

Modifikation eines dezentralen Behandlungssystems für Niederschlagswasser von Verkehrsflächen und Nachweis des Leistungsvermögens unter realen Bedingungen

September 2008

Auftraggeber: Ministerium für Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes
Nordrhein-Westfalen
Schwannstraße 3
40476 Düsseldorf

Bearbeitung: Hochschule Ostwestfalen-Lippe,
Abteilung Höxter
An der Wilhelmshöhe 44
37671 Höxter

Dipl.-Ing. Volker Pick
Prof. Dr.-Ing. Joachim Fettig
Prof. Dipl.-Ing. Manfred Miethe

Bearbeitung

Prof. Dr.-Ing. Joachim Fettig
Projektleitung

Prof. Dipl.-Ing. Manfred Miethe

Dipl.-Ing. Volker Pick

Dipl.-Ing. Henrike Liebe

Westfälisches Umwelt Zentrum (WUZ)

Geschäftsstelle Höxter

Höxter, den 29.09.2008

Prof. Dr.-Ing. J. Fettig

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	1
2	Aufbau des Prüfstandes	2
2.1	Anforderungen und Voraussetzungen	2
2.2	Aufbau	2
2.3	Synthetisches Straßenablaufwasser	6
2.3.1	Zusammensetzung	6
2.3.2	Konzentrationen	9
3	Untersuchungen zur Optimierung des Centrifoeel-Systems	11
3.1	Beschreibung des CENTRIFOEL®-Systems	11
3.2	Defizite und Untersuchungskriterien	12
3.3	Verbesserung der Abscheideleistung	13
3.3.1	Strategie	13
3.3.2	Volumenströme	14
3.3.3	Analytik	15
3.3.4	Modifikation des Centrifoeel-Systems	16
3.3.5	Vorbereitung des untersuchten Systems	19
3.3.6	Versuchsdurchführung	20
3.3.7	Ergebnisse	22
3.3.7.1	Allgemeines	22
3.3.7.2	Abfiltrierbare Stoffe (AFS)	22
3.3.7.3	Glühverlust	28
3.3.7.4	Verhalten des beladenen Systems bei hoher hydraulischer Belastung	31
3.3.7.5	Partikelanzahl	33
3.3.8	Zusammenfassung	38
3.3.9	Empfehlungen	39
3.4	Verringerung der Verblockungsneigung des Koaleszenzfilters	40
3.5	Erleichterungen bei der Anlagenreinigung	41
3.6	Umsetzung weiterer Modifikationen des ursprünglichen Systems	43

4	Erfahrungen aus dem Betrieb des modifizierten Systems unter realen Bedingungen	45
4.1	Allgemeines	45
4.2	Vorgehen	46
4.3	Hydrologie und Hydraulik	46
4.3.1	Datenaufarbeitung und Summenwerte	46
4.3.2	Betrachtung ausgewählter Regenereignisse	47
4.3.2.1	Betriebsphase I mit eingebautem Koaleszenzfilter, Sonde des Q-Loggers in der 2. Kammer	49
4.3.2.2	Betriebsphase II ohne Koaleszenzfilter, Sonde des Q-Loggers in der 2. Kammer	55
4.3.3	Beurteilung der hydraulischen Leistungsfähigkeit des modifizierten Systems	57
4.4	Wasserqualitätsparameter	61
4.4.1	pH-Wert	61
4.4.2	Leitfähigkeit	62
4.4.3	Trübung	62
4.4.4	Abfiltrierbare Stoffe (AFS)	63
4.4.5	Glühverlust	66
4.4.6	Datenvergleich mit der vorangegangenen Untersuchung	67
4.4.7	Fazit	68
5	Zusammenfassung	69
6	Literatur	72

1 Einleitung

Im Zeitraum 2005 - 2006 wurden durch den Auftragnehmer im Rahmen eines durch das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz geförderten Forschungsvorhabens Untersuchungen zur Wirksamkeit und zum Betriebsverhalten eines dezentralen Behandlungssystems der Marke „Centrifoeel“ für Niederschlagswasser von Verkehrsflächen durchgeführt [1]. Dabei zeigten sich Defizite in den Bereichen Störanfälligkeit, Abscheideleistung für suspendierte Stoffe und Wartungsarbeiten. Die hieraus resultierenden kurzen Wartungsintervalle wirken sich auch nachteilig auf die Betriebskosten aus. Eine Empfehlung des Systems als Alternative zu einer zentralen Lösung konnte daher nicht ohne Einschränkungen ausgesprochen werden.

Im Rahmen dieses weiterführenden Vorhabens wurden Untersuchungen mit dem Ziel einer Optimierung des Systems durchgeführt. Um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, wurde hierzu im Wasserbaulabor der Hochschule Ostwestfalen Lippe, Standort Höxter, ein Teststand eingerichtet, mit dem dezentrale Behandlungssysteme unterschiedlichen hydraulischen und stofflichen Belastungssituationen ausgesetzt werden können. Auf der Grundlage von Literaturdaten wurden zwei unterschiedliche synthetische Ablaufwässer hergestellt und in verschiedenen Konzentrationsstufen eingesetzt. Ergänzend wurde die Leistungsfähigkeit des modifizierten Systems unter realen Bedingungen überprüft.

Die Ziele der durchgeführten Untersuchungen lauteten:

- Verbesserung der Abscheideleistung
- Erhöhung der Wartungsintervalle auf einen ca. sechsmonatigen Zeitraum
- Erleichterungen bei der Anlagenreinigung

2 Aufbau des Prüfstandes

2.1 Anforderungen und Voraussetzungen

Ein standardisiertes Verfahren zur Überprüfung der Reinigungsleistung und des Betriebsverhaltens dezentraler Behandlungssysteme für Niederschlagswasser von Verkehrsflächen, wie es zum Beispiel im Bereich der Leichtstoffabscheider (Ölabscheider) existiert, besteht derzeit noch nicht. Für die Untersuchungen zur Modifikation des Behandlungssystems wurde daher ein Prüfstand aufgebaut, der die folgenden Bedingungen erfüllen sollte:

- Gute Übereinstimmung mit realen Einbaubedingungen des jeweils getesteten Systems
- Einstellung variabler Volumenströme
- Gewährleistung eines mehrfachen Austausches des Wasservolumens im zu untersuchenden System
- Möglichkeit der Einstellung einer variablen stofflichen Belastung
- Bilanzierbarkeit der Stoffströme in der zu untersuchenden Anlage
- Einfache Handhabung und Flexibilität bei der Anpassung an andere Systeme

2.2 Aufbau

Der Prüfstand besteht aus einem Grundsystem für die Zu- und Ableitung des Wassers und die Stoffaufgabe sowie eine an das jeweils zu untersuchende System angepasste Versuchsfläche. In Abbildung 1 ist das Fließbild und in Abbildung 2 ein Photo des Prüfstandes dargestellt.

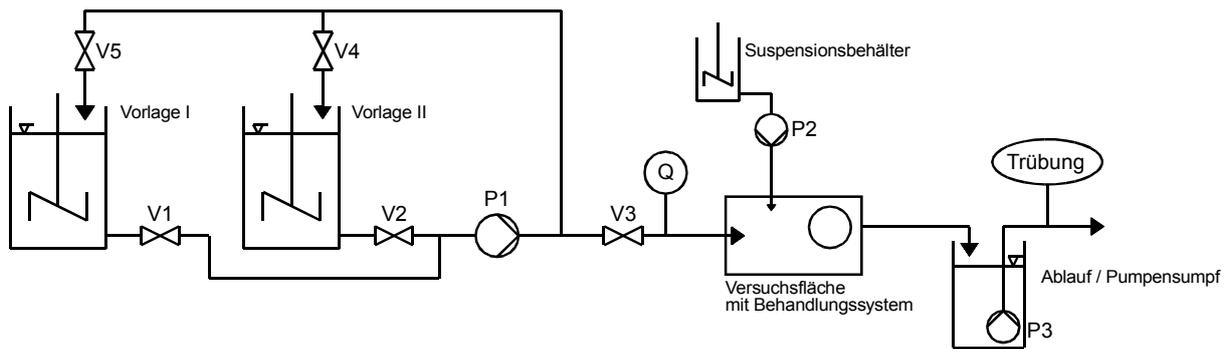


Abbildung 1: Fließbild des Prüfstandes



Abbildung 2: Prüfstand mit Vorlagebehältern, Pumpen sowie Centrifuel-System mit Aufsatz

Für den Aufbau und die Inbetriebnahme des Prüfstandes wurde teilweise auf Geräte aus dem Hochschulbereich zurückgegriffen. Die beiden Rührbehälter sind im Rahmen eines vorangegangenen Drittmittelprojektes des Fachgebietes Deponie und Abfallwirtschaft beschafft worden und wurden nun innerhalb dieses Vorhabens weiter verwendet.

Der Prüfstand setzt sich im Wesentlichen aus folgenden Komponenten zusammen:

- 2 x Rührbehälter mit einem Volumen á 1,5 m³
- 1 x Kreiselpumpe (P1) zur Beaufschlagung der Versuchsfläche, $Q_{\max} = 30 \text{ m}^3/\text{h}$ (ca. 8,3 l/s)
- 1 x Schlauchpumpe (P2) zur Suspensionsaufgabe auf die Versuchsfläche mit gerührter Vorlage
- 1 x niveaugesteuerte Tauchmotorpumpe (P3) zur Wasserableitung, $Q_{\max} = 30 \text{ m}^3/\text{h}$ (ca. 8,3 l/s)
- 1 x Behälter mit einem Volumen von 120 l als Pumpensumpf
- Diverse Armaturen (Kupplungen, Tüllen, Kugelhähne, T-Stücke etc.)
- Kunststoffleitungen mit unterschiedlichen Durchmessern (1 - 2 Zoll)
- Zulaufseitige Durchflussmessung
- Ablaufseitige Trübungsmessung
- Probenehmer
- Versuchsfläche als Aufsatz für das Centrifloel-System
- Laborgerüst zur Abstützung des Aufsatzes

Die Versuchsfläche für das Centrifloel-System wurde aus harzbeschichteten Fahrzeugplatten (Dicke = 2 cm) gefertigt. Die weiteren Maße sind den vereinfachten, schematischen Zeichnungen der Abbildung 3 und Abbildung 4 zu entnehmen. Abbildung 5 stellt ein Photo des Aufsatzes mit der Anschlussplatte für die Wasserzuleitung und dem davor montiertem Spritzschutzblech dar.

In einer Vorversuchsreihe, in der die Anlagenkomponenten auf ihre Tüchtigkeit hin untersucht wurden, erfolgte der Ansatz des synthetischen Testwassers zunächst direkt in den Rührbehältern. Durch eine begleitende Bestimmung der abfiltrierbaren Stoffe im Zulauf der Versuchsfläche stellte sich jedoch heraus, dass eine konstante Konzentration auf diesem Wege nicht gewährleistet werden konnte. Die größeren Feststoffteilchen sedimentierten bereits im Leitungssystem der installierten Kreiselpumpe (P1) und reicherten sich dort an.

Daher erfolgte bei allen beschriebenen Versuchen die Feststoffdosierung aus einer Stammsuspension mittels Schlauchpumpe (P2) über einen Polyschlauch, welcher am Spritzschutzblech fixiert wurde, in den Zulaufbereich der Versuchsfläche.

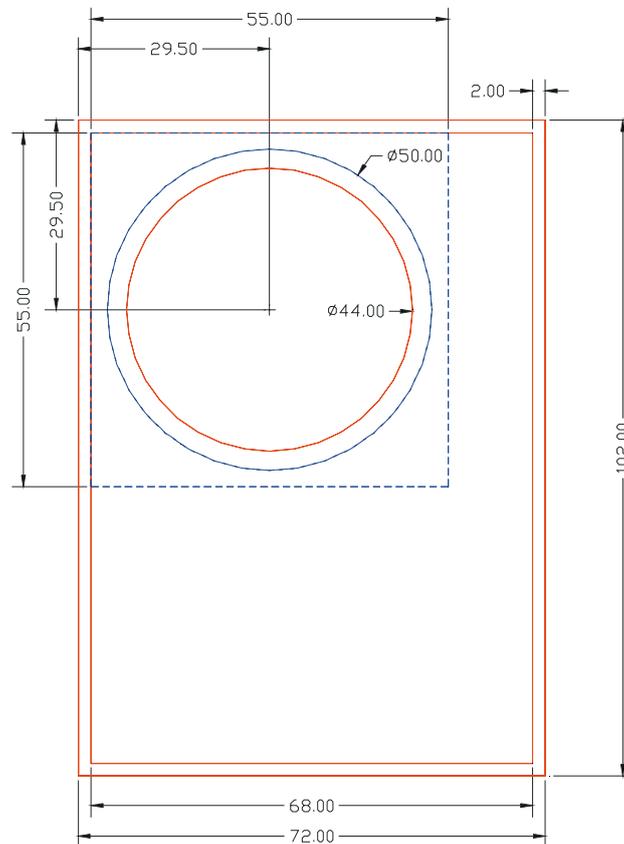


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Versuchsfläche; Draufsicht

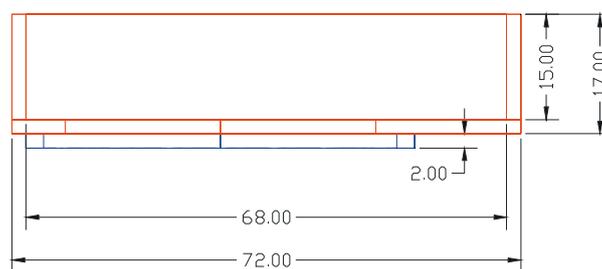


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Versuchsfläche; Vorderansicht



Abbildung 5: Versuchsfäche mit Anschlussplatte für die Wasseraufgabe und installiertem Spritzschutzblech

2.3 Synthetisches Straßenablaufwasser

2.3.1 Zusammensetzung

Die Zusammensetzung des synthetischen Straßenablaufwassers wurde nach Auswertung der Literatur zur Charakterisierung der im abfließenden Niederschlagswasser von Verkehrsflächen enthaltenen Feststoffe festgelegt. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Bandbreite der stofflichen Zusammensetzung und der Korngrößenverteilung unter anderem abhängig ist von:

- Beprobter Fläche und ihrer Nutzung
- Deposition aus entfernten Quellen
- Jahreszeitlichen Schwankungen
- Niederschlagscharakteristika im Beprobungszeitraum
- Einzelereignissen (z.B. Havarie)

Um Aussagen zur Reinigungsleistung bei jahreszeitlichen Schwankungen (Winter- und Sommerhalbjahr) der Abwasserzusammensetzung treffen zu können, wurden zwei synthetische Wässer mit unterschiedlicher Zusammensetzung eingesetzt:

- Mineralische Inhaltsstoffe, stellvertretend für das Winterhalbjahr
- Mineralische und organische Inhaltsstoffe, stellvertretend für das Sommerhalbjahr

Die Ermittlung geeigneter Zusammensetzungen der synthetischen Wässer wird nachfolgend beschrieben.

Die Hauptbelastung von Straßenabflüssen liegt in ungelöster Form vor und wird summarisch durch den Parameter Abfiltrierbare Stoffe (AFS) erfasst. Zahlreichen Untersuchungen zufolge trägt dabei die Kornfraktion mit einem Durchmesser < 1 mm zu den überwiegenden Anteilen der Gesamtfracht an Schwermetallen (80%) und organischen Stoffen (CSB-Anteil $>90\%$) bei [3] [4] [5]. Im Gegensatz zu den größeren Teilchen erfolgt der Abtrag von der Straßenoberfläche bei dieser Kornfraktion bereits bei geringen Abflussintensitäten [3]. Demzufolge wird die erzielbare Reinigungsleistung bei dem Einsatz einer zentralen oder dezentralen Behandlungsstufe maßgeblich durch den erreichten Abscheidungsgrad für diese Fraktion der Wasserinhaltsstoffe bestimmt. Auf die Bedeutung des Feinkornanteils in Straßenabflüssen weisen auch jüngere amerikanische Untersuchungen nachdrücklich hin [6] [21].

In Abbildung 6 sind ausgewählte Korngrößenverteilungskurven der im Niederschlagsabfluss von Verkehrsflächen enthaltenen Feststoffe dargestellt. Die Abbildung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, gibt jedoch einen Überblick über die Bandbreite der in der Literatur gefundenen Verteilungslinien wieder, die vom Feinschluff- bis in den Kiesbereich reichen. Für das synthetische Testgemisch (Basisgemisch mineralisch) wurde eine Zusammensetzung gewählt, die den mittleren Bereich der gefundenen Korngrößenverteilungen von $< 0,032$ - 1,0 mm abdeckt. Die Siebkennlinie ist ebenfalls in Abbildung 6, die Zusammensetzung der einzelnen Siebschnitte in Tabelle 1 dargestellt. Als Ausgangsmaterial wurde Wesersand verwendet, der nach Trocknung in unterschiedliche Siebschnitte fraktioniert wurde. Der Feinkornanteil mit einem Durchmesser kleiner 0,125 mm

wurde durch Mahlen aus dem Siebschnitt 0,125 mm hergestellt. Das erhaltene mineralische Basisgemisch weist eine Korndichte von 2,52 g/cm³ auf. Es liegt damit nur geringfügig über den Dichtewerten von 2,20 – 2,27 g/cm³, die für die partikulären Stoffe in Straßenabflüssen gefunden wurden [22].

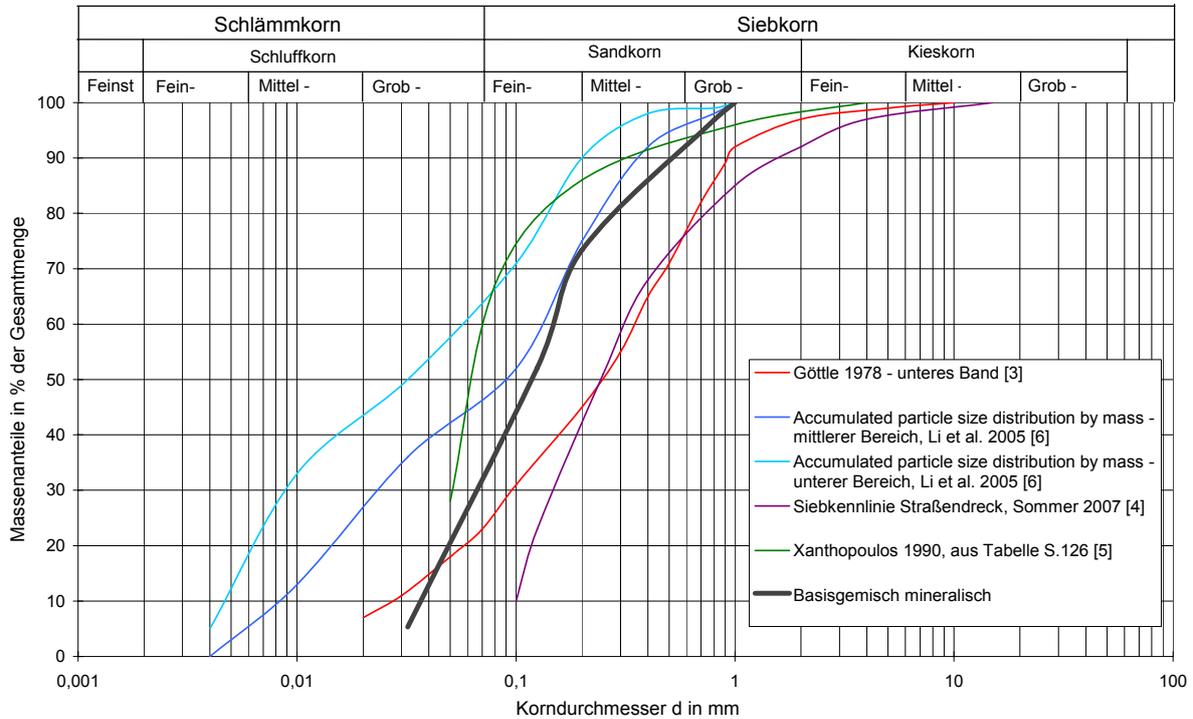


Abbildung 6: Korngrößenverteilungen der im Niederschlagsabfluss von Verkehrsflächen enthaltenen Feststoffe; Darstellung ausgewählter Literaturdaten [3] [4] [5] [6] und Ableitung für das synthetische Testgemisch

Tabelle 1: Zusammensetzung der Siebschnitte des mineralischen Basisgemisches

Maschenweite (mm)	Anteil (%)	Durchgang (%)
1	3,19	100,00
0,8	23,40	96,81
0,2	21,28	73,40
0,125	46,81	52,13
0,032	5,32	5,32
Summe	100	

Der Anteil an natürlichen organischen Stoffen im Straßenablauf (kleine Äste, Blattreste, Blüten, Pollen etc.) weist in Abhängigkeit von Standort und Jahreszeit unterschiedlich hohe Werte auf. Die am Einbauort der Versuchsanlage aus der vorangegangenen Untersuchung [1] gefundenen Anteile liegen, bezogen auf die Trockensubstanz, im Mittel bei ca. 10 - 30% und entsprechen somit in der Größenordnung dem von XANTHOPOULOS in [5] aufgeführten Wert von 33 %. Für das zweite Testwasser wurde daher ein 30 %iger Anteil an organischer Substanz gewählt. Ausgangsmaterial hierfür war Blumenerde, die nach Trocknung durch Siebung mit einer Maschenweite von 0,8 mm von größeren Stoffen befreit wurde und einen organischen Trockensubstanzanteil (oTS) von 52 % aufweist. Durch eine Mischung aus 58 % getrockneter Blumenerde (Korndurchmesser < 0,8 mm) und 42 % mineralischem Basisgemisch wurde daraus das sogenannte mineralisch/organische Basisgemisch mit einem oTS-Anteil von 30 % hergestellt.

2.3.2 Konzentrationen

Die Wirkungsgrade von Behandlungssystemen sollen unter Belastungsbedingungen bestimmt werden, die möglichst gut mit den unter realen Bedingungen übereinstimmen. Die Festlegung der Zulaufkonzentration an abfiltrierbaren Stoffen für die durchgeführten Versuche orientierte sich daher an Werten aus der Literatur, welche in Tabelle 2 dargestellt sind. Dabei ist eine erhebliche Bandbreite zu beobachten, für die folgende Konzentrationen an abfiltrierbaren Stoffen als charakteristische Werte gewählt wurden:

- AFS = 50 mg/l, stellvertretend für eine geringe Belastung
- AFS = 150 mg/l, stellvertretend für eine mittlere bis höhere Belastung

Dieses Vorgehen entspricht auch dem Ansatz von Hatt et. al. [25], die für Versuche mit Infiltrationssystemen ein synthetisches Ablaufwasser mit einem AFS-Gehalt von 150 mg/l verwendeten.

In Abhängigkeit des eingestellten Volumenstroms im Zulauf des Teststandes wurden im Suspensionsbehälter Stammsuspensionen in Höxteraner Leitungswasser hergestellt. Durch Verdünnung mit Höxteraner Leitungswasser aus den Rührbehältern wurden dann direkt auf

der Aufgabevorrichtung die Zulaufkonzentrationen eingestellt. Die verwendeten Stammkonzentrationen sind in Abschnitt 3.3.6 beschrieben.

Tabelle 2: Parameter AFS im abfließenden Niederschlagswasser von Verkehrsflächen; Darstellung ausgewählter Literaturwerte

AFS (mg/l)	Abflussfläche	Quelle
128*	Autobahn	Furumai; Balmer und Boller [7]
69*	Parkplatz	Sonstrom, Clausen und Askew [8]
153 - 354	Autobahn	Berbee et. al. [9]
60 - 1925**	Straßenabfluss	Drapper, Tomlinson und Williams [10]
71*	Autobahn	Legret und Pagotto [11]
19 – 129*	Autobahn	Barrett et. al.[12]
92,5*	Straßenabfluss	Gromaire-Mertz, et. al. [13]
14 – 215*	Autobahn	Wu, et. al.[14]
87,5*	Autobahn	Kim, et. al.[15]
155 ⁺⁺	Straßenabfluss	Grotehusmann und Harms [16]
66 - 176*	Verbindungsstraße	Nadler und Meißner [17]
70 - 980	Straßenabfluss	zitiert in Sommer, et. al. [18]
158 ⁺⁺	Straßenabfluss	zitiert in Kasting, Gameh und Grotehusmann [19]
564*	Straßenabfluss	zitiert in Hahn [20]
148	Autobahn	Kayhanian, Singh, Suverkropp und Borroum [23]
420	Straßenabfluss	Flint und Davis [24]

* abflussgewichteter Mittelwert

** Median der first flush Konzentration

⁺⁺ Median der mittleren frachtgewogenen Konzentration

3 Untersuchungen zur Optimierung des Centrifoel-Systems

3.1 Beschreibung des CENTRIFOEL[®]-Systems

Der CENTRIFOEL[®] Straßenablauf ist ein Produkt der Firma Valperz-Scarabaeus GmbH mit Sitz in 51580 Reichshof. Das Unternehmen bewirbt auf seiner Internet-Seite mit Hinweis auf den Runderlass des Ministeriums (Runderlass des MURL vom 18.5.1998 (MBI. NRW. 1998 S. 654)) dieses System als geeignete Alternative zu konventionellen Reinigungsverfahren [2]. Ein Vertrieb findet durch die Firma Roval Umwelt Technologie Vertriebsgesellschaft mbH mit Sitz in Gummersbach statt. Das als Leichtstoffabscheider mit integriertem Nassschlammfang ausgeführte System, im folgenden vereinfacht Centrifoel-System genannt, dient der Reinigung von schwach belastetem Niederschlagswasser und soll laut Herstellerangaben bei der Abscheidung von Schwermetallen, Schlamm, Mineralöl und Kohlenwasserstoffen einen Wirkungsgrad von 90 % bis 99 % erreichen [2]. Die hydraulische Belastbarkeit wird mit einem Volumenstrom von 5 l/s angegeben. Die maximal an ein System anzuschließende Fläche soll 400 m² betragen. Das im Rahmen dieser Untersuchung eingesetzte Centrifoel-System entspricht in der Ausführung dem des in [1] beschriebenen. Daher wird auf eine detaillierte Darstellung der Anlagenteile und ihrer Funktionen im Rahmen dieses Berichtes verzichtet. In Abbildung 7 ist ein Photo des Straßeneinlaufes und in Abbildung 8 ein Übersichtsbild mit der Bezeichnung der einzelnen Anlagenteile dargestellt.



Abbildung 7. Centrifoel - Straßenablauf ohne Aufsatz

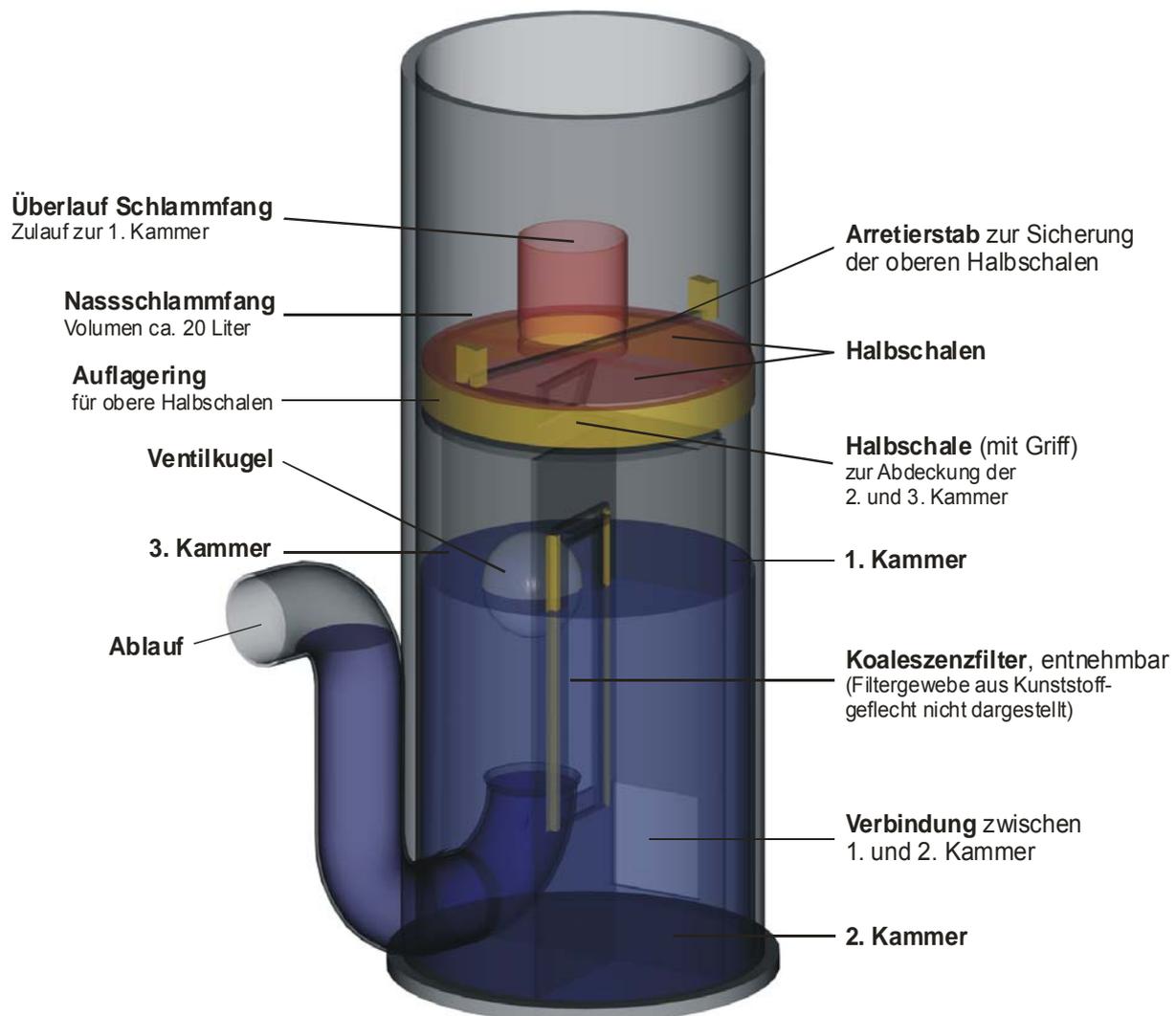


Abbildung 8: Schematische Darstellung des unmodifizierten Centrifloel-Systems als 3D-Modell im befüllten Zustand mit Kennzeichnung der einzelnen Bestandteile

3.2 Defizite und Untersuchungskriterien

Während der ersten Untersuchungsphase im Zeitraum 2005 - 2006 ergaben sich Defizite im Bereich der Störanfälligkeit (Verblockungsneigung des sogenannten Koaleszenzfilters) sowie der Abscheideleistung des Straßenablaufes für absetzbare Stoffe. Darüber hinaus wurden Probleme im Bereich der Anlagenwartung aufgeführt, die durch geeignete Maßnahmen behoben werden sollten [1]. Die im Rahmen dieses Projektes untersuchten Kriterien leiten sich aus diesen Defiziten ab:

- Verbesserung der Abscheideleistung
- Erhöhung der Wartungsintervalle auf einen ca. sechsmonatigen Zeitraum durch Verringerung der Verblockungsneigung des Koaleszenzfilters bei gleichzeitiger Verbesserung der hydraulischen Leistungsfähigkeit
- Erleichterungen bei der Anlagenreinigung

Die Vorschläge für eine Verbesserung des Systems bezüglich der einzelnen Schwachpunkte und die durchgeführten Untersuchungen werden nachfolgend beschrieben.

3.3 Verbesserung der Abscheideleistung

3.3.1 Strategie

Die Beurteilung der Abscheideleistung des unmodifizierten und des modifizierten Straßenablaufes sollte unter reproduzierbaren Bedingungen durch eine Beaufschlagung mit standardisierten synthetischen Niederschlagswässern erfolgen. Durch eine Bilanzierung des Zu- und Ablaufes bei unterschiedlichen hydraulischen und stofflichen Belastungszuständen sollten Aussagen zur Auswirkung der betreffenden Modifikation auf das Anlagenverhalten abgeleitet werden. Der Bilanzraum wurde, der Aufgabenstellung entsprechend, auf das Centrifool-System ohne vorgeschalteten Trockenschlammfang (Laubeimer) festgelegt (Abbildung 9). Die Ermittlung der Wirkungsgrade erfolgte ausschließlich über die im Ablauf der Anlage gemessenen Parameter. Eine Untersuchung der Feststoffverteilung innerhalb der einzelnen Anlagenteile, die in Abbildung 9 schematisch dargestellt sind, erfolgte im Rahmen dieses Vorhabens nicht.

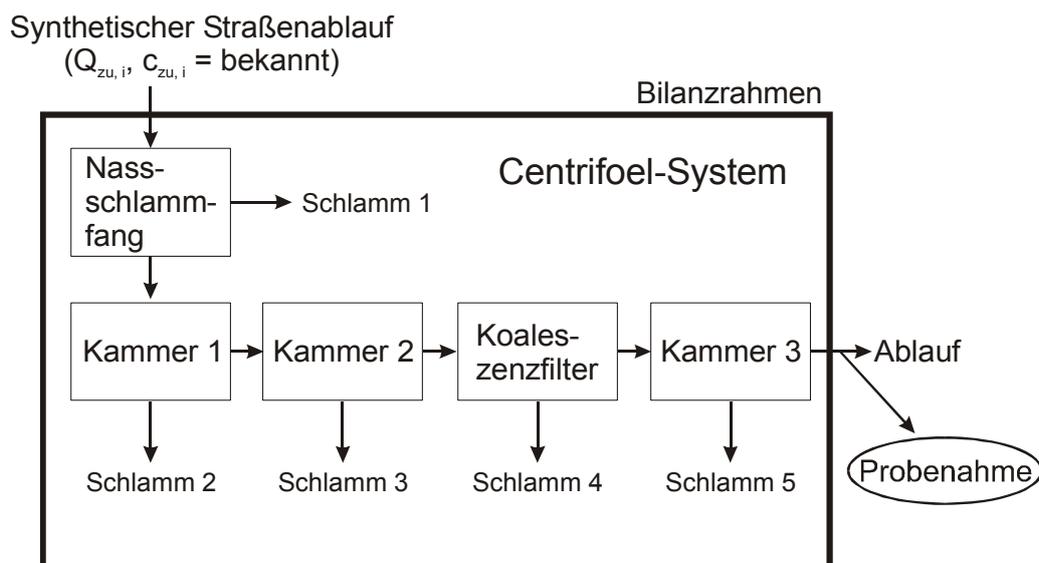


Abbildung 9: Schematische Darstellung des untersuchten Bilanzrahmens

3.3.2 Volumenströme

Die vom Hersteller angegebene maximale hydraulische Belastung des Centrifloel-Systems beträgt $Q = 5 \text{ l/s}$ und entspricht bei einer maximal angeschlossenen Fläche von $A = 400 \text{ m}^2$ (Herstellerangabe) einer Regenspende von $r = 125 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$. Ein Ereignis in dieser Höhe tritt in der Dauerstufe 5 Minuten im Gebiet der Stadt Höxter gemäß KOSTRA-DWD 2000 mit einer Wiederkehrzeit von $T_n = 0,71$, also 1,4 Mal pro Jahr auf. Die Wahl der Dauerstufe 5 Minuten erscheint vor dem Hintergrund der recht kurzen Fließzeiten im Einzugsgebiet des Straßeneinlaufes zulässig.

Für die Festlegung der Volumenströme wurde eine Betrachtung der Wiederkehrhäufigkeit bestimmter Regenspenden und –höhen für das Gebiet Höxter in der Dauerstufe 5 Minuten durchgeführt (das Verfahren ist in [1] beschrieben). Unter Annahme eines Abflussbeiwertes von $\Psi = 1,0$ wurden die resultierenden Volumenströme für eine Fläche von $A = 400 \text{ m}^2$ berechnet. In Tabelle 3 sind die daraus für die Untersuchung gewählten Volumenströme mit der korrelierenden Regenspende r , der Niederschlagshöhe H_N und der Wiederkehrhäufigkeit T_n für die Dauerstufe 5 Minuten wiedergegeben.

Tabelle 3: Regenspenden, Niederschlagshöhen und Wiederkehrhäufigkeit in der Dauerstufe 5 Minuten für das Gebiet Höxter mit resultierenden Volumenströmen bei einer Fläche von 400 m²

r (l/(s·ha))	HN (5 Min.) (mm)	Tn (a)	n (1/a)	Q (400m ²) (l/s)
5	0,15	0,13	7,58	0,2
12,5	0,375	0,15	6,82	0,5
50	1,5	0,25	4,03	2
125	3,75	0,71	1,40	5

Der vom Hersteller angegebene maximale Volumenstrom von 5 l/s erscheint vor dem Hintergrund der in [1] gewonnenen Erkenntnisse als zu hoch für das System. Für die unteren drei Kammern mit einem Gesamtvolumen von 100 Litern ergibt sich bei diesem Volumenstrom eine mittlere Verweilzeit von lediglich 20 Sekunden, die für die Sedimentation feiner Teilchen keinesfalls ausreicht. Interessant ist in diesem Zusammenhang die Fragestellung, inwieweit das System bei Beaufschlagung mit hohen Volumenströmen zum Austrag bereits gespeicherter Sedimente neigt (Stichwort „Selbstreinigung“). Dieser Aspekt sollte in den Untersuchungen orientierend mitbetrachtet werden.

3.3.3 Analytik

In Tabelle 4 sind die im Rahmen des Vorhabens durchgeführten Analysen mit Angabe des jeweiligen Verfahrens dargestellt.

Tabelle 4: Untersuchungsparameter für die Proben aus dem Zu- und Ablauf der Versuchsanlage

Parameter	Analysemethode	Einheit
pH-Wert	DIN 38404 C 5	-
Elektrische Leitfähigkeit	DIN EN 27888	µS/cm
Trübung	DIN EN 27027	TE/F
Abfiltrierbare Stoffe (AFS)	DIN 38409 H 2-3	mg/l
Glühverlust	DIN 38409 H 2-2	%

Zusätzlich erfolgte eine Bestimmung der Partikelgrößenverteilung im Bereich von 5 - 40 μm mittels Partikelzählgerät (Bezeichnung: MetOne, jetzt Hach WGS267).

3.3.4 Modifikation des Centrifloel-Systems

Die Reinigungsleistung des Centrifloel-Systems im Auslieferungszustand des Jahres 2005 sollte mit der eines modifizierten Systems verglichen werden. Aus den Ergebnissen sollen Aussagen zur Eignung und ggf. auch Vorschläge für eine weitere Optimierung abgeleitet werden.

Aufgrund der Auslegung des Systems als Leichtstoffabscheider erscheint der bodennahe Durchbruch in der Trennwand zwischen der 1. und 2. Kammer nicht geeignet für die Abscheidung von Feststoffteilchen. Bei höheren Volumenströmen kann ein Austrag der Sedimente und Schwebstoffe bis in die 3. Kammer angenommen werden. Durch den Einbau einer Vorrichtung zur Erzwingung einer Strömungsumlenkung, unmittelbar hinter den Durchbruch in der zweiten Kammer, soll die Abscheidung von Feststoffen verbessert werden. Das Wasser, welches aus der ersten Kammer in die zweite fließt, soll dort in eine aufsteigende Strömungsrichtung umgelenkt werden, bevor ein Ablauf in die dritte Kammer erfolgt. Vom Hersteller wurden hierzu zwei Varianten eines Einbaus angefertigt, die aus einem längs aufgeschnittenen Kunststoffrohr mit Spreizhaltern und Griff für den Ein- und Ausbau bestehen (Abbildung 10). In Abbildung 11 ist eine Drauf- und eine Vorderansicht der Einbauten ohne Spreizhalter mit den relevanten Maßen dargestellt. Abbildung 12 zeigt eine vereinfachte dreidimensionale Ansicht des Centrifloel-Systems mit eingebauter Strömungsumlenkung zur Verdeutlichung der vorgesehenen Platzierung. Aus den unterschiedlichen Dimensionen der Einbauten wird ersichtlich, dass die auf dem Markt befindlichen Systeme offensichtlich abweichende Maße im Bereich der Kammergeometrien aufweisen müssen. Dies wird durch den Vertreiber für die in der Vergangenheit produzierten Anlagen bestätigt. Aktuell wird bei der Fertigung auf die Einhaltung definierter Maßvorgaben geachtet. Für die Untersuchungen wurde die 2. Variante des Einbaus zur Strömungsumlenkung mit einem Innendurchmesser von 11,5 cm verwendet.



Abbildung 10: Unterschiedliche Ansichten zweier Varianten des Einbaus zur Erzwingung einer Strömungsumlenkung in der 2. Kammer des Centrifuel-Systems; links Variante 1, rechts Variante 2

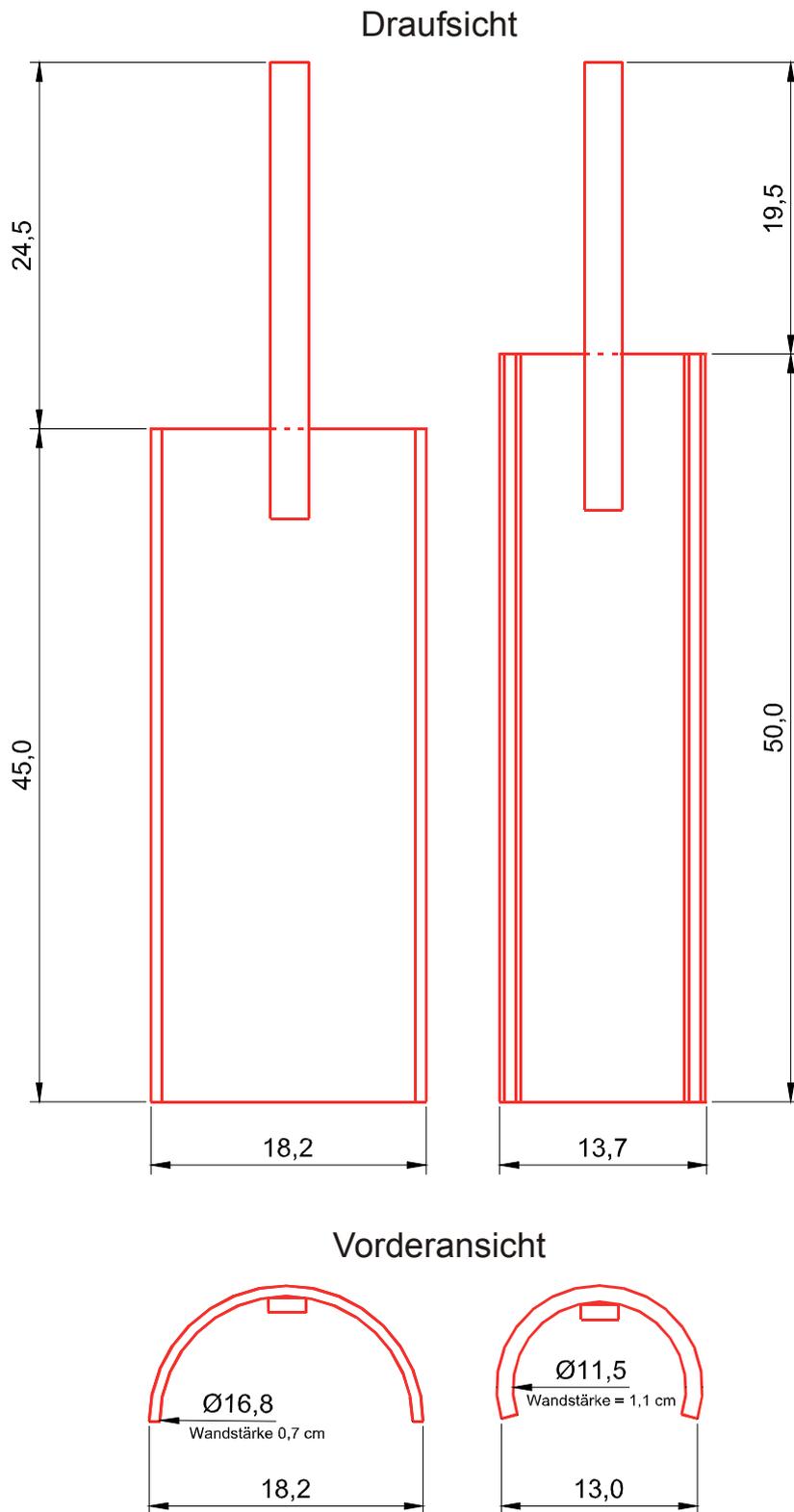


Abbildung 11: Draufsicht und Vorderansicht der Einbauten zur Strömungsumlenkung ohne Spreizhalter mit den wesentlichen Maßen; links Variante 1, rechts Variante 2; Einheiten Zentimeter

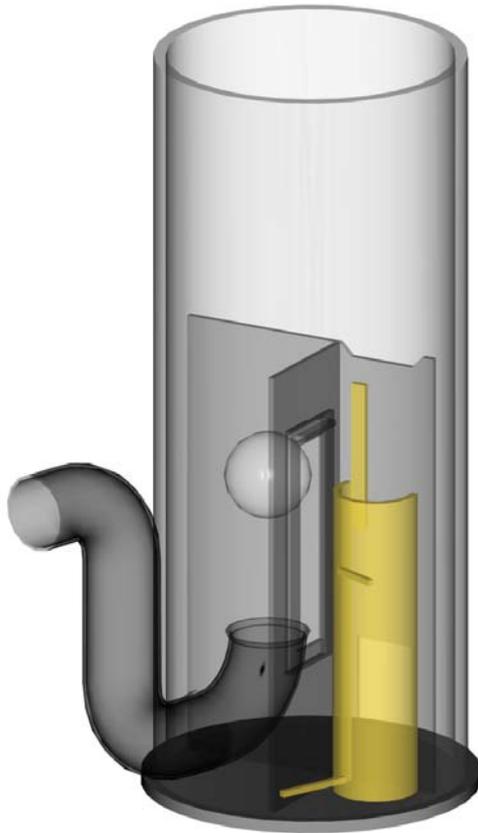


Abbildung 12: Schematische Darstellung des Centrifoel-Systems mit eingebauter Strömungsumlenkung (gelb dargestellt); auf die Darstellung der weiteren Anlagenbestandteile wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet

3.3.5 Vorbereitung des untersuchten Systems

Die Centrifoel-Systeme weisen im Lieferzustand keine Verbindung der Kammertrennwände mit dem Behälterboden auf. Hierauf ist schon in [1] hingewiesen worden. Das Spaltmaß des im Zeitraum 2005 – 2006 untersuchten Systems betrug wenige Millimeter, so dass nach einer gewissen Betriebszeit von einer Selbstabdichtung durch Sedimente ausgegangen werden konnte. Bei dem im Rahmen dieses Vorhabens eingesetzten System wurde dagegen eine Spaltöffnung von ca. 2 cm festgestellt, die während der Versuche einen Austrag der Sedimente aus Kammer Eins in Kammer Drei (Ablaufkammer) bedingt hätten. Hieraus wird die ursprüngliche Konzeption des Systems für den Leichtstoffrückhalt ersichtlich. Mittels Sanitär dichtmasse und zusätzlicher Versiegelung durch Aluminiumreparaturfolie wurde der Spalt zwischen den Kammertrennwänden und dem Behälterboden verschlossen. Eine probeweise Befüllung einzelner Kammern mit Wasser bestätigte die Dichtigkeit.

Die Fugen der oberen Halbschalen des Nassschlammfangs werden im Regelbetrieb erst durch feine Sedimente abgedichtet. Um bei den Untersuchungen reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, wurde dieser Betriebszustand durch Abdichten mit sogenanntem Panzerband herbeigeführt.

Vor jeder Versuchsreihe lag das System gereinigt, befüllt mit Leitungswasser und mit abgedichtetem Nassschlammfang vor.

3.3.6 Versuchsdurchführung

Insgesamt wurden 4 Versuchsreihen mit unterschiedlichen Zulaufkonzentrationen und -zusammensetzungen durchgeführt (Tabelle 5). Innerhalb der einzelnen Versuchsreihen wurde die Abscheideleistung für jeweils 3 bzw. 4 Betriebspunkte untersucht (Tabelle 6).

Tabelle 5: Versuchsreihen mit den jeweiligen Konzentrationen und Zusammensetzungen

Versuchsreihe	Konzentration / Zusammensetzung	Modifikation
1	c(AFS)=50 mg/l, mineralisch	ohne Einbau
		mit Einbau
2	c(AFS)=150 mg/l, mineralisch	ohne Einbau
		mit Einbau
3	c(AFS)=50 mg/l, mineralisch/organisch	ohne Einbau
		mit Einbau
4	c(AFS)=150 mg/l, mineralisch/organisch	ohne Einbau
		mit Einbau

Tabelle 6: Volumenströme, Zeitintervalle und Beprobungsbeginn bei den einzelnen Betriebspunkten

Betriebspunkt	Q	Zeit	V	Beprobungs- beginn	V(Beprobungsbeginn)	Anmerkung
()	(l/s)	(Min)	(l)	(Min)	(l)	
1	2	5	600	2	240	alle Versuchsreihen
2	0,5	10	300	4	120	alle Versuchsreihen
3	0,2	12	144	10	120	alle Versuchsreihen
4	5	0,75	225	0 (sofort)	0	Versuchsreihen 2 und 4

Die Schlauchpumpe zur Dosierung der Stammsuspension in den Zulauf der Versuchsanlage wurde mit einem konstanten Volumenstrom von $Q = 3 \text{ ml/s}$ betrieben. Entsprechend erfolgte die Anpassung der Zulaufkonzentration innerhalb der Versuchsreihen für die einzelnen Betriebspunkte über die Konzentration der Stammsuspension (Tabelle 7).

Tabelle 7: Konzentrationen der Stammsuspension für die einzelnen Betriebspunkte

Betriebspunkt	Q	c(Stammsuspension)	
		$c(\text{AFS})_{\text{zu}}$ 50 mg/l	$c(\text{AFS})_{\text{zu}}$ 150 mg/l
()	(l/s)	(g/l)	(g/l)
1	2	33,3	100
2	0,5	8,3	25
3	0,2	3,3	10
4	5	0	0

Für die Durchführung der Versuchsreihen wurde folgendes Vorgehen festgelegt:

- Die Bestimmung der einzelnen Betriebspunkte innerhalb einer Versuchsreihe erfolgt durch Beaufschlagung des Systems mit synthetischem Niederschlagswasser (Leitungswasser und Feststoffzusatz) bei der gewählten stofflichen Zusammensetzung (Konzentration und Gemischart) gemäß der in Tabelle 6 dargestellten Reihenfolge ohne Zwischenreinigung. Die Zeitspanne für die Umstellung der einzelnen Betriebspunkte beträgt ca. 2 - 3 Minuten.
- Die Beprobung des Ablaufes erfolgt zeitproportional im stationären Betrieb ($Q_{\text{zu}, i}$ und $c_{\text{zu}, i} = \text{konstant}$), jeweils nach mindestens einem vollständigen Volumenaustausch (Gesamtvolumen mit Nassschlammfang ca. 120 Liter) am Auslauf des Siphons des Systems. Als Probenahmegefäß für die diskontinuierliche Messung wird ein Becherglas, für Versuchsreihen mit kontinuierlicher Beprobung eine Probenahmeeinrichtung eingesetzt.
- Nach Ende eines Durchlaufes der Betriebspunkte 1 - 3 wird das System kurzzeitig ($t = 45$ Sekunden) mit einem Volumenstrom von $Q = 5 \text{ l/s}$ ohne Feststoffdosierung beaufschlagt (Betriebspunkt 4). Durch eine Beprobung des Ablaufes über den gesamten Zeitraum soll eine Aussage zum Stoffaustrag (Selbstreinigungsneigung) getroffen werden.

3.3.7 Ergebnisse

3.3.7.1 Allgemeines

Nach dem Durchlaufen der ersten drei Betriebspunkte innerhalb der Versuchsreihen konnte nach Augenschein eine nicht genauer quantifizierte Ansammlung vorwiegend größerer Feststoffteilchen im Nassschlammfang des Centrifloel-Systems beobachtet werden.

Nach einer anschließenden Beaufschlagung mit einem Volumenstrom von $Q = 5 \text{ l/s}$ (Betriebspunkt 4 der Versuchsreihen 2 und 4) war dann eine Abnahme der in diesem Anlagenteil gespeicherten Feststoffe zu beobachten, die entweder zu einer Verlagerung in die unteren Kammern des Systems oder zu einem Austrag führte. Dies wird in Abschnitt 3.3.7.4 näher betrachtet.

3.3.7.2 Abfiltrierbare Stoffe (AFS)

Konzentrationen

In Tabelle 8 sind die ermittelten Konzentrationen der abfiltrierbaren Stoffe im Ablauf der Anlage bei den untersuchten Betriebspunkten für das unmodifizierte und das modifizierte Centrifloel-System wiedergegeben, Abbildung 13 und Abbildung 14 stellen die Werte grafisch dar. In allen Fällen ist die Abscheideleistung erwartungsgemäß bei niedrigen Volumenströmen besser.

Bei der niedrigen Zulaufkonzentration von 50 mg/l ist für das mineralische Testgemisch in der Versuchsreihe 1 (Abbildung 13) kein signifikanter Unterschied zwischen dem unmodifizierten und dem modifizierten System zu beobachten. Die Differenzen der Ablaufkonzentrationen liegen hier im Bereich von $0,4 - 1,1 \text{ mg/l}$ und somit innerhalb der Genauigkeit des analytischen Verfahrens. Insgesamt wird für das unmodifizierte System bei den einzelnen Betriebspunkten jeweils die etwas geringere Ablaufkonzentration ermittelt.

Bei der höheren Zulaufkonzentration (Versuchsreihe 2, Abbildung 13) weisen die Konzentrationen im Ablauf des modifizierten Systems mit Einbau zur Strömungsumlenkung bei den Betriebspunkten 0,5 l/s und 2 l/s geringere Werte auf als im unmodifizierten Zustand. Bei einem Volumenstrom von $Q = 0,2$ l/s liegen dagegen die Werte des unmodifizierten sogar unter denen des modifizierten Systems.

Die Versuchsreihen 3 und 4 (Abbildung 14) zeigen für praktisch alle Betriebspunkte ein verbessertes Abscheideverhalten des modifizierten Systems gegenüber dem ursprünglichen. Die Unterschiede sind bei höheren Volumenströmen deutlicher zu erkennen.

Der Vergleich der Versuchsreihen 1 und 2 mit den Reihen 3 und 4 zeigt, dass bei den Volumenströmen $Q = 0,5$ l/s und $Q = 2,0$ l/s die absoluten Konzentrationen im Ablauf der Anlage bei einem Einsatz des mineralisch/organischen Testgemisches höher liegen als bei dem rein mineralischen. Dies wird auf das schlechtere Absetzverhalten der organischen Stoffe, die eine geringere Dichte als die mineralischen aufweisen, zurückgeführt.

Tabelle 8: AFS-Konzentrationen im Ablauf des Centrifloel-Systems bei unterschiedlichen Volumenströmen in Abhängigkeit von der Zulaufkonzentration, der Stoffzusammensetzung und einer baulichen Modifikation

Versuchsreihe	Konzentration / Zusammensetzung	Modifikation	Ablaufkonzentration AFS (mg/l)		
			$Q_{zu} = 0,2$ l/s	$Q_{zu} = 0,5$ l/s	$Q_{zu} = 2$ l/s
1	c(AFS)=50 mg/l, mineralisch	ohne Einbau	4,1	9,1	13,0
		mit Einbau	5,5	10,2	13,8
2	c(AFS)=150 mg/l, mineralisch	ohne Einbau	12,4	23,6	51,8
		mit Einbau	16,5	20,2	34,6
3	c(AFS)=50 mg/l, mineralisch/organisch	ohne Einbau	6,4	13,2	22,3
		mit Einbau	4,7	9,6	20,2
4	c(AFS)=150 mg/l, mineralisch/organisch	ohne Einbau	12,5	33,4	52,4
		mit Einbau	13,4	23,8	41,1

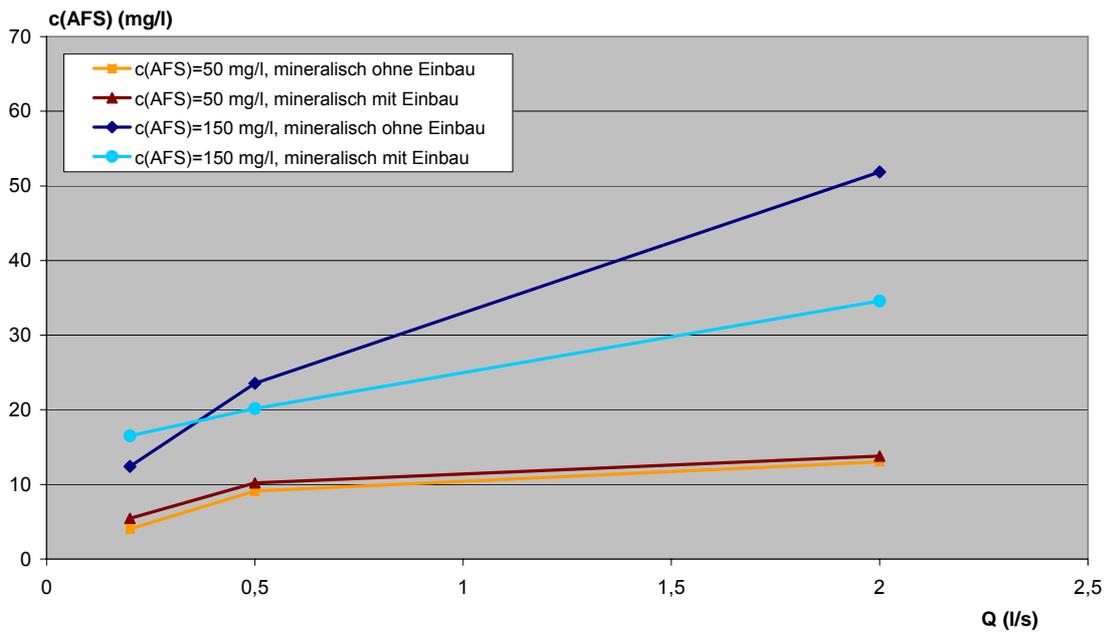


Abbildung 13: Konzentration an abfiltrierbaren Stoffen (mineralisch) im Ablauf des Centrifloel-Systems ohne und mit Einbau zur Strömungsumlenkung in Abhängigkeit von Volumenstrom und Zulaufkonzentration

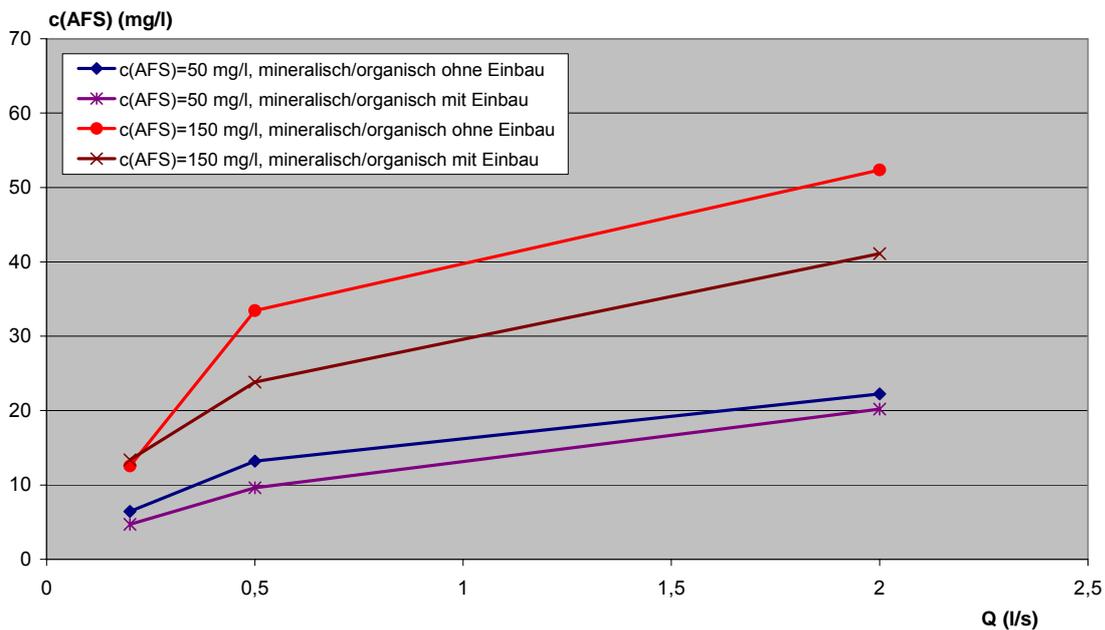


Abbildung 14: Konzentration an abfiltrierbaren Stoffen (mineralisch/organisch) im Ablauf des Centrifloel-Systems ohne und mit Einbau zur Strömungsumlenkung in Abhängigkeit von Volumenstrom und Zulaufkonzentration

Wirkungsgrade

Die bei den Betriebspunkten 1 - 3 erreichten Wirkungsgrade für die Abscheidung der abfiltrierbaren Stoffe sind in Abbildung 15 - Abbildung 18 dargestellt. Zusätzlich ist in jeder Abbildung der Gesamtwirkungsgrad über die drei untersuchten Betriebspunkte in Form der Massensummen im Zu- und Ablauf der Anlage angegeben:

$$m(\text{AFS})_{\text{Zu, Versuchsreihe}} = \sum c(\text{AFS})_{\text{Zu, i}} \cdot V_i \text{ (g)} \quad (\text{Formel 1})$$

$$m(\text{AFS})_{\text{Ab, Versuchsreihe}} = \sum c(\text{AFS})_{\text{Ab, i}} \cdot V_i \text{ (g)} \quad (\text{Formel 2})$$

mit

$m(\text{AFS})_{\text{Zu, Versuchsreihe}}$ = Masse AFS im Zulauf über die 3 Betriebspunkte in (g)

$m(\text{AFS})_{\text{Ab, Versuchsreihe}}$ = Masse AFS im Ablauf über die 3 Betriebspunkte in (g)

$c(\text{AFS})_{\text{Zu, i}}$, $c(\text{AFS})_{\text{Ab, i}}$ = Zulauf- bzw. Ablaufkonzentration an abfiltrierbaren Stoffen für den einzelnen Betriebspunkt

V_i = durchgesetztes Volumen während des einzelnen Betriebspunktes

Unabhängig von der Anlagenmodifikation, der Konzentration und der Zusammensetzung des synthetischen Straßenablaufs werden bei der geringen Beaufschlagung mit $Q = 0,2 \text{ l/s}$ Wirkungsgrade für die Abscheidung im Bereich von 87 - 92 % erzielt. Tendenziell weist hier das unmodifizierte System sogar einen geringfügig besseren Wirkungsgrad auf. Mit zunehmendem Volumenstrom nimmt der Wirkungsgrad erwartungsgemäß ab. Bei einer Beaufschlagung mit $Q = 2,0 \text{ l/s}$ liegen die erzielten Werte im Bereich von 56 - 77 %.

Mit Ausnahme der in Abbildung 15 dargestellten Versuchsreihe 1, bei der alle Wirkungsgrade des unmodifizierten geringfügig besser als die des modifizierten Systems ausfallen, bewirkt das System mit Einbau zur Strömungsumlenkung bei einem mittleren bis hohem Volumenstrom ($Q = 0,5$ bzw. 2 l/s) einen um 2 - 11 % höheren Stoffrückhalt.

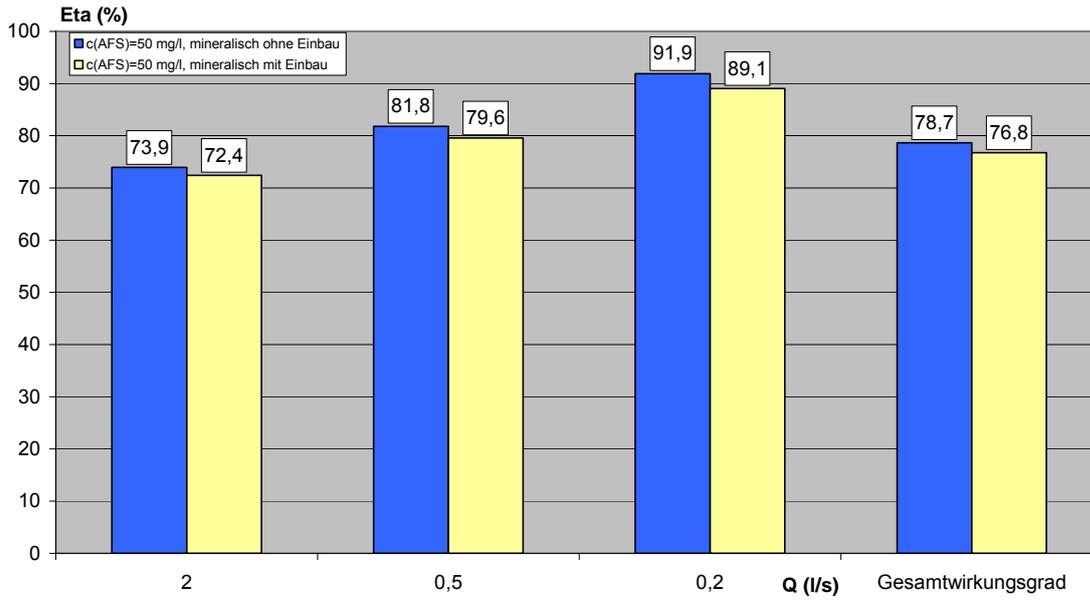


Abbildung 15: Vergleich der Wirkungsgrade des unmodifizierten und des modifizierten Systems für die Abscheidung mineralischer Stoffe in Abhängigkeit vom Volumenstrom bei einer Zulaufkonzentration von 50 mg/l

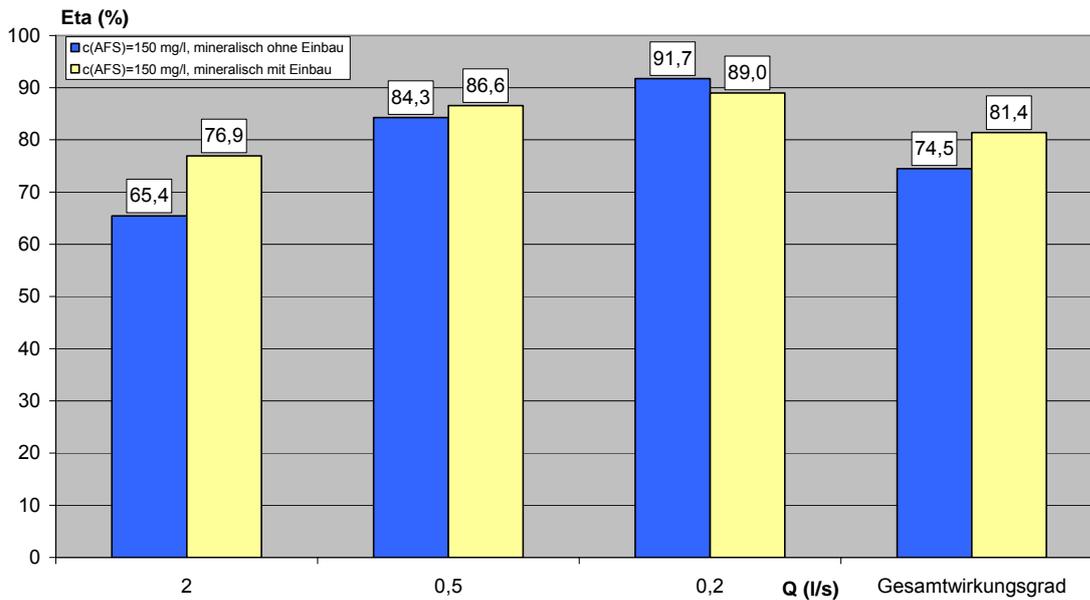


Abbildung 16: Vergleich der Wirkungsgrade des unmodifizierten und des modifizierten Systems für die Abscheidung mineralischer Stoffe in Abhängigkeit vom Volumenstrom bei einer Zulaufkonzentration von 150 mg/l

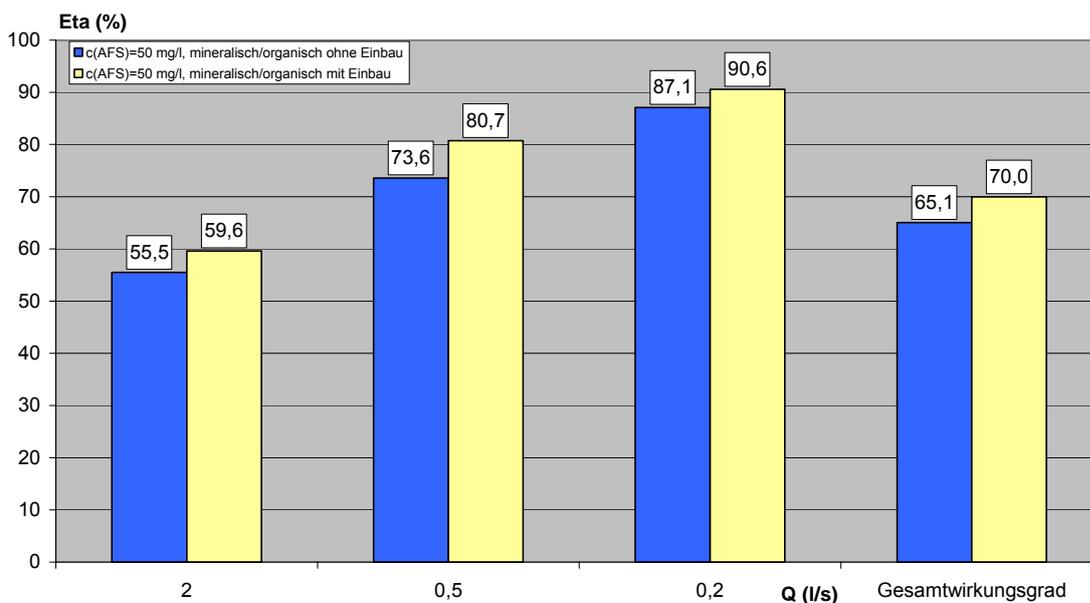


Abbildung 17: Vergleich der Wirkungsgrade des unmodifizierten und des modifizierten Systems für die Abscheidung mineralisch/organischer Stoffe in Abhängigkeit vom Volumenstrom bei einer Zulaufkonzentration von 50 mg/l

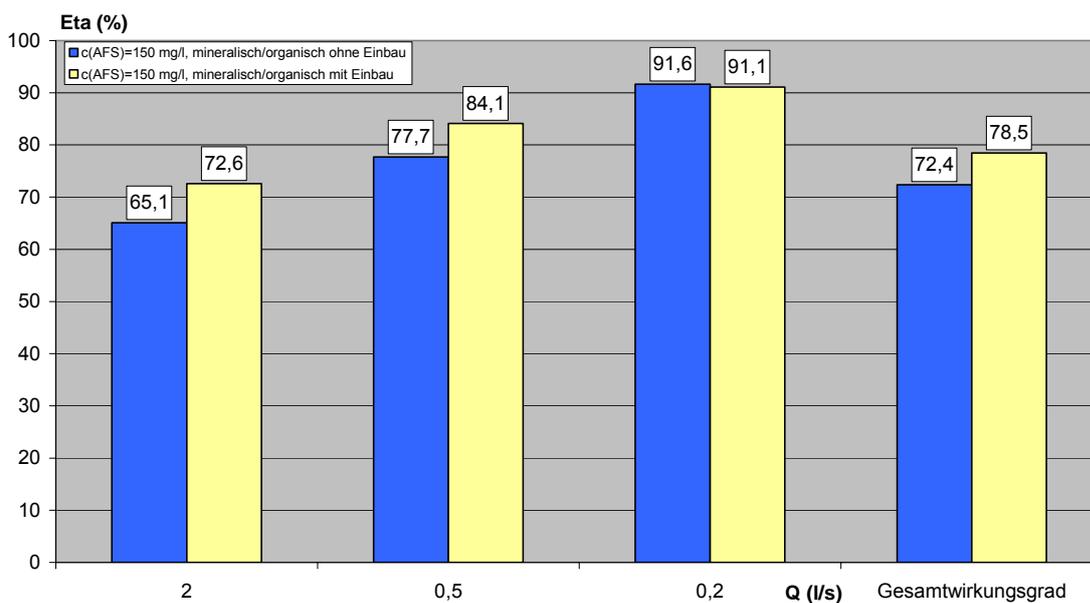


Abbildung 18: Vergleich der Wirkungsgrade des unmodifizierten und des modifizierten Systems für die Abscheidung mineralisch/organischer Stoffe in Abhängigkeit vom Volumenstrom bei einer Zulaufkonzentration von 150 mg/l

Bezogen auf den Gesamtwirkungsgrad wird durch die Modifikation des Systems eine Verbesserung der Abscheideleistung um ca. 6 - 7 % erzielt. In Abbildung 19 sind die

ermittelten Gesamtwirkungsgrade des unmodifizierten und des modifizierten Systems innerhalb der einzelnen Versuchsreihen zusammenfassend dargestellt. Sie verdeutlichen auch noch einmal, dass beim Rückhalt der rein mineralischen Stoffe bessere Werte erreicht werden, als bei einem Einsatz des mineralisch/organischen Gemisches.

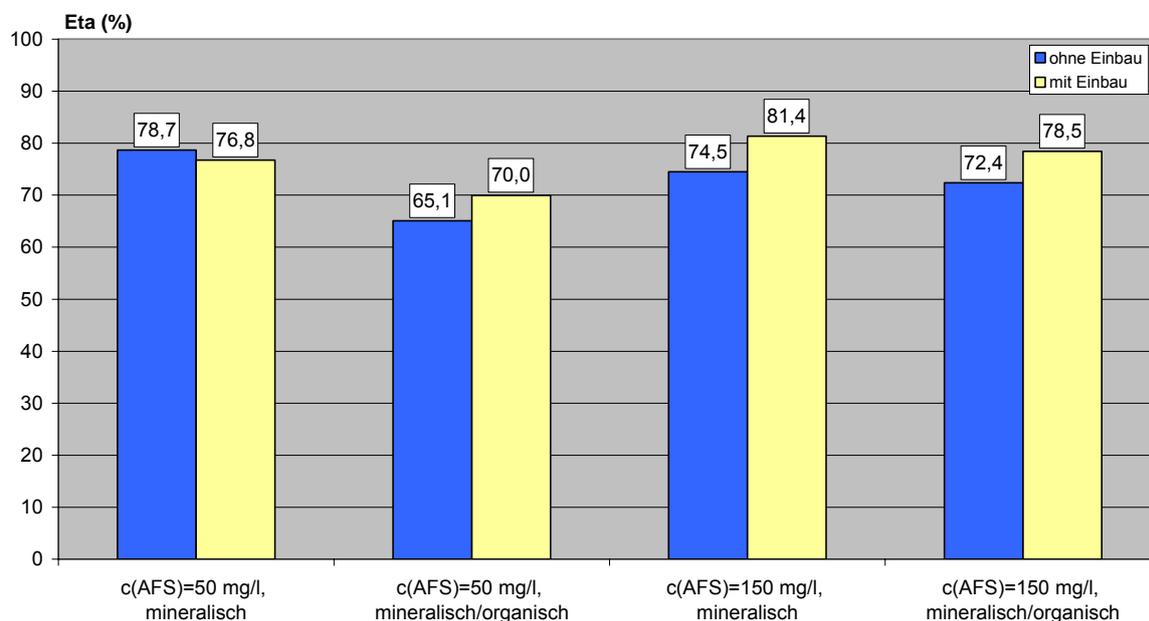


Abbildung 19: Gesamtwirkungsgrade des unmodifizierten und des modifizierten Systems für die Abscheidung mineralischer und mineralisch/organischer Stoffe in Abhängigkeit von der Zulaufkonzentration

3.3.7.3 Glühverlust

Innerhalb der Versuchsreihen 3 und 4 mit Einsatz des mineralisch/organischen Testgemisches wurde im Anlagenablauf neben dem Parameter Abfiltrierbare Stoffe auch der Glühverlust als Indikator für den Anteil organischer Substanz bestimmt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 20 dargestellt. Gegenüber dem Ausgangswert von 30 % im Zulauf der Anlage werden im Ablauf durchweg höhere Glühverluste verzeichnet. Darüber hinaus ist eine tendenzielle Abhängigkeit vom Volumenstrom erkennbar, d.h., der organische Anteil nimmt mit abnehmendem Volumenstrom zu. Hierfür wird, wie bereits bei der Betrachtung der Ablaufkonzentrationen an abfiltrierbaren Stoffen, das schlechtere Absetzverhalten der organischen Stoffe angenommen.

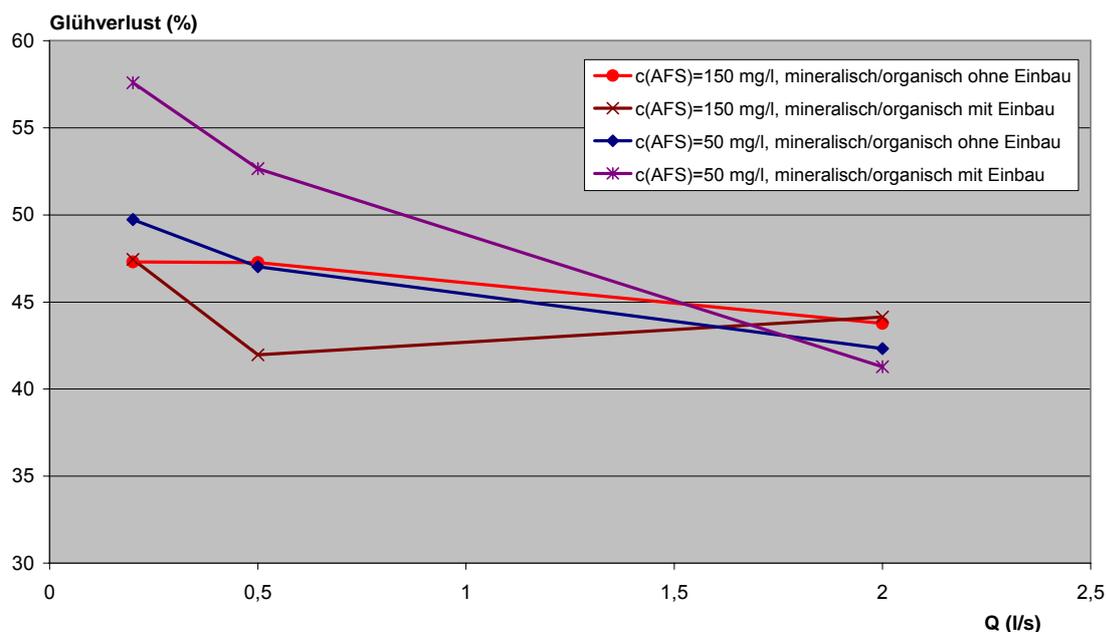


Abbildung 20: Glühverlust der abfiltrierbaren Stoffe im Ablauf der unmodifizierten (ohne Einbau) und der modifizierten (mit Einbau) Anlage in Abhängigkeit von Volumenstrom und Zulaufkonzentration

Anhand der Glühverluste konnte innerhalb der Versuchsreihen 3 und 4 eine Bilanzierung des Stoffrückhaltes, getrennt nach mineralischen und organischen Feststoffen, durchgeführt werden. In Tabelle 9 sind die Ergebnisse für beide Versuchsreihen zusammenfassend dargestellt. Abbildung 21 und Abbildung 23 veranschaulichen die Werte nochmals grafisch.

Unabhängig von einer Modifikation des Systems werden in beiden Versuchsreihen bei allen Betriebspunkten für die Abscheidung organischer Stoffe im Vergleich zu den mineralischen signifikant schlechtere Wirkungsgrade verzeichnet. Die Abweichungen gegenüber den mineralischen Stoffen liegen dabei im zweistelligen Prozentbereich.

Der Einbau zur Strömungsumlenkung bewirkt bei mittleren und höheren Volumenströmen von 0,5 – 2 l/s eine Verbesserung des Rückhaltes organischer Stoffe um 8 - 13 % und der mineralischen Fraktion um 3 - 7 %.

Bei dem geringen Volumenstrom von 0,2 l/s weist das modifizierte System in der Versuchsreihe 3 mit einer Zulaufkonzentration von 50 mg/l durchweg bessere Ergebnisse auf als das unmodifizierte. In der Versuchsreihe 4 werden dagegen geringfügig bessere Wirkungsgrade durch das ursprüngliche System erzielt.

Tabelle 9: Vergleich der Wirkungsgrade des unmodifizierten und des modifizierten Systems für die Abscheidung mineralischer und organischer Stoffe in Abhängigkeit vom Volumenstrom und der Zulaufkonzentration

Versuchsreihe	Konzentration / Zusammensetzung	Modifikation	Wirkungsgrade für den Stoffrückhalt (%)								
			Q _{zu} = 2,0 l/s			Q _{zu} = 0,5 l/s			Q _{zu} = 0,2 l/s		
			Miner.	Ges.	Org.	Miner.	Ges.	Org.	Miner.	Ges.	Org.
3	c(AFS)=50 mg/l, mineralisch/organisch	ohne Einbau	63,3	55,5	37,2	80,0	73,6	58,6	90,7	87,1	78,6
		mit Einbau	66,1	59,6	44,4	87,0	80,7	66,2	94,3	90,6	81,9
4	c(AFS)=150 mg/l, mineralisch/organisch	ohne Einbau	72,0	65,1	49,1	83,2	77,7	64,9	93,7	91,6	86,8
		mit Einbau	78,1	72,6	59,7	86,8	84,1	77,8	93,3	91,1	85,9

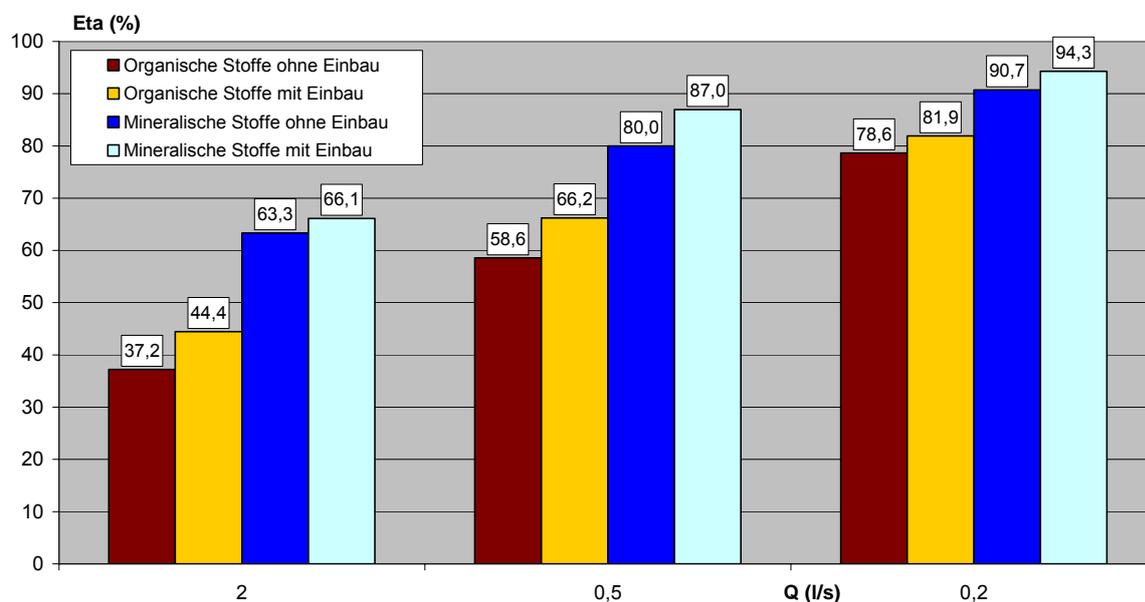


Abbildung 21: Vergleich der Wirkungsgrade des unmodifizierten und des modifizierten Systems für die Abscheidung mineralischer und organischer Stoffe in Abhängigkeit vom Volumenstrom bei einer Zulaufkonzentration von 50 mg/l

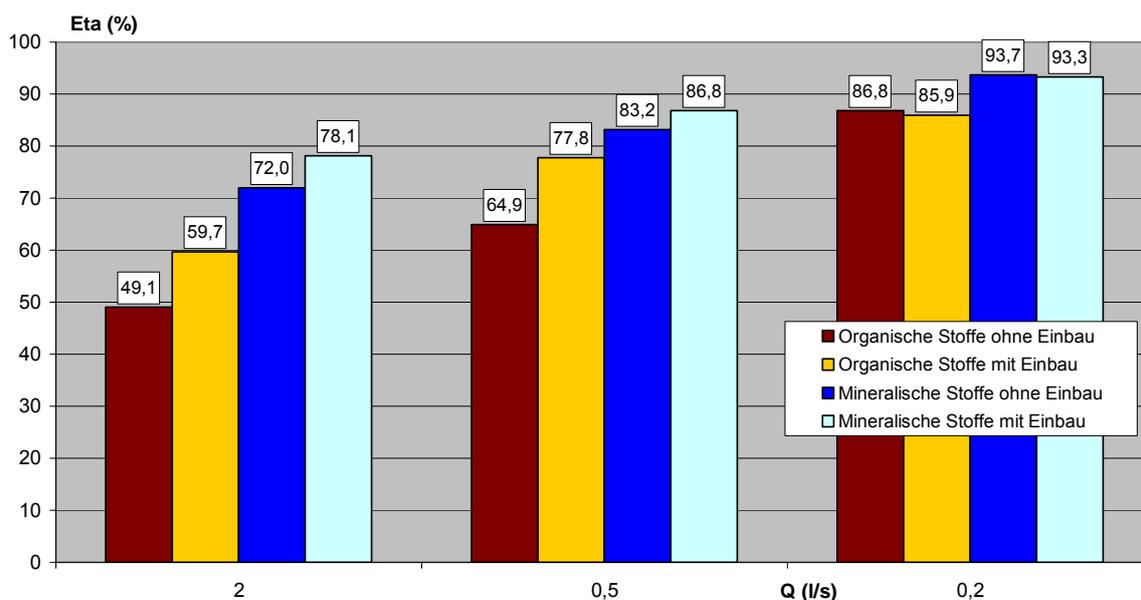


Abbildung 22: Vergleich der Wirkungsgrade des unmodifizierten und des modifizierten Systems für die Abscheidung mineralischer und organischer Stoffe in Abhängigkeit vom Volumenstrom bei einer Zulaufkonzentration von 150 mg/l

3.3.7.4 Verhalten des beladenen Systems bei hoher hydraulischer Belastung

Nach dem Durchlaufen der Betriebspunkte 1 - 3 ($Q = 0,2 - 2 \text{ l/s}$) innerhalb der einzelnen Versuchsreihen wurde das System bei den Untersuchungen mit hoher Feststoffbeaufschlagung von $c_{zu} = 150 \text{ mg/l}$ (Versuchsreihen 2 und 4) hinsichtlich des Stoffaustrages bei dem vom Hersteller angegebenen maximalen Volumenstrom von $Q = 5 \text{ l/s}$ untersucht, um einen eventuellen Selbstreinigungseffekt (Ausspülen der zuvor abgeschiedenen Feststoffe) zu erfassen. Dazu wurde das System kurzzeitig ($t = 45$ Sekunden) ohne Feststoffdosierung beaufschlagt (Betriebspunkt 4). Die Beprobung des Ablaufes erfolgte über den gesamten Zeitraum von 45 Sekunden. Das Gesamtvolumen innerhalb dieser Zeitspanne betrug $V = 225$ Liter.

In Abbildung 23 sind die im Ablauf der Anlage gemessenen Konzentrationen an abfiltrierbaren Stoffen im unmodifizierten (ohne Einbau) und im modifizierten (mit Einbau) System dargestellt. Zwischen beiden Varianten ist kein signifikanter Unterschied erkennbar. Dagegen zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit von der Feststoffzusammensetzung: Bei

dem Einsatz des Feststoffgemisches mit organischem Anteil liegen die Ablaufkonzentrationen mit 126 mg/l bzw. 131,3 mg/l erheblich höher als bei Einsatz des rein mineralischen Gemisches, bei dem 90,2 mg/l bzw. 95,6 mg/l ermittelt wurden. Dies wird auf den vermehrten Austrag organischer Feststoffteilchen zurückgeführt, welche eine geringere Dichte aufweisen als die mineralischen. Der ermittelte Glühverlust beträgt 51 % für das unmodifizierte und 52 % für das modifizierte System.

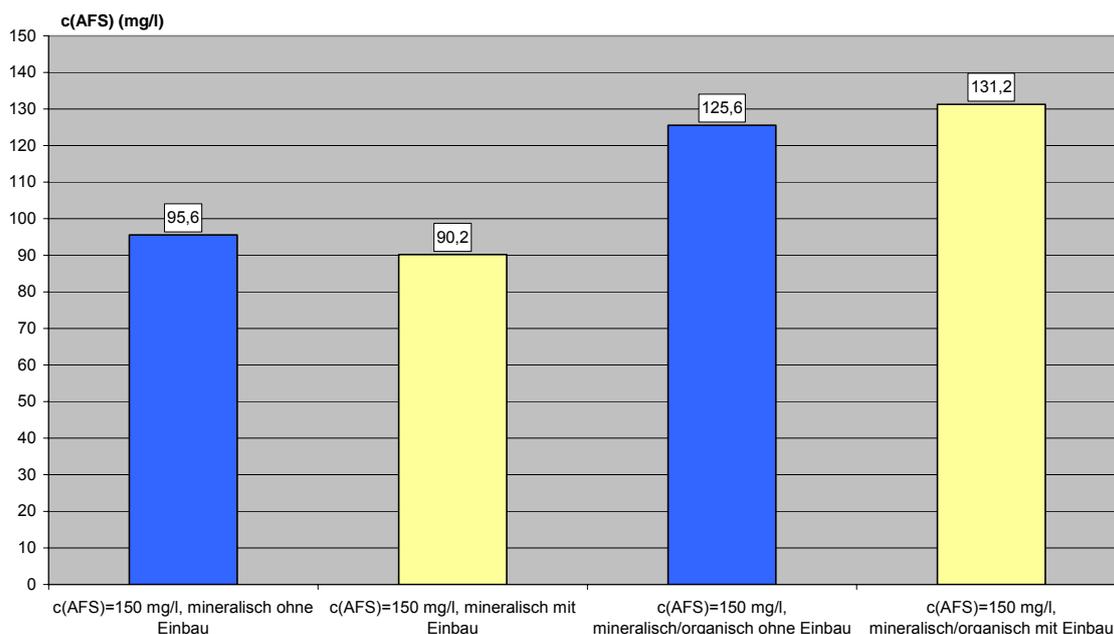


Abbildung 23: Konzentrationen an ausgetragenen Stoffen im Ablauf während der Beaufschlagung des beladenen Centrifooel-Systems mit $Q = 5$ l/s ohne weiteren Feststoffzusatz im Zulauf

In Abbildung 24 ist eine Bilanz der im System gespeicherten und während der Beaufschlagung mit $Q = 5$ l/s ausgetragenen Massen dargestellt. Bei einem Einsatz des rein mineralischen Testgemisches werden 16 - 18 % der im System gespeicherten Feststoffe innerhalb der untersuchten 45 Sekunden ausgetragen. Demgegenüber liegt der Stoffaustrag beim Einsatz des mineralisch/organischen Testgemisches signifikant höher. Hier werden 24 - 25 % der gespeicherten Feststoffe ausgetragen. Das modifizierte System weist hierbei nur einen um 1 - 2 % besseren Rückhalt auf als das unmodifizierte. Ein wirksamer Schutz gegen den Stoffaustrag bei hoher hydraulischer Belastung ist demnach durch den Einsatz der Strömungsumlenkung nicht zu erzielen.

Bezogen auf die im System gespeicherten **organischen** Feststoffe beträgt der Stoffaustrag für das unmodifizierte System 52 % und für das modifizierte 48 %, d.h., bereits rund die Hälfte der organischen Stoffe wird während dieser kurzen hydraulischen Belastungssituation aus dem System wieder ausgetragen!

Somit konnte gezeigt werden, dass der unlängst auch für Regenbecken beschriebene Stoffaustrag bei starker hydraulischer Belastung den maximalen Durchsatz durch das Centrifloel-System begrenzt [26].

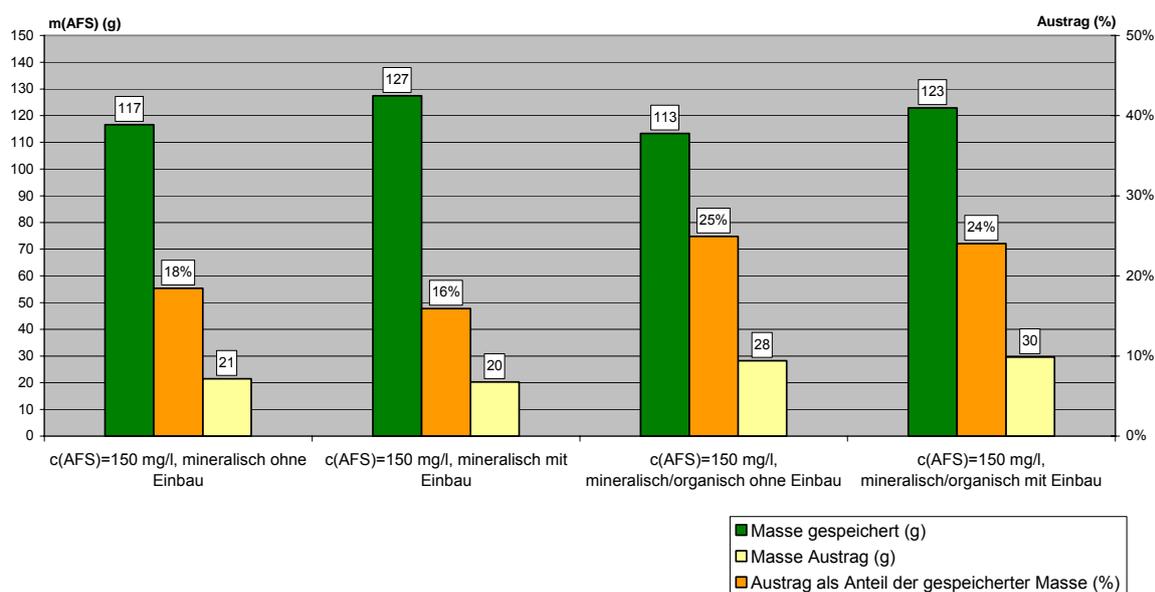


Abbildung 24: Überblick über die im Centrifloel-System gespeicherten Massen an AFS nach Durchführung von drei Versuchsreihen und Masse sowie prozentualer Anteil des Stoffaustrages bei Beaufschlagung mit $Q = 5 \text{ l/s}$ ohne weiteren Feststoffzusatz

3.3.7.5 Partikelanzahl

Um eine Aussage des Einflusses der Strömungsumlenkung auf den Rückhalt kleiner Partikel treffen zu können, wurde deren Anzahl, unterteilt in 4 Partikelklassen für einen Durchmesserbereich von 5 - 40 μm , im Ablauf der Versuchsanlage jeweils für den unmodifizierten und den modifizierten Zustand gemessen. Die Partikelgrößen innerhalb der einzelnen Klassengrenzen sind in Tabelle 10 angegeben.

Tabelle 10: Partikelgrößen innerhalb der Klassengrenzen

Klasse ()	Partikelgrößen (μm)
5	5,0 - 9,9
10	10,0 - 19,9
20	20,0 - 39,9
40	40,0 - 63

Die Messergebnisse der Partikelbestimmungen sind in Abbildung 25 - Abbildung 28 dargestellt. Extremwerte innerhalb der einzelnen Klassen, deren Ursache nicht eindeutig zu ermitteln war, sind mit einer Klammer () gekennzeichnet und werden in den Betrachtungen nicht berücksichtigt.

Die absolute Anzahl der Partikel pro Milliliter nimmt mit steigender Partikelgröße ab, d.h. zahlenmäßig sind wesentlich mehr Partikel in der Klasse 5 μm enthalten, als dies bei der Klasse 40 μm der Fall ist.

Unabhängig von einer Modifikation der Anlage ist innerhalb der einzelnen Größenklassen eine Zunahme der Partikelanzahl im Ablauf mit zunehmendem Volumenstrom zu beobachten. Die Werte des modifizierten Systems (mit Einbau) liegen mit Ausnahme der Versuchsreihe 1 ($c(\text{AFS}) = 50 \text{ mg/l}$) und der ausgeklammerten Werte unter denen des unmodifizierten.

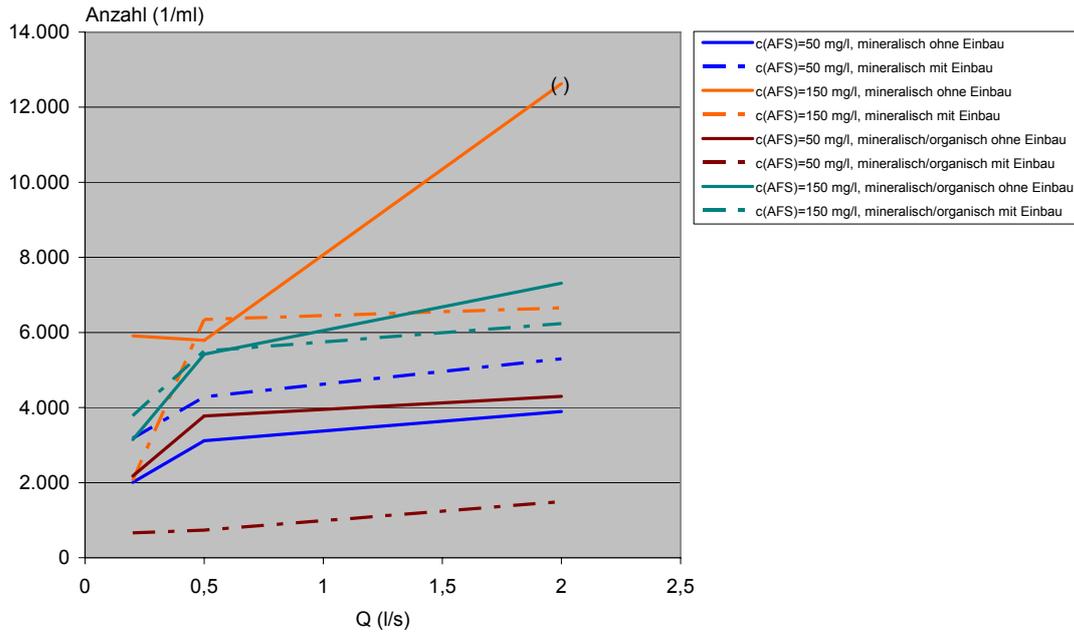


Abbildung 25: Partikelanzahl der Grössenklasse 5 µm im Ablauf der unmodifizierten (ohne Einbau) und der modifizierten Anlage (mit Einbau) in Abhängigkeit von Volumenstrom und Zulaufkonzentration

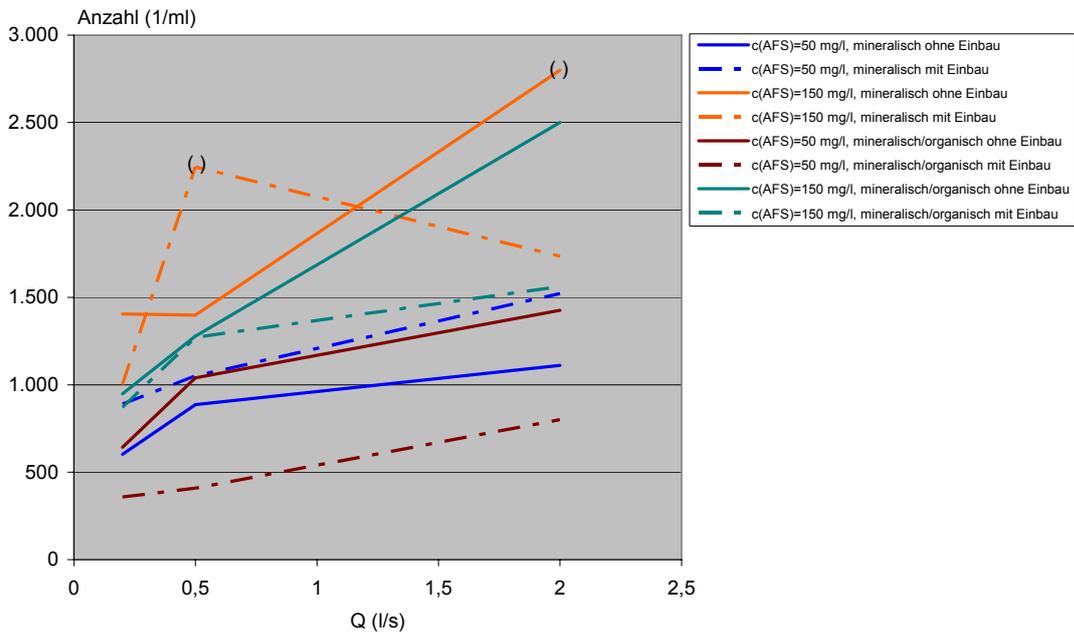


Abbildung 26: Partikelanzahl der Grössenklasse 10 µm im Ablauf der unmodifizierten (ohne Einbau) und der modifizierten Anlage (mit Einbau) in Abhängigkeit von Volumenstrom und Zulaufkonzentration

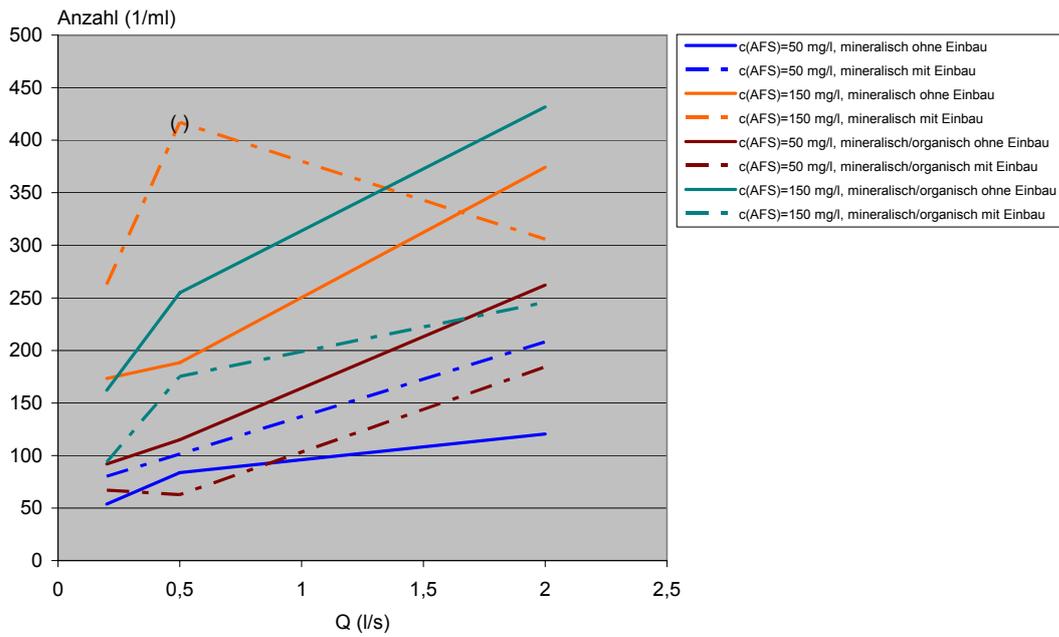


Abbildung 27: Partikelanzahl der Grössenklasse 20 µm im Ablauf der unmodifizierten (ohne Einbau) und der modifizierten Anlage (mit Einbau) in Abhängigkeit von Volumenstrom und Zulaufkonzentration

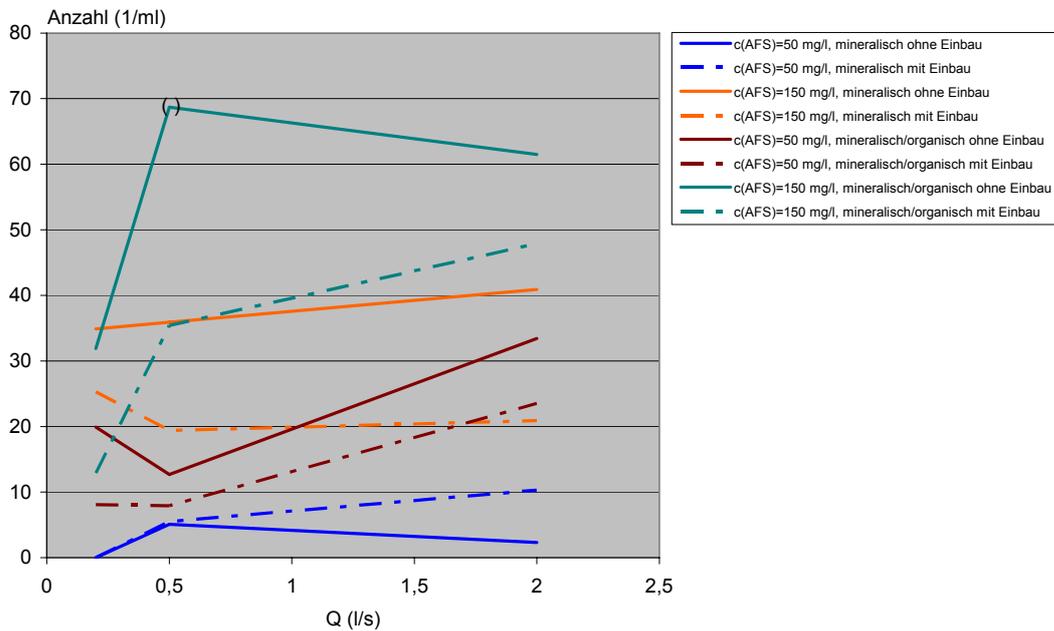


Abbildung 28: Partikelanzahl der Grössenklasse 40 µm im Ablauf der unmodifizierten (ohne Einbau) und der modifizierten Anlage (mit Einbau) in Abhängigkeit von Volumenstrom und Zulaufkonzentration

In Tabelle 11 sind für die einzelnen Betriebspunkte der vier Versuchsreihen die Partikelzahlen innerhalb der einzelnen Klassen für das modifizierte System in Form prozentualer Anteile, bezogen auf die Ablaufwerte des unmodifizierten Systems, zusammenfassend angegeben. Darüber hinaus wurden volumenstromgewichtete Mittelwerte der prozentualen Anteile über die drei Betriebspunkte innerhalb einer Versuchsreihe berechnet. Die Extremwerte (= Ausreißer) wurden wie bereits in Abbildung 25 - Abbildung 28 ausgeklammert und sind in den berechneten Mittelwerten nicht enthalten.

Mit Ausnahme der Versuchsreihe 1, in der nahezu alle Ablaufwerte des modifizierten über denen des unmodifizierten Systems liegen, bewirkt der Einbau zur Erzwingung einer Strömungsumlenkung eine Reduktion der Partikelzahlen im Ablauf auf 32 - 91 % des Referenzwertes der unmodifizierten Anlage. Eine Abhängigkeit von der Partikelgröße ist dabei nicht erkennbar.

Tabelle 11: Einfluss der Modifikation auf die Partikelanzahl im Ablauf der Anlage, bezogen auf den Wert des unmodifizierten Systems

Versuchsreihe	Bezeichnung	Betriebspunkt	Q	Einfluss der Modifikation auf die Partikelanzahl im Ablauf (unmodifiziertes System = 100%)			
				5 µm	10 µm	20 µm	40 µm
()	()		(l/s)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	c(AFS)=50 mg/l, mineralisch	1	0,2	158,9	147,6	149,2	0,0
		2	0,5	137,7	118,6	121,0	107,8
		3	2	136,1	137,0	172,7	447,8
		MW Q-gewichtet		138,1	134,3	161,4	351,7
2	c(AFS)=150 mg/l, mineralisch	1	0,2	34,8	71,2	151,6	72,5
		2	0,5	109,6	180,5	221,3	54,0
		3	2	52,7	82,0	81,7	51,1
		MW Q-gewichtet		88,2	71,2	88,1	53,2
3	c(AFS)=50 mg/l, mineralisch/organisch	1	0,2	30,5	55,7	73,1	40,7
		2	0,5	19,6	39,4	54,6	62,2
		3	2	34,8	56,1	70,2	70,4
		MW Q-gewichtet		31,7	53,0	67,5	66,7
4	c(AFS)=150 mg/l, mineralisch/organisch	1	0,2	120,3	91,8	57,9	40,4
		2	0,5	101,6	99,5	68,8	51,5
		3	2	85,3	62,5	56,9	77,9
		MW Q-gewichtet		90,9	71,5	59,2	74,5

= Wertepaar nicht berücksichtigt

3.3.8 Zusammenfassung

Als Fazit aus den durchgeführten Untersuchungen zur Verbesserung der Abscheideleistung des Systems können folgende Punkte genannt werden:

- Im Nassschlammfang des Centrifloel-Systems werden erwartungsgemäß vorwiegend größere Teilchen abgeschieden. Aufgrund des geringen Volumens von ca. 20 Litern ist die Aufenthaltszeit für die Sedimentation feinerer Teilchen bei mittleren bis höheren Volumenströmen offensichtlich nicht ausreichend.
- Der Wirkungsgrad des Systems zur Abscheidung von Feststoffen nimmt mit zunehmendem Volumenstrom ab.
- Organische Feststoffteilchen werden im System schlechter abgeschieden als mineralische.
- Durch den Einsatz des hier getesteten Einbaus zur Strömungsumlenkung in die zweite Kammer des Centrifloel-Systems kann eine Verbesserung des Gesamtwirkungsgrades bei der Feststoffabscheidung für die eingesetzten Testgemische um ca. 6 - 7 % erzielt werden. Abhängig vom Volumenstrom und der Stoffzusammensetzung liegen die erreichten Wirkungsgrade für das modifizierte System zwischen 70 und 81 %.
- Der Rückhalt feiner Partikel mit einem Durchmesser kleiner 63 μm wird durch den Einsatz zur Strömungsumlenkung ebenfalls verbessert.
- Bei maximaler hydraulischer Belastung ($Q_{\text{zu}} = 5 \text{ l/s}$) erfolgt ein Feststoffaustrag der zuvor abgeschiedenen Teilchen in der Größenordnung von 16 – 25 %.
- Ein Schutz vor dem Feststoffaustrag aus dem System bei Q_{max} ist durch die untersuchte Modifikation nicht zu erreichen.
- Eine Nachrüstung bestehender Systeme mit dem getesteten Einsatz ist leicht möglich.

3.3.9 Empfehlungen

Aus den Ergebnissen der durchgeführten Untersuchungen können folgende Empfehlungen, die mit dem Vertreter des Centrifloel-Systems bereits besprochen worden sind, abgeleitet werden:

- Bei der Fertigung ist auf eine Abdichtung der einzelnen Kammern im Bodenbereich zu achten. Dies kann konstruktiv durch am Behälterboden verschraubte, doppelläufige Vierkanteleisten erreicht werden, in deren Zwischenspalt die Trennwände gestellt werden. Bei bestehenden Systemen erscheint eine nachträgliche Abdichtung mit vertretbarem Aufwand allerdings nicht möglich.
- Bestehende Systeme sollten mit der untersuchten Variante zur Strömungsumlenkung nachgerüstet werden.
- Bei neuen Systemen kann ein fester Einbau der Strömungsumlenkung erfolgen, ggf. auch als gerade Wand.
- Das System ist keinesfalls für die vom Hersteller angegebene maximale hydraulische Belastung in Höhe von $Q = 5$ l/s geeignet. Die Ergebnisse zeigen, dass schon ein Volumenstrom von $Q = 2$ l/s gegenüber $Q = 0,2$ l/s zu einer deutlichen Abnahme des Wirkungsgrades um einen zweistelligen Prozentwert führt. Bei der vom Hersteller angegebenen Belastung von 5 l/s werden bereits sedimentierte Feststoffe aus dem System ausgetragen (Selbstreinigung) und gelangen als Zusatzbelastung in die Kanalisation bzw. die Vorflut. Hydraulische Belastungen des Systems mit Volumenströmen, die über 2 - 3 l/s liegen, sind daher zu vermeiden. Dies kann auf zwei Wegen erreicht werden:

1. Infrastrukturell

Durch eine Verringerung der an ein System angeschlossenen Fläche auf z.B. 200 m² wird die hydraulische Belastung halbiert und der Eintritt eines Überlastungszustandes statistisch verringert. Ausgeschlossen werden kann die Situation der „Selbstreinigung“ so jedoch nicht.

2. Konstruktiv

Durch eine Durchmesserreduzierung des Überlaufs im Nassschlammfang kann eine Drosselwirkung erzielt werden, die den maximalen Volumenstrom, der durch die unteren drei Kammern des Systems geleitet wird, auf $Q_{\max.} = 2 - 3 \text{ l/s}$ begrenzt. Höhere Volumenströme können über einen Notüberlauf (Bypass) im oberen Teil des Nassschlammfangs direkt in den Ablaufsiphon des Systems abgeleitet werden. Eine hydraulische Überlastungssituation mit einem Austrag gespeicherter Stoffe aus dem System wird so wirkungsvoll unterbunden.

3.4 Verringerung der Verblockungsneigung des Koaleszenzfilters

Eine Verblockung des sogenannten Koaleszenzfilters wurde in der Untersuchungsphase des vorangegangenen Forschungsvorhabens in 2005 - 2006 vor allem durch Blattreste, Blüten und erdiges Material verursacht, das sich bei zunehmender Betriebsdauer als Anschwemmschicht auf die aus Kunststoff bestehende Filterwolle legte und somit den hydraulischen Durchsatz erheblich verminderte. In der Folge kam es auch bei Niederschlagsereignissen mittlerer Intensität gehäuft zu Überstausituationen.

Ein positiver Einfluss des Koaleszenzfilters auf den Feststoffrückhalt des Systems war aus den Ergebnissen der vorangegangenen Untersuchungen in 2005 - 2006 nicht abzuleiten. Aufgrund der Maschenweite des eingesetzten Kunststoffsiebes, die im Millimeterbereich liegt (siehe Abbildung 29), ist dies für feinere Teilchen auch nicht zu erwarten. Hier können lediglich gröbere Stoffe (z.B. Blätter) abgeschieden werden, die dann zu einer Abnahme der Durchlässigkeit führen und somit die Wartungshäufigkeit unnötig erhöhen. Da der Eintritt der Verblockung zeitlich nicht vorhersagbar ist, wurde in der vorangegangenen Untersuchung die Empfehlung zur viermaligen Wartung je Betriebsjahr ausgesprochen.

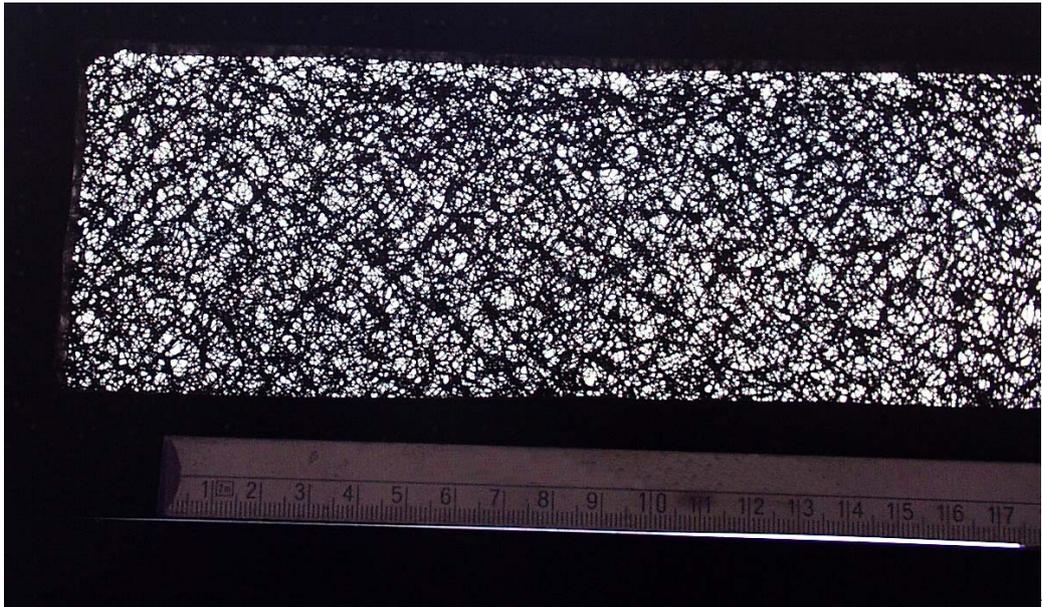


Abbildung 29: Ausschnitt des sogenannten Koaleszenzfilters

Nach derzeitigem Kenntnisstand ist aus den oben genannten Gründen ein Verzicht auf den Koaleszenzfilter im Centrifloel-System vertretbar. Das Wartungsintervall könnte so mit hoher Wahrscheinlichkeit auf eine Betriebszeit von sechs Monaten ausgedehnt werden.

3.5 Erleichterungen bei der Anlagenreinigung

Während der vorangegangenen Untersuchung in 2005 - 2006 erwiesen sich folgende Punkte bei der Anlagenreinigung als besonders verbesserungswürdig:

- Entfernen und Wiedereinbau des Arretierstabes der beiden Halbschalen des Nassschlammfangs
- Entnahme der Halbschalen des Nassschlammfangs
- Entnahme und Wiedereinbau des Koaleszenzfilters

Lösungsansätze

Arretierstab

Sofern der Arretierstab weiterhin erforderlich sein sollte (siehe nachfolgende Ausführungen), kann eine Erleichterung durch Einsatz eines Bajonettsystems erreicht werden, bei dem der Stab zunächst gerade in eine vertikale Führungsnutte gesteckt und anschließend durch Verdrehung in eine horizontale Führung arretiert wird.

Entnahme der Halbschalen

Beim Herausnehmen der oberen Halbschalen müssen diese leicht geneigt werden, um durch den etwas engeren Querschnitt des Stahlaufsatzes zu passen. Dabei rutscht in der Regel der gesamte Schlamm in den unteren Teil der Anlage. Eine Teilreinigung des oberen Schlammfangs ohne Einsatz eines Saugrüssels ist somit nur durch den manuellen Einsatz mittels Maurerkelle o.ä. in kniender Arbeitshaltung möglich.

Die Probleme bei der Entnahme der Halbschalen resultieren maßgeblich aus dem vom Hersteller gewählten Durchmesser und die dadurch erforderliche Neigung bei der Passage des Stahlaufsatzes.

Die Halbschalen liegen auf einem Kunststoffring auf, der an der Innenwand des Systems befestigt ist. Durch eine Reduzierung des Innendurchmessers unter die des Stahlaufsatzes und entsprechende Umgestaltung seiner Geometrie, z.B. konisch nach unten verjüngt, mit Auflage für eine komplette Kreisschale, ließe sich der Aus- und Einbau erheblich erleichtern.

Durch das Anbringen einer Öse oder ähnlichem könnte eine Entnahme mittels Stab erfolgen, ohne dass dabei eine kniende Haltung notwendig wäre.

Eine einzelne Kreisschale könnte z.B. durch einen Klappbock, der im Auflagering montiert wird, fixiert werden. Der Arretierstab in der herkömmlichen Bauart könnte so entfallen.

3.6 Umsetzung weiterer Modifikationen des ursprünglichen Systems

Zwischenzeitlich wurden durch den Hersteller weitere Modifikationen des ursprünglichen Systems durchgeführt, die in Abbildung 30 - Abbildung 32 dargestellt sind. Dazu gehören:

- eine einzelne Kreisschale mit Griff zur Entnahme mittels Hakenstab,
- eine im Durchmesser reduzierte Auflagerung und
- eine neue Arretiervorrichtung.
- Wegfall der unteren Halbschale zur Abdeckung der Kammern Zwei und Drei



Abbildung 30: Einzelne Kreisschale des Nassschlammfangs mit Griff zur Entnahme mittels Hakenstab



Abbildung 31: Blick in die unteren drei Kammern des neuen Centrifoel-Systems (Ventilkugel wurde entnommen)



Abbildung 32: Blick in das Centrifoel-System mit eingesetzter Kreisschale des Nassschlammfangs und neuer Arretiervorrichtung

4 Erfahrungen aus dem Betrieb des modifizierten Systems unter realen Bedingungen

4.1 Allgemeines

Die Ergebnisse aus den Laboruntersuchungen wurden über einen Zeitraum von sechs Monaten (April bis September 2008) unter realen Bedingungen überprüft. Dazu wurde das System aus der vorangegangenen Untersuchung [1] mit dem Einbau zur Strömungsumlenkung ausgerüstet und der Zu- und Ablauf der Anlage beprobt.

Eine detaillierte Beschreibung des Gewerbegebietes, dessen Belastungssituation und der an die Versuchsanlage angeschlossenen Fläche sowie der Verfahrensweise zur Probenahme und Bestimmung des Durchflusses sind in [1] dargestellt. Die Sonde des Q-Loggers wurde im Rahmen der jetzt durchgeführten Untersuchungen ausschließlich in der zweiten Kammer des Centrifloel-Systems eingesetzt, um dort die Höhe des Wasserspiegels in Abhängigkeit von der Regenspende und der Betriebsdauer zu ermitteln. Das Vorgehen entspricht somit der Phase I des vorangegangenen Forschungsvorhabens. In Abbildung 33 ist das modifizierte System mit eingebauter Messsonde schematisch dargestellt.

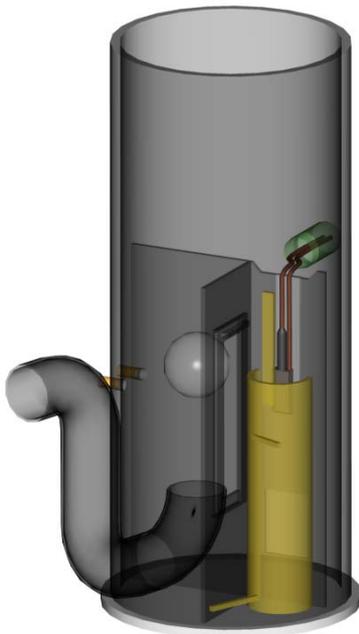


Abbildung 33: Schematische Darstellung des Centrifloel-Systems mit eingebauter Strömungsumkehr (gelb dargestellt) und Messsonde des Q-Loggers; auf die Darstellung der weiteren Anlagenbestandteile wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet

4.2 Vorgehen

Um zusätzlich eine Aussage zum Einfluss der Strömungsumlenkung auf die Verblockungsneigung des Koaleszenzfilters im modifizierten System auf die hydraulische Leistungsfähigkeit und die stoffliche Abscheidung unter realen Bedingungen treffen zu können, wurde folgendes Vorgehen beschlossen:

1. Viermonatiger Betrieb des modifizierten Systems mit eingebautem Koaleszenzfilter. Hierdurch sollten Aussagen zum Einfluss der Strömungsumlenkung auf die Stoffabscheidung und die Verblockungsneigung des Koaleszenzfilters getroffen werden.
2. Vollständige Anlagenreinigung nach vier Monaten.
3. Einmonatiger Betrieb des modifizierten Systems ohne Koaleszenzfilter. Hierdurch sollten Aussagen zum Einfluss des Koaleszenzfilters auf den Stoffrückhalt im System getroffen werden.
4. Abschließende Anlagenreinigung

Die Systematik der Auswertung orientiert sich an dem vorangegangenen Forschungsvorhaben.

4.3 Hydrologie und Hydraulik

4.3.1 Datenaufarbeitung und Summenwerte

Die Aufarbeitung der hydrologischen und hydraulischen Messwerte erfolgte analog der in [1] beschriebenen Vorgehensweise. Daher wird auf eine detaillierte Darstellung an dieser Stelle verzichtet. Die Bestimmung des Durchflusses für das modifizierte Centrifloel-System erfolgte im Rahmen dieser Untersuchung ausschließlich auf Basis des kalibrierten KOSIM-Modells, welches in [1] angelegt worden war.

Die einzelnen Betriebsphasen und die dafür ermittelten Volumina sind in Tabelle 12 als Summenwerte zusammengefasst. Das resultierende Volumen aus den Niederschlägen wurde mit der an die Anlage angeschlossenen Fläche von 400 m² berechnet. Deutlich zu erkennen ist die starke Überhöhung der mit Hilfe des Q-Loggers ermittelten Volumina für die Betriebsphase I mit eingebautem Koaleszenzfilter im Vergleich zu den Daten aus der KOSIM-Simulation. Bei ausgebautem Koaleszenzfilter kann in der Betriebsphase II eine sehr gute Übereinstimmung der gemessenen Werte mit denen aus der KOSIM-Simulation beobachtet werden. Hieraus wird die Verblockung des Koaleszenzfilters bei zunehmender Betriebsdauer und zunehmendem Durchsatz deutlich, die aufgrund des zunehmenden Aufstaus einen erhöhten Durchfluss vorspiegelt.

Tabelle 12: Zusammenfassende Übersicht über die hydrologischen und hydraulischen Daten der einzelnen Betriebsphasen des modifizierten Systems

Phase	Zeitraum Start Ende	H _N	V _N A = 400m ²	V _{Q-Logger}	V _{KOSIM}	Bemerkungen
()	()	(mm)	(m ³)	(m ³)	(m ³)	()
Probebetrieb	03.04.2008 11.04.2008	15,10	6,04	4,08	1,97	Probetrieb, anschließend Anlage komplett gereinigt
I	11.04.2008 27.08.2008	275,43	110,17	368,72	37,18	1. – 4. Betriebsmonat, anschließend Anlage komplett gereinigt
II	27.08.2008 24.09.2008	41,14	16,46	7,13	7,40	5. Betriebsmonat ohne Koaleszenzfilter, anschließend Anlage komplett gereinigt

4.3.2 Betrachtung ausgewählter Regenereignisse

Zur Beurteilung der hydraulischen Leistungsfähigkeit des modifizierten Centrifloel-Systems wurden ausgewählte Regenereignisse mit unterschiedlicher Intensität und Wiederkehrhäufigkeit aus den einzelnen Betriebsphasen und deren Auswirkung auf das Abflussverhalten ausgewertet. Das Hauptaugenmerk wurde hierbei auf die gemessene Überstauhöhe im Straßeneinlauf und deren zeitliche Entwicklung gelegt, da diese Rückschlüsse auf einen möglichen Aufstau des Niederschlagswassers auf der Fahrbahn zulässt, was ab einer gemessenen Überstauhöhe von ca. 85 cm der Fall wäre. Zur Erleichterung der Beurteilung unterschiedlicher Überstauhöhen ist in Abbildung 34 das

Centrifoel-System mit Bemaßung (Einheit: Zentimeter) ausgewählter Bauteile dargestellt. Alle Maße beziehen sich auf die Wasserspiegellage im gefüllten, nicht überstauten Zustand.

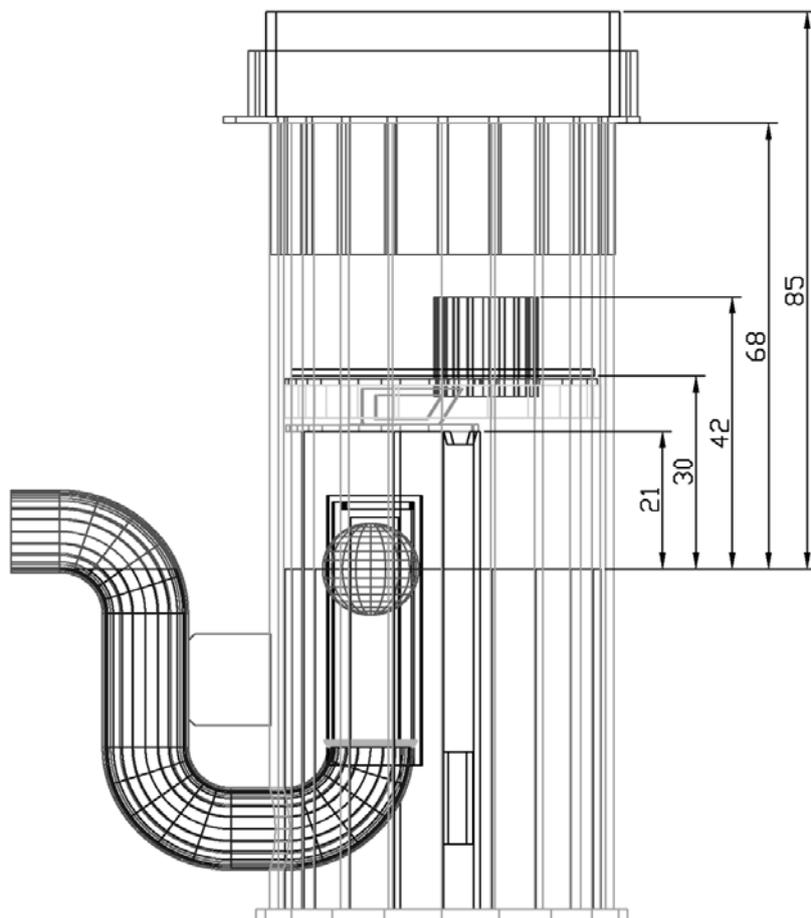


Abbildung 34: Schematische Darstellung des Centrifoel-Systems mit komplettem Aufsatz für Laubfang und Gitterrost sowie Bemaßung einzelner Bauteile (Einheit: Zentimeter). Alle Maße beziehen sich auf die Wasserspiegellage im gefüllten, nicht überstauten Zustand.

In den folgenden Abbildungen der einzelnen Niederschlagsereignisse wird die als Minuten-summenwert erfasste Niederschlagshöhe auf eine Fläche von 400 m² bezogen und als Spende in l/(s • 400 m²) angegeben. Dieser Wert stellt zugleich den maximal erreichbaren Zufluss für einen Abflussbeiwert von $\Psi = 1,00$ dar und dient ebenfalls zur Abschätzung der hydraulischen Belastung des Centrifoel-Systems.

4.3.2.1 Betriebsphase I mit eingebautem Koaleszenzfilter, Sonde des Q-Loggers in der 2. Kammer

Die Höhenangaben des Q-Loggers für die einzelnen Regenereignisse repräsentieren den Überstau in den Kammern 1 und 2 des Systems.

Regenereignis vom 28.04.2008

Der aufgezeichnete Regen weist für die Dauerstufen 5, 10 und 15 Minuten Wiederkehrzeiten von 0,7 – 0,5 Jahren auf. Der Maximalwert wird in der Dauerstufe 10 Minuten erreicht. In Tabelle 13 sind die ermittelten maximalen Niederschlagshöhen für die einzelnen Dauerstufen mit den entsprechenden Wiederkehrhäufigkeiten dargestellt, Abbildung 35 stellt den Verlauf des Ereignisses mit den gemessenen Höhen im Straßeneinlauf graphisch dar. Die maximale Überstauhöhe beträgt 27 cm und fällt im Vergleich zu den nachfolgend aufgeführten Regenereignissen für eine Niederschlagsspende mit einem Maximalwert von 117 l/(s • ha) in der Dauerstufe 5 Minuten eher gering aus. Der Koaleszenzfilter ist offensichtlich nach der Reinigung der Anlage am 11.04.2008 noch relativ durchlässig.

Tabelle 13: Ergebnisse der Auswertung eines Regenereignisses vom 28.04.2008 während des 1. Monats der Betriebsphase I

	Regenstart	28.04.2008 15:25	
	Regenende	28.04.2008 16:55	
	Regendauer (Min)	90	
	H _N gesamt (mm)	9,49	
Dauerstufe	Auswertung der Dauerstufen		
	H_N	R_N	T_n
(Min)	(mm)	(l/(s•ha))	(a)
5	3,5	117	0,64
10	6,3	105	0,71
15	7,0	78	0,51
20	8,4	70	0,56
30	9,2	51	0,46
45	9,4	35	0,40
60	9,5	26	0,38
90	9,5	18	0,32
120	9,5	13	0,28
180	9,5	9	0,24
240	9,5	7	0,21
360	9,5	4	0,18
720	9,5	2	0,14
1440	9,5	1	0,08

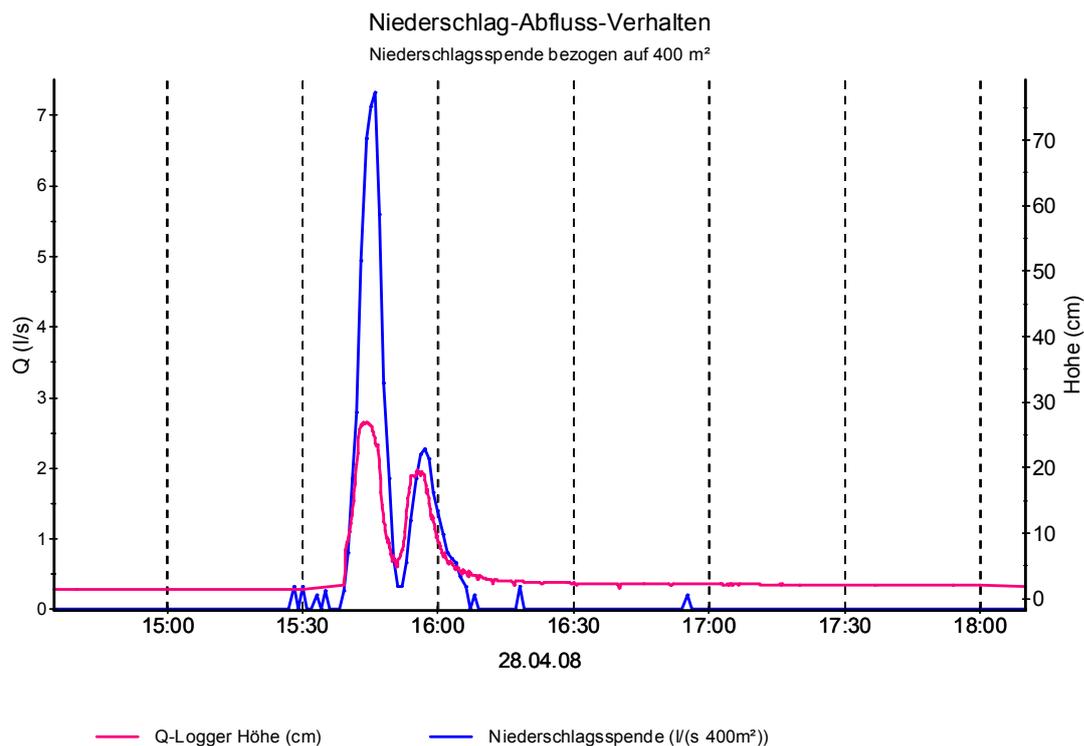


Abbildung 35: Niederschlag und gemessene Überstauhöhe eines Regenereignisses vom 28.04.2008 während des 1. Monats der Betriebsphase I

Regenereignis vom 17.05.2008

Der aufgezeichnete Regen weist für die Dauerstufen 5, 10 und 15 Minuten Wiederkehrzeiten von 0,3 – 0,2 Jahren auf. In Tabelle 14 sind die ermittelten maximalen Niederschlagshöhen für die einzelnen Dauerstufen mit den entsprechenden Wiederkehrhäufigkeiten dargestellt, Abbildung 36 stellt den Verlauf des Ereignisses mit den gemessenen Höhen im Straßeneinlauf graphisch dar. Die maximale Überstauhöhe beträgt 46 cm und führt demnach zu einem überstauten Nassschlammfang.

Tabelle 14: Ergebnisse der Auswertung eines Regenereignisses vom 17.05.2008 während des 2. Monats der Betriebsphase I

	Regenstart	17.05.2008 06:05	
	Regenende	17.05.2008 09:05	
	Regendauer (Min)	180	
	H _N gesamt (mm)	6,13	
Dauerstufe	Auswertung der Dauerstufen		
	H _N	R _N	T _n
(Min)	(mm)	(l/(s·ha))	(a)
5	1,8	58	0,28
10	3,1	51	0,23
15	4,0	45	0,21
20	4,5	37	0,20
30	5,3	29	0,20
45	5,5	20	0,20
60	5,5	15	0,20
90	5,6	10	0,18
120	5,6	8	0,16
180	6,1	6	0,16
240	6,1	4	0,14
360	6,1	3	0,12
720	6,1	1	0,10
1440	6,1	1	0,06

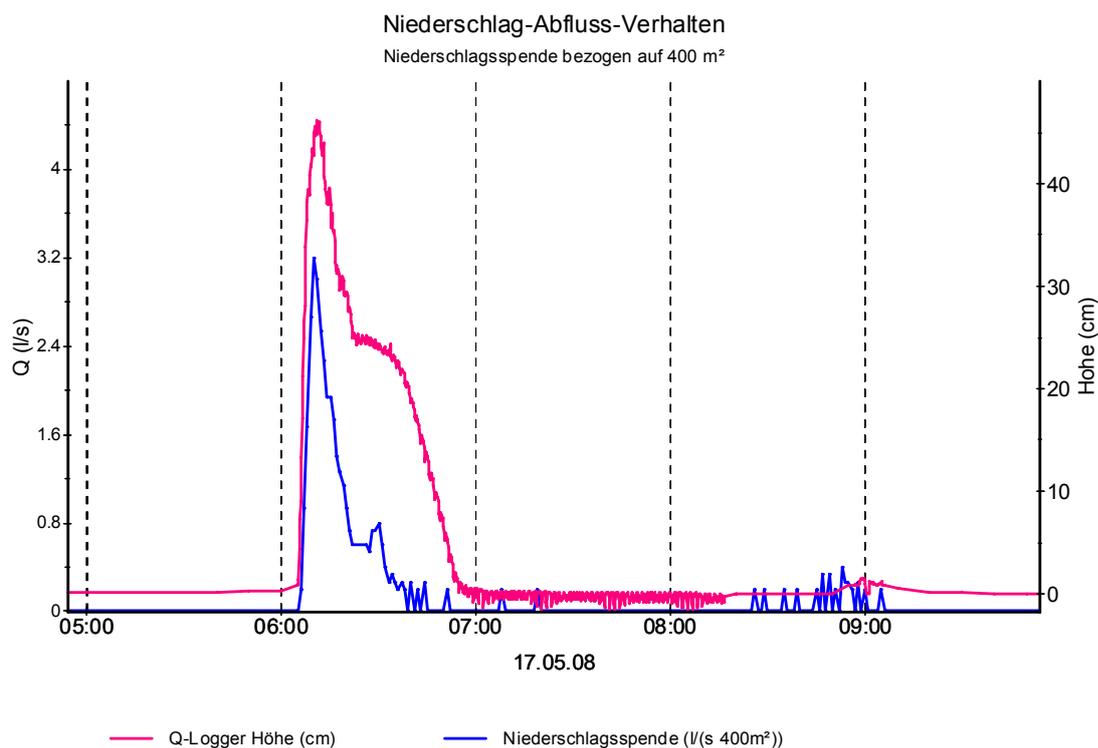


Abbildung 36: Niederschlag und gemessene Überstauhöhe eines Regenereignisses vom 17.05.2008 während des 2. Monats der Betriebsphase I

Starkregenereignis vom 22.06.2008

Der aufgezeichnete Regen weist für die Dauerstufen 5, 10 und 15 Minuten Wiederkehrzeiten von 1,9 – 1 Jahr auf. In Tabelle 15 sind die ermittelten maximalen Niederschlagshöhen für die einzelnen Dauerstufen mit den entsprechenden Wiederkehrhäufigkeiten dargestellt, Abbildung 37 stellt den Verlauf des Ereignisses mit den gemessenen Höhen im Straßeneinlauf graphisch dar. Die maximale Überstauhöhe beträgt 96 cm und führt zu einem Rückstau des Systems bis über das Niveau der Fahrbahnoberfläche. Der überwiegende Volumenanteil des Regens fällt innerhalb einer Zeitspanne von 15 Minuten. Der daraus resultierende Abfluss dauert rund 55 Minuten. Der Aufstau bis über Straßenniveau ($H > 85$ cm) dauert ca. 7 Minuten.

Tabelle 15: Ergebnisse der Auswertung eines Starkregenereignisses vom 22.06.2008 während des 3. Monats der Betriebsphase I

	Regenstart	22.06.2008 18:35	
	Regenende	22.06.2008 20:45	
	Regendauer (Min)	130	
	H _N gesamt (mm)	11,25	
Dauerstufe	Auswertung der Dauerstufen		
	H_N	R_N	T_n
(Min)	(mm)	(l/(s·ha))	(a)
5	5,9	196	1,93
10	8,3	139	1,43
15	9,2	102	0,99
20	10,0	83	0,83
30	10,2	57	0,59
45	10,3	38	0,47
60	10,4	29	0,44
90	10,7	20	0,38
120	11,2	16	0,36
180	11,3	10	0,30
240	11,3	8	0,26
360	11,3	5	0,22
720	11,3	3	0,17
1440	11,3	1	0,10

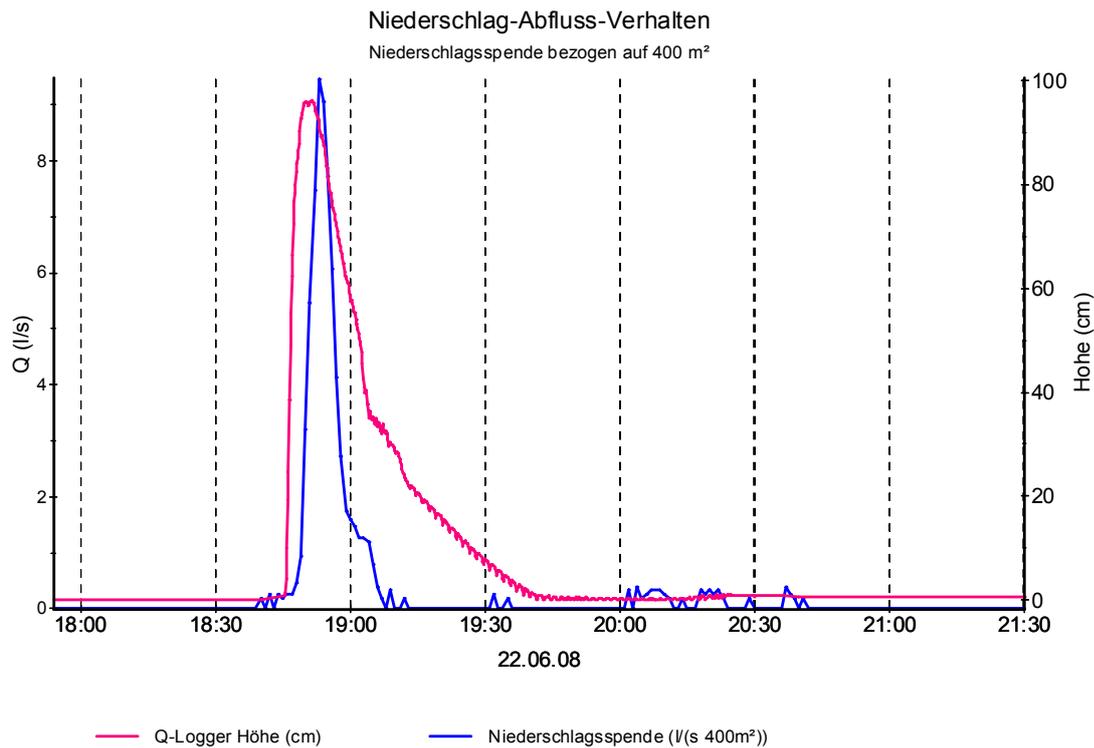


Abbildung 37: Niederschlag und gemessene Überstauhöhe eines Starkregenereignisses vom 22.06.2008 während des 3. Monats der Betriebsphase I

Regenereignis vom 08.08.2008

Der aufgezeichnete Regen weist für die Dauerstufen 5, 10 und 15 Minuten Wiederkehrzeiten von 0,3 – 0,2 Jahren auf. In Tabelle 16 sind die ermittelten maximalen Niederschlagshöhen für die einzelnen Dauerstufen mit den entsprechenden Wiederkehrhäufigkeiten dargestellt, Abbildung 38 stellt den Verlauf des Ereignisses mit den gemessenen Höhen im Straßeneinlauf graphisch dar. Die maximale Überstauhöhe beträgt 47 cm und führt demnach zu einem überstauten Nassschlammfang.

Tabelle 16: Ergebnisse der Auswertung eines Regenereignisses vom 08.08.2008 während des 4. Monats der Betriebsphase I

	Regenstart	08.08.2008 18:50	
	Regenende	08.08.2008 20:25	
	Regendauer (Min)	95	
	H _N gesamt (mm)	3,85	
Dauerstufe	Auswertung der Dauerstufen		
	H _N	R _N	T _n
(Min)	(mm)	(l/(s·ha))	(a)
5	1,6	52	0,25
10	2,7	45	0,20
15	3,0	34	0,16
20	3,2	27	0,14
30	3,3	18	0,13
45	3,3	12	0,13
60	3,3	9	0,14
90	3,8	7	0,14
120	3,9	5	0,13
180	3,9	4	0,12
240	3,9	3	0,11
360	3,9	2	0,10
720	3,9	1	0,08
1440	3,9	0	0,04

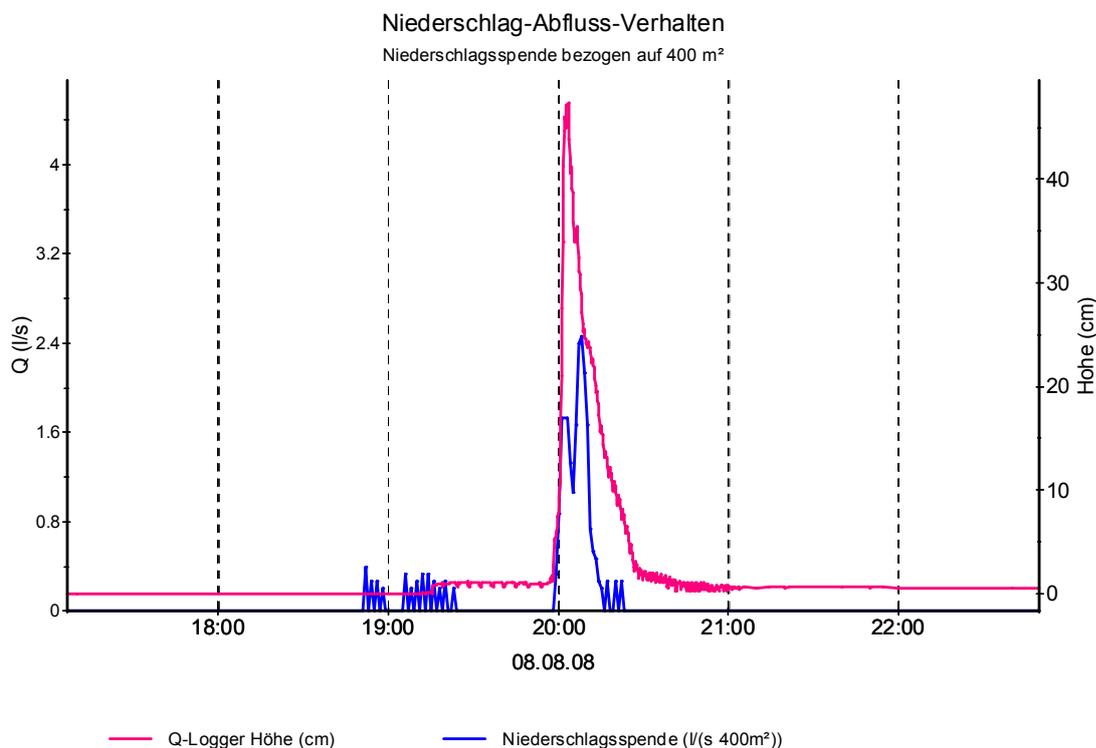


Abbildung 38: Niederschlag und gemessene Überstauhöhe eines Starkregenereignisses vom 08.08.2008 während des 4. Monats der Betriebsphase I

4.3.2.2 Betriebsphase II ohne Koaleszenzfilter, Sonde des Q-Loggers in der 2. Kammer

Der Betrieb des Systems ohne Koaleszenzfilter führte erwartungsgemäß bei Regenereignissen zu deutlich geringeren Aufstauhöhen und schnellerem Abfluss, als dies in der Betriebsphase I der Fall war. Die Ergebnisse stimmen mit denen aus der vorangegangenen Untersuchung überein. Exemplarisch wird nachfolgend ein Niederschlagsereignis höherer Intensität innerhalb dieser Betriebsphase dargestellt.

Regenereignis vom 05.09.2008

Der aufgezeichnete Regen weist für die Dauerstufen 5, 10 und 15 Minuten Wiederkehrzeiten von 0,5 – 0,6 Jahren auf. Für die Dauerstufe 60 Minuten steigt die Wiederkehrzeit auf 1,2 Jahre an. Von der Charakteristik her gleicht dieses Ereignis dem vom 28.07.2005, hat jedoch eine geringere Intensität. In Tabelle 17 sind die ermittelten maximalen Niederschlagshöhen für die einzelnen Dauerstufen mit den entsprechenden Wiederkehrhäufigkeiten dargestellt, Abbildung 39 stellt den Verlauf des Ereignisses mit den gemessenen Höhen im Straßeneinlauf graphisch dar. In Abbildung 40 sind die Ergebnisse der Durchflussmessung des Q-Loggers und die KOSIM-Berechnungen dargestellt, die eine recht gute Übereinstimmung aufweisen. Der abflusswirksame Anteil beträgt $\Psi = 0,63$ für die mittels Q-Logger gemessenen Werte und $\Psi = 0,73$ für die KOSIM-Berechnungsergebnisse.

Tabelle 17: Ergebnisse der Auswertung eines Regenereignisses in der Nacht vom 05.09.2008 auf den 06.09.2008 während der Betriebsphase II

	Regenstart	05.09.2008 23:20	
	Regenende	06.09.2008 06:20	
	Regendauer (Min)	420	
	H _N gesamt (mm)	17,61	
Dauerstufe	Auswertung der Dauerstufen		
	H _N	R _N	T _n
(Min)	(mm)	(l/(s·ha))	(a)
5	3,1	102	0,52
10	5,2	87	0,48
15	7,7	86	0,63
20	9,5	80	0,74
30	10,5	58	0,62
45	14,7	54	1,05
60	16,5	46	1,18
90	16,9	31	0,96
120	16,9	24	0,80
180	17,2	16	0,65
240	17,3	12	0,56
360	17,6	8	0,46
720	17,6	4	0,32
1440	17,6	2	0,20

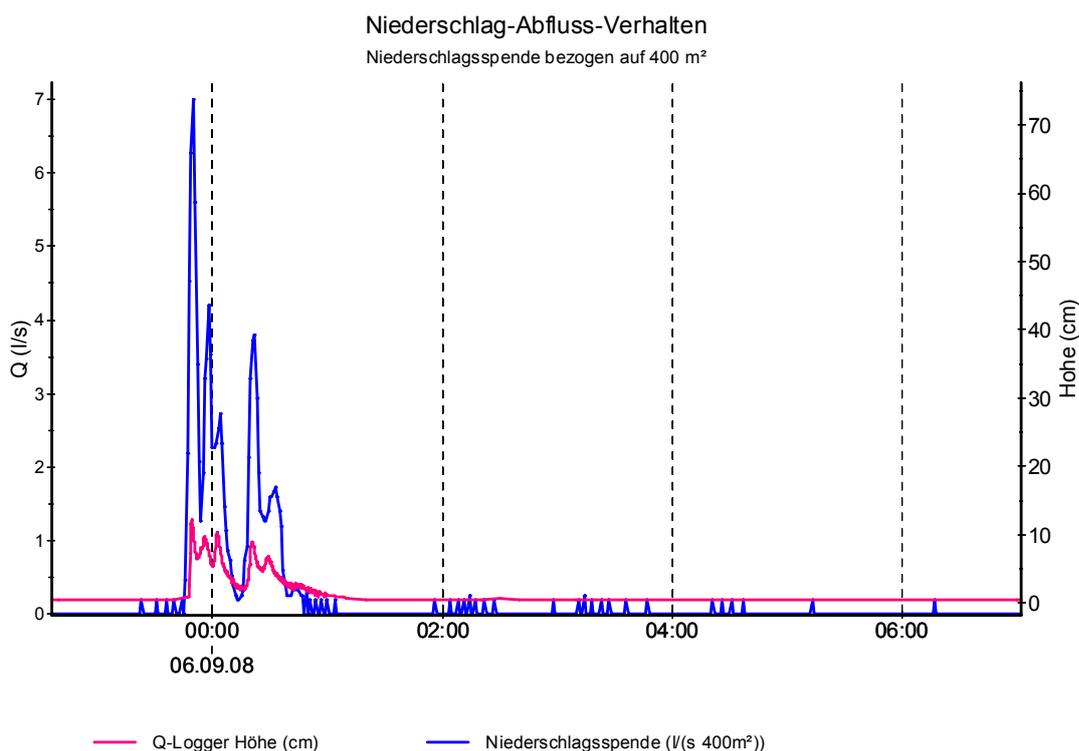


Abbildung 39: Niederschlag und gemessene Überstauhöhe des Regenereignisses in der Nacht vom 05.09.2008 auf den 06.09.2008 während der Betriebsphase II.

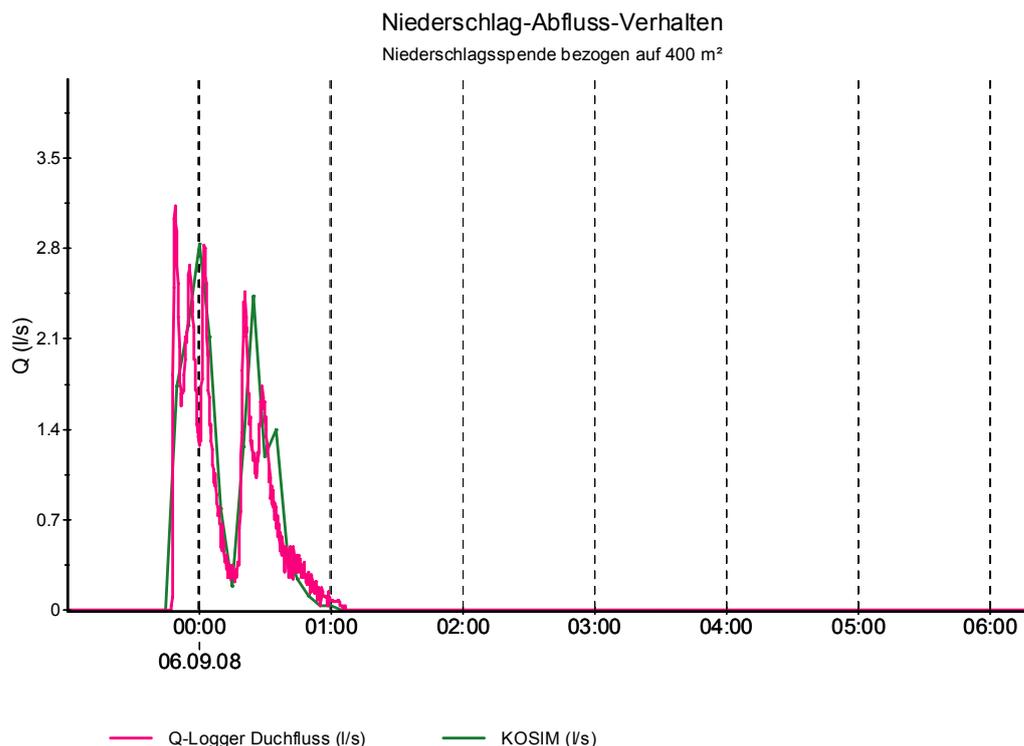


Abbildung 40: Gemessener und mittels KOSIM berechneter Durchfluss des Regenereignisses in der Nacht vom 05.09.2008 auf den 06.09.2008 während der Betriebsphase II.

4.3.3 Beurteilung der hydraulischen Leistungsfähigkeit des modifizierten Systems

Bereits in den Untersuchungen der Jahre 2005 – 2006 zeigte sich eine rasche Verblockung des Koaleszenzfilters und eine damit einhergehenden Reduktion der hydraulischen Leistungsfähigkeit, die dann deutlich unterhalb des vom Vertreiber angegebenen Maximalwertes von $Q_{zu} = 5 \text{ l/s}$ lag. Der Einbau zur Erzwingung einer Strömungsumlenkung führt bezüglich dieses Aspektes nicht zu einer Verbesserung der Situation, d.h. der Koaleszenzfilter verblockt nach wie vor innerhalb weniger Regenereignisse und bewirkt dann einen übermäßigen Anstieg des Wasserspiegels im Centrifool-System. Dabei werden Anlagenteile überflutet und Kurzschlussströmungen begünstigt, wie sich während der Anlagenreinigung nach der Betriebsphase I am 27.08.2008 zeigte. Zu diesem Zeitpunkt war der Nassschlammfang nicht eingestaut, und die Masse der auf den Halbschalen

abgelagerten Feststoffe entsprach nicht der erwarteten Menge. In Abbildung 41 ist der Blick in den Nassschlammfang vor der Entfernung des Arretierstabes wiedergegeben. Oben rechts ist ein Strömungskanal erkennbar, über den vermutlich Feststoffe über die darunterliegende Abdeckung der zweiten und dritten Kammer in die erste Kammer gelangt sind.



Abbildung 41: Blick in den Nassschlammfang; Strömungskanal oben rechts führte zu einem Feststoffaustrag in die unteren Kammern

Wie in Abbildung 42 zu sehen, hatten sich auf dem Koaleszenzfilter Blätter und erdiges Material abgelagert und diesen verblockt. Hinter der Strömungsumlenkung in der zweiten Kammer konnte eine Ansammlung von Blättern festgestellt werden, deren Höhe bis zur Unterkante des Koaleszenzfilters reichte (Abbildung 43, schwierig zu erkennen).



Abbildung 42: Verblockter Koaleszenzfilter während der Reinigung des Centrifloel-Systems nach der Betriebsphase I

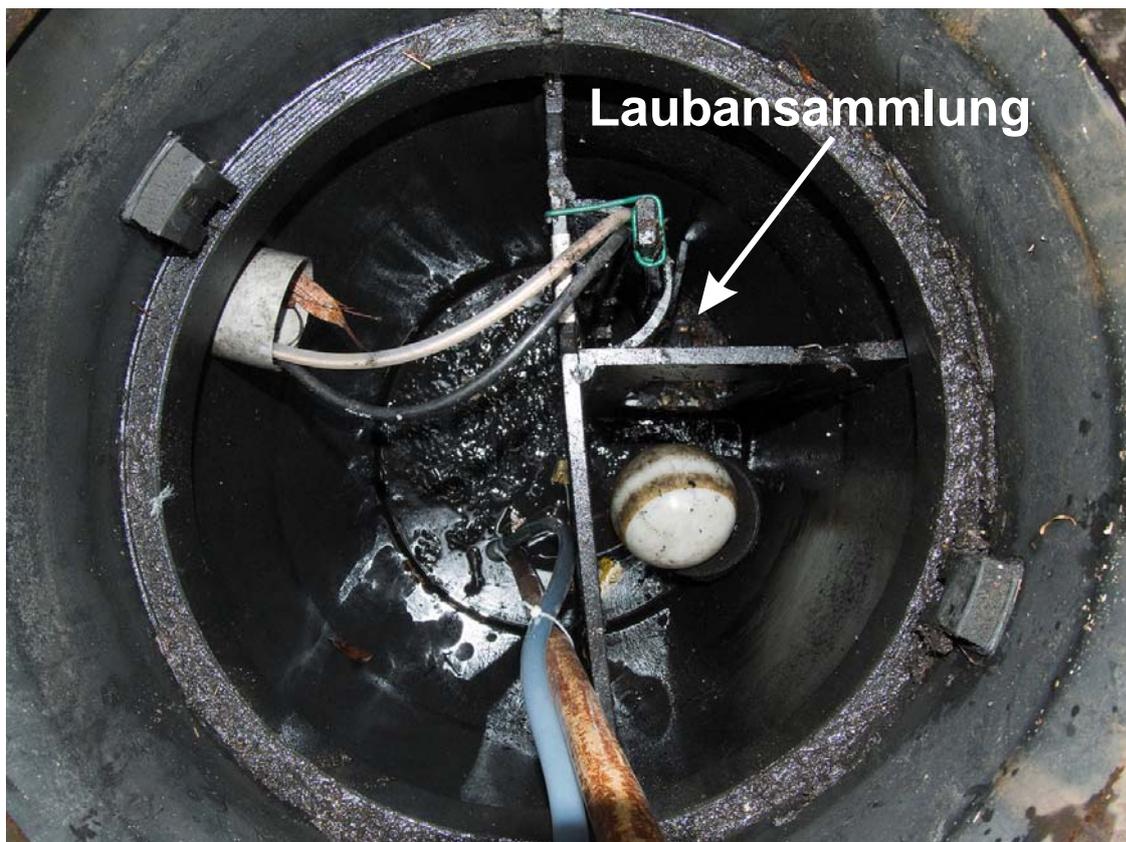


Abbildung 43: Blick in die unteren drei Kammern des Centrifloel-Systems; Laubansammlung in der zweiten Kammer hinter dem Einbau zur Strömungsumlenkung

Inwieweit die Modifikation des Centrifloel-Systems zu einer stofflichen Entlastung des Koaleszenzfilters und somit zu einer Reduktion der Verblockungsneigung führt, soll anhand eines Vergleiches mit den aus dem vorangegangenen Vorhaben gewonnenen Daten abgeschätzt werden. Dazu wurden die während ausgewählter Regenereignisse aufgezeichneten maximalen Aufstauhöhen im Centrifloel-System in Korrelation zur maximalen Regenspende, die in der Dauerstufe $t = 5$ Minuten verzeichnet wurde, gesetzt. In Abbildung 44 sind die Ergebnisse für die Betriebsphasen I des Vorhabens aus 2005 (unmodifiziertes System) und 2008 (modifiziertes System) dargestellt. Beide Datenreihen weisen eine große Streubreite auf, wie am Bestimmtheitsmaß R^2 der Regressionsgeraden abzulesen ist. Eine signifikante Entlastung des Koaleszenzfilters ist durch den Einbau zur Strömungsumlenkung nicht erzielt worden.

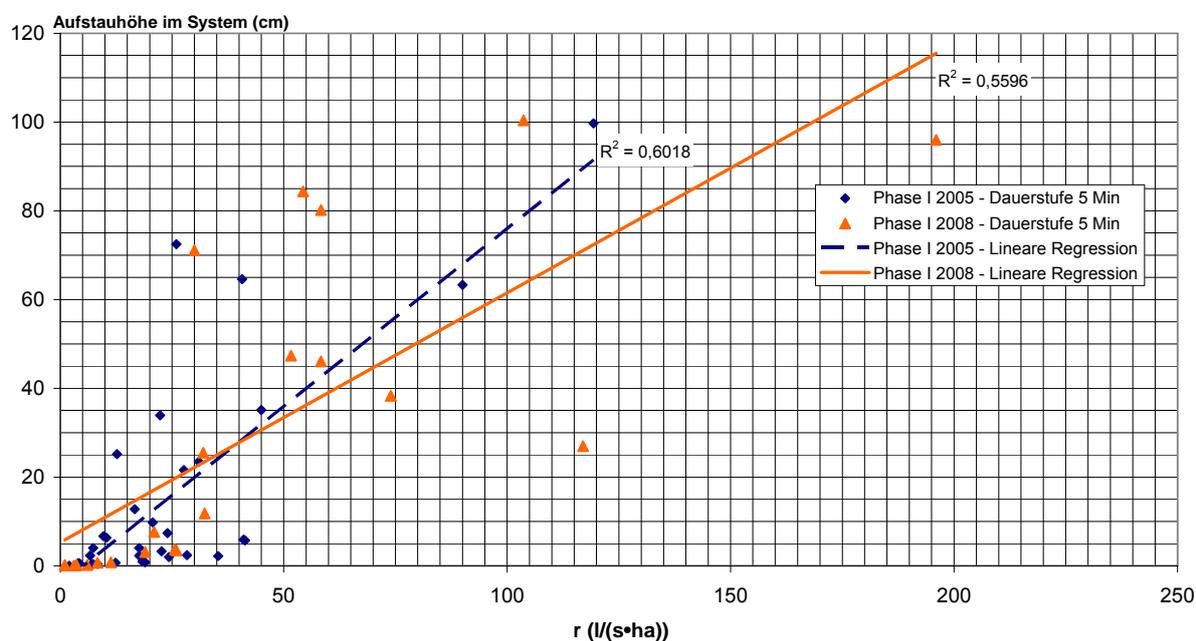


Abbildung 44: Vergleich der Überstauhöhen im Centrifloel-System ohne und mit Modifikation in Abhängigkeit von der Regenspende für die Dauerstufe $t = 5$ Minuten in der Betriebsphase I mit eingebautem Koaleszenzfilter

4.4 Wasserqualitätsparameter

Nachfolgend werden die Wasserqualitätsparameter, die während des Betriebs des modifizierten Systems unter realen Bedingungen ermittelt wurden, dargestellt. Da im Rahmen dieser Untersuchung das Hauptaugenmerk auf der Beurteilung des Stoffrückhaltes und somit auf der Auswertung des Parameters abfiltrierbare Stoffe lag, wurden zu Beginn der Betriebsphase I aus organisatorischen Gründen die Proben zunächst eingefroren und später ausgewertet. Aufgrund der nicht auszuschließenden Beeinflussung der Parameter pH-Wert, Leitfähigkeit und Trübung werden diese für den betreffenden Zeitraum bis Mitte Juni nicht angegeben.

4.4.1 pH-Wert

Die während des Untersuchungszeitraumes gemessenen pH-Werte der Wochenmischproben im Zu- und Ablauf der modifizierten Anlage sind in Abbildung 45 als Ganglinien dargestellt. Die Werte schwanken im neutralen Bereich zwischen $\text{pH} = 6,6$ und $\text{pH} = 7,8$. Die Mittelwerte betragen $\text{pH} = 7,1$ für den Zulauf und $\text{pH} = 7,2$ für den Ablauf. Signifikante Unterschiede zwischen Zu- und Ablaufwerten können nicht verzeichnet werden.

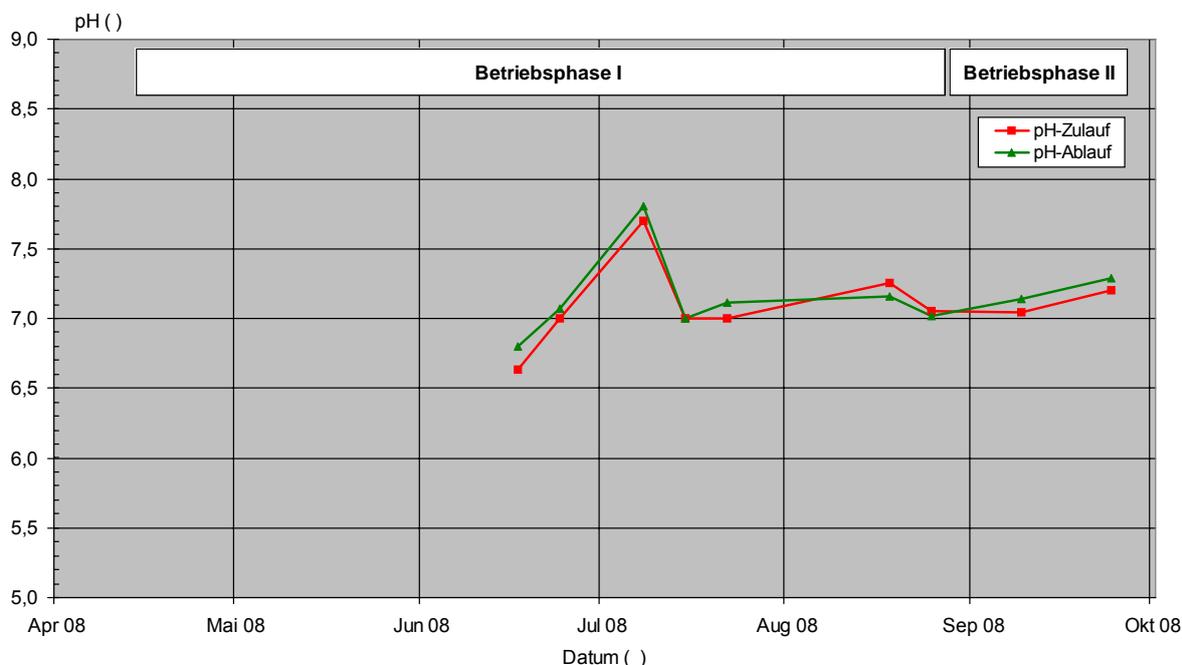


Abbildung 45: pH-Werte im Zu- und Ablauf des modifizierten Systems

4.4.2 Leitfähigkeit

Die gemessenen Leitfähigkeitswerte der Wochenmischproben im Zu- und Ablauf des modifizierten Systems sind in Abbildung 46 als Ganglinien dargestellt. Aufgrund des Untersuchungszeitraumes, der vollständig im Sommerhalbjahr lag, fallen die Schwankungen innerhalb eines Wertebereiches von 33 – 82 $\mu\text{S}/\text{cm}$ geringer aus als die in [1] bestimmten. Die arithmetischen Mittelwerte betragen 63 $\mu\text{S}/\text{cm}$ für den Zulauf und 64 $\mu\text{S}/\text{cm}$ für den Ablauf.

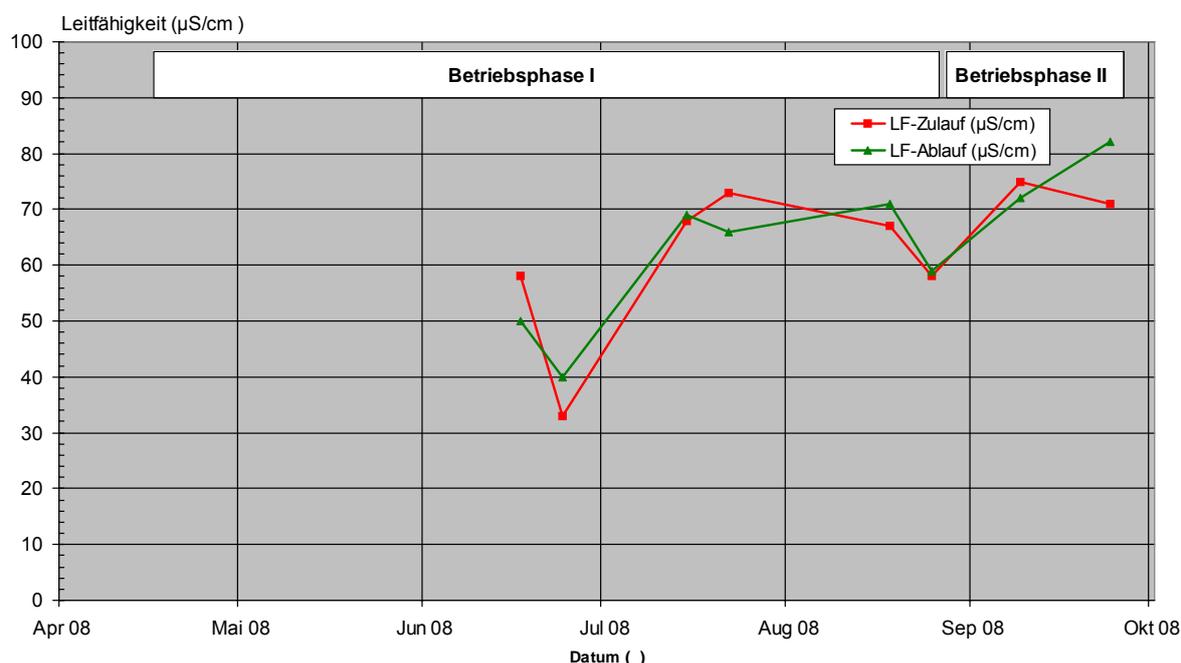


Abbildung 46: Leitfähigkeitswerte im Zu- und Ablauf des modifizierten Systems

4.4.3 Trübung

Die Trübungswerte der Wochenmischproben aus dem Zu- und Ablauf der modifizierten Anlage sind als Ganglinien in Abbildung 47 dargestellt. Dieser Parameter wird sowohl durch die Konzentration an ungelösten Stoffen als auch deren Partikelgrößenverteilung beeinflusst. Bei einem Vergleich der Zu- und Ablaufwerte sind nur relativ geringe Veränderungen der Trübung nach Passage des Centrifooel-Systems zu verzeichnen. Die arithmetischen Mittelwerte betragen 22 TE(F) für den Zulauf und 17 TE(F) für den Ablauf. Es findet somit eine Verminderung der Trübung um ca. 22 % statt. Hierbei ist zu beachten, dass die

Probenahme des Zulaufes in Kammer Eins der Anlage erfolgte (vgl. [1]), also nach der Abscheidung größerer und schwererer Teilchen im Nassschlammfang. Somit gelangen im Wesentlichen nur feine Partikel in die unteren Kammern, die im Übrigen eine stärkere Trübung verursachen als eine vergleichbare Massenkonzentration an größeren Teilchen. Der Wirkungsgrad für die Abscheidung dieser feinen Partikel innerhalb der drei Kammern ist aber eher gering.

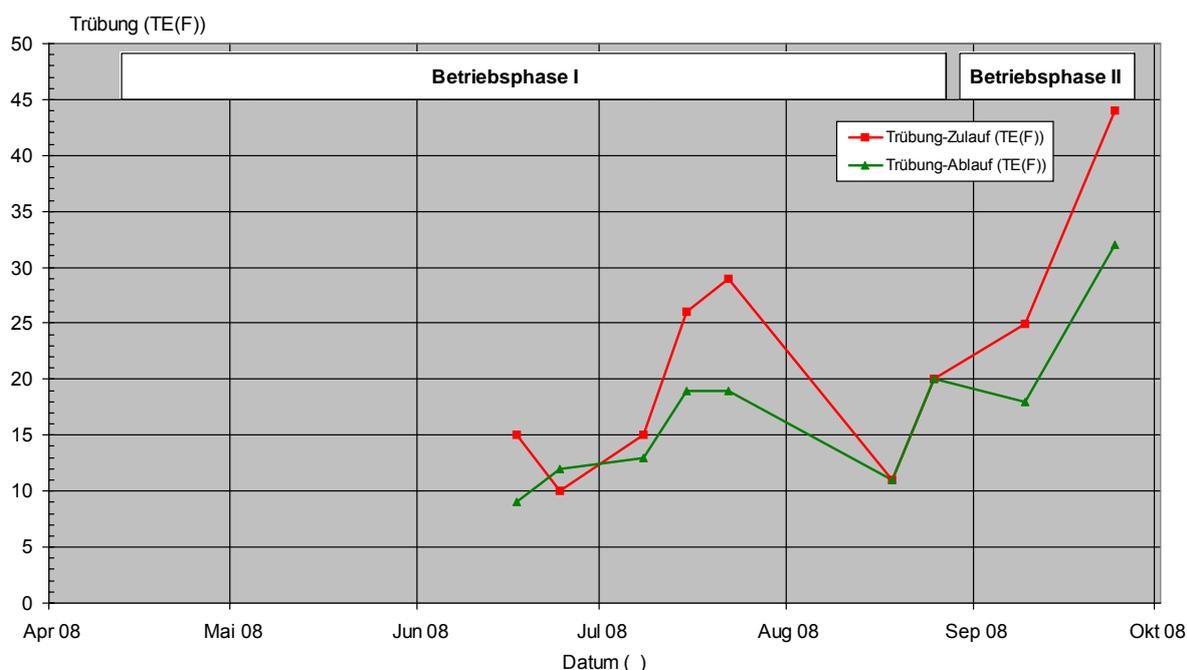


Abbildung 47: Trübungswerte im Zu- und Ablauf des modifizierten Systems

4.4.4 Abfiltrierbare Stoffe (AFS)

Die während des Versuchszeitraumes gemessenen Konzentrationen an abfiltrierbaren Stoffen (AFS) in den Wochenmischproben aus dem Zu- und Ablauf der Anlage sind als Ganglinien in Abbildung 48 dargestellt. Die Bestimmung dieses Parameters konnte nur bei Vorliegen eines ausreichenden Probevolumens durchgeführt werden. Dies bedeutet, dass für Betriebswochen mit geringen Durchflüssen, in denen nur vereinzelt Proben mit einem Gesamtvolumen von weniger als 500 ml entnommen wurden, keine Messung erfolgen konnte. Eine Erhöhung des Einzelprobevolumens hätte zu einem schnelleren Erreichen des

maximalen Gesamtprobevolumens von 24 Litern und somit zu einer falschen Bewertung (Linksschiefe) stärkerer Abflussereignisse geführt.

Die in Abbildung 48 aufgetragenen Ganglinien spiegeln die Konzentrationen in den Kammern Eins und Drei der Anlage wieder und beziehen sich folglich auf den Zustand des Wassers nach der Passage des Nassschlammfangs. Die arithmetischen Mittelwerte betragen 30 mg/l für den Zulauf und 25 mg/l für den Ablauf, d.h., es findet bei dem Durchfluss durch die Anlage eine Reduzierung dieser Konzentration um im Mittel 17 % statt. Der Betrieb ohne Koaleszenzfilter (Betriebsphase II) weist, wie bereits in der Untersuchung von 2005 – 2006 keine signifikant höheren Ablaufwerte auf als der Betrieb mit Koaleszenzfilter.

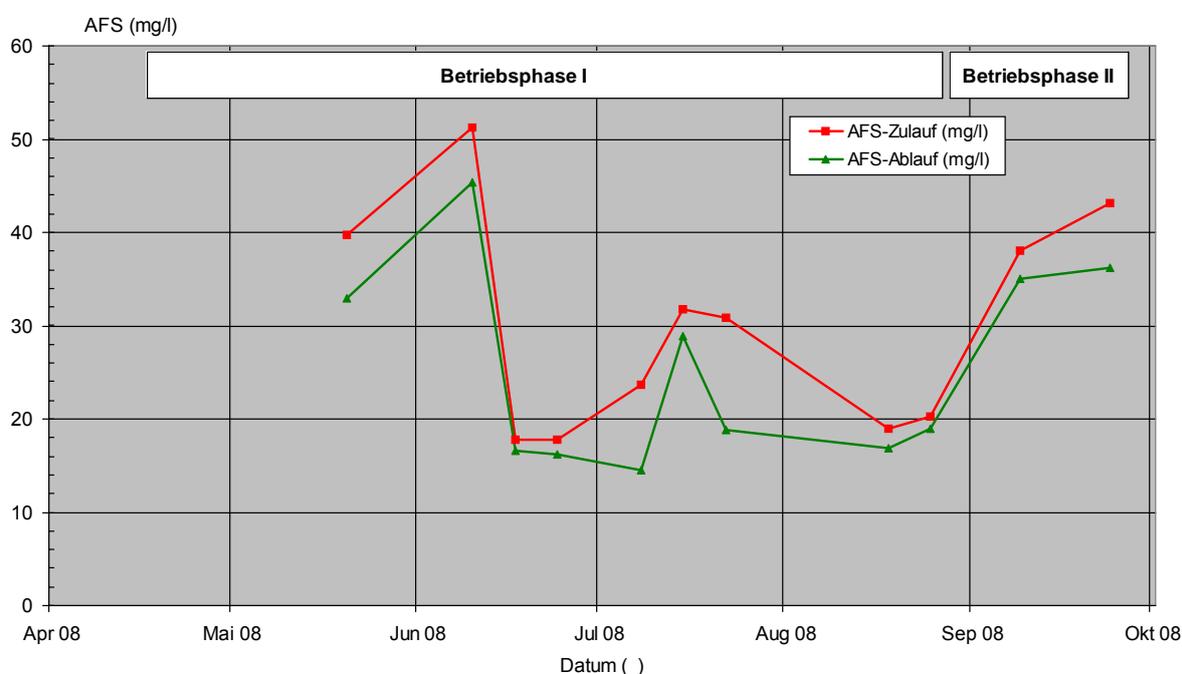


Abbildung 48: Abfiltrierbare Stoffe im Zulauf (Kammer Eins) und Ablauf (Kammer Drei) der Versuchsanlage

Zur Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades für die Abscheidung von Feststoffen wurden für die einzelnen Wartungsintervalle die Massensummen im Zu- und Ablauf der Anlage ermittelt. Für die Zulaufseite wurde hierbei auch der im Nassschlammfang zurückgehaltene Feststoff berücksichtigt:

$$m(\text{AFS})_{\text{Zu, Wartungsintervall}} = \sum c(\text{AFS})_{\text{Zu, i}} \cdot V_i + m_{\text{TS, Nassschlammfang}} \quad (\text{g}) \quad (\text{Formel 3})$$

$$m(\text{AFS})_{\text{Ab, Wartungsintervall}} = \sum c(\text{AFS})_{\text{Ab, i}} \cdot V_i \quad (\text{g}) \quad (\text{Formel 4})$$

mit

$m(\text{AFS})_{\text{Zu, Wartungsintervall}}$ = Masse AFS im Zulauf in (g)

$m(\text{AFS})_{\text{Ab, Wartungsintervall}}$ = Masse AFS im Ablauf in (g)

$c(\text{AFS})_{\text{Zu, i}}, c(\text{AFS})_{\text{Ab, i}}$ = Zulauf- bzw. Ablaufkonzentration an abfiltrierbaren Stoffen für die Betriebswoche innerhalb des Wartungsintervalls

$m_{\text{TS, Nassschlammfang}}$ = Masse Trockensubstanz im Nassschlammfang (g)

V_i = Volumen (mittels KOSIM berechnet) für die Betriebswoche innerhalb des Wartungsintervalls (m^3)

Die Massensummen im Zu- und Ablauf der Anlage sind in Abbildung 49 für die einzelnen Wartungsintervalle mit dem jeweils erzielten Wirkungsgrad η dargestellt. Für die Betriebsphase I mit eingebautem Koaleszenzfilter wird ein Wirkungsgrad für die Feststoffabscheidung von 53 % erzielt. Für die Betriebsphase II ohne Koaleszenzfilter beträgt der Wirkungsgrad 30 % und liegt somit unter dem des Systems mit eingebautem Koaleszenzfilter. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass in der Betriebsphase II lediglich zwei abflusswirksame Regenereignisse stattgefunden haben, von denen das erste mit einer recht hohen hydraulischen Belastung von $Q_{\text{zu}} = 3,1 \text{ l/s}$ bei einem System mit eingebautem Koaleszenzfilter in gereinigtem Zustand zu vergleichbaren Ergebnissen geführt hätte. Darüber hinaus kann von der Annahme ausgegangen werden, dass ein mit Feststoffen beladenes Kunststoffgewebe des Koaleszenzfilters in der Betriebsphase I durchaus einen verbesserten Rückhalt von abfiltrierbaren Stoffen bei stärkeren Regenereignissen bewirkt. Allerdings geht dieser vermeintliche Vorteil mit einer erheblich reduzierten hydraulischen Leistungsfähigkeit einher, was an den Rückstauhöhen in Abhängigkeit der Regenspenden im System während der ersten Betriebsphase abzulesen ist.

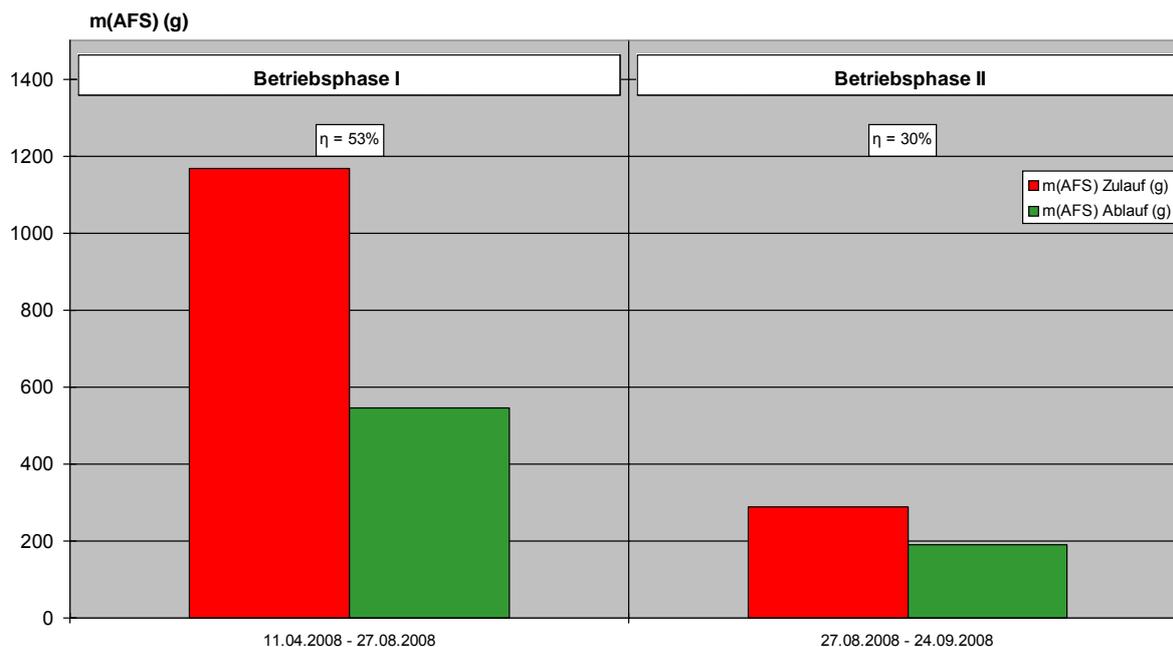


Abbildung 49: Massensummen an abfiltrierbaren Stoffen im Zu- und Ablauf der modifizierten Versuchsanlage innerhalb der einzelnen Wartungsintervalle und daraus ermittelte Gesamtwirkungsgrade.

4.4.5 Glühverlust

Die Glühverluste der Wochenmischproben der abfiltrierbaren Stoffe aus dem Zu- und Ablauf der modifizierten Anlage sind als Ganglinien in Abbildung 50 dargestellt. Hierbei ist, analog zum Parameter Abfiltrierbare Stoffe, zu berücksichtigen, dass über die Probenahme nur die feineren Partikel in den Kammern Eins und Drei berücksichtigt werden. Bereits im Nassschlammfang sedimentierte Teilchen und solche, die aufgrund ihrer Größe und Dichte durch das Probenahmeverfahren nicht erfasst werden können, bleiben hierbei unberücksichtigt. Auf die besonderen Probleme bei der Probenahme wurde bereits im vorangegangenen Forschungsvorhaben eingegangen [1].

Die arithmetischen Mittelwerte der Glühverluste betragen 48 % für den Zulauf und 54 % für den Ablauf. Die stets höheren Ablaufwerte decken sich mit den Ergebnissen aus den Versuchsreihen mit synthetischem Ablaufwasser, d.h., die organischen Komponenten werden auch hier schlechter abgeschieden als die anorganischen.

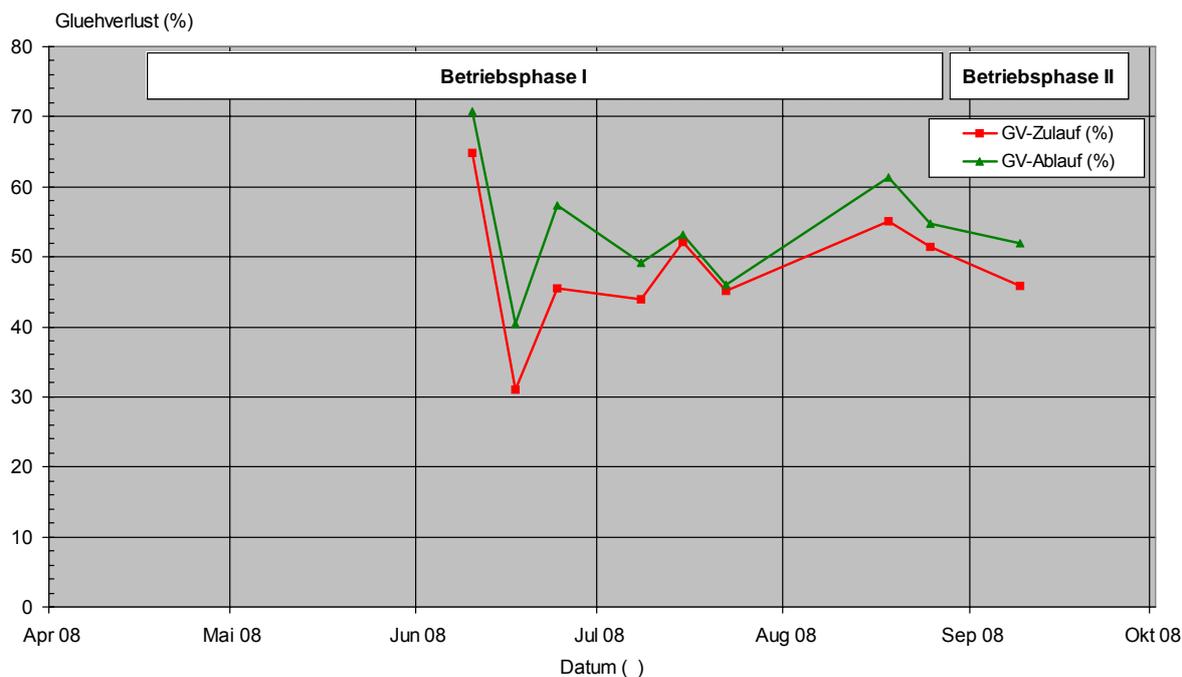


Abbildung 50: Gluehverluste der abfiltrierbaren Stoffe im Zu- und Ablauf des modifizierten Centrifioel-Systems

4.4.6 Datenvergleich mit der vorangegangenen Untersuchung

In Tabelle 18 sind die arithmetischen Mittelwerte des Vorhabens von 2005/2006 den aktuellen Daten vergleichend gegenübergestellt. Demnach liegen die Parameter pH-Wert und abfiltrierbare Stoffe in der Größenordnung der im Rahmen des vorangegangenen Vorhabens ermittelten Daten. Für die Parameter Leitfähigkeit und Trübung wurden im Rahmen des aktuellen Vorhabens hingegen ungefähr nur die Hälfte der in 2005/2006 bestimmten Werte verzeichnet. Dies dürfte u. a. auf jahreszeitliche Einflüsse zurückzuführen sein, da jetzt nur ein Zeitraum von 3 – 4 Monaten ausgewertet werden konnte.

Tabelle 18: Vergleich der arithmetischen Mittelwerte aus den Vorhaben von 2005/2006 und 2008

Parameter	Einheit	2005 / 2006		2008	
		Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf
pH	()	7,3	7,4	7,1	7,2
Leitfähigkeit	(μ S/cm)	104	117	63	64
Trübung	TE(F)	45	39	22	17
AFS	(mg/l)	41	31	30	25
GV	(%)	nicht best.	nicht best.	48	54

4.4.7 Fazit

Die am Prüfstand unter kontrollierten Bedingungen ermittelte Verbesserung der Feststoffabscheidung des modifizierten Systems um ca. 6 - 7 % konnte unter realen Betriebsbedingungen, vermutlich aufgrund der dort auftretenden Niederschlagsereignisse mit einem resultierenden Volumenstrom von $Q_{zu} > 2 - 3 \text{ l/s}$, nicht bestätigt werden. Während der Betriebsphase I trat dieser Lastfall insgesamt neunmal auf, in der Betriebsphase II ohne Koaleszenzfilter einmal bei insgesamt zwei Ereignissen.

Bei einem Vergleich der Zu- und Ablaufwerte des Parameters Abfiltrierbare Stoffe für den Betrieb der Anlage mit und ohne Koaleszenzfilter ist kein signifikanter Unterschied zu beobachten. Bezogen auf den Gesamtwirkungsgrad wird zwar für die Betriebsphase I mit eingebautem Koaleszenzfilter ein besserer Wert erzielt als in der Betriebsphase II ohne Filter, allerdings traten in der Phase II nur zwei abflusswirksame Niederschlagsereignisse auf, von denen das maßgebende einen maximalen Zulauf von $Q_{zu} = 3,1 \text{ l/s}$ aufweist. Konzentrationsbezogen ist die Differenz der abfiltrierbaren Stoffe zwischen Zulauf und Ablauf mit der Betriebsphase I vergleichbar. Bei einer Begrenzung des Zulaufvolumenstromes auf $Q_{zu} = 2 - 3 \text{ l/s}$ werden deshalb keine signifikanten Unterschiede zu einem Betrieb mit gereinigtem Koaleszenzfilter erwartet.

5 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird die durch ein Element zur Strömungsumlenkung modifizierte Variante eines dezentralen Behandlungssystems für Niederschlagswasser von Verkehrsflächen hinsichtlich ihres Feststoffrückhaltes und der Handhabung bei Wartungsarbeiten untersucht und bewertet.

Um reproduzierbare Bedingungen zu gewährleisten, wurde hierzu im Wasserbaulabor der Hochschule Ostwestfalen Lippe, Standort Höxter, ein Prüfstand aufgebaut, mit dem unterschiedliche hydraulische und stoffliche Belastungssituationen eingestellt werden können. Auf der Grundlage einer umfangreichen Literaturlauswertung wurde ein synthetisches Straßenablaufwasser mit zwei verschiedenen Zusammensetzungen, einer rein mineralischen und einer mineralisch-organischen, definiert und hergestellt. Dabei wurde insbesondere auf einen repräsentativen Feinkornanteil geachtet. Die beiden synthetischen Ablaufwässer wurden in zwei verschiedenen Konzentrationen von 50 mg/l und 150 mg/l an abfiltrierbaren Stoffen eingesetzt.

Die Versuchsreihen mit Durchflüssen von 0,2 – 2 l/s erbrachten mittlere Wirkungsgrade für den Rückhalt der abfiltrierbaren Stoffe von 79 – 65 % für das ursprüngliche System und von 81 – 70 % für das durch den Einbau der Strömungsumlenkung modifizierte System. Die Abscheideleistungen lagen bei höheren Zulaufkonzentrationen geringfügig über den Werten bei niedrigen Konzentrationen. Bei der mineralisch-organischen Zusammensetzung wurden die organischen Bestandteile schlechter zurückgehalten als der mineralische Anteil.

Die für eine noch ausreichende Abscheideleistung vertretbare maximale hydraulische Leistungsfähigkeit wurde mit $Q_{zu} = 2 - 3$ l/s ermittelt und liegt damit erheblich unter dem vom Hersteller angegebenen Wert von $Q_{zu} = 5$ l/s. Neben der erwartungsgemäßen Abnahme des Wirkungsgrades mit zunehmendem Volumenstrom wurde bei einer Beaufschlagung des Systems mit $Q_{zu} = 5$ l/s ein Austrag bereits gespeicherter Feststoffe nachgewiesen.

Das Eintreten dieses Betriebszustandes (Selbstreinigung) ist unter realen Bedingungen zum Schutz der Vorflut auf jeden Fall zu vermeiden. Dies kann durch eine Vorrichtung zum Abschlagen von höheren Volumenströmen, z.B. über einen Notüberlauf (Bypass) im oberen Teil des Nassschlammfangs direkt in den Ablaufsiphon des Systems, erreicht werden. Der Hersteller führt zur Zeit Untersuchungen zu einer konstruktiven Umsetzung durch.

Bei der Überprüfung des modifizierten Systems unter realen Bedingungen konnten die im Wasserbaulabor ermittelten Ergebnisse bezüglich der verbesserten Abscheideleistung nicht bestätigt werden. Dies wird vor allem auf die recht häufig aufgetretenen hydraulischen Überlastungssituationen mit Volumenströmen von $Q_{zu} > 2 - 3 \text{ l/s}$ zurückgeführt. Nach der Integration eines Notüberlaufes werden hier wesentlich bessere Werte erwartet, die in der Größenordnung der am Prüfstand erzielten liegen sollten.

Im Wesentlichen decken sich die Ergebnisse der hydraulischen und stofflichen Untersuchungen unter realen Bedingungen mit denen aus dem vorangegangenen Vorhaben der Jahre 2005/2006. Der Koaleszenzfilter wurde aufgrund seiner Neigung zur Verblockung und der damit einhergehenden Einschränkung der hydraulischen Leistungsfähigkeit als Schwachstelle des Systems bestätigt. Daher wird die Empfehlung ausgesprochen, diesen aus dem System zu entfernen, wenn keine anderen Gründe dagegen sprechen. Beispielsweise kann der Rückhalt des Filters für Laubbestandteile aufgrund einer nachgeschalteten Rigole durchaus gewünscht sein. Dann muss aber eine entsprechende Anpassung der Wartungsintervalle erfolgen, die ohne Koaleszenzfilter im Bereich eines halben Jahres liegen können.

Die vom Hersteller zwischenzeitlich durchgeführten Modifikationen des Nassschlammfangs mit dem Ziel, die Wartungsarbeiten zu erleichtern, stellen gegenüber dem Auslieferungszustand des Systems im Jahr 2005 eine erhebliche Verbesserung dar.

Als Fazit kann eine Empfehlung des Systems als Alternative zu einer zentralen Behandlung des Niederschlagswassers unter folgenden Bedingungen gegeben werden:

- Begrenzung des Durchflusses auf $Q_{zu} = 2 - 3 \text{ l/s}$
- Verzicht auf den Koaleszenzfilter
- Anlagenwartung im halbjährlichen Abstand

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen deutlich, dass eine Beurteilung des Betriebsverhaltens dezentraler Anlagen unter realen Bedingungen schwierig ist und auf jeden Fall lange Einsatzzeiten erfordert. Demgegenüber können mit Hilfe des entwickelten Prüfstandes und des synthetischen Straßenablaufwassers sehr viel schneller Daten zum hydraulischen Verhalten und zu den Abscheideleistungen ermittelt werden. Insbesondere die hydraulische Überlastsituation, die im Hinblick auf die damit verbundenen Belastungsspitzen im Ablauf sehr kritisch ist, kann mit dem Prüfstand eindeutig nachgewiesen werden.

6 Literatur

- [1] Pick, V., Fettig, J., Miethe, M.: Wirksamkeit eines dezentralen Behandlungssystems für Niederschlagswasser von Verkehrsflächen.
Abschlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Auftrage des MUNLV, Höxter 2006.
- [2] <http://www.centrifoel.de/oeko.html>
Valpertz-Scarabaeus GmbH, Abruf: Juni 2005.
- [3] Göttle, A. (1978): Ursachen und Mechanismen der Regenwasserverschmutzung - Ein Beitrag zur Modellierung der Abflussbeschaffenheit in städtischen Gebieten.
Institut für Bauingenieurwesen Technische Universität München, Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen, Heft Nr. 23.
- [4] Sommer, H.: Behandlung von Straßenabflüssen.
Dissertation, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, 2007.
- [5] Xanthopoulos, C. (1990): Niederschlagsbedingter Schmutzstoffeintrag in Kanalsystemen -Erneute Bilanzierung aufgrund weitergehender Erfassung von Ereignissen.
Schriftenreihe des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe, Heft 58, S. 117-145.
- [6] Li, Y., Lau, S., Kayhanian, M., Stenstrom, M.: Particle Size Distribution in Highway Runoff.
J. Environm. Engrg. 131 (2005) 9, 1267-1276.
- [7] Furumai, H.; Balmer, H.; Boller, M.: Dynamic behavior of suspended pollutants and particle size distribution in highway runoff
Water Science & Technology 46 (2002) 11-12, S. 413-418.

- [8] Sonstrom, R. S.; Clausen, J. C.; Askew, D. R.: Treatment of parking lot stormwater using a stormtreat system
Environmental Science & Technology 36 (2002) 20, S. 4441-4446.
- [9] Berbee, R., et al.: Characterization and treatment of runoff from highways in the Netherlands paved with impervious and pervious asphalt
Water Environment Research 71 (1999) 2, S. 183-190.
- [10] Drapper, D.; Tomlinson, R.; Williams, P.: Pollutant concentrations in road runoff : Southeast Queensland case study
Journal of Environmental Engineering 126 (2000) 4, S. 313-320.
- [11] Legret, M.; Pagotto, C.: Evaluation of pollutant loadings in the runoff waters from a major rural highway
The Science of the Total Environment 235 (1999), S. 143-155.
- [12] Barrett, M. E., et al.: Characterization of highway runoff in Austin, Texas, Area.
Journal of Environmental Engineering 124 (1998) 2, S. 131-137.
- [13] Gromaire-Mertz, M. C.; et al.: Characterisation of urban runoff pollution in Paris
Water Science & Technology 39 (1999) 2, S. 1-8.
- [14] Wu, J. S., et al.: Characterization and pollutant loading estimation for highway runoff
Journal of Environmental Engineering 124 (1998) 7, S. 584-592.
- [15] Kim, L.-H.; et al.: Modeling of highway stormwater runoff
Science of the Total Environment (2005), Article in Press.
- [16] Grotehusmann, D.; Harms, R. W.: Versickerung, ATV-DVWK-Kommentar, Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V., Hennef, 2002.

- [17] Nadler, A.; Meißner, E.: Ergebnisse einer Versuchsanlage zur Versickerung des Niederschlagswassers von Straßen
KA – Abwasser, Abfall 48 (2000) 5, S. 624-632.
- [18] Sommer, H., et al.: Messtechnische Untersuchungen zur Funktion eines Mulden-Rigolen-Systems
gwf Wasser/Abwasser 143 (2000) 12, S. 864-871.
- [19] Kasting, U.; O. Gameh; D. Grotehusmann: Bodenfilteranlagen zur Reinigung von Abflüssen stark verschmutzter Verkehrsflächen – Auswahl geeigneter Bodensubstrate
KA – Abwasser, Abfall 48 (2001) 9, S. 1274-1284.
- [20] Hahn, H. H.: Integrale Ansätze zu einer effizienten Gestaltung der Stoffkreisläufe in Stadtgebieten. In: Xanthopoulos, C. und Hahn, H. H. (Hrsg.): Schadstoffe im Regenabfluß III, Präsentation eines BMBF-Verbundprojektes, Schriftenreihe des ISWW Karlsruhe Band 73, Oldenbourg, München 1995.
- [21] Kim, J., Sansalone, J.: Event-based size distributions of particulate matter transported during urban rainfall-runoff events.
Wat. Res. 42 (2008), 2756-2768.
- [22] Li, Y., Lau, S., Kayhanian, M., Stenstrom, M.: Dynamic Characteristics of Particle Size Distribution in Highway Runoff: Implications for Settling Tank Design.
J. Environm. Engrg. 132 (2006) 8, 852-861.
- [23] Kayhanian, M., Singh, A., Suverkropp, C., Borroum, S.: Impact of Annual Average Daily Traffic on Highway Runoff Pollutant Concentrations.
J. Environm. Engrg. 129 (2003) 11, 975-990.

-
- [24] Flint, K., Davis, A.: Pollutant Mass Flushing Characterization of Highway Stormwater Runoff from an Ultra-Urban Area.
J. Environm. Engrg. Div. 133 (2007) 6, 616-626.
- [25] Hatt, B., Fletcher, T., Deletic, A.: Treatment performance of gravel filter media: Implications for design and application of stormwater infiltration systems.
Wat. Res. 41 (2007), 2513-2524.
- [26] Grotehusmann, D., Kasting, U., Hunze, M.: Optimierung von Absetzbecken zur Regenwasserbehandlung.
KA – Abwasser, Abfall 54 (2007)7, 690