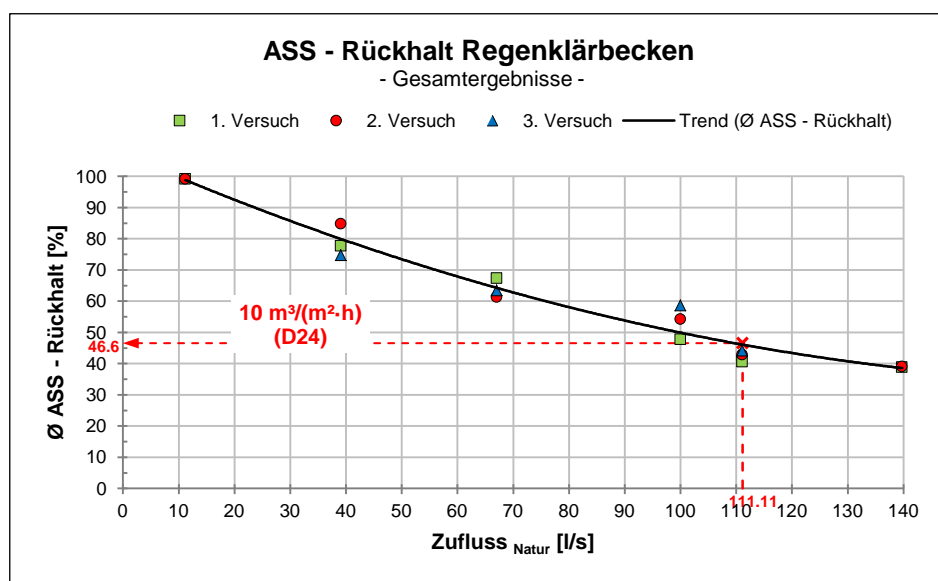
Ein wesentliches Problem dezentraler/semizentraler Sedimentationsanlagen, wie der SediPipe® ist im Gegensatz zum Regenklärbecken die Beschickung ohne Begrenzung auf eine kritische Regenspende. Dies kann zu einer Remobilisierung der Sedimente bei seltenen Starkregen führen. Aus diesem Grund ist eine Depotsicherung bereits abgesetzter Sedimente sicherzustellen. Im Falle der SediPipe® erfolgt dies mit Hilfe eines sogenannten Strömungstrenners, welcher für eine Separierung in einen Depotsicherungsraum unterhalb des Strömungstrenners und einem Sedimentationsraum oberhalb des Strömungstrenners zuständig ist. Der Depotsicherungsraum sollte dabei auch bei Starkregenereignissen eine Fließgeschwindigkeit nahezu  $v=0\text{m/s}$  aufweisen. Die Wirkung des Sedimentationsraumes ist hingegen abhängig vom jeweiligen Niederschlagsereignis und der sich damit einstellenden Fließgeschwindigkeit.



**Abbildung 4 Strömungstrenner im SediPipe®, links im eingebauten Versuchsstand zur Visualisierung**

#### 4 EINORDNUNG IN DAS DWA M-153

Ziel des „Referenzverfahrens“ ist es, eine Vergleichbarkeit von neu entwickelten, dezentralen Sedimentationsanlagen, zu Anlagen auf der Grundlage der Sedimentation nach dem DWA Merkblatt M153 herzustellen. Das DWA M153 (2007) stellt ein Verfahren zur Bewertung von Niederschlagsabflüssen hinsichtlich einer erforderlichen Behandlung dar. Im Falle einer notwendigen Behandlung, sind dafür auch die möglichen Behandlungsverfahren ableitbar. Diese werden nach sogenannten Durchgangswerten zwischen 0,1 – 1,0 klassifiziert, wobei kleine Werte eine bessere Wirkung bei der Regenwasserbehandlung beschreiben als große Werte. Da es sich jedoch bei der Zuordnung der Anlagen zu einem Durchgangswert nicht um einen abgesicherten Wirkungsgrad handelt, sondern um eine Festlegung a priori, wäre die Einordnung von neuen Anlagentypen in Relation zu einer in M153 aufgeführten Anlage möglich. Als Referenzanlage wurde dabei das Regenklärbecken mit Dauerstau (RKB) ausgewählt, weil es eines der am meisten verbreiteten Verfahren zur Regenwasserbehandlung darstellt. Ihm wird nach M153 als Typ D24 in Abhängigkeit von der kritischen Regenspende ein Durchgangswert zwischen 0,65 und 0,5 zugeordnet. Prinzipiell wären aber auch andere Anlagen als Referenz denkbar. Nunmehr wurden zunächst Modellversuche zur Sedimentationsleistung am Referenzmodell RKB durchgeführt und anschließend über den ASS Rückhalt im RKB der Vergleich der Sedimentation im Modell eines SediPipe<sup>®</sup> ermittelt. Dieser wiederum lässt über die Rückrechnung des Ähnlichkeitsgesetzes für unterschiedliche Bauweisen in Abhängigkeit der anzuschließenden Fläche eine Einordnung des Durchgangswertes im Vergleich zum RKB zu. Für das Modell des RKB ergab sich, wie in Abbildung 5 dargestellt, dabei für das Kriterium maximale Oberflächenbeschickung  $q = 10 \text{ m}^3/\text{h}$  ein ASS Rückhalt von 46,6% bei dem eingesetzten Prüfmehl. Zur besseren Darstellung wurden die Versuche auch für größere und kleinere Durchflüsse durchgeführt.



**Abbildung 5 ASS-Rückhalt des Regenklärbeckens bei unterschiedlicher hydraulischer Belastung zwischen 10 l/s und 140 l/s (nach den Modellgesetzen umgerechnete Durchflüsse aus den Modellversuchen)**

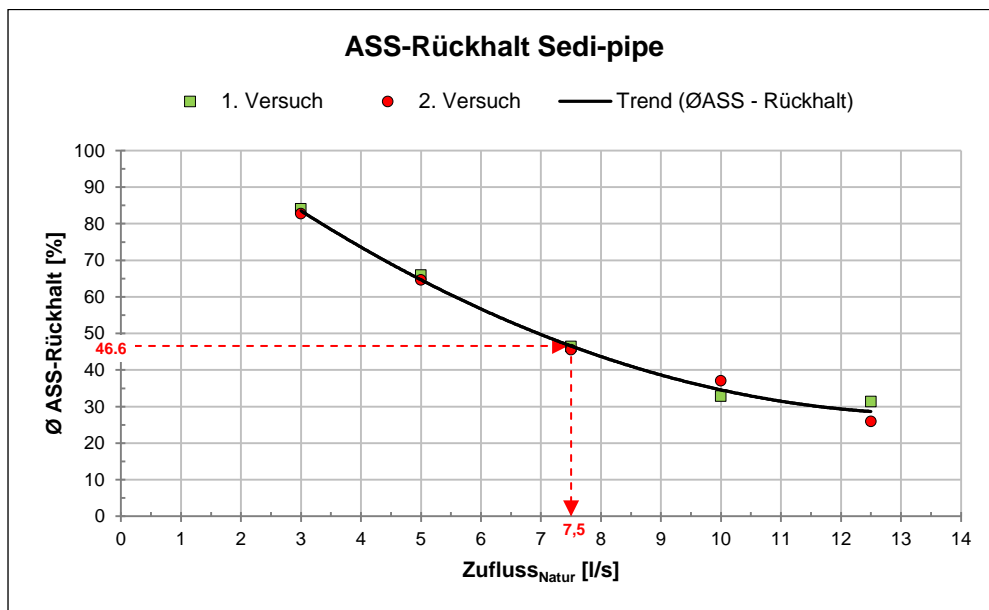
In Abhängigkeit der anzusetzenden kritischen Regenspende konnten nun die maximal möglichen, anschließbaren Flächen  $A_{\text{red}}$  entsprechend Tabelle 2 rückgerechnet werden.

**Tabelle 2 Maximal anschließbare Fläche  $A_{\text{red}}$  für das untersuchte Regenklärbecken nach Merkblatt DWA-M 153 Anlagentyp D24 in Abhängigkeit der Regenspende**

Regenklärbecken (Natur LxBxH 10x4x2m)						
Einordnung DWA-M 153	ASS Rückhalt [%]	Durchfluss [l/s]	anschließbare Fläche $A_{\text{red}}$ [m²] bei $r_{\text{krit}}$ [l/(s·ha)]			
			15	30	45	100
D24	46,6	111,11	74073	37037	24691	-

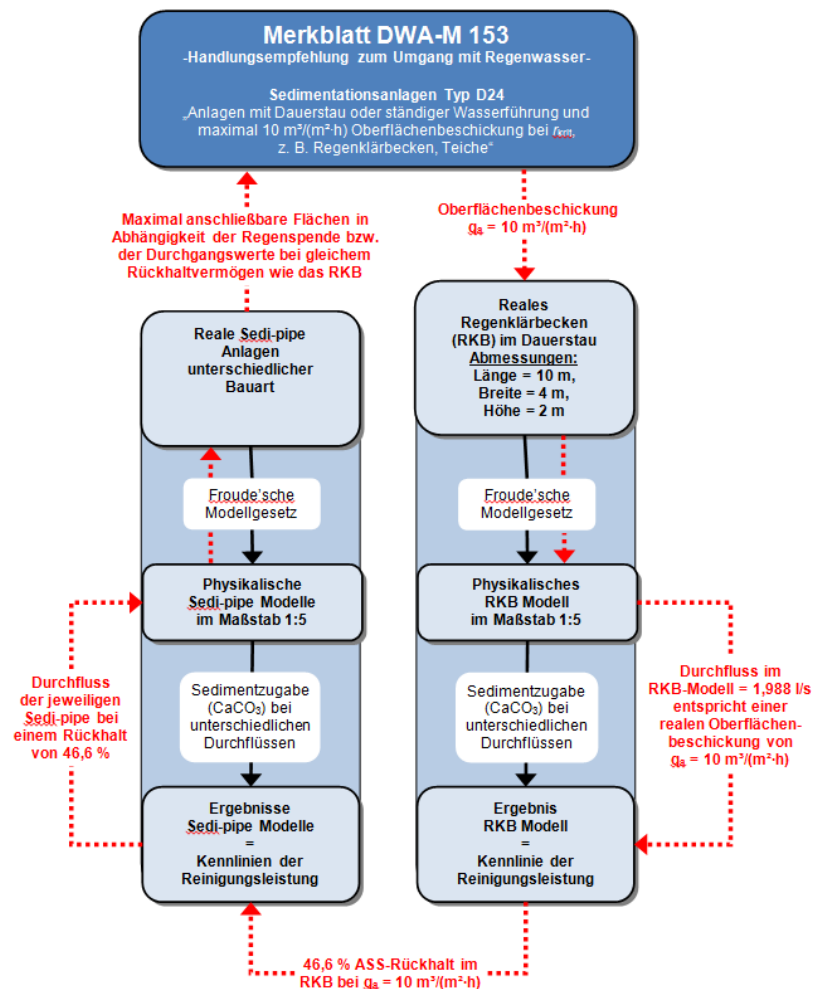


Die Modellversuche an den SediPipe® Modellen ergaben für den äquivalenten ASS Rückhalt den jeweils zugehörigen Zufluss nach Abbildung 6.



**Abbildung 6 Beispiel: Leistungskurve an ASS-Rückhalt für die Sedi-pipe**

Zur besseren Übersichtlichkeit soll die beschriebene Verfahrensweise in der nachfolgenden Abbildung 7 zusammengefasst werden.



**Abbildung 7 Ablaufschema zur Untersuchungsmethodik**

## 5 AUSBLICK – WEITERE UNTERSUCHUNGEN

Es soll an dieser Stelle darauf verwiesen werden, dass die Bewertung der Wirksamkeit von Sedimentationsanlagen zur Regenwasserbehandlung bisher immer noch einer weitgehend empirischen Betrachtungsweise unterliegt. Die derzeit bekannten Zusammenhänge und Wirkmechanismen reichen noch nicht aus, um ein umfassendes Bild der Strömungs-, Sedimentations- und Remobilisationsprozesse zu beschreiben. Anders als beispielsweise die Strömungs- und Sedimentationsprozesse in Belebungs- und Nachklärbecken von Kläranlagen haben wir es bei der Regenwasserbehandlung mit diskontinuierlichen Prozessen zu tun, bei denen sich auch durch unterschiedliche Temperaturniveaus z.B. Dichteströmungen einstellen können. Auch die weitgehend vorausgesetzte „laminare Strömung“ bei gleichmäßiger Durchströmung ist ein Trugschluss. Selbst die numerische 3D CFD-Modellierung steht dabei erst am Anfang. Die Auswahl geeigneter Turbulenzmodelle und deren Verifizierung im Modellversuch lässt noch ein breites Aufgabenfeld offen.

## 6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Im vorliegenden Beitrag wird gezeigt, dass neben den Kriterien der Bauartzulassung für dezentrale Einzelanlagen, auch die Möglichkeit einer Referenzmethode über Modellversuche möglich ist. Speziell für Behandlungsanlagen zur Sedimentation ist eine solche Vorgehensweise sinnvoll. Sie könnte auch insgesamt zur besseren Differenzierung von Durchgangswerten nach DWA M153 beitragen. Derzeit sind diese Durchgangswerte nur empirisch bestimmt worden. Zudem wäre eine besser Konvergenz von Bauartzulassung und DWA M153 möglich.

## 7 REFERENZEN

- WHG (2009) Bundesgesetzblatt vom 31. Juli 2009 (2009) Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG)
- DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik) (2011): Zulassungsgrundsätze für Niederschlags-wasserbehandlungsanlagen. Teil 1: Anlagen zum Anschluss von Kfz-Verkehrsflächen bis 2.000 m<sup>2</sup> und Behandlung des Abwassers zur anschließenden Versickerung in Boden und Grundwasser. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, Entwurf Februar 2011
- DWA-M 153 (2007): Handlungsempfehlungen zum Umgang mit Regenwasser. Merkblatt DWA-M 153, Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
- Uhl, M. und Maus, C. (2011) Dezentrale Behandlung von Verkehrsflächenabflüssen, Straßenentwässerung 06. April 2011, Friedberg/Hessen, Stadthalle
- Schmitt, T. et.al. (2011) Entwicklung von Prüfverfahren für Anlagen der dezentralen Niederschlagswasserbehandlung im Trennverfahren. DBU Abschlussbericht, Juni 2011
- Milke, H., Hennig, D., und Reinke, M. (2010) Bestimmung der Leistungsfähigkeit einer dezentralen Regenwasserbehandlungsanlage und Einordnung in das Merkblatt DWA-M153, Untersuchungsbericht (unveröffentlicht)