

Abschlussbericht

Wirksamkeit eines dezentralen Behandlungssystems für Niederschlagswasser von Verkehrsflächen

August 2006

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

Bearbeitung: Fachhochschule Lippe und Höxter,
Abteilung Höxter
An der Wilhelmshöhe 44
37671 Höxter

Dipl.-Ing. Volker Pick

Prof. Dr.-Ing. Joachim Fettig

Prof. Dipl.-Ing. Manfred Mieth

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	1
2	Gebietsbeschreibung und Standortwahl	3
2.1	Gebietsbeschreibung	3
2.2	Standortwahl für die technische Versuchsanlage	5
3	Beschreibung des CENTRIFOEL[®]-Systems	6
3.1	Allgemeines	6
3.2	Aufbau und Funktionsweise	6
3.2.1	Aufbau	6
3.2.2	Funktionsweise	10
3.3	Bisherige Untersuchungen zur Wirksamkeit des Systems	12
4	Messkonzept	13
4.1	Hydrologische und hydraulische Parameter	13
4.2	Probenahme	14
4.3	Analytik	14
4.4	Bilanzrahmen	15
5	Ausrüstung der Versuchsanlage	17
5.1	Durchflussmessung	17
5.2	Probenahme	19
6	Einbau der Versuchsanlage und Probetrieb	21
6.1	Einbau der Anlage	21
6.2	Probetrieb und weiteres Vorgehen	22
7	Ergebnisse aus den einzelnen Betriebsphasen	27
7.1	Hydrologie und Hydraulik	27
7.1.1	Datenaufarbeitung und Summenwerte	27
7.1.2	Betrachtung ausgewählter Regenereignisse	30

7.1.3	Beurteilung der hydraulischen Leistungsfähigkeit	45
7.2	Auswirkung der Behandlung auf die Wasserqualitätsparameter	49
7.2.1	Allgemeines	49
7.2.2	pH-Wert	49
7.2.3	Leitfähigkeit	50
7.2.4	Trübung	51
7.2.5	Abfiltrierbare Stoffe (AFS)	52
7.2.6	CSB	58
7.2.7	TOC	59
7.2.8	Schwermetalle	60
7.2.9	Kohlenwasserstoffe	69
7.2.10	Zusammenfassende Darstellung der Reinigungsleistung und Vergleich mit anderen Behandlungsverfahren	71
8	Erfahrungen aus dem Anlagenbetrieb und der Wartung	73
8.1	Anlagenbetrieb	73
8.2	Durchführung einer Anlagenwartung	74
8.3	Erfahrungen aus der Anlagenwartung	75
8.4	Kritikpunkte aus der Betreuung der Versuchsanlage	76
8.5	Abschließende Bewertung des Systems	77
8.6	Betriebshandbuch	80
9	Literatur	81
	Anhang 1 Verkehrszählungsdaten	83
	Anhang 2 Starkniederschlagsauswertung	88
	Anhang 3 Beschreibung der KOSIM-Modellierung	91
	Anhang 4 Wasseranalysen	92

1 Einleitung

In NRW besteht seit 1996 gemäß Landeswassergesetz §51a, in der Fassung vom 25.06.1995 [1], sowie Runderlass des MURL vom 18.05.1998 (MBI. NRW S. 654 ber. S. 918) [2] in Neubaugebieten die Pflicht, Niederschlagswasser von Grundstücken und Verkehrsflächen zu versickern, verrieseln oder ortsnah in ein Gewässer einzuleiten, sofern dies ohne Beeinträchtigung des Wohles der Allgemeinheit möglich ist.

Die Erfordernis einer hierbei eventuell zu installierenden Niederschlagswasserbehandlung wird über den Runderlass des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz vom 26.05.2004: „Anforderungen an die Niederschlagsentwässerung im Trennverfahren“ (IV-9 031 001 2104) geregelt [3]. Die Anforderungen an eine Behandlung leiten sich hierbei maßgeblich aus dem Herkunftsbereich (Nutzung) und der Art der daraus zu erwartenden Belastung gem. Anlage 1 des Runderlasses ab, die in die folgenden drei Kategorien eingeteilt ist.

- Unbelastetes (= unverschmutztes) Niederschlagswasser (Kategorie I)
Es bestehen keine Anforderungen an eine Behandlung vor einer Einleitung in ein Gewässer. Eine Versickerung kann nach den Ziffern 14.1 und 15 des Runderlasses vom 18.05.1998 durchgeführt werden.
- Schwach belastetes (= gering verschmutztes) Niederschlagswasser (Kategorie II)
Es besteht grundsätzlich die Notwendigkeit einer Behandlung. Im Einzelfall kann von der Behandlung abgesehen werden, wenn entweder die Belastungssituation als geringer zu bewerten ist, als dies nach den Vorgaben in Anlage 1 zu erwarten wäre oder wenn eine vergleichbare dezentrale Behandlung erfolgt. Eine Versickerung ist unter bestimmten Voraussetzungen möglich.
- Stark belastet (=verschmutztes) Niederschlagswasser (Kategorie III)
Das Wasser muss grundsätzlich gesammelt, abgeleitet und einer Abwasserbehandlung oder einer zentralen Kläranlage zugeführt werden. Eine Versickerung ist nur nach Vorbehandlung möglich.

Grenzwerte bezüglich der chemisch-physikalischen Beschaffenheit des Niederschlagswassers zur Einleitung in ein Gewässer werden in den zugrunde liegenden Gesetzen und Erlassen nicht festgelegt. Der Schadstoffeintrag aus Niederschlagsabläufen in das Gewässer

wird also allein über die in dem Erlass festgeschriebenen allgemein anerkannten Regeln der Technik für die vorgeschriebenen Reinigungsverfahren begrenzt. Wichtige technische Regeln wurden im Merkblatt ATV-DVWK M 153, im Arbeitsblatt ATV-A 166 und im BWK Merkblatt 3 veröffentlicht.

In einem Gewerbegebiet der Stadt Höxter, welches in die Kategorie II des Runderlasses einzuordnen ist und dessen Nutzung vorwiegend durch Einzelhandelsgeschäfte geprägt ist, sollte für das im Trennverfahren einem Vorfluter zugeleitete Niederschlagswasser eine Reinigungsstufe installiert werden. Der Bau einer zentralen Einrichtung wäre nur mit verhältnismäßig hohem Aufwand zu realisieren gewesen. Als Alternative wurde daher seitens der Stadt Höxter in Abstimmung mit dem Staatlichen Amt für Umwelt und Arbeitsschutz OWL (StAfUA) ein dezentrales System mit der Bezeichnung Centrifoeel® gewählt, welches den normalen Straßenablauf ersetzt und vor Ort das Niederschlagswasser reinigen soll. Mit diesem System könnte in bestehenden Gebieten auch bei ungünstigen örtlichen Verhältnissen der Behandlungspflicht durch eine kostengünstige Lösung nachgekommen werden. Vor dem Einbau an anderer Stelle ist es jedoch erforderlich, den Betrieb und die Wirksamkeit des Systems genauer zu untersuchen und ggf. zu optimieren, da hierfür bislang noch keine ausreichenden Nachweise geführt worden sind.

Im Rahmen dieser, durch das Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW geförderten Untersuchung sollte das System hinsichtlich der folgenden Kriterien untersucht und dessen Eignung bewertet werden:

- Hydraulische Belastbarkeit
- Reinigungsleistung
- Ermittlung der notwendigen Reinigungshäufigkeit
- Handhabung bei den Wartungsarbeiten

Der Untersuchungszeitraum sollte ein komplettes Jahr umfassen, um sowohl jahreszeitliche Schwankungen in der Zusammensetzung des Niederschlagswassers zu berücksichtigen als auch Einflüsse der Witterung auf den Betrieb des Systems zu ermitteln.

2 Gebietsbeschreibung und Standortwahl

2.1 Gebietsbeschreibung

Das Gewerbegebiet „Pfennigbreite“ befindet sich im Westen der Kreisstadt Höxter an der Landstraße L 755. Im Norden ist es begrenzt durch das Fließgewässer „Grube“, im Süden durch die Landstraße L 755. Ein nicht maßstäbliches Luftbild des Gebietes ist in Abbildung 1 dargestellt.

Die Nutzung des Gebietes ist vorwiegend durch Lebensmittel- und Einzelhandelsgeschäfte sowie einige produzierende Betriebe geprägt. Die Verkehrsbelastung beträgt ca. 3.500 Kfz pro Tag (vgl. Anhang 1). Das Gebiet kann in Anlage 1 des Runderlasses dem Eintrag *„Hof- und Verkehrsflächen in Mischgebieten, Gewerbe- und Industriegebieten mit geringem Kfz-Verkehr, keinem Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und keinen sonstigen Beeinträchtigungen der Niederschlagswasserqualität“* zugeordnet werden. Somit fällt es in die Kategorie II (schwach belastetes Niederschlagswasser) und ist seiner Herkunft nach mittelstark durch Mineralölkohlenwasserstoffe und schwach mit partikulären und gelösten Schwermetallen belastet.

Das Niederschlagswasser von den Dach- und Verkehrsflächen wurde bis Ende 2004 unbehandelt über einen Regenwasserkanal in den nahe gelegenen „Bollerbach“ einleitet. Aufgrund der rechtlichen Regelungen zur Niederschlagsentwässerung im Trennsystem musste die Stadt Höxter eine geeignete Reinigungsstufe installieren, für deren Realisation anstelle einer zentralen Einrichtung, wie z.B. einem Regenklärbecken, dezentrale Systeme des Typs „Centrifool“ als Straßeneinlauf eingesetzt wurden. Der Einbau in den Straßenkörper erfolgte im Dezember 2004.

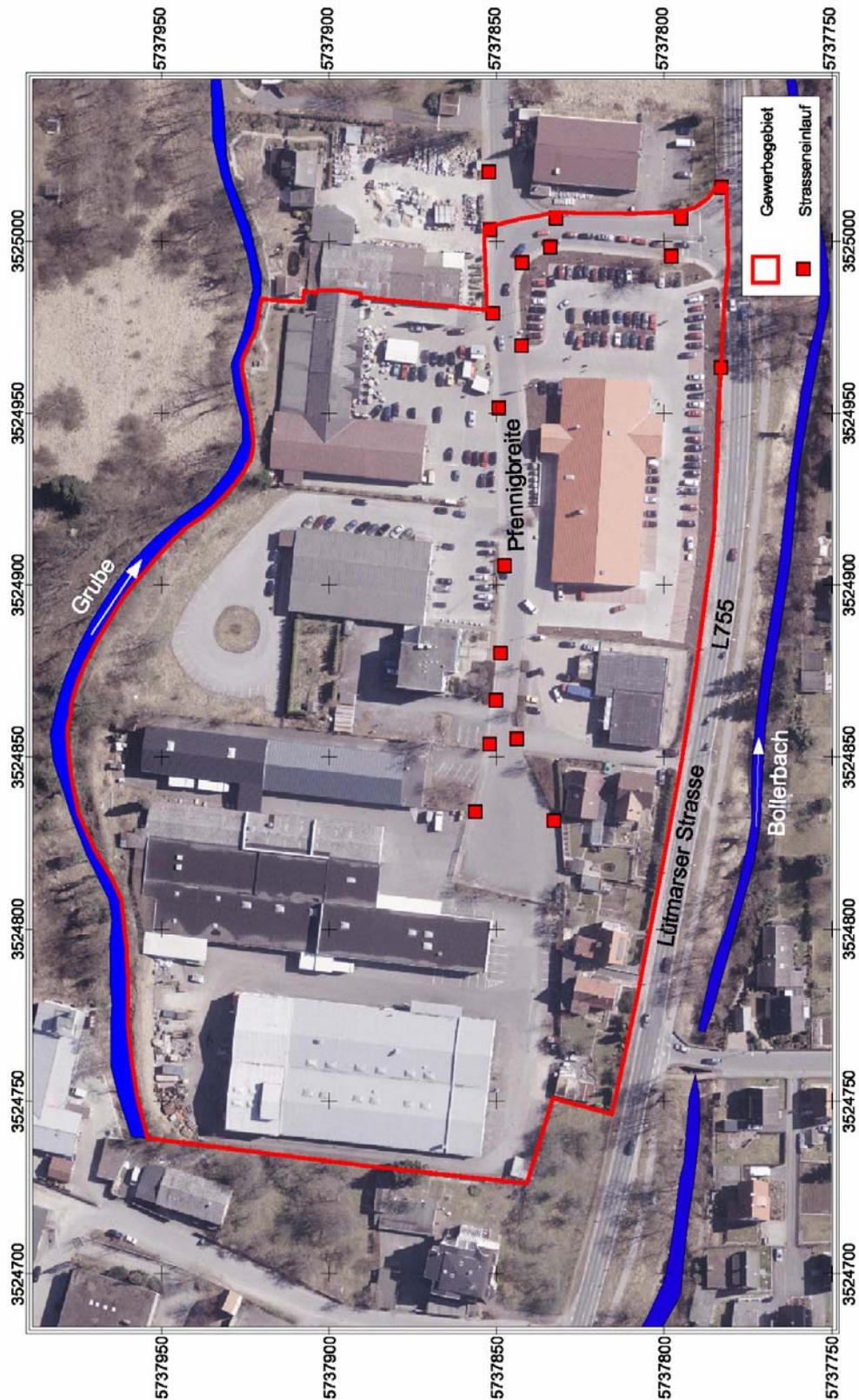


Abbildung 1: Luftbild des Gewerbegebietes „Pfennigbreite“

2.2 Standortwahl für die technische Versuchsanlage

Die Wahl eines geeigneten Standortes für die Versuchsanlage wurde unter folgenden Voraussetzungen getroffen:

- Die angeschlossene Fläche sollte mit ca. 400 m² der oberen Auslegungsgröße des Herstellers entsprechen [4].
- Der Straßenabschnitt sollte möglichst in einem verkehrstarken Bereich liegen und somit von täglich ca. 3.500 Kfz frequentiert werden.

Nach einer Erfassung des Höhenniveaus der Fahrbahnoberfläche wurde ein Straßeneinlauf im Innenbereich der abknickenden Vorfahrtsstraße gewählt. Die beiden in Fahrtrichtung zur Kreuzung „Lütmarser Straße“ installierten Straßeneinläufe wurden verschlossen, um eine Anschlussfläche von ca. 400 m² zu erzielen. In Abbildung 2 ist eine Übersicht des Standortes der Anlage sowie der angeschlossenen Fläche dargestellt.



Abbildung 2: Übersicht über den Einbauort der Versuchsanlage

3 Beschreibung des CENTRIFOEL[®]-Systems

3.1 Allgemeines

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 oben genannten Runderlass dieses System als geeignete Alternative zu konventionellen Reinigungsverfahren [4]. Ein weiterer 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 [4]. Die hydraulische Belastbarkeit wird mit einem Volumenstrom von 5 l/s angegeben. Die maximal an ein System anzuschließende Fläche soll 400 m² betragen.

Der Bruttopreis für die Anschaffung eines Systems beläuft sich auf ca. 1.600 Euro, die Einbaukosten betragen nach Aussage des Bauamtes der Stadt Höxter ca. 1.500 Euro, so dass von Investitionskosten in Höhe von ca. 3.100 Euro je System auszugehen ist.

3.2 Aufbau und Funktionsweise

3.2.1 Aufbau

Das System besteht aus einem zylinderförmigen Unterteil aus Polyethylen (Abbildung 3) und einem Aufsatz mit integriertem Laubfang (Abbildung 4) aus Stahl. Die Höhe beträgt ohne Aufsatz 120 cm und der Innendurchmesser 45 cm. Das System ist im Betriebszustand ständig mit ca. 0,1 m³ Niederschlagswasser gefüllt. Ein Übersichtsbild mit der Bezeichnung der einzelnen Anlagenteile ist in Abbildung 7 dargestellt.

Der Laubfang entspricht den üblicherweise in Trockengullys eingebauten Modellen. Direkt unterhalb des Aufsatzes befindet sich ein Nassschlammfang (Abbildung 5) und unter diesem insgesamt drei Kammern (Abbildung 6) zur weiteren Behandlung des Ablaufwassers.



Abbildung 3: Centrifoel -
Straßenablauf ohne
Aufsatz



Abbildung 4: Centrifoel - Aufsatz mit
herausnehmbarem Laub- und
Trockenschlammfang

Der Nassschlammfang wird durch drei Halbschaleneinsätze von den unteren drei Kammern getrennt (unterhalb der in Abbildung 5 dargestellten Halbschalen des Nassschlammfangs befindet sich über der 2. und 3. Kammer eine weitere Schale, die einen direkten Zufluss von oben verhindern soll). Über das in eine der Halbschalen eingelassene vertikal angeordnete Rohr gelangt das Niederschlagswasser in die erste Kammer.



Abbildung 5: Blick in den Nassschlammfang

Die Kammern sind durch senkrechte Wände, die mit der Außenhülle seitlich verschweißt sind, asymmetrisch voneinander getrennt. Durch eine fehlende Verbindung der Wände mit der Bodenplatte ergibt sich durch den ca. 1 mm großen Spalt die Gefahr einer Kurzschlussströmung zwischen den einzelnen Kammern, sofern Sedimente diese nicht im Bodenbereich abdichten und somit verschließen. In Abbildung 6 sind die drei Kammern in der Draufsicht dargestellt.



Abbildung 6: Blick in die unteren drei Kammern des Centrifugal-Systems, die Ventilkugel wurde entnommen

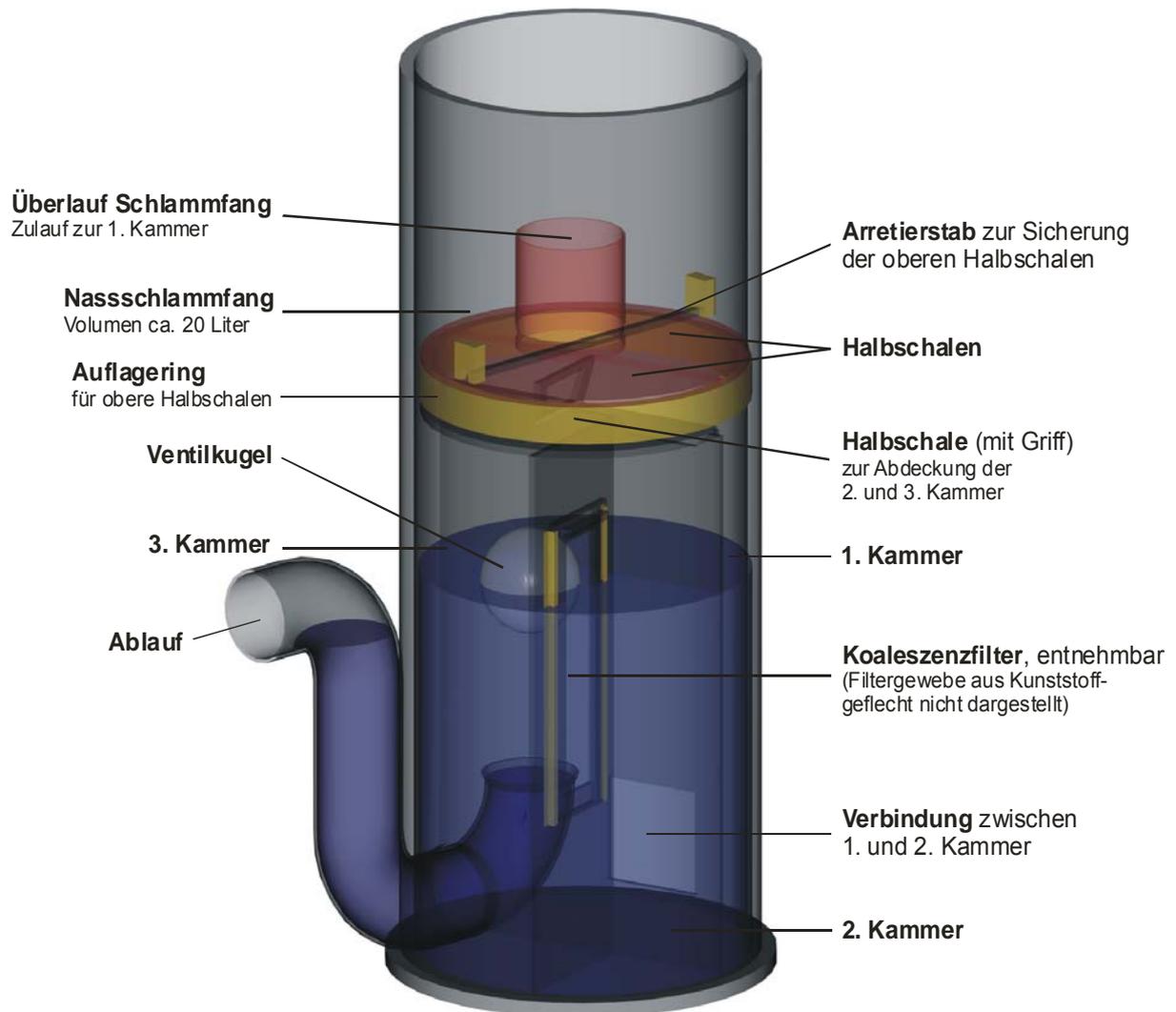


Abbildung 7: Schematische Darstellung des Centrifloel-Systems als 3D-Modell im befüllten Zustand mit Kennzeichnung der einzelnen Bestandteile

Es werden weitere Varianten des Systems, z.B. mit einem zusätzlichen, vorgeschalteten Nassschlammfang angeboten (Abbildung 8), die jedoch aufgrund des doppelten Platzbedarfs nicht für den Einsatz im Straßenbereich geeignet sein dürften.



Abbildung 8: Centrifuge-System mit vorgeschaltetem Nassschlammfang
Quelle: Homepage des Herstellers [4]

3.2.2 Funktionsweise

Das durch den Laubfang von groben Feststoffen vorgereinigte Wasser gelangt in den darunter liegenden Nassschlammfang mit einem Volumen von ca. 20 Litern, in dem Sinkstoffe abgeschieden werden sollen. Die beiden Halbschalen, die als Sohle des Schlammfangs dienen, sind nicht fugendicht ausgeführt, so dass bei einer Inbetriebnahme und nach durchgeführten Reinigungen zunächst eine Abdichtung der Sohle durch sedimentierten Feststoff erfolgen muss. Innerhalb dieser Betriebsphase soll die untere Halbschale einen direkten Zufluss von belastetem Wasser in die zweite und dritte Kammer verhindern. Mit zunehmender Betriebsdauer soll sich der Schlammfang selbst abdichten und eingestaut betrieben werden. Eine weitere Funktion der unteren Halbschale liegt in der Abdichtung der Kammern Zwei und Drei bei einem Rückstau im System. Ein direkter Abfluss des zulaufenden Niederschlagswassers über die Kammer Drei soll hierdurch vermieden werden.

Das Niederschlagswasser soll über das Fallrohr in die erste Kammer fließen, die vorwiegend der Leichtstoff- und teilweise auch der weiteren Feststoffabscheidung dient. Bedingt durch den mit einem Abstand von 10 cm nahe am Behälterboden liegenden Durchfluss zur zweiten Kammer ist die Kapazität zur Speicherung des Schlammes auf ein Volumen von ca. 15 Liter begrenzt.

Durch den rechteckigen Durchlass gelangt das Niederschlagswasser in die zweite Kammer, die das geringste Volumen der drei Kammern aufweist und der Strömungsberuhigung dienen soll.

Der Zufluss in die dritte Kammer erfolgt durch einen so genannten Koaleszenzfilter (Abbildung 9), welcher in den oberen Teil der Trennwand zwischen der zweiten und dritten Kammer eingebaut ist und für eine Vereinigung von kleinen Öltröpfchen zu größeren Aggregaten sorgen soll. Der Filterkörper besteht aus einer Kunststoffwolle.

In der dritten Kammer befindet sich der Ablauf, welcher als Ventil ausgeführt ist, um bei einem Durchbruch von Leichtflüssigkeit deren Abfluss aus dem System zu verhindern. Die eingesetzte Ventilkugel aus Kunststoff (Abbildung 9) weist eine etwas geringere Dichte als Wasser und eine höhere als Benzin und Öl auf und soll den Ablauf verschließen, sobald Leichtflüssigkeit in diese Kammer gelangt.

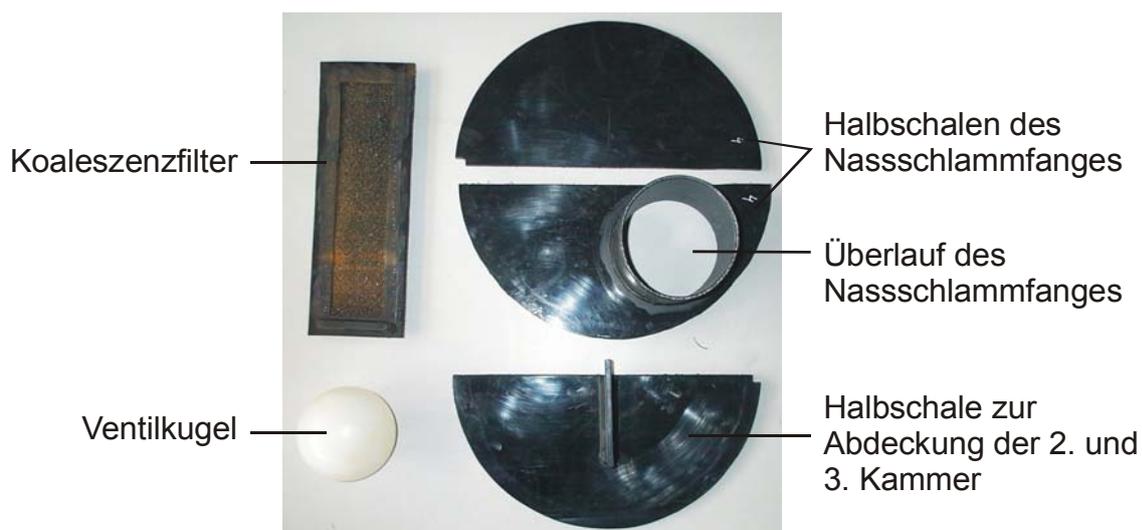


Abbildung 9: Komponenten des CENTRIFOEL® Straßenablaufes: Koaleszenzfilter, Ventilkugel und Halbschalen des Nassschlammfanges

3.3 Bisherige Untersuchungen zur Wirksamkeit des Systems

Der Hersteller weist auf seiner Internetpräsenz auf zahlreiche Untersuchungen des Systems hinsichtlich Statik und Reinigungsleistung hin [4]. Im April 1999 wurde eine durch den Hersteller in Auftrag gegebene gutachterliche Aussage zur „Reinigungswirkung des Centrifoel-Straßenablaufs“ verfasst [5]. Darin werden unter anderem auch die Ergebnisse aus vorangegangenen Untersuchungen von Dr. Walter Albersmeyer und des TÜV Rheinland, die sich vorwiegend mit dem Rückhalt freier Kohlenwasserstoffe befassen, zitiert und bewertet.

Zum Wirkungsgrad bei dem Rückhalt partikulärer und gelöster Stoffe wurde im Februar 1999 eine Einzeluntersuchung durch Dr. Walter Albersmeyer durchgeführt, bei der 170 Liter einer Probe aus dem Autobahnablauf der BAB A4 eingesetzt wurden. Der Trockensubstanzgehalt des eingesetzten Versuchswassers lag mit 6.400 mg/l deutlich über dem in der Literatur angegebenen Maximalwert von 2.000 mg/l. Der eingestellte Volumenstrom zur Beschickung der Anlage betrug 0,19 l/s und damit weniger als 4 % des vom Hersteller genannten Maximalwertes von 5 l/s. Der gewählte Volumenstrom würde bei einem 400 m² großem Gebiet und einem Abflussbeiwert von $\Psi = 0,9$ nur einer Regenintensität von 5,3 l/(s·ha) entsprechen; er wurde durch den Autor der zitierten Stellungnahme ebenfalls als sehr gering eingestuft. Im Abstand von 10 und 15 Minuten wurden die Konzentrationen im Ablauf beprobt. Die resultierenden Wirkungsgrade nach einer Versuchsdauer von 15 Minuten betragen dabei 95% für Kohlenwasserstoffe, 90 – 98% für ausgewählte Schwermetalle und 96 % für die abfiltrierbaren Stoffe. Unklar ist, warum die Wirkungsgrade nach zehnminütiger Versuchsdauer deutlich schlechter ausgefallen sind als die nach 15 Minuten, denn ein vorgefülltes System hätte eigentlich von Anfang an gute Wirkungsgrade ergeben müssen. Im Übrigen ist sehr zweifelhaft, ob sich mit einem 1,7fachen Wasseraustausch bereits das Anlagenverhalten im stationären Betrieb erfassen lässt.

Der Rückhalt von freien Kohlenwasserstoffen (Prinzip der Leichtflüssigkeitsabscheidung) wurde vom TÜV sowohl mit hohen Volumenströmen von bis zu 5 l/s als auch hohen stofflichen Belastungen unter Prüfbedingungen nach DIN 1999, Teil 3 untersucht. Der erzielbare Rückhalt betrug demnach im Mittel 81% der im Zulauf enthaltenen Kohlenwasserstoffe.

4 Messkonzept

4.1 Hydrologische und hydraulische Parameter

Zur Erfassung der behandelten Niederschlagswassermenge wurde das Centrifoel-System mit einer Durchflussmessung ausgestattet, die ebenfalls zur Steuerung der Probenahme im Zu- und Ablauf dienen sollte (vgl. Abschnitt 5.1). Die Erfassung der Messdaten für den Durchfluss in der Centrifoel-Anlage erfolgte im so genannten Delta-Event-Verfahren mit den folgenden Aufzeichnungsintervallen:

Ereignis	Aufzeichnungsintervall
Trockenperiode / kein Ereignis	10 Minuten
Niederschlagsereignis (Überstauhöhe im System über 0,8 cm)	10 Sekunden

Parallel wurden die Niederschlagshöhen eines vom Staatlichen Amt für Umwelt und Arbeitsschutz betriebenen Regenmessers (Typ Pluvio) ausgewertet, um die Niederschlagsintensitäten und, nach Vergleich mit den Daten des Q-Loggers abgeleitet daraus, den abflusswirksamen Anteil der angeschlossenen Verkehrsfläche bestimmen zu können. Die Niederschlagshöhen werden bei diesem System mit einer Auflösung von einer Minute aufgezeichnet. Die räumliche Distanz zwischen der Versuchsanlage und dem auf dem Gelände der Fachhochschule Lippe und Höxter installierten Regenmesser beträgt ca. 1 km Luftlinie. Die Auswertung der Niederschlagsdaten zur Beurteilung der Wiederkehrhäufigkeit ausgewählter Regenereignisse erfolgte durch den Einsatz der Softwarepakete LANGZEIT 6.1 sowie KOSTRA-DWD 2000 des ITWH. Für eine gesicherte statistische Auswertung der Regenereignisse werden für die Berechnung mit LANGZEIT 6.1 Aufzeichnungszeiträume von mindestens 10 Jahren benötigt. Dies war im vorliegenden Fall nicht gegeben. Daher wurden mittels LANGZEIT 6.1 lediglich die Einzelereignisse mit den jeweiligen maximalen Niederschlagshöhen für die unterschiedlichen Dauerstufen bestimmt und deren statistische Wiederkehrzeit anhand der aus KOSTRA-DWD 2000 entnommenen Daten für das Gebiet der Stadt Höxter berechnet. Die aus KOSTRA-DWD 2000 erhaltenen Daten sind streng genommen nur für die Beurteilung von Starkregenereignissen ab einer Wiederkehrhäufigkeit von $T_n = 0,5$ a geeignet. Um im Rahmen dieses Forschungsvorhabens auch Ereignisse mit einer größeren Wiederkehrhäufigkeit bis zu $T_n = 0,2$ a zuordnen zu können, wurden gemäß des in Anhang 2 dargestellten Verfahrens durch exponentielle Regression die Funktionen zur Beschreibung der Wiederkehrhäufigkeiten bei einer gegebenen Niederschlagshöhe in den

einzelnen Dauerstufen ermittelt. Anschließend wurden die Niederschlagshöhen für eine Wiederkehrzeit von $T_n = 0,2$ a berechnet. Die Trockenzeit für die Trennung einzelner Regenereignisse wurde mit 4 h gewählt, wobei Starkregenereignisse, die in kürzerer Folge auftraten, als Einzelereignisse ausgewertet wurden.

4.2 Probenahme

Die Entnahme der Zulaufproben erfolge aus der ersten Kammer im turbulenten Bereich unterhalb des Überlaufrohres aus dem Nassschlammfang (vgl. Abschnitt 5.2). Da der Nassschlammfang nach einer Anlagenreinigung zunächst einen gewissen Feststoffeintrag benötigt, bis eine Abdichtung mit Einstau stattfindet, hätte eine Probenahme an dieser Stelle der Anlage nicht ohne die Installation störender Hilfselemente (z.B. Zwischenbehälter) durchgeführt werden können. Die Ablaufproben wurden aus der 3. Kammer entnommen (vgl. Abschnitt 5.2).

Der Q-Logger wurde so programmiert, dass nach einem Durchflussinkrement von jeweils 50 Litern eine Probenahme ausgelöst wurde. Das Einzelprobenvolumen betrug ca. 50 ml. Die Probenehmer wurden wöchentlich entleert und die so erhaltenen Wochenmischproben aus dem Zu- und Ablauf auf die relevanten Parameter untersucht.

4.3 Analytik

Die Wochenmischproben des Niederschlagswassers aus dem Zu- und Ablauf der Versuchsanlage wurden auf die in Tabelle 1 aufgeführten Parameter untersucht. Alle Analysenwerte wurden aus der homogenisierten Probe bestimmt. Die Messung der Schwermetalle erfolgte nach einem Aufschluss und erfasst somit die gelöste und die partikuläre Spezies.

Für die im Rahmen der Wartungsarbeiten aus den einzelnen Anlagenteilen entnommenen Sedimente wurden neben dem Trockensubstanzgehalt auch die Schwermetalle Kupfer, Zink und Blei ermittelt.

Tabelle 1: Untersuchungsparameter für die Proben aus dem Zu- und Ablauf der Versuchsanlage

Parameter	Analysemethode	Einheit	Bestimmungsgrenze	Art der Mischprobe w = Woche m = Monat
pH-Wert	DIN 38404 C 5	-	-	w
Elektrische Leitfähigkeit	DIN EN 27888	$\mu\text{S}/\text{cm}$	-	w
Trübung	DIN EN 27027	TE/F	-	w
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	Küvettestest Spectroquant und Photometer SQ 118 der Firma Merck	mg/l	-	w
Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff (TOC)	DIN EN 1484	mg/l	0,2 mg/l	w
Abfiltrierbare Stoffe (AFS)	DIN 38409 H 2-3	mg/l	-	w
Kupfer	EN ISO 11885 (ICP)	$\mu\text{g}/\text{l}$	5 $\mu\text{g}/\text{l}$	w
Zink	EN ISO 11885 (ICP)	$\mu\text{g}/\text{l}$	20 $\mu\text{g}/\text{l}$	w
Nickel	EN ISO 11885 (ICP)	$\mu\text{g}/\text{l}$	5 $\mu\text{g}/\text{l}$	w
Chrom	EN ISO 11885 (ICP)	$\mu\text{g}/\text{l}$	5 $\mu\text{g}/\text{l}$	w
Cadmium	EN ISO 11885 (ICP)	$\mu\text{g}/\text{l}$	0,5 $\mu\text{g}/\text{l}$	w
Blei	EN ISO 11885 (ICP)	$\mu\text{g}/\text{l}$	5 $\mu\text{g}/\text{l}$	w
Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW)	EN ISO 9377-2 (GC)	mg/l	0,1 mg/l	m

4.4 Bilanzrahmen

Zum Vergleich der Reinigungsleistung des Centrifool-Systems mit der von konservativen Verfahren wird der in Abbildung 10 dargestellte Bilanzrahmen, also ohne Berücksichtigung des Laubfangs, verwendet. Die Vorabscheidung von Laub und groben Sedimenten findet auch in den meisten herkömmlichen Straßeneinläufen statt, so dass für die stoffliche Belastung im Zulauf zum Nassschlammfang von einer Wasserqualität ausgegangen wird, wie sie nach Passage eines herkömmlichen Straßeneinlaufs auch vorliegen würde.

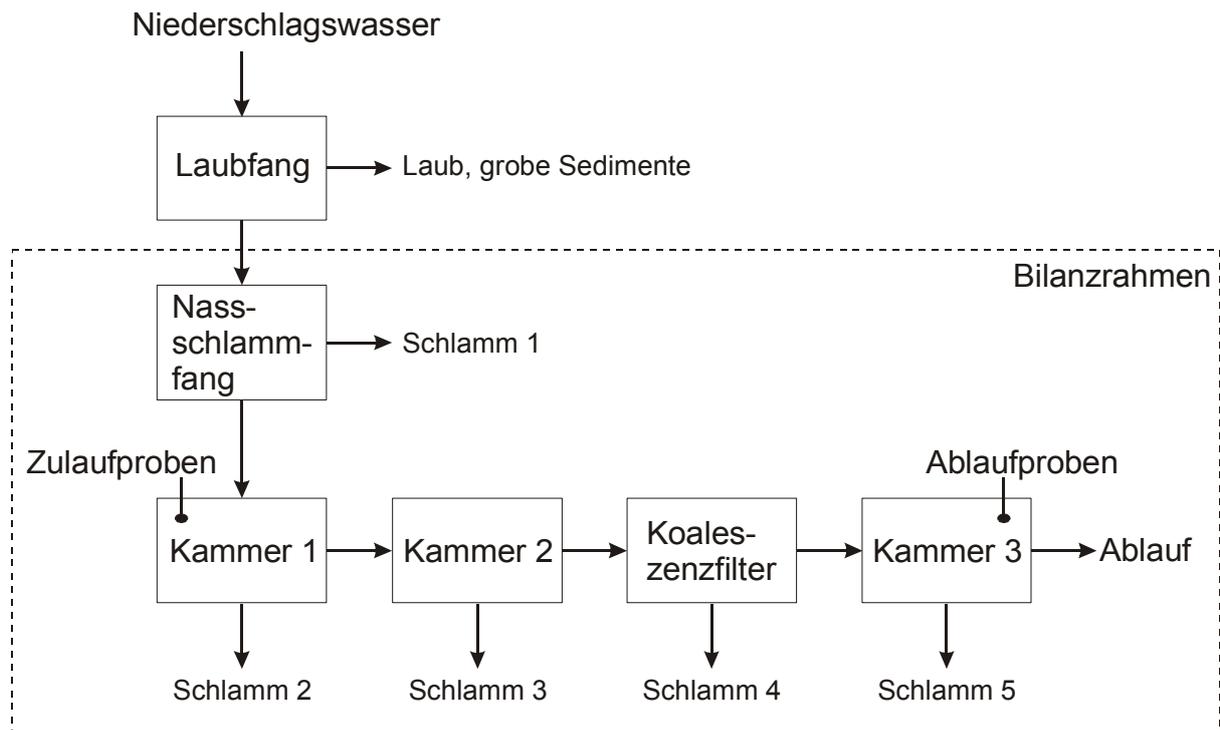


Abbildung 10: Schematische Darstellung des Bilanzrahmens, der im Rahmen dieser Arbeit untersucht wurde

5 Ausrüstung der Versuchsanlage

Die Versuchsanlage wurde vor dem Einbau in den Straßenkörper mit einer Durchflussmessung sowie zwei Probenahmestutzen, jeweils in der ersten und dritten Kammer, zur Entnahme der Zulauf- und Ablaufproben ausgestattet. Der Umbau wurde so vorgenommen, dass die Wirkungsweise des Systems sowie das Durchlaufverhalten des Niederschlagswassers in der Anlage nicht signifikant beeinträchtigt wurden.

5.1 Durchflussmessung

Zur Wahl einer geeigneten Durchflussmessung wurde das hydraulische Verhalten des Centrifloel-Systems im Wasserbaulabor der Fachhochschule bei Beschickung mit Volumenströmen von 0,07 bis 3,5 l/s untersucht. Es zeigte sich eine gut reproduzierbare Abhängigkeit der Wasserspiegelhöhe in der zweiten und dritten Kammer des Systems vom eingestellten Volumenstrom, die in Abbildung 11 dargestellt ist. Für den Betrieb wurde die Kurve für höhere Durchflüsse extrapoliert. Als Messgerät wurde ein Durchflussmesser vom Typ I.S: Surveylogger 32 der ehemaligen Herstellerfirma Edmund Bühler gewählt. Das Gerät besitzt einen Messkopf zur Aufnahme von Druckhöhe (Wassersäule) und Geschwindigkeit (Messung über Ultraschall) und kann den Volumenstrom sowohl über eine vorgegebene Gerinneform als auch über eine frei programmierbare Höhen-Abflussbeziehung (H/Q-Beziehung) ermitteln, für die dann keine Messung der Geschwindigkeitskomponente notwendig ist. Zusätzlich kann der Logger als Steuerung für eine mengenproportionale Probenahme dienen.

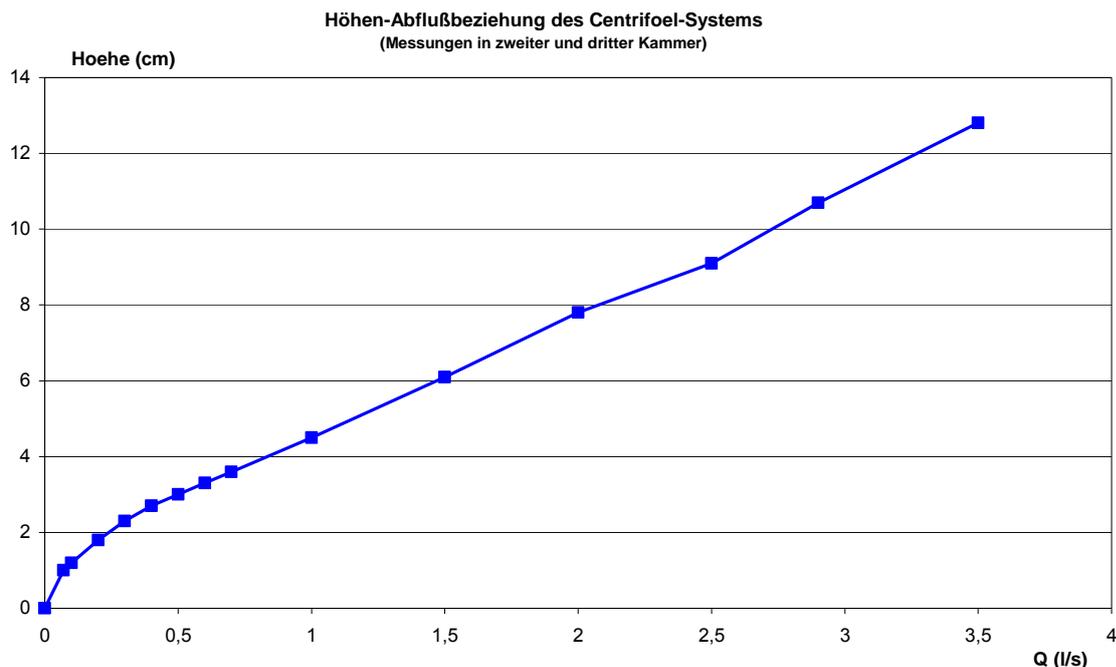


Abbildung 11: Höhen-Abflussbeziehung des Centrifoeel-Systems innerhalb des Kalibrierungsbereiches

Der Messkopf wurde auf eine Trägerplatte aus Edelstahl (V4A) montiert (Abbildung 12), die anschließend in die werkseitig bereits bestehende Aussparung in der Wand zwischen der ersten und zweiten Kammer eingehängt wurde. Für die Durchführung der Kabel wurde in die Behälterrückwand eine Bohrung mit einem Durchmesser von 70 mm eingebracht, um auch im eingebauten Zustand im Straßenkörper einen Austausch vornehmen zu können, sollte es zu einem Ausfall der Messung kommen (Abbildung 13 - Abbildung 15).



Abbildung 12: Messkopf des Q-Loggers, montiert auf Trägerplatte aus Edelstahl

5.2 Probenahme

Die Entnahme der Wasserproben aus dem Zu- und Ablauf der Anlage erfolgte aus den Kammern Eins und Drei. Die Außenhülle des Behälters wurde durchbohrt und $\frac{3}{4}$ "-Schraubstutzen aus Edelstahl eingesetzt, die als Anschlüsse für die beiden Schläuche der Probenehmer dienen (Abbildung 13). In Abbildung 15 ist eine vereinfachte schematische Darstellung des Umbaus dargestellt.

Zum Schutz der Schläuche und Kabel beim Einbau in den Straßenkörper diente ein KG-Hüllrohr (Abbildung 14).



Abbildung 13: Schläuche für Probenahmen am Straßenablauf



Abbildung 14: Hüllrohr zum Schutz der Schläuche und Kabel

Als Probenehmer wurden zwei Geräte vom Typ XIAN 1000 und 2000 der Firma Hach-Lange und zeitweise ein PB-MOS des ehemaligen Herstellers Bühler Montec eingesetzt, die über den Q-Logger mengenproportional angesteuert wurden.

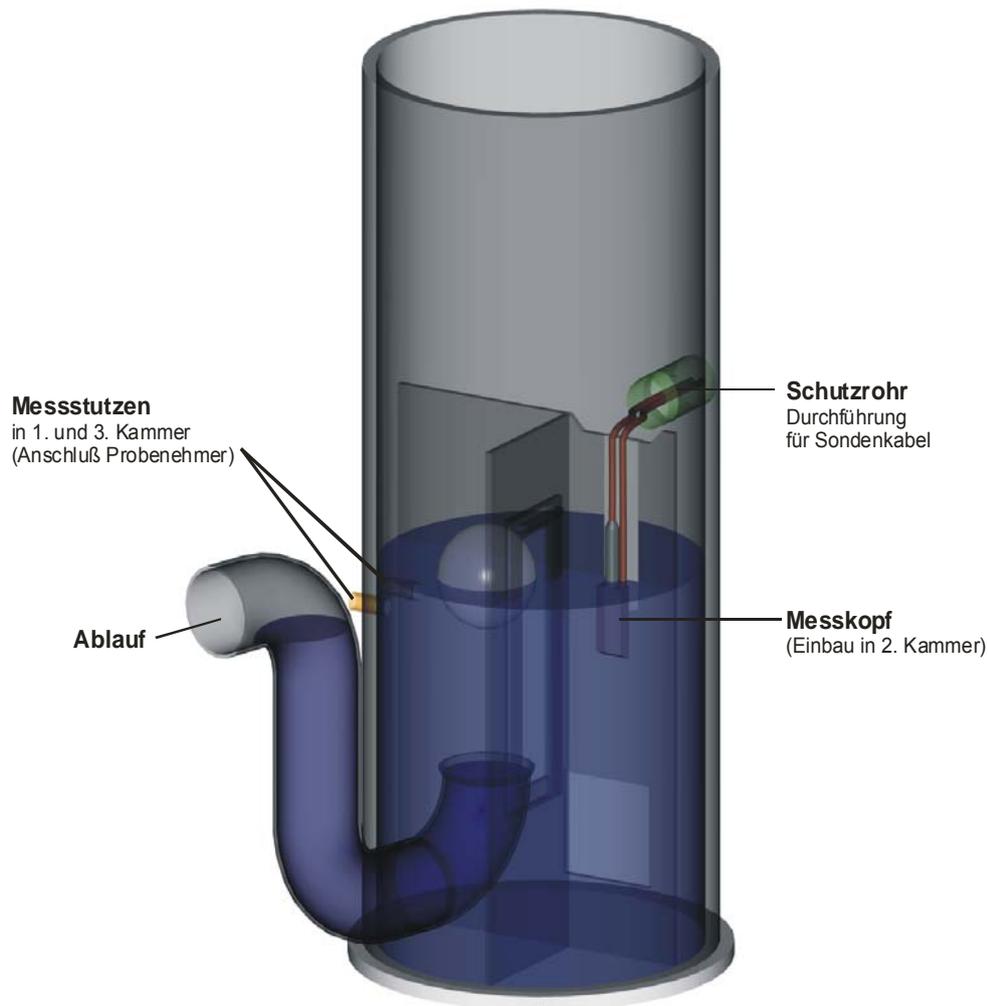


Abbildung 15: Schematische Darstellung des Systems nach erfolgreichem Umbau mit Messkopf des Q-Loggers und Messstutzen in 1. und 3. Kammer. Zur besseren Übersicht wurde auf die Darstellung der Halbschalen und der weiteren Einbauten verzichtet

6 Einbau der Versuchsanlage und Probetrieb

6.1 Einbau der Anlage

Der Einbau der Versuchsanlage (Abbildung 16 und Abbildung 17) sowie der Aufbau des Messschanks (Abbildung 18 und Abbildung 19) zur Aufnahme des Q-Loggers und der beiden Probenehmer erfolgte im Zeitraum vom 12.04. - 15.04.2005. Nach Anschluss an das Stromnetz und Versiegelung der beiden oberhalb liegenden Straßeneinläufe konnte ab dem 04.05.2005 ein einwöchiger Probetrieb stattfinden. In Abbildung 20 ist der Einzugsbereich der Versuchsanlage dargestellt.



Abbildung 16: Einbau der Versuchsanlage in den Straßenkörper.



Abbildung 17: Centrifuge-System nach erfolgreichem Einbau mit komplettem Aufsatz, vor dem Verfüllen und Aufbringen einer Teerdecke



Abbildung 18: Messschrank zur Aufnahme des Q-Loggers und der Probenehmer



Abbildung 19: Messschrank mit Probenehmern. Der Q-Logger wurde im Fuß des Messschrankes unterhalb der Probenehmer untergebracht



Abbildung 20: Darstellung des Einzugsbereichs der Versuchsanlage

6.2 Probetrieb und weiteres Vorgehen

Im Zeitraum vom 04.05. – 10.05.2005 erfolgte ein Probetrieb der Anlage, in dem die Durchflussmessung und die Probenahme unter realen Bedingungen überprüft wurden. Abschließend wurde die gesamte Anlage gereinigt.

Innerhalb der sechs Betriebstage wurden fünf Regenereignisse mit geringer Intensität aufgezeichnet, die für die Dauerstufen 5, 10 und 15 Minuten häufiger als fünfmal pro Jahr auftreten. Der aus den Niederschlagshöhen resultierende Abfluss wurde auf eine Fläche von

400 m² bezogen und mit den Aufzeichnungen des Q-Loggers verglichen. Dabei zeigt sich, dass der abflusswirksame Anteil für die einzelnen Ereignisse mit der Anzahl der Regen stetig von anfangs 20 % auf bis zu 248 % ($\Psi = 0,2 - 2,48$) zunahm. In Abbildung 21 ist der Verlauf des ersten aufgezeichneten Niederschlagsereignisses im Probetrieb mit einem Abflussbeiwert von $\Psi = 0,2$ und vergleichend in Abbildung 22 der Verlauf eines Ereignisses vom 08.05.2005 mit einem resultierenden Abflussbeiwert von $\Psi = 2,48$ dargestellt.

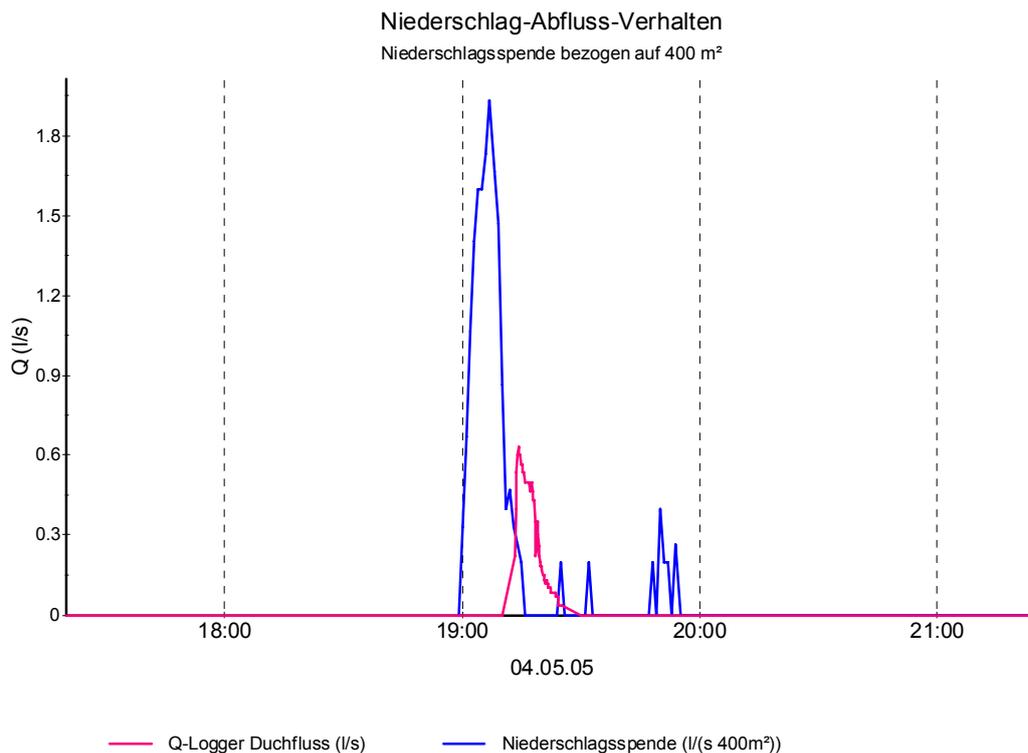


Abbildung 21: Niederschlag und gemessener Abfluss während des ersten Regenereignisses im Probetrieb

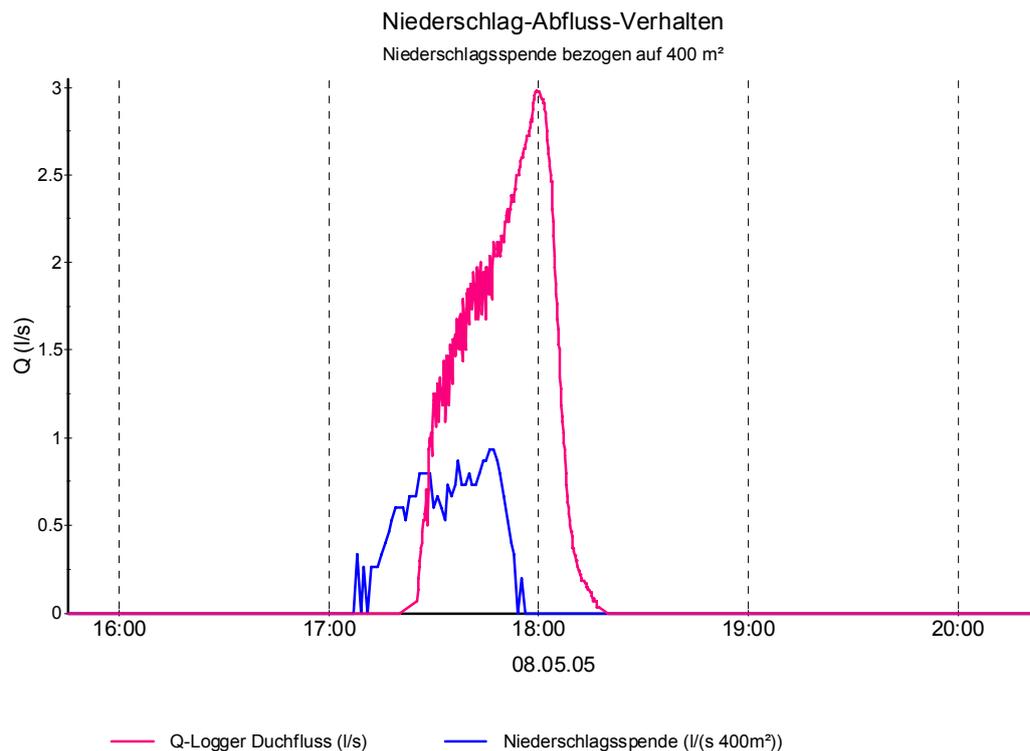


Abbildung 22: Niederschlag und gemessener Abfluss eines Regenerignisses während des Probebetriebs am 08.05.2005

Als Ursache für die überhöhten Durchflussmessungen stellte sich während der Reinigung des Systems der Koaleszenzfilter heraus, der zwischen der zweiten und dritten Kammer installiert ist. In Abbildung 23 ist der Filter während der Grundreinigung, die nach dem Probebetrieb durchgeführt wurde, dargestellt. Das Kunststoffgewebe war mit kleineren Laubstücken und feinem Schlamm zugesetzt. Die Neigung zu der relativ raschen Verblockung konnte bei den vorbereitenden Arbeiten im Wasserbaulabor nicht vorhergesehen werden.



Abbildung 23: Koaleszenzfilters während der Reinigung des Centrifloel-Systems nach dem Probebetrieb

Für das weitere Vorgehen boten sich die folgenden Lösungen mit den entsprechenden Vor- und Nachteilen an:

Weiteres Vorgehen	Vorteil	Nachteil
Beibehaltung des Installationsortes der Sonde in Kammer 2	Registrierung der korrekten Überstauhöhe im System und Erfassung möglicher hydraulischer Überlastung	Keine korrekte Durchflussmessung möglich; Ermittlung eines zu hohen abflusswirksamen Anteils und bedingt dadurch eine zu häufige Probenahme
Umbau der Sonde in die Kammer 3	Registrierung des wahren Abflusses und somit richtige Bestimmung des Volumens des behandelten Niederschlagswassers Einhaltung des vorgegebenen Probenahmehinhalts	Keine Erfassung der Aufstauhöhe im System (ein Rückstau wird nicht mit der korrekten Höhe erfasst)
Ausbau des Koaleszenzfilters	Korrekte Durchflussmessung und Einhaltung des Probenahmehinhalts	Reinigungsleistung des Systems eventuell eingeschränkt

Zur optimalen Nutzung des Untersuchungszeitraumes wurde beschlossen, eine Unterteilung in drei Phasen mit unterschiedlichen Randbedingungen vorzunehmen:

1. Phase: Ermittlung des hydraulischen Verhaltens auf der Zulaufseite

- Dreimonatiger Betrieb des Systems mit monatlicher Reinigung in der ursprünglich gewählten Konfiguration, d.h. mit der Messsonde in der zweiten Kammer und installiertem Koaleszenzfilter.
- Paralleler Aufbau eines geeigneten KOSIM-Modells (siehe Anhang 3) zur Ermittlung der korrekten Volumenströme. Eine grobe Kalibrierung erfolgte zunächst durch die Auswertung der Abflussmessungen unmittelbar nach einer Reinigung des Systems.
- Die erhöhte Einzelprobenanzahl, die aus diesem Vorgehen resultiert, führt nicht zu verfälschten Ergebnissen bei der Bilanzierung, sofern sichergestellt ist, dass die Konzentrationen bei den späteren Frachtberechnungen mit den korrekten Volumenströmen aus dem KOSIM-Modell verknüpft werden.

2. Phase: Ermittlung des Einflusses des Koaleszenzfilters auf die Reinigungsleistung

- Dreimonatiger Betrieb des Systems ohne Koaleszenzfilter und mit der Messsonde in der zweiten Kammer.
- Durchführung einer abschließenden Reinigung des Systems.
- Zusätzlich kann in dieser Betriebsphase durch die korrekte Durchflussmessung eine verfeinerte Kalibrierung des KOSIM-Modells und ebenfalls rückwirkend eine Auswertung vorangegangener Ereignisse erfolgen.

3. Phase: Ermittlung des Abflussverhaltens auf der Ablaufseite

- Sechsmonatiger Betrieb des Systems mit Koaleszenzfilter und Messsonde in der dritten Kammer.
- Durchführung einer Zwischenreinigung des Nassschlammfangs und des Koaleszenzfilters nach einer ausreichend langen Betriebsphase.
- Abschließende Reinigung des Systems am Ende der Versuchsdauer.
- Parallele Kontrolle des KOSIM-Modells.

7 Ergebnisse aus den einzelnen Betriebsphasen

7.1 Hydrologie und Hydraulik

7.1.1 Datenaufarbeitung und Summenwerte

Die Messwerte aus dem Regenmesser und dem Q-Logger wurden wöchentlich ausgelesen und zunächst unbearbeitet als Rohdaten in eine für dieses Projekt erstellte Datenbank (Microsoft Access-Format) übertragen. Anschließend erfolgte eine Kontrolle der Werte auf Plausibilität und ggf. eine Korrektur der Basislinie des Q-Loggers mit Hilfe eines Programms innerhalb der Datenbank. Das hierzu verwendete Formular zur Steuerung der Parameter ist in Abbildung 24 dargestellt. Für die Auswertung des resultierenden Abflusses aus dem KOSIM-Modell wurden die aufgezeichneten Niederschlagshöhen zunächst in das so genannte Massenformat (MD-Format) umgewandelt und in die Simulation übernommen. Die Speicherung der resultierenden Abflüsse erfolgte ebenfalls in der Datenbank und konnte somit den Werten des Q-Loggers gegenübergestellt werden. Hierzu wurde ebenfalls eine Programmroutine entwickelt, deren Steuerformular in Abbildung 25 dargestellt ist.

Rohdaten und Korrekturen	Datum	H	H_Korr	Q_Roh	Q_Korr	V_I_Roh	V_I_Korr
	04.05.2005 16:20:00	13,7	0,10	0	0,00	0	0,00
	04.05.2005 16:30:00	13,7	0,10	0	0,00	0	0,00
	04.05.2005 16:40:00	13,8	0,10	0	0,00	0	0,00
	04.05.2005 16:50:00	13,8	0,10	0	0,00	0	0,00
	04.05.2005 17:00:00	13,8	0,10	0	0,00	0	0,00
	04.05.2005 17:10:00	13,8	0,10	0	0,00	0	0,00

Datum Min: 22.05.2005 Datum Max: 24.05.2005
Tage: 2 Stunden: 0 Minuten: 0
Datensätze: 7177
Hminroh: 0,20 Hmaxroh: 72,50 cm
Hminkor: 0,00 Hmaxkor: 72,50 cm
Qmin: 0,000 Qmax: 4,533 l/s
VSumme: 13,09 m³
DatSelectMin: 04.05.2005 16:20:00 DatSelectMax: 03.07.2006 09:20:00
Buttons: Daten auswerten, Diagramme anzeigen
Offset: 0 cm Offset-Korrektur durchführen
Absolutwert eintragen: 0 cm Absoluten Wert eintragen
 Negative Loggerwerte auf 0 setzen (kein weiteres Offset)
Datensatz: 1 von 1

Abbildung 24: Datenbank-Fenster zur Korrektur der Basislinie des Q-Loggers

01_FORM_Diagramm_Auswertung_KOSIM : Formular

DatSelectMin: 04.05.2005 16:20:00 | DatSelectMax: 24.05.2005 09:00:00 | Auswerten
 Datum Min: 04.05.2005 16:20:00 | Datum Max: 24.05.2005 09:00:00
 Tage: 19 | Stunden: 16 | Minuten: 40

Parameter	NIEDERSCHLAG	Q-Logger	KOSIM
n Datensätze	1982	16306	5673
H Min	0,00	-0,20	
H Max	0,85 mm/min	72,50 cm	
r Min	0,00	0,000 l/s	0,000 l/s
r Max	141,69 l/s ha	4,533 l/s	2,144 l/s
r Mittel	0,38 l/s ha		
Datum r Max	22.05.2005 14:30:00	Datum H Max: 23.05.2005 17:00:00	Datum Q Max: 22.05.2005 14:35:00
Summe ND	64,15 mm		
Ared	400 m ²		
r max Ared	5,67 l/s		
V Niederschlag	25,66 m ³	Psi-Logger: 0,97	Psi-KOSIM: 0,26
		VSumme: 24,95 m ³	VSumme: 6,80 m ³

Datendarstellung Regenschreiber
 Höhe (mm/min)
 Spende (l/s*Ared)
 Tagessummen (mm/d)
 Wochensummen (mm/w)
 Monatssummen (mm/m)
 Jahressummen (mm/a)
 Keine Darstellung

Datendarstellung Q-Logger
 Höhe (cm)
 Durchfluss (l/s)
 Tagessummen (m³/d)
 Wochensummen (m³/w)
 Monatssummen (m³/m)
 Jahressummen (m³/a)
 Keine Darstellung

KOSIM-Daten auf y-Achse 1 in l/s anzeigen

Y-Achse Regendaten
 Y-Achse 1
 Y-Achse 2

Y-Achse Loggerdaten
 Y-Achse 1
 Y-Achse 2

Achsenbeschriftungen:
 Y-Achse1: Q (l/s)
 Y-Achse2: Höhe (cm)

Abbildung 25: Datenbank-Fenster zur Auswertung der Niederschlags- und Abflussdaten

Die einzelnen Betriebsphasen und die ermittelten Volumina sind in Tabelle 2 als Summenwerte für die durchgeführten Reinigungsintervalle zusammengefasst. Das resultierende Volumen aus den Niederschlägen wurde für eine Fläche von 400 m² berechnet. In Abbildung 26 sind die Volumensummen grafisch dargestellt. Deutlich zu erkennen ist die recht starke Überhöhung der gemessenen Volumina des Q-Loggers für die Betriebsphase I mit eingebautem Koaleszenzfilter und der Sonde in Kammer 2 im Vergleich zu den Daten aus der KOSIM-Simulation. Für die Betriebsphasen II (ohne Koaleszenzfilter, Sonde in Kammer 2) und III (mit Koaleszenzfilter, Sonde in Kammer 3) kann eine gute Übereinstimmung der gemessenen Werte mit denen aus der KOSIM-Simulation beobachtet werden. Somit erweisen sich die mittels KOSIM berechneten Abflüsse geeignet als Eingangsgröße zur Beurteilung der Reinigungsleistung des Systems. Lediglich für wenige Starkregenereignisse weisen die mittels KOSIM berechneten Abflüsse geringere Werte auf als die gemessenen. Dies wird darauf zurückgeführt, dass die Kalibrierung im laufenden Betrieb maßgeblich auf der Basis von Ereignissen mit geringer und mittlerer Intensität erfolgte. Für die Auswertung über die einzelnen Betriebsphasen ist der Fehler jedoch zu vernachlässigen.

Tabelle 2: Zusammenfassende Übersicht über die hydrologischen und hydraulischen Daten der einzelnen Betriebsphasen

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	04.05.2005 10.05.2005	32,67	13,07	8,60	3,64	Probebetrieb, anschließend Anlage komplett gereinigt
I	10.05.2005 07.06.2005	71,98	28,79	54,40	7,35	1. Betriebsmonat, anschließend Anlage komplett gereinigt
	07.06.2005 12.07.2005	12,94	5,18	1,05	0,27	2. Betriebsmonat, anschließend Anlage komplett gereinigt
	12.07.2005 09.08.2005	94,85	37,94	61,62	14,25	3. Betriebsmonat; anschließend Anlage komplett gereinigt und Koaleszenzfilter entfernt
II	09.08.2005 15.11.2005	186,13	74,45	28,36	31,17	4. - 6. Betriebsmonat ohne Koaleszenzfilter, anschließend Anlage komplett gereinigt
	15.11.2005 22.11.2005	31,62	12,65	4,99	4,13	Einbau des Koaleszenzfilters; Sonde aus Kammer 2 in Kammer 3 versetzt
III	22.11.2005 11.04.2006	296,88	118,75	31,59	28,13	Eingeschränkte Anlagenreinigung: Laubfang, Halbschalen und Koaleszenzfilter gereinigt, Schlamm aus Kammer 1 - Kammer 3 nicht entnommen
	11.04.2005 27.06.2006	184,05	73,62	22,46	24,24	Abschließende Anlagenreinigung, Ende der Versuchsphasen

Volumensummen der einzelnen Wartungsintervalle

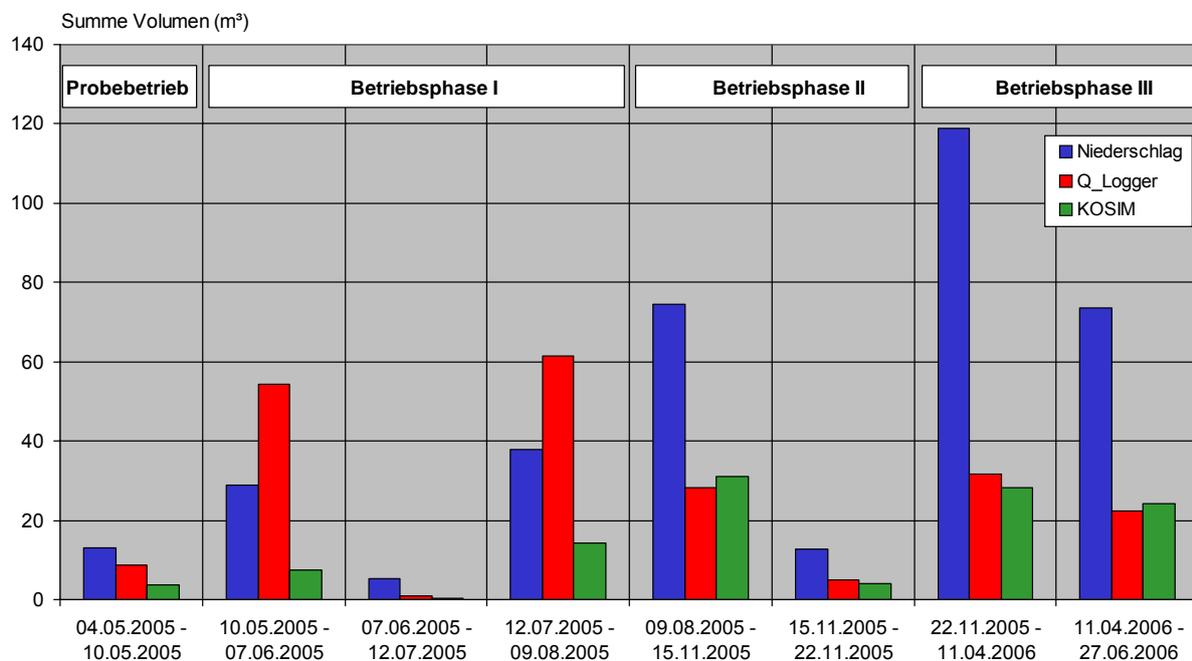


Abbildung 26: Volumensummen der einzelnen Wartungsintervalle

7.1.2 Betrachtung ausgewählter Regenereignisse

Zur Beurteilung der hydraulischen Leistungsfähigkeit des 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 in der Betriebsphase I 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 27 das Centrifloel-System mit Bemaßung (Einheit: Zentimeter) ausgewählter Bauteile dargestellt. Alle Maße beziehen sich auf die Wasserspiegellage im gefüllten, nicht überstauten Zustand.

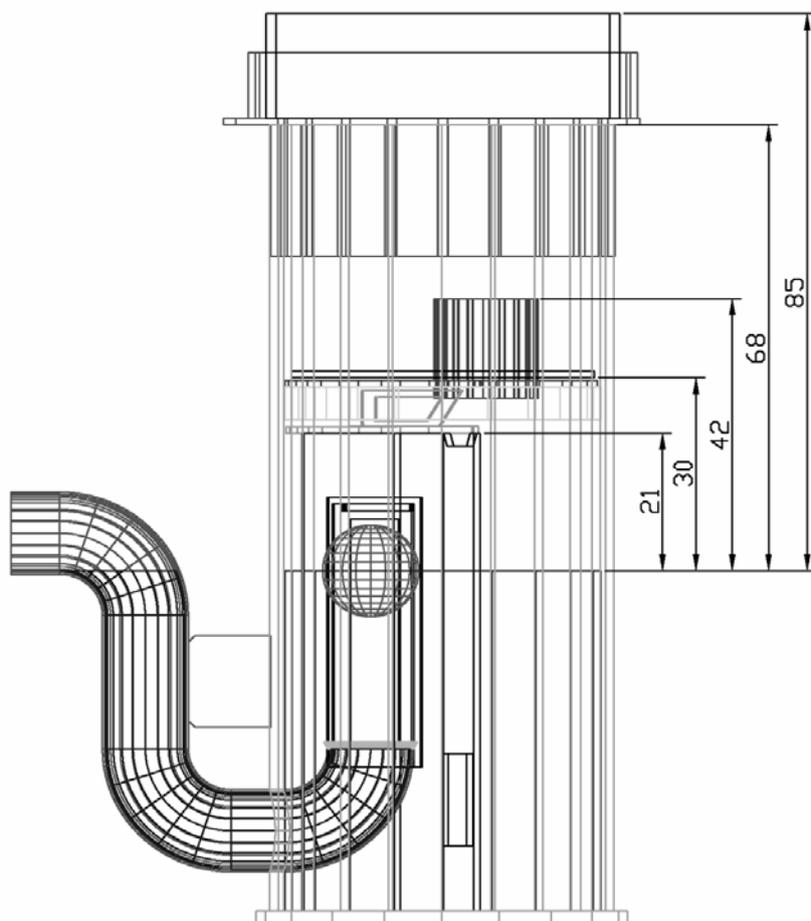


Abbildung 27: Schematische Darstellung des Centrifloel-Systems mit komplettem Aufsatz für Laubfang und Gitterrost sowie Bemaßung einzelner Bauteile (Einheit: Zentimeter). Alle Maße beziehen sich auf die Wasserspiegellage im gefüllten, nicht überstauten Zustand.

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 $\Psi = 1,00$ dar und dient ebenfalls zur Abschätzung der hydraulischen Belastung des Centrifoel-Systems.

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

Die Höhenangaben für die einzelnen Regenereignisse repräsentieren in dieser Betriebsphase den Überstau in den Kammern 1 und 2 des Systems.

Regenereignis vom 22.05.2005

Der aufgezeichnete Regen weist für die Dauerstufen 5, 10 und 15 Minuten Wiederkehrzeiten von 0,4 – 0,3 Jahren auf. In Tabelle 3 sind die ermittelten maximalen Niederschlagshöhen für die einzelnen Dauerstufen mit den entsprechenden Wiederkehrhäufigkeiten dargestellt, Abbildung 28 stellt den Verlauf des Ereignisses mit den gemessenen Höhen im Straßeneinlauf graphisch dar. Die maximale Überstauhöhe beträgt 63 cm und führt demnach zu einem überstauten Nassschlammfang.

Tabelle 3: Ergebnisse der Auswertung des Regenereignisses vom 22.05.2005 während des 1.Monats der Betriebsphase I

	Regenstart	22.05.2005 14:15	
	Regenende	22.05.2005 16:35	
	Regendauer (Min)	140	
	H _N gesamt (mm)	10,91	
Dauerstufe	Auswertung der Dauerstufen		
	H_N	R_N	T_n
(Min)	(mm)	(l/(s•ha))	(a)
5	2,7	90	0,44
10	4,8	79	0,41
15	5,4	60	0,33
20	6,1	51	0,30
30	6,5	36	0,26
45	6,5	24	0,24
60	6,5	18	0,23
90	8,5	16	0,28
120	10,2	14	0,31
180	10,9	10	0,29
240	10,9	8	0,25
360	10,9	5	0,21
720	10,9	3	0,16
1440	10,9	1	0,10

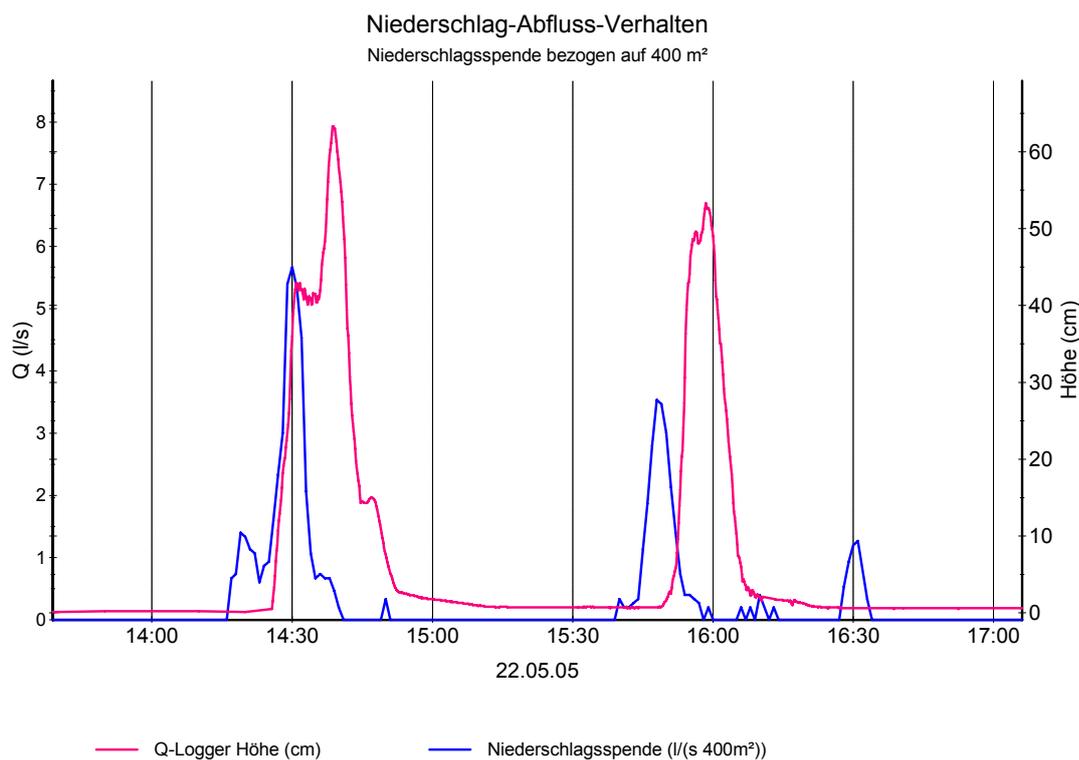


Abbildung 28: Niederschlag und gemessene Überstauhöhe eines Regenereignisses am 22.05.2005 während des 1. Monats der Betriebsphase I.

Regenereignis vom 06.06..2005

Der aufgezeichnete Regen weist für die Dauerstufen 5, 10 und 15 Minuten Wiederkehrzeiten von 0,2 Jahren auf. In Tabelle 4 sind die ermittelten maximalen Niederschlagshöhen für die einzelnen Dauerstufen mit den entsprechenden Wiederkehrhäufigkeiten dargestellt, Abbildung 29 stellt den Verlauf des Ereignisses mit den gemessenen Höhen im Straßeneinlauf graphisch dar. Die maximale Überstauhöhe beträgt 64,6 cm und führt demnach, wie beim Ereignis vom 22.05.2005, zu einem überstauten Nassschlammfang.

Tabelle 4: Ergebnisse der Auswertung des Regenereignisses vom 06.06.2005 während des 1. Monats der Betriebsphase I.

	Regenstart	06.06.2005 00:00	
	Regenende	06.06.2005 03:10	
	Regendauer (Min)	190	
	H _N gesamt (mm)	8,82	
Dauerstufe	Auswertung der Dauerstufen		
	H_N	R_N	T_n
(Min)	(mm)	(l/(s·ha))	(a)
5	1,2	41	0,22
10	2,1	35	0,16
15	3,0	33	0,16
20	3,4	28	0,15
30	4,0	22	0,15
45	5,0	18	0,18
60	5,2	14	0,19
90	5,3	10	0,17
120	5,9	8	0,17
180	8,8	8	0,22
240	8,8	6	0,20
360	8,8	4	0,17
720	8,8	2	0,13
1440	8,8	1	0,08

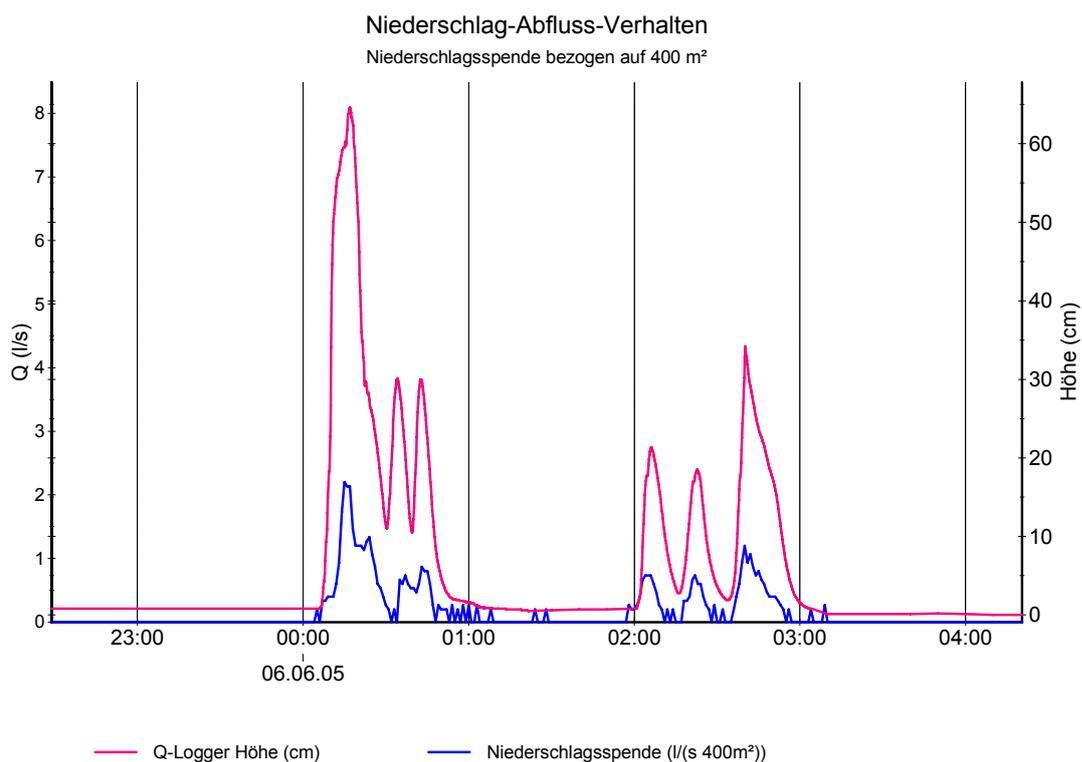


Abbildung 29: Niederschlag und gemessene Überstauhöhe eines Regenereignisses am 06.06.2005 während des 1. Monats der Betriebsphase I.

Regenereignis vom 25.07.2005

Der aufgezeichnete Regen weist für die Dauerstufen 5, 10 und 15 Minuten Wiederkehrzeiten von 0,7 – 0,5 Jahren auf. In Tabelle 5 sind die ermittelten maximalen Niederschlagshöhen für die einzelnen Dauerstufen mit den entsprechenden Wiederkehrhäufigkeiten dargestellt, Abbildung 30 stellt den Verlauf des Ereignisses mit den gemessenen Höhen im Straßeneinlauf graphisch dar. Die maximale Überstauhöhe beträgt 99,7 cm und führt demnach zu einem Aufstau bis über die Fahrbahnoberfläche. Der überwiegende Volumenanteil des Regens fällt innerhalb der ersten 30 Minuten. Der resultierende Abfluss dauert rund 60 Minuten.

Tabelle 5: Ergebnisse der Auswertung des Regenereignisses vom 25.07.2005 während des 3.Monats der Betriebsphase I.

	Regenstart	25.07.2005 18:10		
	Regenende	25.07.2005 21:00		
	Regendauer (Min)	170		
	H _N gesamt (mm)	8,56		
Dauerstufe	Auswertung der Dauerstufen			
	H_N	R_N	T_n	
(Min)	(mm)	(l/(s·ha))	(a)	
5	3,6	119	0,66	
10	6,1	101	0,65	
15	7,2	80	0,54	
20	7,7	64	0,46	
30	8,2	46	0,38	
45	8,2	31	0,32	
60	8,2	23	0,31	
90	8,2	15	0,26	
120	8,3	12	0,24	
180	8,6	8	0,21	
240	8,6	6	0,19	
360	8,6	4	0,16	
720	8,6	2	0,13	
1440	8,6	1	0,07	

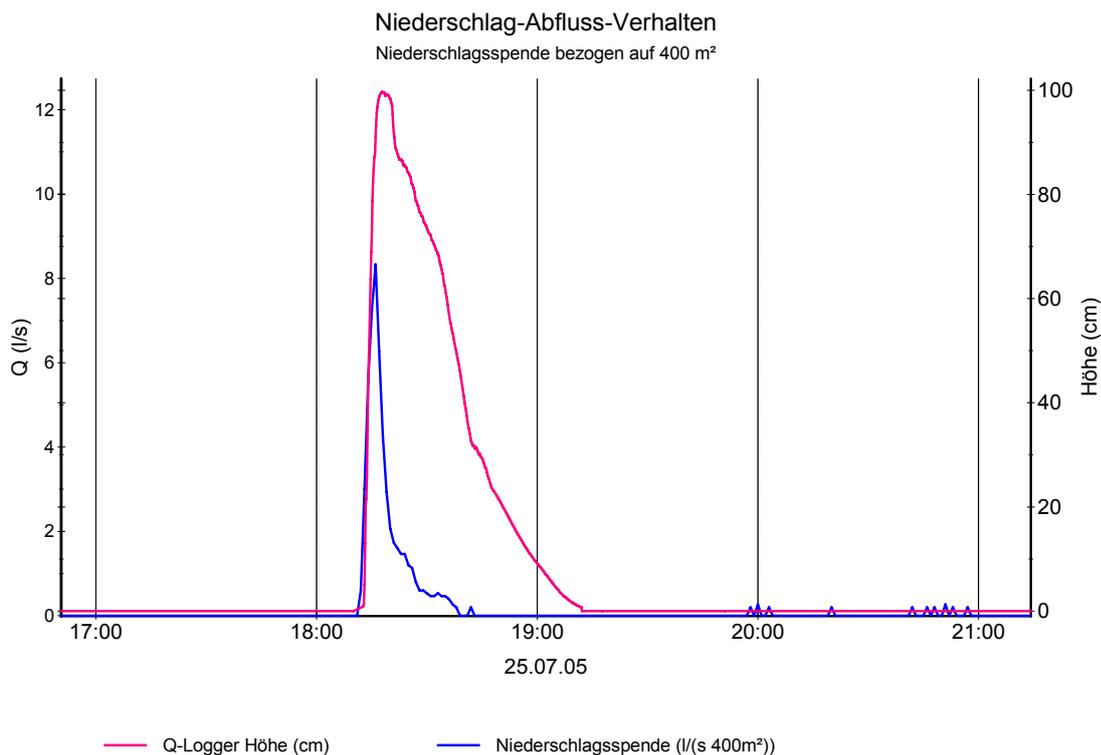


Abbildung 30: Niederschlag und gemessene Überstauhöhe eines Regenereignisses am 25.07.2005 während des 3. Monats der Betriebsphase I.

Starkregenereignis vom 27.07.2005

Der aufgezeichnete Regen weist für die Dauerstufen 5, 10 und 15 Minuten Wiederkehrzeiten von 3,6 – 2,3 Jahren auf. In Tabelle 6 sind die ermittelten maximalen Niederschlagshöhen für die einzelnen Dauerstufen mit den entsprechenden Wiederkehrhäufigkeiten dargestellt, Abbildung 31 stellt den Verlauf des Ereignisses mit den gemessenen Höhen im Straßeneinlauf graphisch dar. Die maximale Überstauhöhe beträgt 102,2 cm und führt demnach zu einem Aufstau bis über die Fahrbahnoberfläche. Der überwiegende Volumenanteil des Regens fällt innerhalb einer Zeitspanne von 33 Minuten. Der daraus resultierende Abfluss dauert rund 80 Minuten. Der Aufstau bis über Straßenniveau ($H > 85$ cm) dauert ca. 15 Minuten.

Tabelle 6: Ergebnisse der Auswertung des Starkregenereignisses in der Nacht vom 27.07.2005 auf den 28.07.2005 während des 3.Monats der Betriebsphase I.

	Regenstart	27.07.2005 23:45	
	Regenende	28.07.2005 03:20	
	Regendauer (Min)	215	
	H _N gesamt (mm)	8,82	
Dauerstufe	Auswertung der Dauerstufen		
	H_N	R_N	T_n
(Min)	(mm)	(l/(s·ha))	(a)
5	7,2	240	3,61
10	10,2	170	2,75
15	12,1	134	2,28
20	12,5	104	1,60
30	13,1	73	1,09
45	13,4	50	0,83
60	13,8	38	0,75
90	14,0	26	0,62
120	14,0	19	0,53
180	14,7	14	0,47
240	15,0	10	0,42
360	15,0	7	0,34
720	15,0	3	0,25
1440	15,0	2	0,15

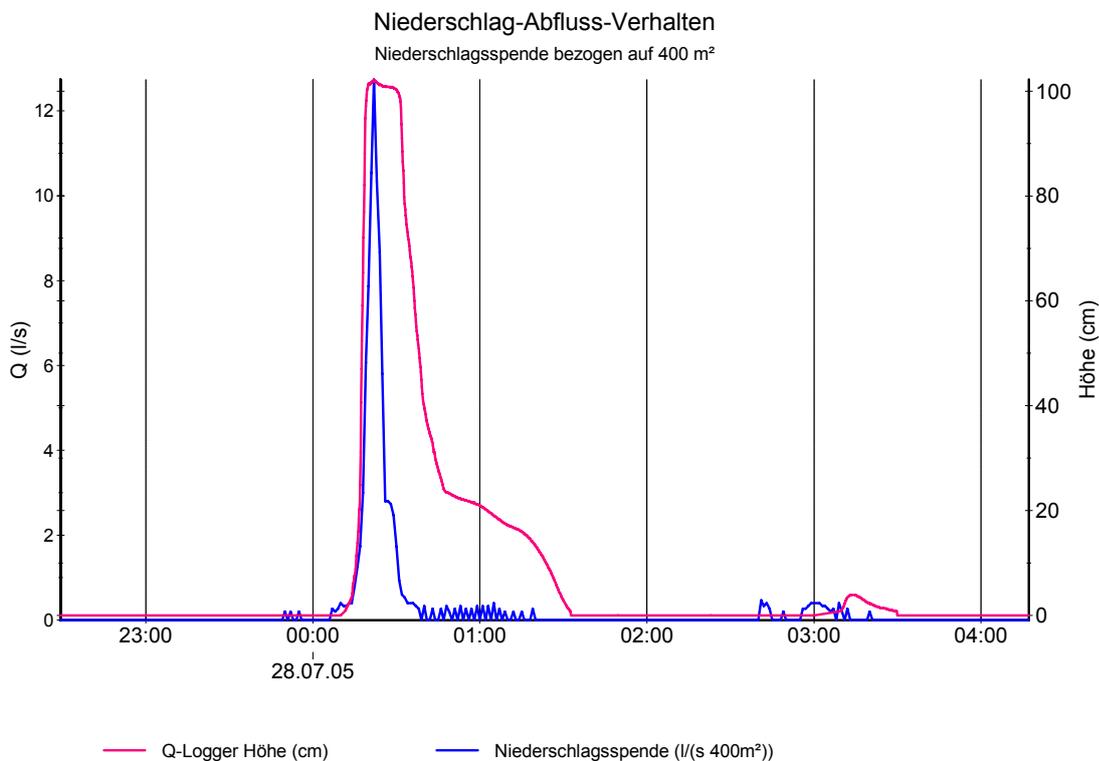


Abbildung 31: Niederschlag und gemessene Überstauhöhe des Starkregenereignisses in der Nacht vom 27.07.2005 auf den 28.07.2005 während des 3.Monats der Betriebsphase I.

Regenereignis vom 28.07.2005

Dem oben beschriebenen Starkregen in der Nacht vom 27.07.2005 auf den 28.07.2005 folgte ein Regenereignis, welches für die Dauerstufen 5, 10 und 15 Minuten Wiederkehrzeiten von 1,1 – 1,6 Jahren aufweist. Für die Dauerstufe 20 Minuten steigt die Wiederkehrzeit bis auf 1,8 Jahre an. In Tabelle 7 sind die ermittelten maximalen Niederschlagshöhen für die einzelnen Dauerstufen mit den entsprechenden Wiederkehrhäufigkeiten dargestellt, Abbildung 32 stellt den Verlauf des Ereignisses mit den gemessenen Höhen im Straßeneinlauf graphisch dar. Die maximale Überstauhöhe beträgt 101,8 cm und führt zu einem Aufstau bis über die Fahrbahnoberfläche. Der überwiegende Volumenanteil des Regens fällt innerhalb einer Zeitspanne von 26 Minuten. Der daraus resultierende Abfluss dauert rund 55 Minuten. Der Aufstau bis über das Straßenniveau ($H_{\text{Überstau}} > 85 \text{ cm}$) dauert ca. 22 Minuten.

Tabelle 7: Ergebnisse der Auswertung des Regenereignisses vom 28.07.2005 während des 3.Monats der Betriebsphase I.

	Regenstart	28.07.2005 05:55	
	Regenende	28.07.2005 06:40	
	Regendauer (Min)	45	
	H_N gesamt (mm)	14,67	
Dauerstufe	Auswertung der Dauerstufen		
	H_N	R_N	T_n
(Min)	(mm)	(l/(s·ha))	(a)
5	4,6	154	1,08
10	7,4	123	1,03
15	10,9	121	1,61
20	12,9	107	1,76
30	14,6	81	1,53
45	14,7	54	1,05
60	14,7	41	0,87
90	14,7	27	0,69
120	14,7	20	0,58
180	14,7	14	0,47
240	14,7	10	0,40
360	14,7	7	0,33
720	14,7	3	0,24
1440	14,7	2	0,14

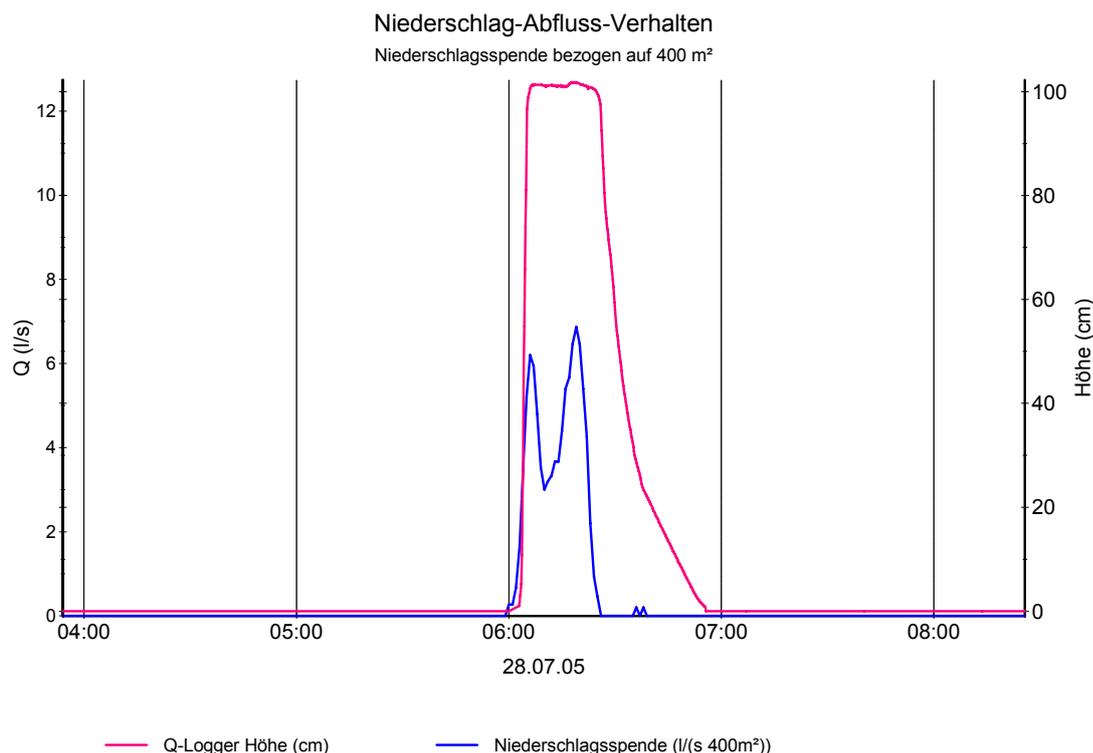


Abbildung 32: Niederschlag und gemessene Überstauhöhe des Regenereignisses vom 28.07.2005 während des 3. Monats der Betriebsphase I.

7.1.2.2 Betriebsphase II ohne Koaleszenzfilter, Sonde des Q-Loggers in 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. Exemplarisch wird nachfolgend das Niederschlagsereignis mit der höchsten Wiederkehrzeit dargestellt, das innerhalb dieser Betriebsphase aufgetreten ist.

Regenereignis vom 19.08.2005

Der aufgezeichnete Regen weist für die Dauerstufen 5, 10 und 15 Minuten Wiederkehrzeiten von 0,5 – 0,7 Jahren auf. Für die Dauerstufe 20 Minuten steigt die Wiederkehrzeit auf 0,8 Jahre. Von der Charakteristik gleicht dieses Ereignis dem vom 28.07.2005, fällt jedoch mit geringerer Intensität an. In Tabelle 8 sind die ermittelten maximalen Niederschlagshöhen für

die einzelnen Dauerstufen mit den entsprechenden Wiederkehrhäufigkeiten dargestellt, Abbildung 33 stellt den Verlauf des Ereignisses mit den gemessenen Höhen im Straßeneinlauf graphisch dar. In Abbildung 34 sind die Ergebnisse der Durchflussmessung des Q-Loggers und die KOSIM-Berechnungen dargestellt, die eine recht gute Übereinstimmung aufweisen. Der abflusswirksame Anteil beträgt $\Psi = 0,57$ für die mittels Q-Logger gemessenen Werte und $\Psi = 0,55$ für die KOSIM-Berechnungen.

Tabelle 8: Ergebnisse der Auswertung des Regenereignisses vom 19.08.2005 während des 1. Monats der Betriebsphase II.

	Regenstart	19.08.2005 19:00		
	Regenende	19.08.2005 23:15		
	Regendauer (Min)	255		
	H _N gesamt (mm)	16,28		
Dauerstufe	Auswertung der Dauerstufen			
	H_N	R_N	T_n	
	(mm)	(l/(s·ha))	(a)	
5	3,0	101	0,51	
10	5,2	87	0,48	
15	7,9	87	0,66	
20	9,6	80	0,76	
30	3,6	20	0,14	
45	10,6	39	0,50	
60	10,6	29	0,45	
90	12,5	23	0,50	
120	12,5	17	0,43	
180	14,3	13	0,45	
240	16,2	11	0,49	
360	16,3	8	0,40	
720	16,3	4	0,28	
1440	16,3	2	0,17	

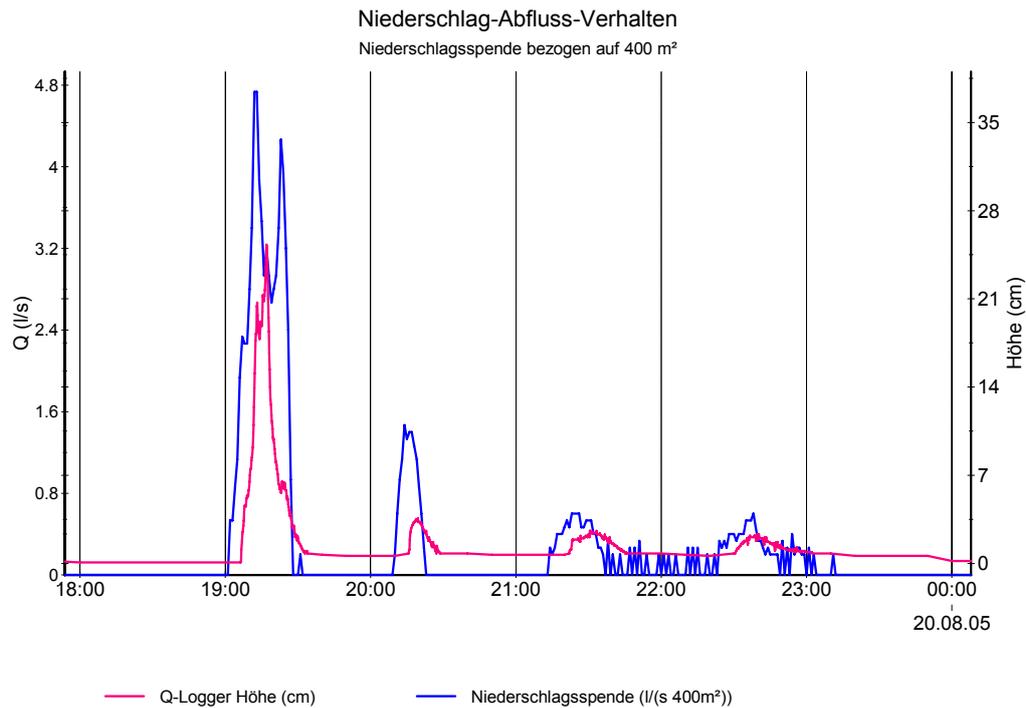


Abbildung 33: Niederschlag und gemessene Überstauhöhe des Regenereignisses vom 19.08.2005 während des 1. Monats der Betriebsphase II.

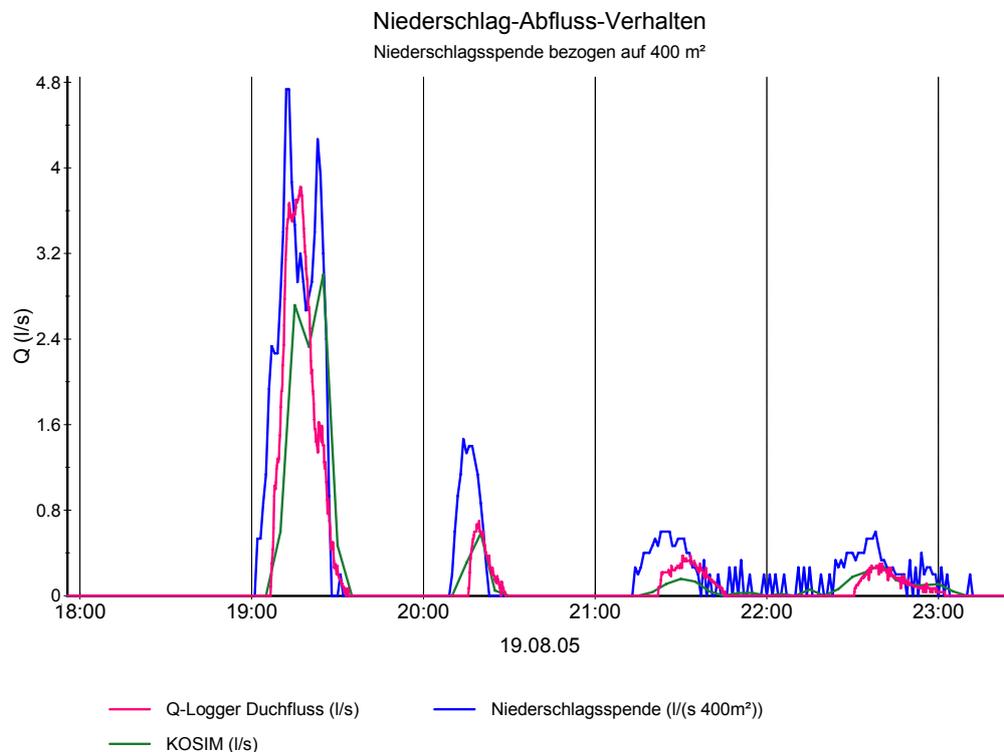


Abbildung 34: Niederschlag und gemessener Durchfluss des Regenereignisses vom 19.08.2005 während des 1. Monats der Betriebsphase II.

7.1.2.3 Betriebsphase III mit Koaleszenzfilter, Sonde des Q-Loggers in 3. Kammer

In dieser Betriebsphase erfolgte die Messung der Höhenstände und die Bestimmung der daraus abgeleiteten Durchflüsse im System in der 3. Kammer, also hinter dem eingebauten Koaleszenzfilter. Die ermittelten Werte für die Höhen und die Volumenströme fielen erwartungsgemäß wesentlich geringer aus als in der Betriebsphase I. Insgesamt kann eine gute Übereinstimmung der mittels KOSIM berechneten Werte mit denen aus der Messung verzeichnet werden. Für Starkregenereignisse wie z.B. am 19.06.2006 wurden allerdings wesentlich geringere Durchflüsse verzeichnet, als sie aus der Regenspende resultieren müssten. Der Abfluss hält in diesem Fall weit über das Ende des betreffenden Regenereignisses an. Die Darstellung des Niederschlag-Abfluss-Verhaltens ausgewählter Niederschlagsereignisse erfolgt anhand der gemessenen Durchflüsse, da die in dieser Betriebsphase ermittelten Wasserspiegelhöhen in Kammer Drei keine Rückschlüsse auf den Überstau im Bereich der Kammern Eins und Zwei der Anlage zulassen.

Regenereignis vom 21.02.2006

Der aufgezeichnete Niederschlag mit einer Dauer von 870 Minuten weist für die Dauerstufen 5, 10 und 15 Minuten Wiederkehrzeiten von 0,18 – 0,11 Jahren auf. Der höchste Wert mit einer Wiederkehrzeit von 0,38 Jahren wird erst in der Dauerstufe 720 Minuten erreicht. In Tabelle 9 sind die ermittelten maximalen Niederschlagshöhen für die einzelnen Dauerstufen mit den entsprechenden Wiederkehrhäufigkeiten dargestellt. In Abbildung 35 sind die Ergebnisse der Durchflussmessung des Q-Loggers und die KOSIM-Berechnungen dargestellt, die eine sehr gute Übereinstimmung bezüglich des Kurvenverlaufs aufweisen. Vergleichbare Ereignisse führten in der Betriebsphase I häufig zu einem überhöhten Rückstau in der Anlage und einem gegenüber der Regendauer verlängerten zeitliche Abfluss. Der abflusswirksame Anteil beträgt $\Psi = 0,70$ für die mittels Q-Logger gemessenen Werte und $\Psi = 0,55$ für die KOSIM-Berechnungen.

Tabelle 9: Ergebnisse der Auswertung des Regenereignisses vom 21.01.2006 während des 2. Monats der Betriebsphase III.

	Regenstart	21.01.2006 02:20	
	Regenende	21.01.2006 16:50	
	Regendauer (Min)	870	
	H _N gesamt (mm)	19,59	
Dauerstufe	Auswertung der Dauerstufen		
(Min)	H _N (mm)	R _N (l/(s·ha))	T _n (a)
5	0,8	28	0,18
10	1,4	23	0,13
15	1,8	20	0,11
20	2,3	19	0,11
30	2,9	16	0,12
45	3,6	13	0,14
60	4,1	11	0,16
90	5,2	10	0,17
120	6,8	9	0,19
180	9,9	9	0,25
240	11,0	8	0,26
360	14,2	7	0,31
720	19,3	4	0,38
1440	19,6	2	0,25

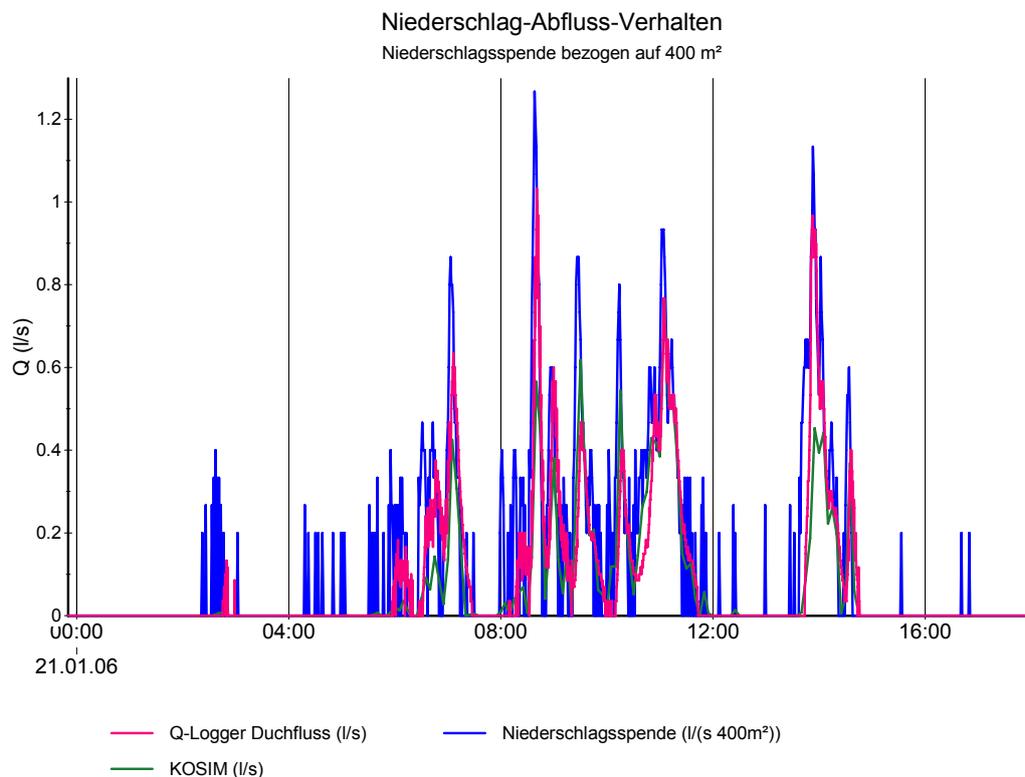


Abbildung 35: Niederschlag und gemessener Durchfluss des Regenereignisses vom 21.01.2006 während des 2. Monats der Betriebsphase III.

Starkregenereignis vom 19.06.2006

Der aufgezeichnete Niederschlag weist für die Dauerstufen 5, 10 und 15 Minuten Wiederkehrzeiten von 1,7 – 2,6 Jahren auf. Der höchste Wert wird dabei für die Dauerstufe von 10 Minuten erreicht. In Tabelle 10 sind die ermittelten maximalen Niederschlagshöhen für die einzelnen Dauerstufen mit den entsprechenden Wiederkehrhäufigkeiten dargestellt. In Abbildung 36 sind die Ergebnisse der Durchflussmessung des Q-Loggers und die KOSIM-Berechnungen dargestellt, die bei diesem Ereignis keine gute Übereinstimmung aufweisen. Der abflusswirksame Anteil beträgt $\Psi = 0,96$ für die mittels Q-Logger gemessenen Werte und $\Psi = 0,77$ für die KOSIM-Berechnungen. Die relativ große Abweichung des abflusswirksamen Anteils für dieses Starkregenereignis resultiert aus der Kalibrierung des KOSIM-Modells, die maßgeblich für kleinere und mittlere Niederschlagsereignisse erfolgte. Während des Ereignisses konnte vor Ort ein Überstau bis auf das Niveau der Fahrbahn registriert werden, der in Abbildung 37 dargestellt ist. Die Dauer des Überstaus betrug ca. 15 Minuten.

Tabelle 10: Ergebnisse der Auswertung des Starkregenereignisses vom 19.06.2006 während des letzten Monats der Betriebsphase III.

	Regenstart	19.06.2006 12:10	
	Regenende	19.06.2006 13:55	
	Regendauer (Min)	105	
	H _N gesamt (mm)	15,33	
Dauerstufe	Auswertung der Dauerstufen		
	H_N	R_N	T_n
(Min)	(mm)	(l/(s·ha))	(a)
5	5,6	186	1,68
10	10,1	168	2,61
15	11,9	132	2,14
20	12,6	105	1,62
30	13,3	74	1,16
45	13,4	50	0,83
60	13,4	37	0,71
90	15,1	28	0,73
120	15,3	21	0,64
180	15,3	14	0,52
240	15,3	11	0,44
360	15,3	7	0,36
720	15,3	4	0,25
1440	15,3	2	0,16

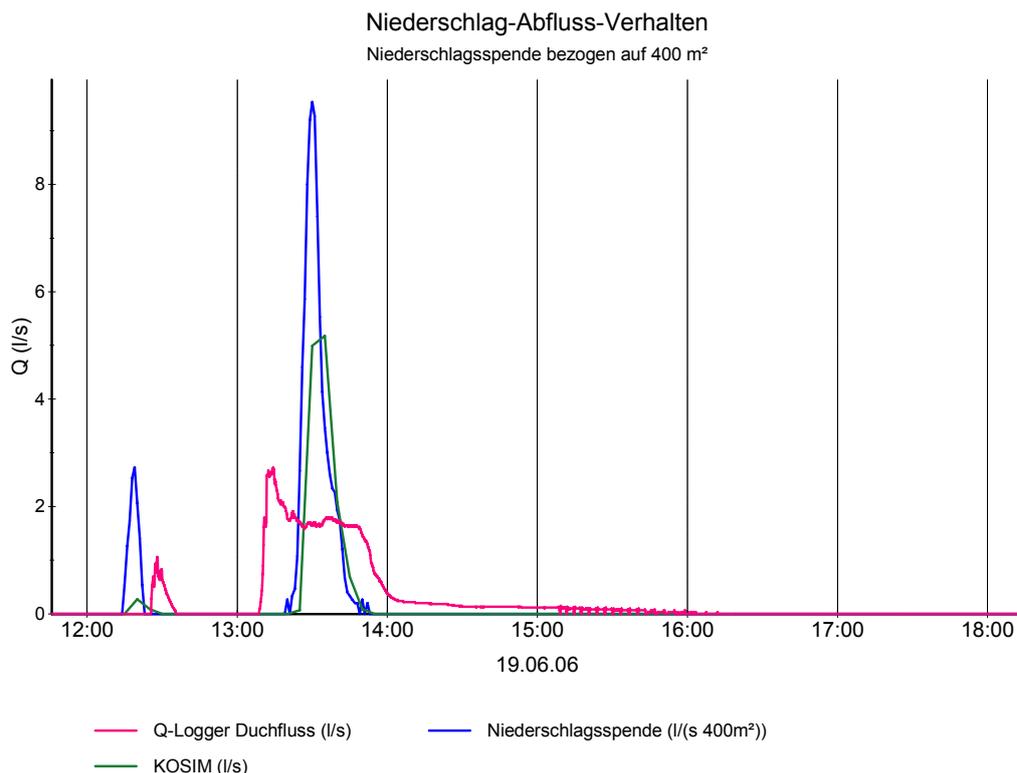


Abbildung 36: Niederschlag und gemessener Durchfluss des Starkregenereignisses vom 19.06.2006 während des letzten Monats der Betriebsphase III.

Bei genauerer Betrachtung des zeitlichen Verlaufs des in Abbildung 36 wiedergegebenen Niederschlagsereignisses ist ein unterschiedliches zeitliches Ansprechverhalten des Q-Loggers zu beobachten. Das erste Teilereignis weist die in den meisten Fällen auftretende Verzögerung zwischen Niederschlag und registriertem Abfluss auf. In der Regel beträgt die Differenz 5 -10 Minuten und entspricht somit der Fließzeit im Einzugsgebiet der Versuchsanlage. Dies weist auf eine Gleichzeitigkeit des Teilereignisses am Ort der Regenmessung und am Standort der Anlage hin. Das zweite Teilereignis wird zuerst am Standort der Anlage und danach mit einer zeitlichen Verzögerung von ca. 10 Minuten durch den Regenmesser erfasst und spiegelt die Kleinräumigkeit einzelner Ereignisse wieder. Der Effekt konnte am betreffenden Tag bei der Fahrt von der Fachhochschule (Standort des Regenmessers) zu der 1.000 m Luftlinie entfernt installierten Versuchsanlage gut beobachtet werden. Zum Beginn der Fahrt war es am Hochschulstandort noch trocken, während es im Stadtgebiet Hörter bereits kräftig regnete.



Abbildung 37: Überstau am Standort der Anlage während des Starkregenereignisses vom 19.06.2006

7.1.3 Beurteilung der hydraulischen Leistungsfähigkeit

Die Betrachtungen ausgewählter Niederschlagsereignisse aus den einzelnen Betriebsphasen haben gezeigt, dass die hydraulische Leistungsfähigkeit des Centrifloel-Systems maßgeblich über den eingebauten Koaleszenzfilter begrenzt wird. Dessen rasche Neigung zur Verblockung mit feinen Feststoffteilchen und Blättern führt bereits nach wenigen, auf eine Reinigung der Anlage folgenden Regenereignissen zu einem überproportionalen Anstieg des Flüssigkeitsstandes im System.

Die vom Hersteller angegebene maximale hydraulische Belastung von $Q = 5 \text{ l/s}$ entspricht bei einer angeschlossenen Fläche von $A = 400 \text{ m}^2$ einer Regenspende von $r = 125 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$. Aufgrund der kurzen Fließzeiten im Einzugsgebiet der Anlage wird für die folgenden Betrachtungen von einer maßgebenden Bemessungsregendauer von 5 Minuten ausgegangen. Ereignisse mit der oben genannten Spende treten 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.

In Abbildung 38 sind die während ausgewählter Regenereignisse aufgezeichneten maximalen Aufstauhöhen im Centrifloel-System in Abhängigkeit von der maximalen Regenspende, die in der Dauerstufe $t = 5$ Minuten verzeichnet wurde, für die Betriebsphasen I und II dargestellt. Bei der Interpretation der Daten ist zu beachten, dass die Charakteristika der einzelnen Regenereignisse sowie jahreszeitliche Einflüsse und eventuell vorangegangene Benutzungen der Fahrbahn in der Auswertung nicht berücksichtigt wurden. Dennoch kann eine eindeutige Abhängigkeit der Aufstauhöhe im System von der Regenspende verzeichnet werden. Für die Betriebsphase I mit eingebautem Koaleszenzfilter werden deutlich höhere Werte für die Wasserspiegellage in Abhängigkeit von der Regenspende registriert als für die Phase II ohne Filter. Zudem weisen die Daten eine größere Streuung auf als in Phase II, wie am Bestimmtheitsmaß R^2 der Regressionsgeraden abzulesen ist. Ein Rückstau bis auf Fahrbahnniveau wurde bei dem Betrieb mit Filter in der Betriebsphase I ab einer Regenspende von $r = 120 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ erreicht, was in etwa der Angabe des Herstellers zur maximalen hydraulischen Belastbarkeit entspricht. Rückstauhöhen von 42 cm und mehr, die einen vollständig eingestauten Nassschlammfang bewirken, wurden bei einzelnen Ereignissen bereits bei Spenden erreicht, die im ungünstigsten Fall bei ca. $25 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ liegen und dann sogar zu einem eingestauten Laubfang führen.

Der Grad der Verschmutzung des Koaleszenzfilters während der durchgeführten Reinigungen der Anlage ist in Abbildung 39 dargestellt. Bei den abgelagerten Feststoffen handelt es sich nach visueller Beurteilung im wesentlichen um feine Feststoffteilchen und Laub.

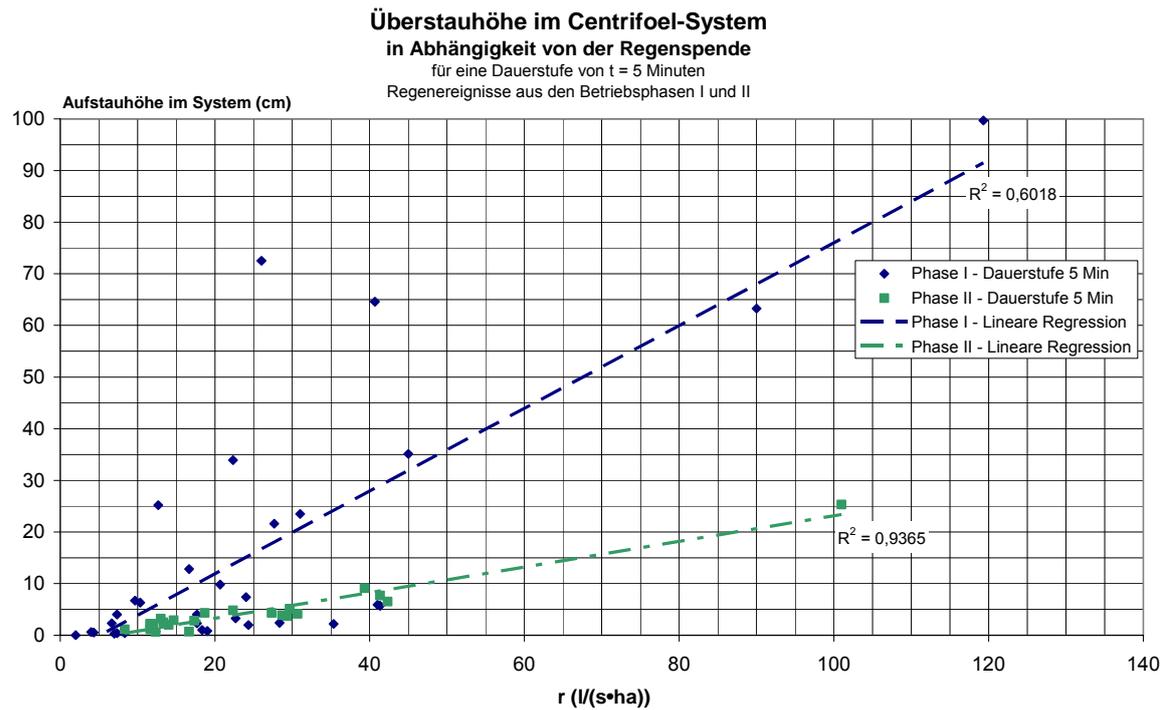


Abbildung 38: Überstauhöhe im Centrifloel-System in Abhängigkeit von der Regenspende für die Dauerstufe von $t = 5$ Minuten in den Betriebsphasen I und II.

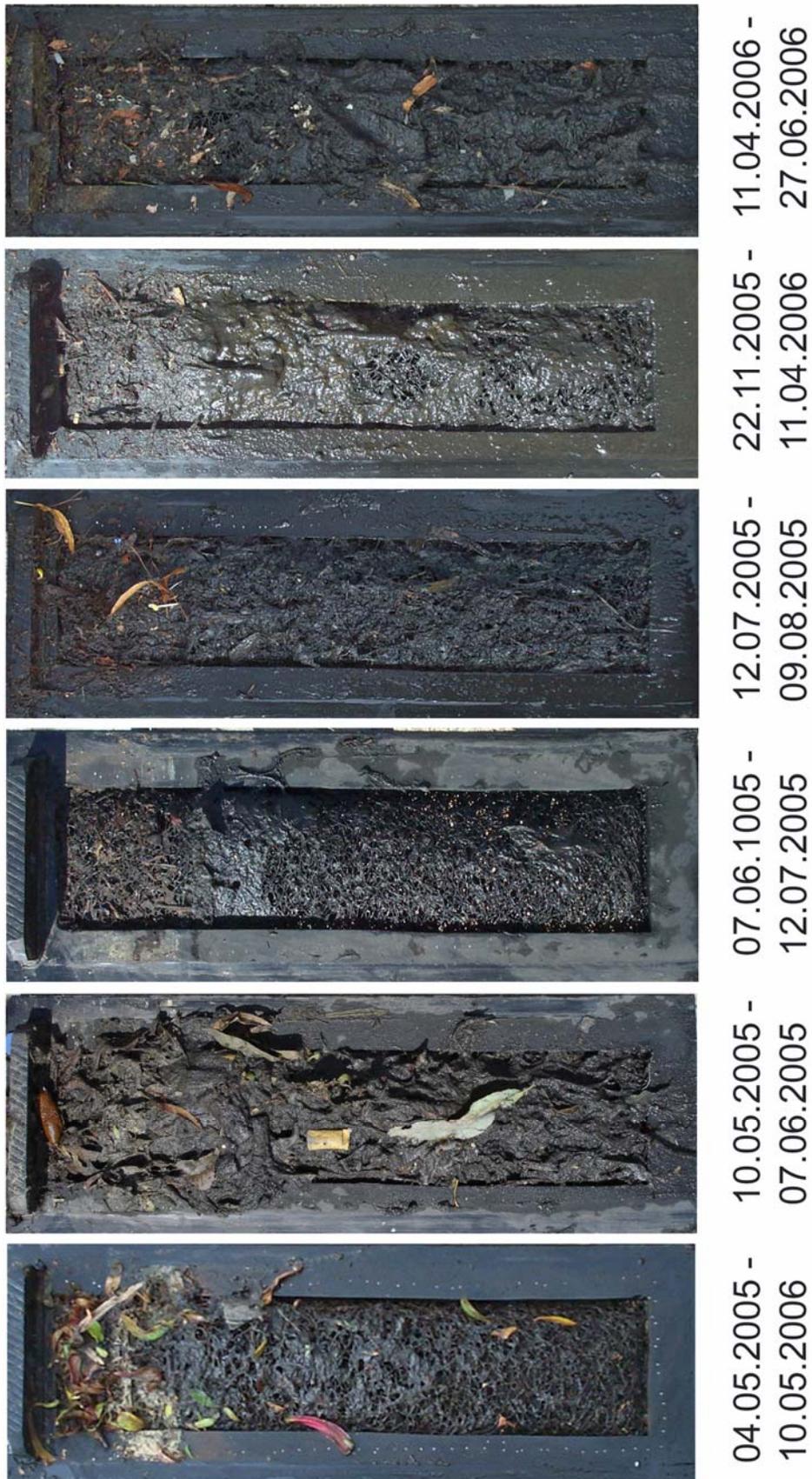


Abbildung 39: Ablagerungen auf dem Koaleszenzfilter während der einzelnen Wartungen

7.2 Auswirkung der Behandlung auf die Wasserqualitätsparameter

7.2.1 Allgemeines

Nachfolgend werden die Wasserqualitätsparameter, die während des Versuchsbetriebs ermittelt wurden, dargestellt. Alle Analysen erfolgten aus der homogenisierten Wochenmischprobe. Lediglich der Parameter Kohlenwasserstoffe wurde aus Monatsmischproben bestimmt.

7.2.2 pH-Wert

Die während des Untersuchungszeitraumes gemessenen pH-Werte der Wochenmischproben im Zu- und Ablauf der Anlage sind in Abbildung 40 als Ganmlinien dargestellt. Die Werte schwanken im neutralen Bereich zwischen $\text{pH} = 6,5$ und $\text{pH} = 8,2$, wobei die Mehrzahl der Messwerte sowohl für den Zulauf als auch für den Ablauf im Bereich zwischen $\text{pH} = 6,8$ und $\text{pH} = 7,7$ liegen. Die Mittelwerte betragen $\text{pH} = 7,3$ für den Zulauf und $\text{pH} = 7,4$ für den Ablauf. Signifikante Unterschiede zwischen Zu- und Ablaufwerten können bis auf zwei Wertepaare im Mai und Juni 2006 nicht verzeichnet werden.

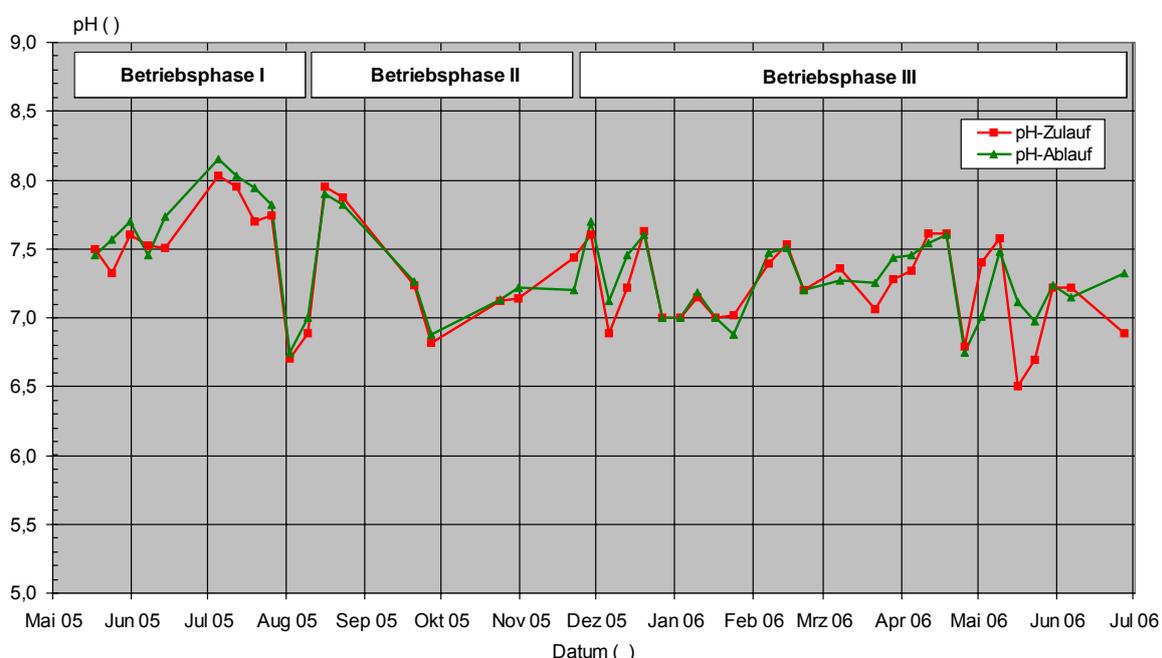


Abbildung 40: pH-Werte im Zu- und Ablauf der Versuchsanlage

7.2.3 Leitfähigkeit

Die gemessenen Leitfähigkeitswerte der Wochenmischproben im Zu- und Ablauf der Anlage sind in Abbildung 41 als Ganglinien dargestellt. Die Werte weisen eine deutlich zu erkennende Abhängigkeit von der Jahreszeit auf. Während in den Wintermonaten von Ende Dezember 2005 bis Ende März 2006 aufgrund des Streusalzeinsatzes Leitfähigkeiten von bis zu 8.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ erreicht wurden, lagen die arithmetischen Mittelwerte für die restliche Jahreszeit für den Zulauf bei 104 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und für den Ablauf bei 117 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Somit ist das Niederschlagswasser mit Ausnahme der Wintermonate als relativ salzarm zu bezeichnen. Die gegenüber dem Zulauf geringfügig erhöhten Ablaufwerte werden auf eine Auflösung partikulärer Stoffe aus dem Sediment während der Trockenphasen zurückgeführt.

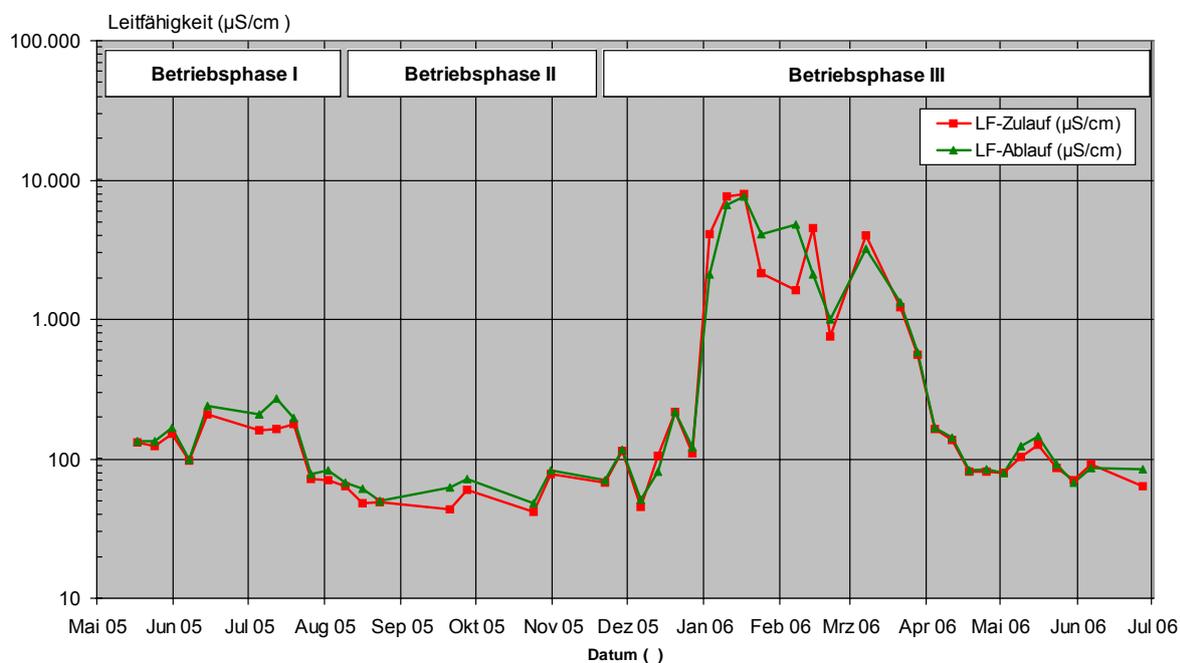


Abbildung 41: Leitfähigkeitswerte-Werte im Zu- und Ablauf der Versuchsanlage

7.2.4 Trübung

Die Trübungswerte der Wochenmischproben aus dem Zu- und Ablauf der Anlage sind als Ganglinien in Abbildung 42 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 Centrifloel-Systems zu verzeichnen. Die arithmetischen Mittelwerte betragen 45 TE(F) für den Zulauf und 39 TE(F) für den Ablauf. Es findet somit eine Verminderung der Trübung um ca. 13 % statt. Hierbei ist zu beachten, dass die Probenahme des Zulaufes in Kammer Eins der Anlage erfolgte (vgl. Abschnitt 4.2 und 5.2), 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. Die Ursache für den im März 2006 aufgetretenen Spitzenwert von 258 TE(F) im Zulauf und 204 TE(F) im Ablauf kann nicht abschließend geklärt werden. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass während der relativ lang andauernden Regenereignisse geringer Intensität innerhalb des Beprobungsintervalls vermehrt feine Partikel, wie z.B. Pollen, in das System eingetragen wurden.

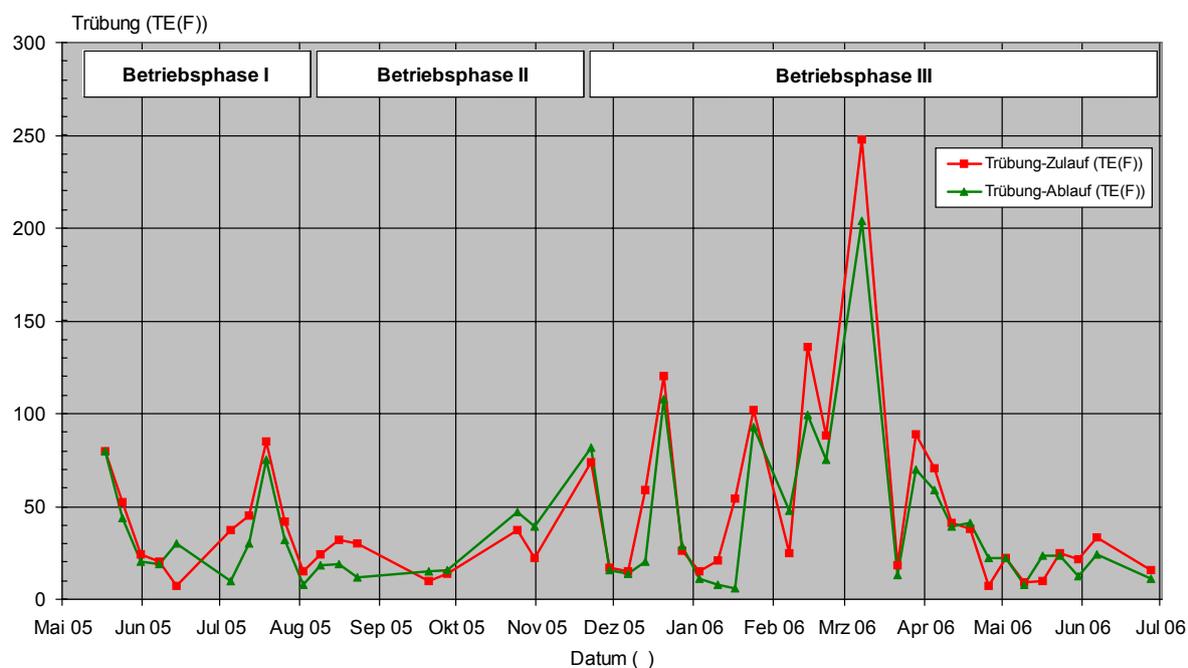


Abbildung 42: Trübungswerte im Zu- und Ablauf der Versuchsanlage

7.2.5 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 43 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 43 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 höchsten Konzentrationen an abfiltrierbaren Stoffen werden für den Zeitraum Dezember 2005 bis März 2006 verzeichnet und maßgeblich dem Einsatz von Streusalz mit unlöslichen Begleitstoffen zugeschrieben. Die arithmetischen Mittelwerte betragen 41 mg/l für den Zulauf und 31 mg/l für den Ablauf, d.h., es findet bei dem Durchfluss durch die Anlage eine Reduzierung dieser Konzentration um im Mittel 24 % statt. Der Betrieb ohne Koaleszenzfilter (Betriebsphase II) weist keine signifikant höheren Ablaufwerte auf als mit Koaleszenzfilter.

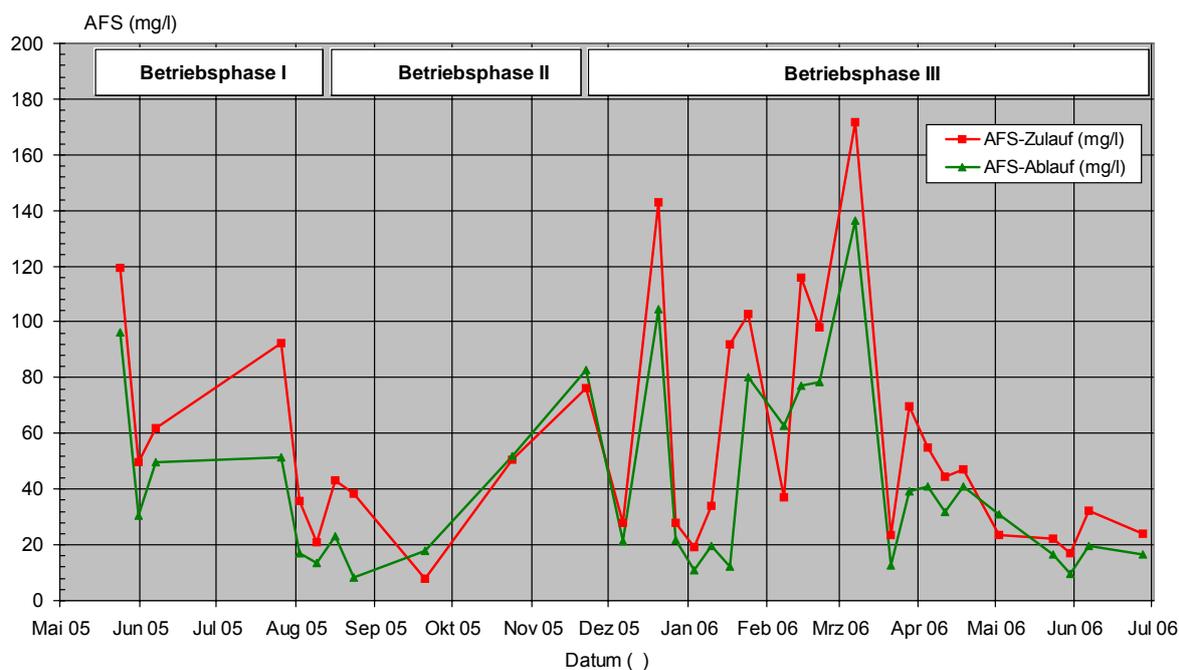


Abbildung 43: Abfiltrierbare Stoffe im Zulauf (Kammer Eins) und Ablauf (Kammer Drei) der Versuchsanlage

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:

$$m(\text{AFS})_{\text{Zu, Wartungsintervall}} = \sum c(\text{AFS})_{\text{Zu, } i} \cdot V_i + m_{\text{TS, Nassschlammfang}} \quad (\text{g}) \quad (\text{Formel 1})$$

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

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 44 für die einzelnen Wartungsintervalle mit dem jeweils erzielten Wirkungsgrad η dargestellt. Auffällig sind hierbei zwei Wirkungsgrade, die innerhalb des gesamten Betriebszeitraumes die Extremwerte darstellen:

- Im Zeitraum vom 07.06.2005 - 12.07.2005 betrug die Summe der Niederschlagshöhe nur 20 mm, mit einem effektiven Abfluss von 270 Litern. Aufgrund des geringen Probevolumens gelang eine verlässliche Messung der abfiltrierbaren Stoffe im Ablauf der Anlage nicht. Daher beträgt der Wirkungsgrad hier 100 %. Für die weiteren Betrachtungen wird dieser Wert ausgeklammert.
- Der einwöchige Zeitraum vom 15.11.2005 - 22.11.2005 repräsentiert das Abscheideverhalten der Anlage ohne Koaleszenzfilter nach einer vollständigen Reinigung für die Phase, in der eine Abdichtung der Spalten zwischen den Unterkanten der Trennwände und dem Behälterboden (vgl. Abschnitt 3.2.1) durch Sedimente stattfindet. Es wird davon ausgegangen, dass es in diesem Bereich anfangs zu einer Kurzschlussströmung von Kammer Eins in Kammer Drei kommt, die mit zunehmender Beaufschlagung mit Sedimenten im weiteren Betrieb abnimmt. Für die Ermittlung des Gesamtwirkungsgrades wird dieser Wert ebenfalls ausgeklammert.

Für die Betriebsphasen I und III mit eingebautem Koaleszenzfilter werden Wirkungsgrade für die Feststoffabscheidung von 34% bis 69% erzielt. Für die Betriebsphase II ohne Koaleszenzfilter beträgt der Wirkungsgrad 46%. Somit kann keine klare Abhängigkeit des Wirkungsgrades von einem Betrieb mit oder ohne eingebauten Koaleszenzfilter abgeleitet werden. Berücksichtigt werden muss jedoch die Tatsache, dass die während der Betriebsphase II aufgetretenen Regenereignisse eher geringe Wiederkehrzeiten aufwiesen. Das Ereignis mit der höchsten Intensität weist für die Dauerstufen 5, 10 und 15 Minuten Wiederkehrzeiten von 0,5 – 0,7 Jahren auf, tritt also statistisch 1,4 - 2 mal pro Jahr auf. Wie sich ein Starkregenereignis bei einem Betrieb ohne Koaleszenzfilter auf den Rückhalt von Feststoffen im System auswirkt, konnte in diesem Zeitraum nicht untersucht werden. Es wäre aufgrund der dann auftretenden hydraulischen Belastung jedoch ein vermehrter Austrag an Sedimenten zu erwarten, der unter Umständen durch die eingesetzte Messtechnik nicht vollständig erfasst werden könnte.

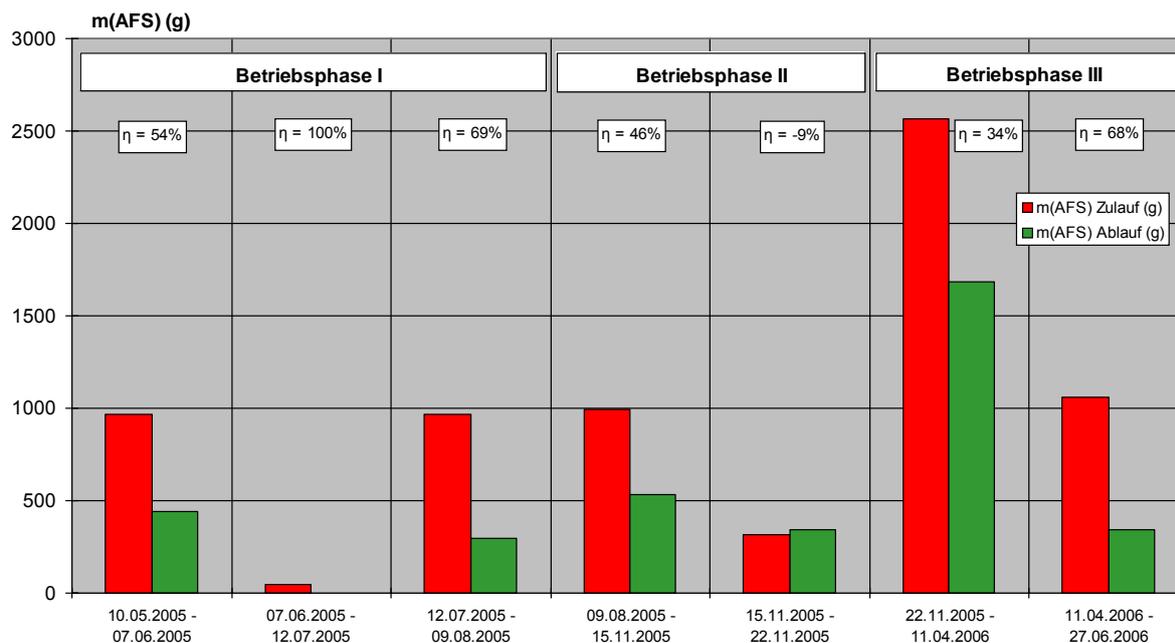


Abbildung 44: Massensummen an abfiltrierbaren Stoffen im Zu- und Ablauf der Versuchsanlage innerhalb der einzelnen Wartungsintervalle und daraus ermittelte Gesamtwirkungsgrade.

Zur Überprüfung der bis hier getroffenen Aussagen zum Rückhalt abfiltrierbarer Stoffe wurde eine zusätzliche Bilanzierung für drei ausgewählte Wartungsintervalle über die in den einzelnen Anlagenteilen des Systems abgeschiedenen Sedimente durchgeführt. Dabei wurden sowohl die Messungen der abfiltrierbaren Stoffe im Zu- und Ablauf der Anlage als auch der gespeicherte Anteil im Nassschlammfang in den einzelnen Kammern und im Koaleszenzfilter ausgewertet.

In Tabelle 11 sind die Massen der Feststoffe, angegeben als Trockensubstanz, die bei den drei ausgewählten vollständigen Anlagenreinigungen in den Kammern und dem Koaleszenzfilter (Ausnahme: Betriebsphase II ohne Koaleszenzfilter) gefunden wurden, in Form einer Bilanz wiedergegeben. Der Zulaufseite wurden hierbei die im Nassschlammfang zurückgehaltenen Feststoffe zugerechnet. Die Speicherung im System ergibt sich somit als Summe der im Nassschlammfang, den Kammern Eins bis Drei und dem Koaleszenzfilter zurückgehaltenen Feststoffe.

Tabelle 11: Massenbilanzen für die in den unterschiedlichen Anlagenteilen abgetrennten abfiltrierbaren Stoffe während drei ausgewählter Betriebsintervalle

Zeitraum ()	Betriebs- phase	Zulauf	Speicherung im System					Ablauf	Differenz	
		m(AFS) Zu (g)	HS (g)	m(K 1) (g)	m(K 2) (g)	m(Koal.) (g)	m(K 3) (g)	m(Speicher) (g)	m(AFS) Ab (g)	Zu-(Speicher+Ab) (g)
10.05.2005 - 07.06.2005	I	968	419	212	175	22	5	833	442	-307
09.08.2005 - 15.11.2005	II	991	143	158	4	0	10	315	535	141
11.04.2006 - 27.06.2006	III	1.061	631	436	189	38	5	1.298	344	-581

HS = Halbschalen
Nassschlammfang

Für die Betriebsphasen I und III weisen die Bilanzen negative Differenzen auf, d.h., die Summe aus der Speicherung in der Anlage und dem Austrag liegt höher als die Zulaufsumme. Dies kann als Hinweis auf eine unzureichende Erfassung der Konzentration an abfiltrierbaren Stoffen im Zulauf der Anlage (Kammer Eins) gedeutet werden. Aufgrund der Schlauchlänge der Probenehmer von ca. 4 m und der Höhendifferenz zur Anlage von ca. 2,1 m kann es hier zu einem Minderbefund kommen, wenn vor allem größere Teilchen mit höherer Dichte, bedingt durch Sedimentationseffekte im Schlauch, nicht repräsentativ erfasst werden.

Für die Betriebsphase II (ohne Koaleszenzfilter) ergibt sich eine positive Differenz, d.h. es hätte entweder mehr Feststoff gespeichert oder aber eine höhere Konzentration im Ablauf gemessen werden müssen. Die Ergebnisse aus den Betriebsphasen können wie folgt interpretiert werden:

1. Die Zulaufmessung erfasst nicht alle Feststoffe, die in die Kammer Eins gelangen. Grosse und schwere Teilchen sedimentieren entweder rasch oder sie werden in der Ansaugleitung des Probenehmers klassiert. Hieraus resultiert für die Zulaufseite ein Minderbefund, der für alle Betriebsphasen gilt.
2. Die Ablaufmessung erfasst bei eingebautem Koaleszenzfilter die resultierenden feinen Feststoffe in der Kammer Drei nahezu vollständig.
3. Ohne den Koaleszenzfilter werden in Kammer Zwei kaum noch Feststoffe zurückgehalten (vgl. Tabelle 11) und gelangen vermehrt in die Kammer Drei. Hier kommt es dann bei der Beprobung des Abflusses zu einer unvollständigen Erfassung der größeren Fraktion an abfiltrierbaren Stoffen. Ursächlich hierfür könnte die Höhe des Schlauchanschlusses, der sich nur wenige Zentimeter unterhalb des Wasserspiegels befindet, sein. Bei einem Durchbruch größerer und schwererer Teilchen würden

diese in der Kammer Drei nicht soweit aufgewirbelt, dass sie vom Probenehmer vollständig erfasst werden können, sondern direkt über den als Siphon ausgeführten Abfluss aus der Anlage gelangen. Für die Betriebsphasen I und III mit eingebautem Koaleszenzfilter erreichen dagegen nur sehr feine Partikel, die sich entsprechend gleichmäßiger in der Wasserphase verteilen, die dritte Kammer.

Für die ausgewählten Wartungsintervalle in den Betriebsphasen I und III können die Bilanzkreise wie folgt geschlossen werden:

Betriebsphase I: $m(\text{Zulauf})_{\text{korrigiert}} = m(\text{Ablauf}) + m(\text{Speicher}) = 442 \text{ g} + 833 \text{ g} = 1.275 \text{ g}$

-> Der Erfassungsgrad der Zulaufmessung beträgt, bei einer gefundenen Masse von 968g, 76%.

-> Der Gesamtwirkungsgrad für die Abscheidung der abfiltrierbaren Stoffe beträgt 65%.

Betriebsphase III: $m(\text{Zulauf})_{\text{korrigiert}} = m(\text{Ablauf}) + m(\text{Speicher}) = 344 \text{ g} + 1.298 \text{ g} = 1.642 \text{ g}$

-> Der Erfassungsgrad der Zulaufmessung beträgt, bei einer gefundenen Masse von 1.061g, 65%.

-> Der Gesamtwirkungsgrad für die Abscheidung der abfiltrierbaren Stoffe beträgt 79%.

Aufgrund des dargestellten Fehlers bei der Messung des Ablaufwertes während der Betriebsphase II ist eine gesicherte Schließung des Bilanzkreises dort nicht möglich.

Orientierend wurde für das ausgewählte Wartungsintervall innerhalb der Betriebsphase I auch der Anteil der organischen Trockensubstanz in den einzelnen Sedimenten bestimmt. Das Ergebnis ist in Tabelle 12 wiedergegeben. Demnach weist der Koaleszenzfilter mit mehr als 47% den höchsten Anteil an organischer Substanz auf. Dies deckt sich mit den Beobachtungen während der vollständigen oder eingeschränkten Anlagenwartungen. Der Filter war stets mit erdiger Substanz belegt. In Abhängigkeit der Jahreszeit wurden sogar Pflanzenkeimlinge und Schnecken registriert (vgl. Abbildung 39).

Tabelle 12: Anteil an organischer Trockensubstanz in den einzelnen Anlagenteilen für ein ausgewähltes Wartungsintervall

Zeitraum ()	Betriebs- phase	Organische Trockensubstanz				
		HS (%)	K 1 (%)	K 2 (%)	Koal. (%)	K 3 (%)
10.05.2005 - 07.06.2005	I	10,3	7,6	20,0	47,4	17,8

HS = Halbschalen Nassschlammfang

7.2.6 CSB

Die während des Versuchszeitraumes gemessenen Werte des Summenparameters CSB in den Wochenmischproben aus dem Zu- und Ablauf der Anlage sind als Ganglinien in Abbildung 45 dargestellt. Die arithmetischen Mittelwerte betragen 85 mg/l für den Zulauf und 69 mg/l für den Ablauf. Demnach wird dieser Parameter bei einer Passage der Anlage im Mittel um ca. 19 % reduziert. Der Maximalwert von 414 mg/l im Zulauf und 256 mg/l im Ablauf trat in der Betriebsphase I nach einer kompletten Anlagenreinigung, die am 12.07.2005 stattfand, auf. Einen Einfluss des Koaleszenzfilters auf den CSB-Rückhalt kann nicht verzeichnet werden.

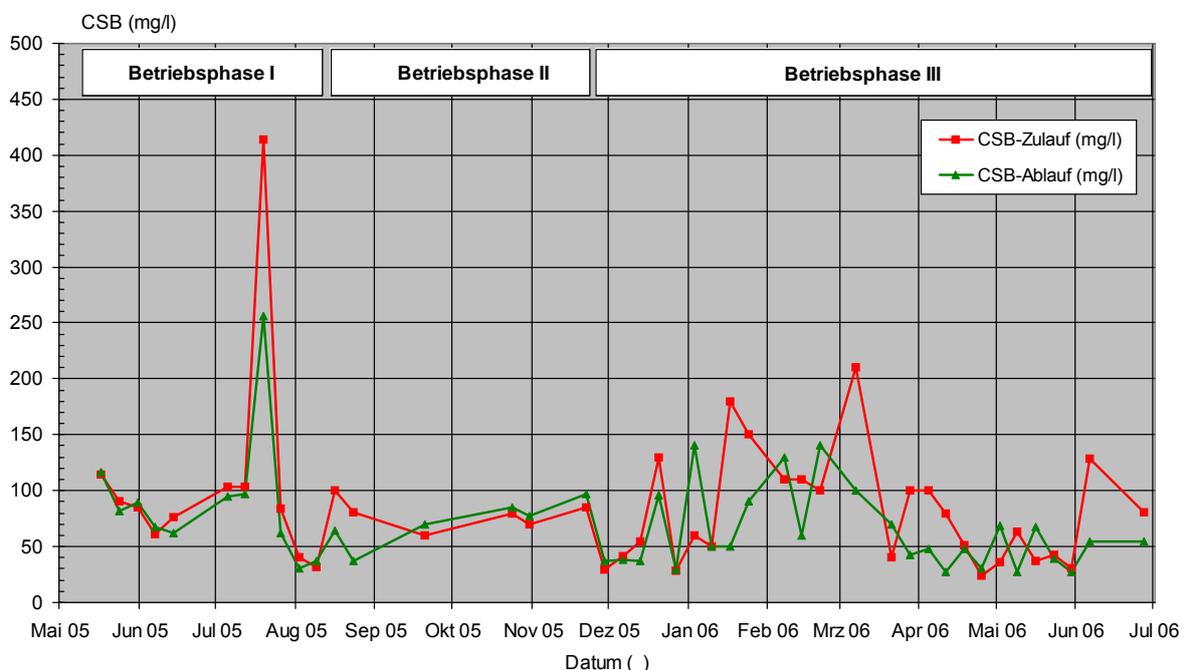


Abbildung 45: CSB-Konzentrationen im Zu- und Ablauf der Versuchsanlage

7.2.7 TOC

Als Summenparameter für die Konzentration organischer Stoffe wurde neben dem CSB auch der TOC in ausgewählten Proben bestimmt. Die während des Versuchszeitraumes gemessenen Werte in den Wochenmischproben aus dem Zu- und Ablauf der Anlage sind als Ganglinien in Abbildung 46 dargestellt. Der Verlauf der Kurven entspricht im Wesentlichen dem des CSB. Die arithmetischen Mittelwerte betragen 20,2 mg/l für den Zulauf und 18,6 mg/l für den Ablauf. Somit wird für diesen Parameter bei Passage der Anlage nur eine Reduzierung um ca. 8% erreicht. Aufgrund des sehr ähnlichen Kurvenverlaufes der TOC- und der CSB-Konzentrationen wurde die Korrelation zwischen beiden Werten ermittelt. Das Ergebnis ist in Abbildung 47 dargestellt. Die Werte weisen, bedingt durch die partikulären Anteile, insgesamt eine relativ große Streuung auf. Dennoch ist sowohl für den Zulauf als auch für den Ablauf eine eindeutige Tendenz abzulesen. Die arithmetischen Mittelwerte aus allen Wertepaaren ergeben für den Zulauf ein CSB:TOC-Verhältnis von 4,3:1 und für den Ablauf 4,2:1.

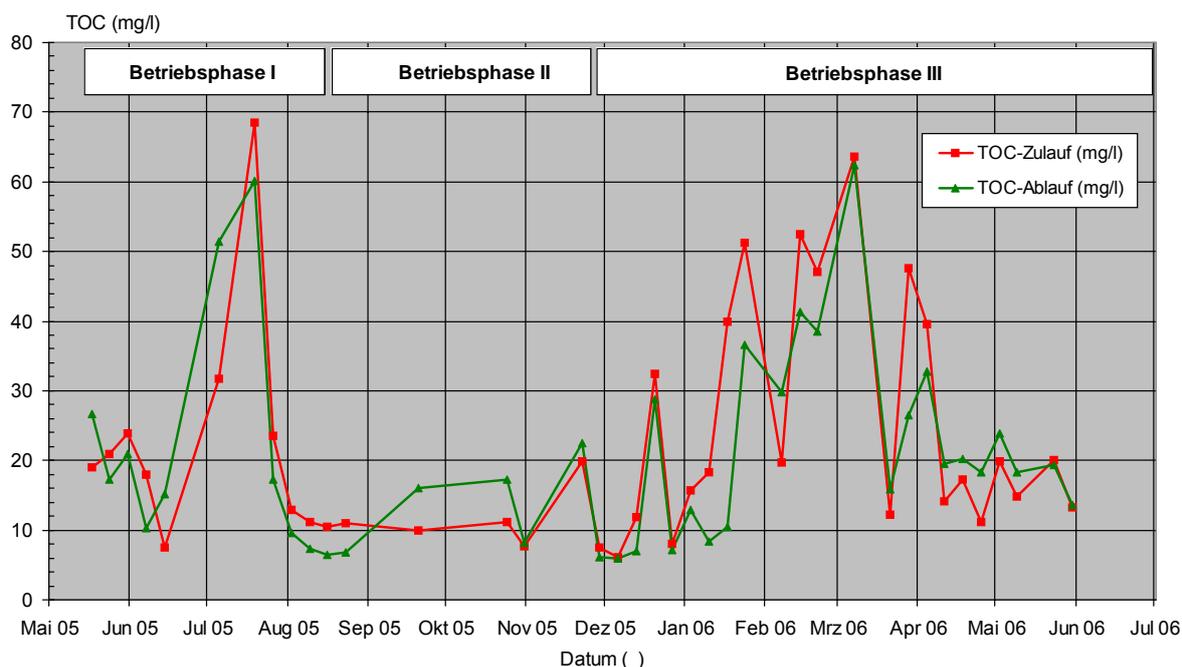


Abbildung 46: TOC-Konzentrationen im Zu- und Ablauf der Versuchsanlage

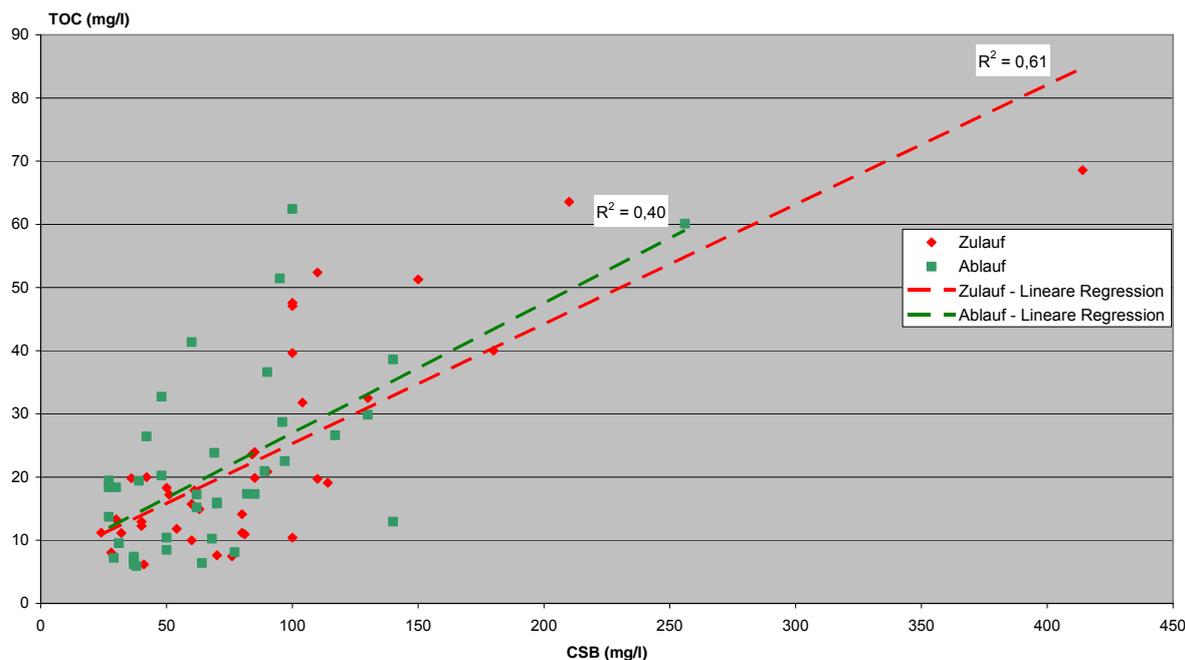


Abbildung 47: CSB:TOC-Korrelationen für den Zu- und Ablauf der Versuchsanlage

7.2.8 Schwermetalle

Nachfolgend werden die Konzentrationen der Schwermetalle dargestellt. Für Werte, die unterhalb der Bestimmungsgrenze des betreffenden analytischen Verfahrens liegen, wurde die halbe Bestimmungsgrenze als Konzentration verwendet.

7.2.8.1 Kupfer

Die während des Anlagenbetriebs gemessenen Kupferkonzentrationen im Zu- und Ablauf der Anlage sind als Ganglinien in Abbildung 48 dargestellt. Die Zulaufwerte weisen Schwankungen zwischen 1,5 - 300 $\mu\text{g/l}$ und die Ablaufwerte zwischen 21 und 270 $\mu\text{g/l}$ auf. Häufig liegen die Konzentrationen im Ablauf höher als im Zulauf. Die arithmetischen Mittelwerte betragen 79,4 $\mu\text{g/l}$ für den Zulauf und 93,9 $\mu\text{g/l}$ für den Ablauf.

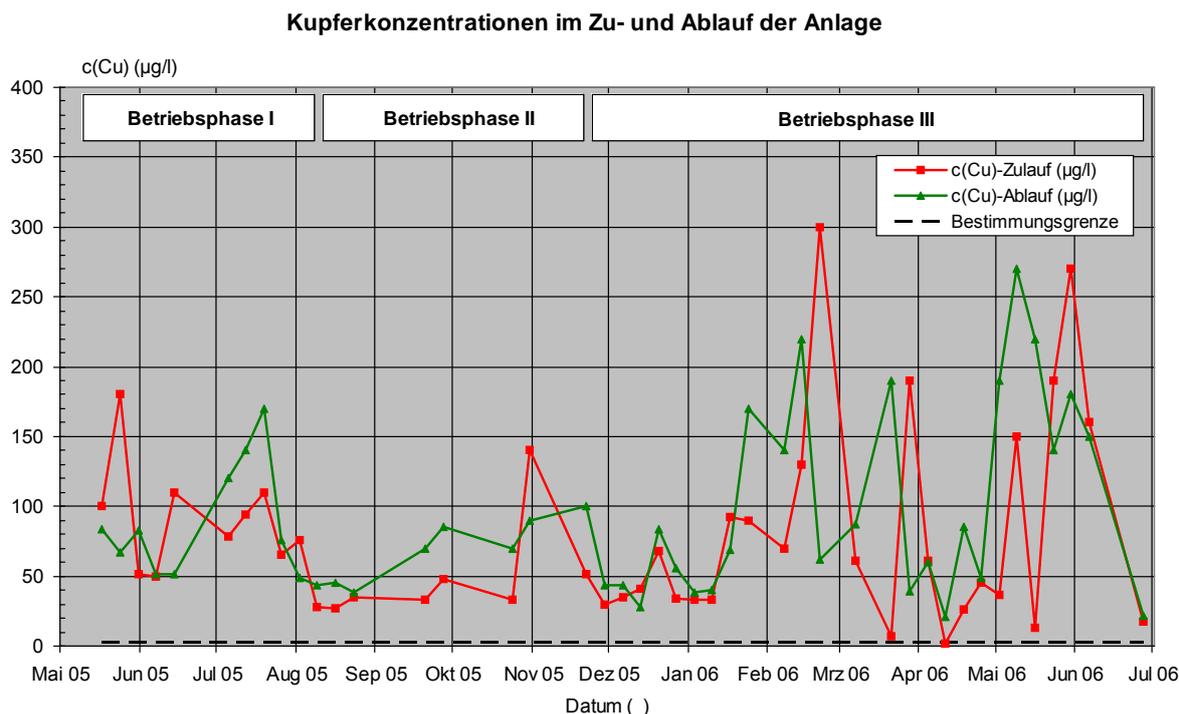


Abbildung 48: Kupfer-Konzentrationen im Zu- und Ablauf der Versuchsanlage

Um den Gesamtwirkungsgrad für die Abscheidung dieses Schwermetalls, inklusive der im Nassschlammfang zurückgehaltenen Stoffmenge, beurteilen zu können, wurden die Massen an Kupfer im Zulauf und Ablauf der Anlage für die einzelnen Wartungsintervalle bestimmt:

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

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

mit

$m(\text{Cu})_{\text{Zu, Wartungsintervall}}$ = Masse Kupfer im Zulauf in (mg)

$m(\text{Cu})_{\text{Ab, Wartungsintervall}}$ = Masse Kupfer im Ablauf in (mg)

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

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

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

Das Ergebnis der Massenermittlung ist in Abbildung 49 dargestellt. Für die Betriebsphasen I und III mit eingebautem Koaleszenzfilter liegen die Gesamtwirkungsgrade zwischen 7 und 56 %. In der Betriebsphase II ohne Koaleszenzfilter werden höhere Massen an Kupfer im Ablauf als im Zulauf verzeichnet. Hierfür werden zwei Effekte als Ursache vermutet:

1. Minderbefund im Zulauf der Anlage, wie bereits im Abschnitt 7.2.5 für die abfiltrierbaren Stoffe diskutiert. Dies gilt auch für den Ablauf in der Betriebsphase II.
2. Rücklösung von Schwermetallen aus den Sedimenten während der Trockenphasen als Folge einer Gleichgewichtseinstellung beim längeren Kontakt zwischen Sediment und Wasser.

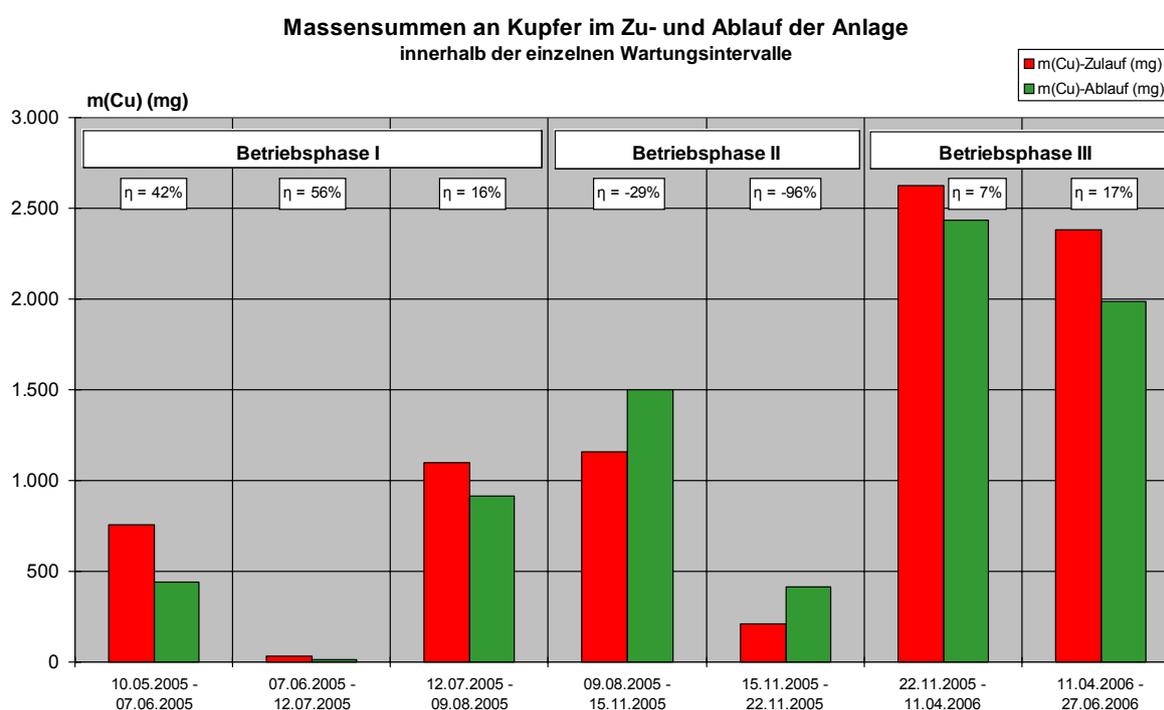


Abbildung 49: Massensummen an Kupfer im Zu- und Ablauf der Anlage sowie der jeweilige Gesamtwirkungsgrad

In Tabelle 13 sind die Kupfergehalte in den einzelnen Sedimenten, die während der drei Wartungsintervalle entnommen wurden, wiedergegeben. Demnach finden sich in den Betriebsphasen I und III die höchsten Konzentrationen im Schlamm des Koaleszenzfilters.

Tabelle 13: Kupfergehalte in den Sedimenten des Centrifloel-Systems

Zeitraum ()	Betriebs- phase	Halbschalen		Kammer 1		Kammer 2		Koaleszenzfilter		Kammer 3	
		Masse (g)	c(Cu) (mg/kg)	Masse (g)	c(Cu) (mg/kg)	Masse (g)	c(Cu) (mg/kg)	Masse (g)	c(Cu) (mg/kg)	Masse (g)	c(Cu) (mg/kg)
10.05.2005 - 07.06.2005	I	419	89	212	43	175	140	22	180	5	110
09.08.2005 - 15.11.2005	II	143	150	158	220	4	190	0	0	10	150
11.04.2006 - 27.06.2006	III	631	200	436	310	189	334	38	470	5	66

Halbschalen = Nassschlammfang

7.2.8.2 Zink

Die während des Anlagenbetriebs gemessenen Zinkkonzentrationen im Zu- und Ablauf der Anlage sind als Ganmlinien in Abbildung 50 dargestellt. Zu Beginn der Betriebsphase I wurden hier im Vergleich zur restlichen Untersuchungsdauer wesentlich höhere Konzentrationen von bis zu 1.500 µg/l im Zulauf verzeichnet, die im weiteren Verlauf stetig abnahmen. Als Ursache wird maßgeblich der während der Einbaumaßnahme verwendete Beton vermutet. Die arithmetischen Mittelwerte ohne Berücksichtigung des Monats Mai 2005 betragen für den Zulauf 199 µg/l und für den Ablauf 192 µg/l. Wie auch beim Parameter Kupfer liegen die Konzentrationen im Ablauf häufig über denen des Zulaufes. Ein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Betriebsphasen mit oder ohne Koaleszenzfilter kann anhand der Konzentrationsverläufe nicht verzeichnet werden.

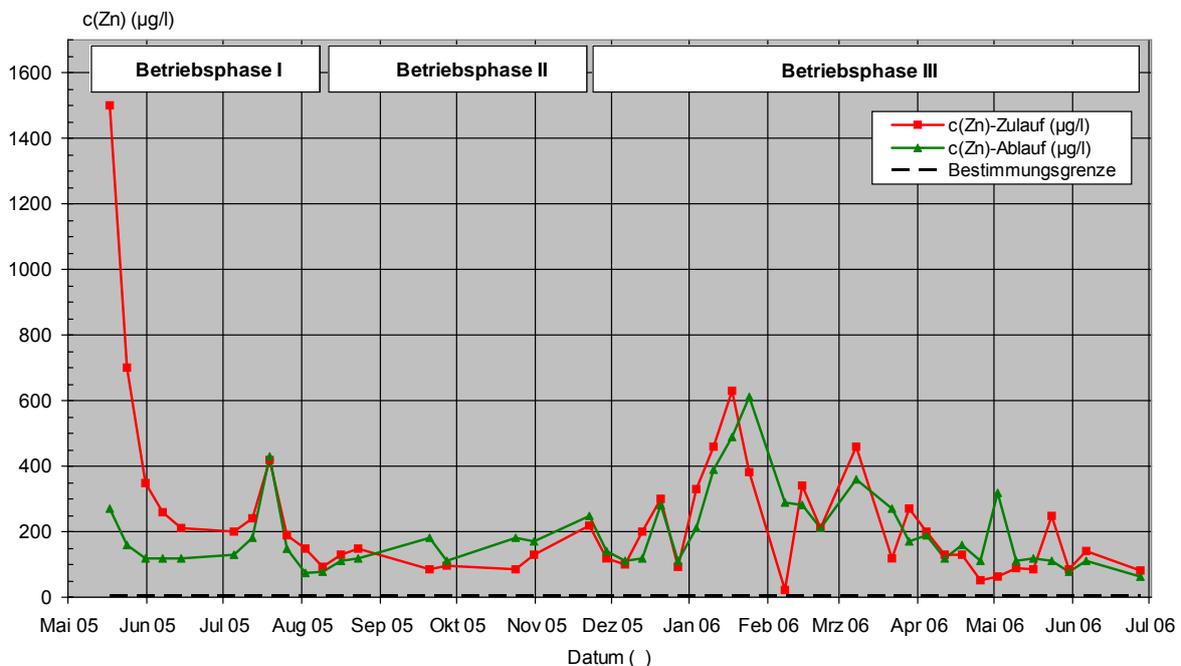


Abbildung 50: Zink-Konzentrationen im Zu- und Ablauf der Versuchsanlage

Zur Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades für die Abscheidung dieses Schwermetalls, inklusive der im Nassschlammfang zurückgehaltenen Stoffmenge, wurden analog zum Vorgehen beim Parameter Kupfer die Massen an Zink im Zulauf und Ablauf der Anlage für die einzelnen Wartungsintervalle bestimmt. Das Ergebnis ist in Abbildung 51 dargestellt. Für die Betriebsphasen I und III mit eingebautem Koaleszenzfilter liegen die Gesamtwirkungsgrade zwischen 8 und 73 %, wobei der Maximalwert innerhalb der Phase I in dem Zeitraum erreicht wurde, der unmittelbar auf den Anlageneinbau folgte. In der Betriebsphase II ohne Koaleszenzfilter werden geringfügig höhere Massen an Zink im Ablauf als im Zulauf verzeichnet. Dieser Befund fällt somit ähnlich aus wie für den Parameter Kupfer.

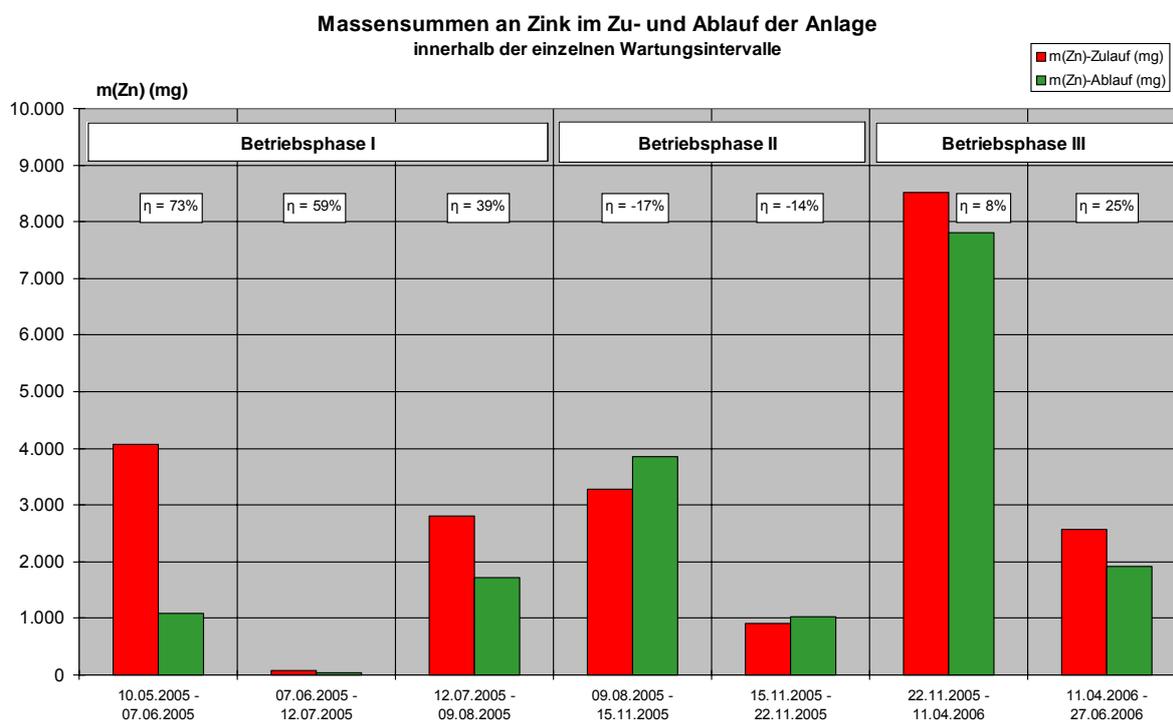


Abbildung 51: Massensummen an Zink im Zu- und Ablauf der Anlage sowie der jeweilige Gesamtwirkungsgrad

In Tabelle 14 sind die Zinkgehalte in den einzelnen Sedimenten, die während der drei Wartungsintervalle entnommen wurden, wiedergegeben. Demnach finden sich, analog zum Parameter Kupfer, in den Betriebsphasen I und III die höchsten Konzentrationen im Schlamm des Koaleszenzfilters.

Tabelle 14: Zinkgehalte in den Sedimenten des Centrifoel-Systems

Zeitraum ()	Betriebs- phase	Halbschalen		Kammer 1		Kammer 2		Koaleszenzfilter		Kammer 3	
		Masse (g)	c(Zn) (mg/kg)	Masse (g)	c(Zn) (mg/kg)	Masse (g)	c(Zn) (mg/kg)	Masse (g)	c(Zn) (mg/kg)	Masse (g)	c(Zn) (mg/kg)
10.05.2005 - 07.06.2005	I	419	460	212	200	175	640	22	830	5	510
09.08.2005 - 15.11.2005	II	143	970	158	940	4	940	0	0	10	720
11.04.2006 - 27.06.2006	III	631	940	436	1500	189	1629	38	2300	5	340

Halbschalen = Nassschlammfang

7.2.8.3 Nickel

Die während des Betriebszeitraumes gemessenen Nickelkonzentrationen im Zu- und Ablauf der Anlage sind als Ganglinien in Abbildung 52 wiedergegeben. Die arithmetischen Mittelwerte betragen für den Zulauf 5,6 $\mu\text{g/l}$ und für den Ablauf 4,8 $\mu\text{g/l}$, wobei folgende Randbedingungen berücksichtigt werden müssen:

- Der Extremwert im Ablauf in Höhe von 66 $\mu\text{g/l}$ vom 23.05.2006 wurde ausgeklammert.
- Für Werte, die unterhalb der Bestimmungsgrenze des Verfahrens (hier 5 $\mu\text{g/l}$) liegen, wurde die halbe Bestimmungsgrenze eingesetzt.

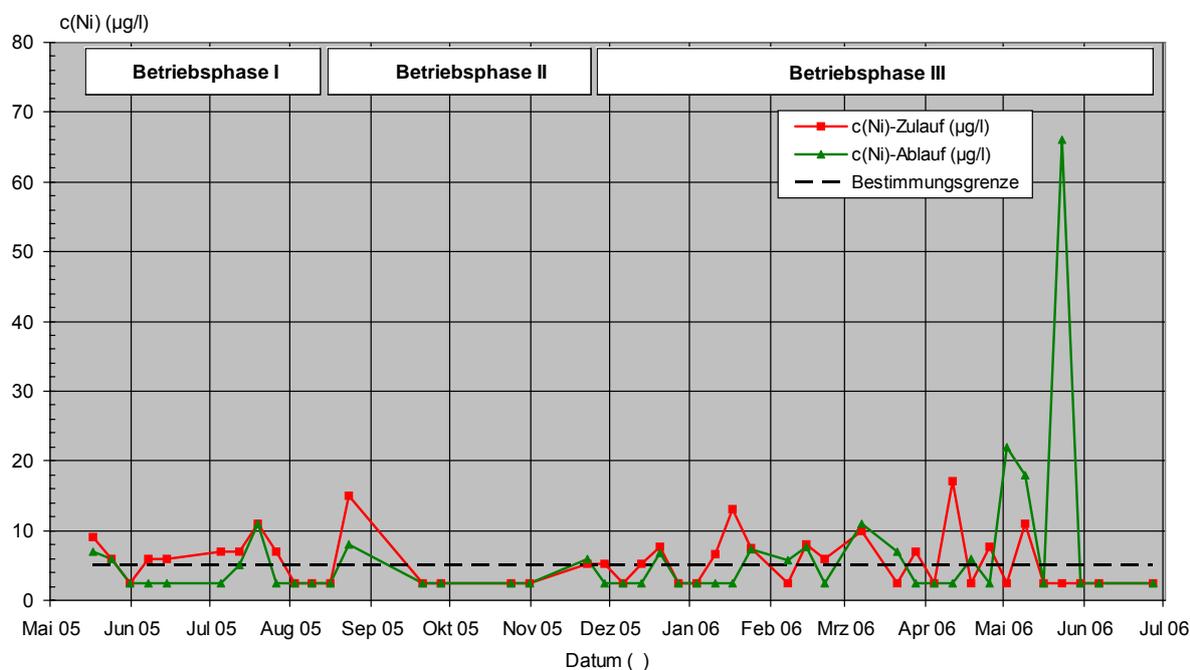


Abbildung 52: Nickel-Konzentrationen im Zu- und Ablauf der Versuchsanlage

7.2.8.4 Chrom

Die während des Betriebszeitraumes gemessenen Chromkonzentrationen im Zu- und Ablauf der Anlage sind als Ganglinien in Abbildung 53 abgetragen. Die arithmetischen Mittelwerte betragen für den Zulauf 6,7 $\mu\text{g/l}$ und für den Ablauf 5,2 $\mu\text{g/l}$, wobei berücksichtigt werden muss, dass für Werte, die unterhalb der Bestimmungsgrenze des Verfahrens liegen (hier 5 $\mu\text{g/l}$), die halbe Bestimmungsgrenze als Konzentration eingetragen wurde.

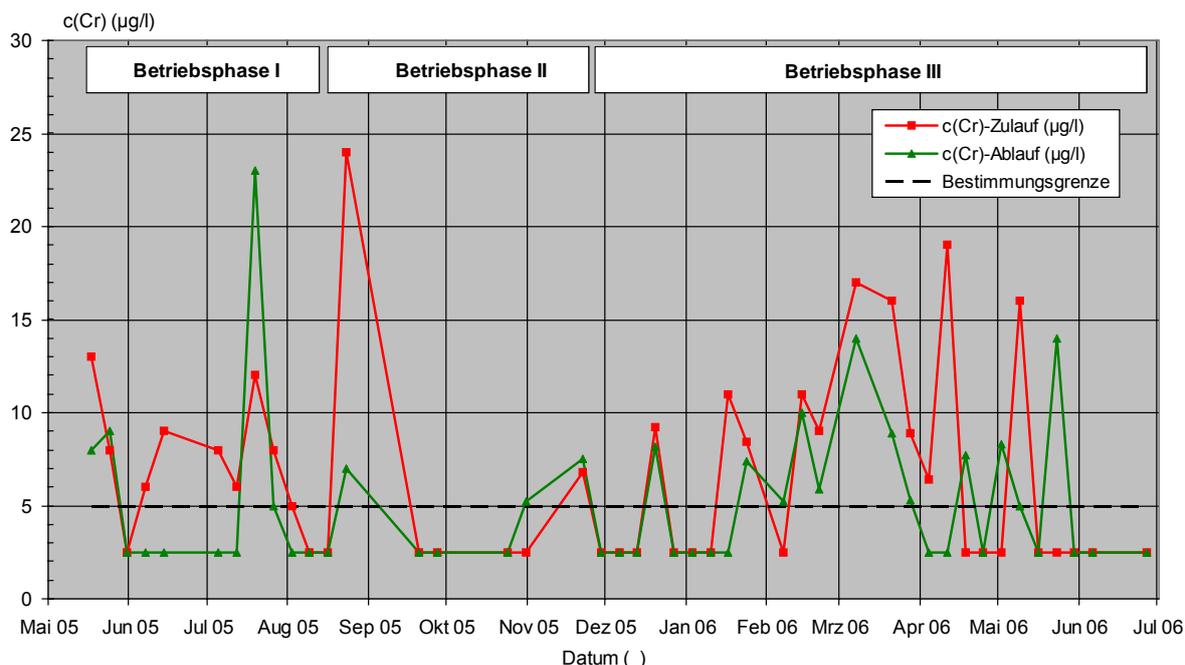


Abbildung 53: Chrom-Konzentrationen im Zu- und Ablauf der Versuchsanlage

7.2.8.5 Cadmium

Die während des Betriebszeitraumes gemessenen Cadmiumkonzentrationen im Zu- und Ablauf der Anlage sind als Ganglinien in Abbildung 54 dargestellt. Die Werte liegen bis auf eine Ausnahme alle unterhalb der Bestimmungsgrenze des Verfahrens (hier 0,5 $\mu\text{g/l}$). Dieser Parameter weist demnach keine Relevanz für die Beurteilung der Reinigungsleistung der Anlage auf.

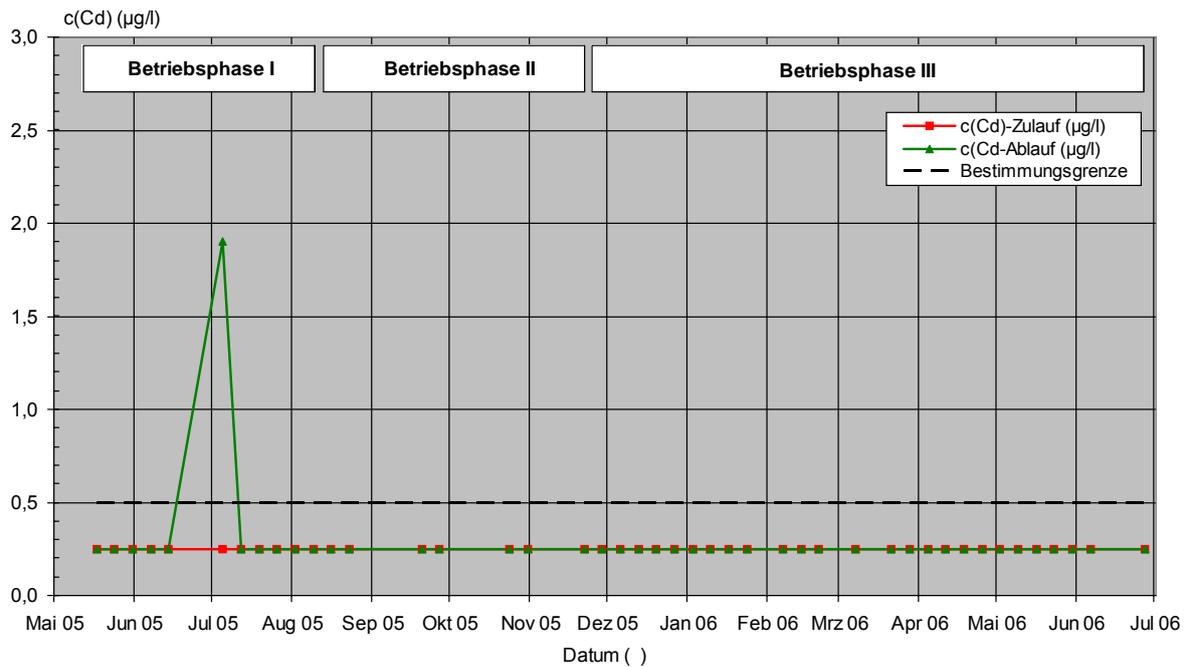


Abbildung 54: Cadmium-Konzentrationen im Zu- und Ablauf der Versuchsanlage

7.2.8.6 Blei

Die während des Betriebszeitraumes gemessenen Bleikonzentrationen im Zu- und Ablauf der Anlage sind als Ganglinien in Abbildung 54 dargestellt. Häufig wurden im Ablauf der Anlage höhere Konzentrationen als im Zulauf bestimmt. Die arithmetischen Mittelwerte betragen 8,8 $\mu\text{g/l}$ für den Zulauf und 13,1 $\mu\text{g/l}$ für den Ablauf aus allen Betriebsphasen.

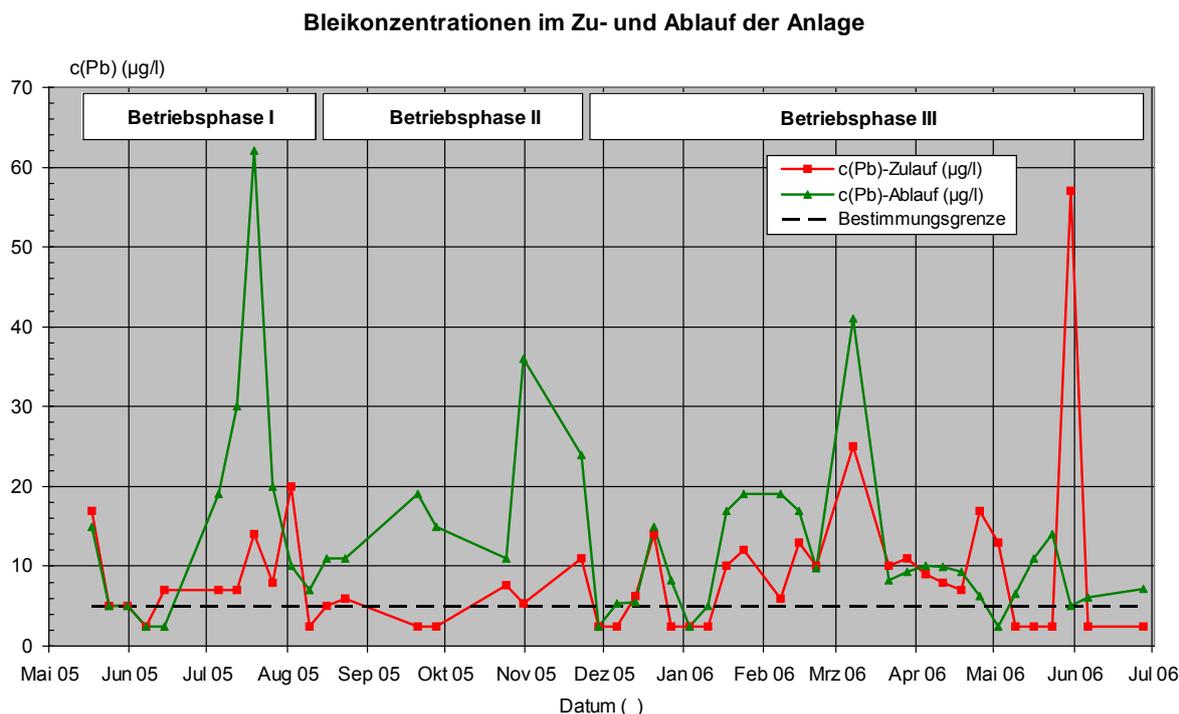


Abbildung 55: Blei-Konzentrationen im Zu- und Ablauf der Versuchsanlage

Analog zum Vorgehen bei den Schwermetallen Kupfer und Zink erfolgte auch für den Parameter Blei die Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades unter Berücksichtigung der im Nassschlammfang zurückgehaltenen Stoffmenge innerhalb der einzelnen Wartungsintervalle. Das Ergebnis ist in Abbildung 56 dargestellt. Für die Betriebsphasen I und III mit eingebautem Koaleszenzfilter liegen die Gesamtwirkungsgrade bis auf eine Ausnahme (22.11.2005 – 11.04.2006) im positiven Wertebereich zwischen 2% und 80 %. In der Betriebsphase II ohne Koaleszenzfilter werden wesentlich höhere Massen an Blei im Ablauf als im Zulauf verzeichnet. Dieser Befund fällt somit ähnlich aus wie für die Parameter Kupfer und Zink.

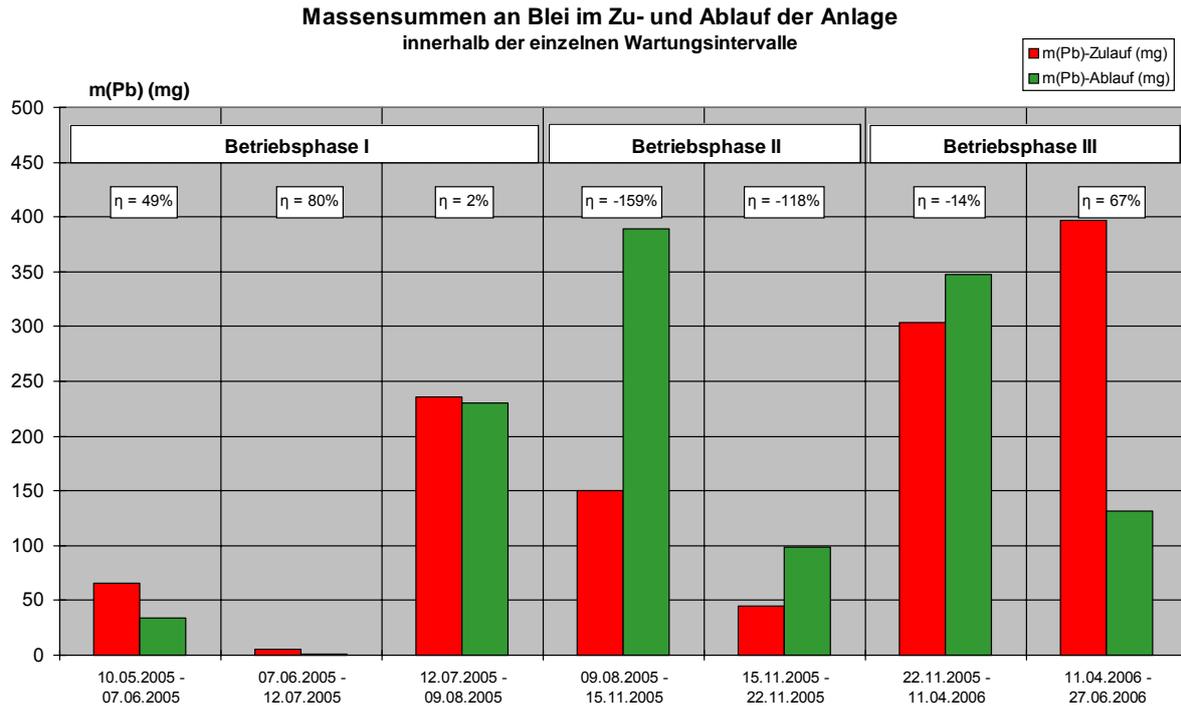


Abbildung 56: Massensummen an Blei im Zu- und Ablauf der Anlage sowie der jeweilige Gesamtwirkungsgrad

In Tabelle 15 sind die Bleigehalte in den einzelnen Sedimenten, die während der drei ausgewählten Wartungsintervalle entnommen wurden, wiedergegeben.

Tabelle 15: Bleigehalte in den Sedimenten des Centrifloel-Systems

Zeitraum ()	Betriebs- phase	Halbschalen		Kammer 1		Kammer 2		Koaleszenzfilter		Kammer 3	
		Masse (g)	c(Pb) (mg/kg)	Masse (g)	c(Pb) (mg/kg)	Masse (g)	c(Pb) (mg/kg)	Masse (g)	c(Pb) (mg/kg)	Masse (g)	c(Pb) (mg/kg)
10.05.2005 - 07.06.2005	I	419	73	212	82	175	61	22	59	5	43
09.08.2005 - 15.11.2005	II	143	35	158	40	4	36	0	0	10	n.b.
11.04.2006 - 27.06.2006	III	631	41	436	67	189	74	38	89	5	27

Halbschalen = Nassschlammfang

n.b. = nicht bestimmt

7.2.9 Kohlenwasserstoffe

Die Bestimmung der Kohlenwasserstoffe im Zu- und Ablauf der Anlage erfolgte in Form von Monatsmischproben. Die Ergebnisse sind in Abbildung 57 dargestellt. Demnach weisen die gefundenen Konzentrationen eine Abhängigkeit von der Jahreszeit auf. Von Juni bis Dezember liegen die Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze des Verfahrens

(hier 0,1 mg/l). In den Wintermonaten ist ein deutlicher Anstieg der Konzentrationen zu verzeichnen, mit der Tendenz einer Abnahme zum Frühjahr. Die arithmetischen Mittelwerte betragen 0,24 mg/l für den Zulauf und 0,25 mg/l für den Ablauf. Somit wird keine Reinigungsleistung für diesen Parameter bei Passage der Anlage erzielt. Allerdings liegen die Konzentrationen der Kohlenwasserstoffe auf einem sehr niedrigen Niveau, und es ist anzunehmen, dass sie nicht als Leichtstofftröpfchen, sondern an Feststoffe assoziiert vorliegen.

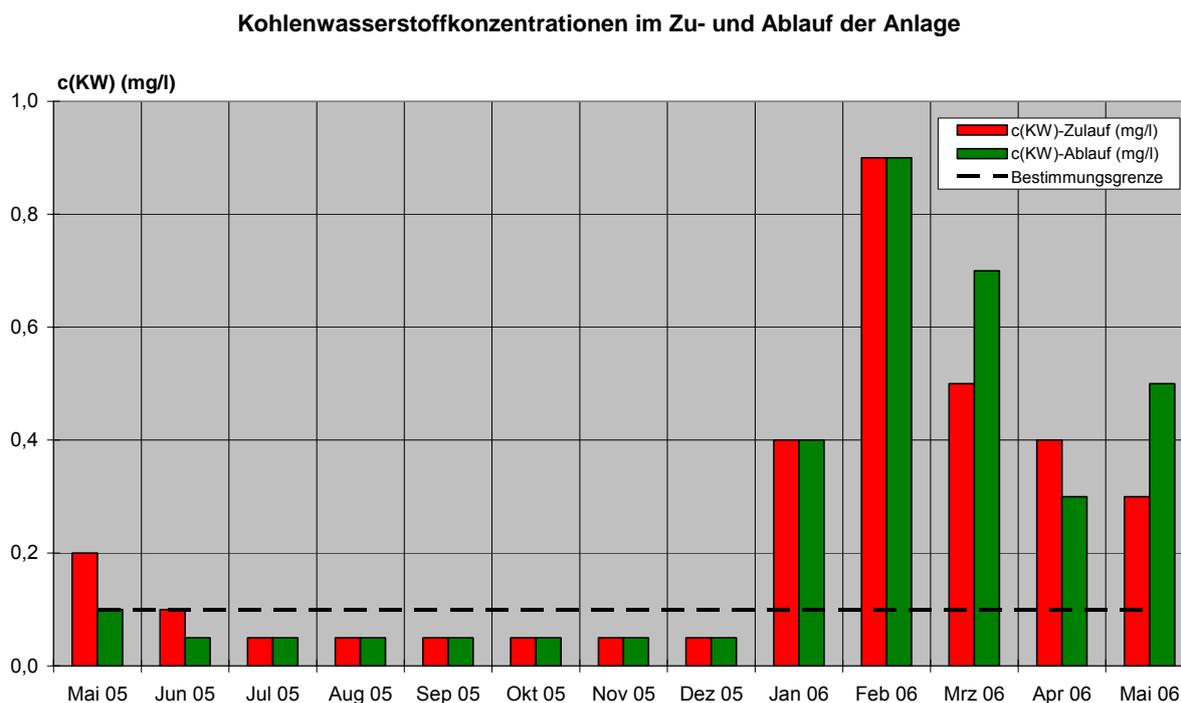


Abbildung 57: Konzentrationen an Kohlenwasserstoffen im Zu- und Ablauf der Versuchsanlage, bestimmt aus Monatsmischproben

7.2.10 Zusammenfassende Darstellung der Reinigungsleistung und Vergleich mit anderen Behandlungsverfahren

In Tabelle 16 sind die Gesamtwirkungsgrade des Centrifloel-Systems für die wichtigsten stofflichen Parameter wiedergegeben. Zur Kennzeichnung der Schwankungsbreite sind die minimalen und maximalen Werte neben den abflussgewichteten Mittelwerten abgetragen. In Tabelle 17 sind die mittleren Wirkungsgrade des Systems konventionellen Reinigungssystemen gegenübergestellt. Daneben sind die in einem eigenen Forschungsvorhaben von 1997 - 1999 ermittelten Reinigungsleistungen einer Schachtfilteranlage aufgeführt. Im Vergleich zu einem Bodenfilter und zum Schachtfilter werden erwartungsgemäß deutlich schlechtere Wirkungsgrade erzielt. Auch bei dem Vergleich mit einem Regenklärbecken, dessen Wirkung maßgeblich auf dem Sedimentationseffekt beruht, liegen die Werte des Centrifloel-Systems, mit Ausnahme für den Parameter abfiltrierbare Stoffe, im unteren Bereich der angegebenen Bandbreite. Demnach ist das Centrifloel-System von der stofflichen Seite her allenfalls mit einem zentralen Regenklärbecken vergleichbar.

Tabelle 16: Wirkungsgrade des Centrifloel-Systems für die Betriebsphasen I und III mit eingebautem Koaleszenzfilter für ausgewählte stoffliche Parameter

Parameter	Minimum	Maximum	Abflussgewichteter Mittelwert	Anmerkung
()	(%)	(%)	(%)	
Abfiltrierbare Stoffe (AFS)	54	68	65	Ausgewählte Intervalle aus Betriebsphase I und III
CSB *	17	32	28	Gesamter Betriebszeitraum in Phase I und III außer 1. Monat
Kupfer	7	56	16	Gesamter Betriebszeitraum in Phase I und III
Zink	8	73	26	Gesamter Betriebszeitraum in Phase I und III
Nickel *	17	56	20	Gesamter Betriebszeitraum in Phase I und III, außer das letzte Intervall
Chrom *	18	72	23	
Blei	2	80	44	Gesamter Betriebszeitraum in Phase I und 2. Intervall aus Phase III

* für die unteren 3 Systemkammern - ohne Nassschlammfang

Tabelle 17: Vergleich der Reinigungsleistung von verschiedenen Systemen zur zentralen und dezentralen Behandlung von Niederschlagswasser

Parameter	Reinigungsleistung [%]			
	Schachtfilter- anlage [7] Mittlerer Wirkungsgrad	Regenklärbecken [8] (mit unterschiedlichen Oberflächen- beschickungen)	Bodenfilter [9]	CENTRIFOEL [®] - System Abflussgew. Mittelwert
AFS	> 99	27-85	73-85	65
CSB		26-55	34-84	28*
Zink	77	12-58	90	26
Kupfer	56	5-75	84-91	16
Blei	94	36-82	54-65	44

* für die unteren 3 Systemkammern

8 Erfahrungen aus dem Anlagenbetrieb und der Wartung

8.1 Anlagenbetrieb

Wie bereits in den Kapiteln 6.2 und 7.1 beschrieben, begrenzt der Koaleszenzfilter die hydraulische Leistungsfähigkeit des Systems erheblich. Während des Versuchszeitraumes erfolgte ein Erfahrungsaustausch zwischen der Fachhochschule und der Stadt Höxter über den Betrieb weiterer Anlagen. Die Erfahrungen hinsichtlich der hydraulischen Belastbarkeit stellen sich dort sogar noch schlechter dar:

Unter anderem kam es im Bereich des Wendehammers der Pfennigbreite auch bei Niederschlagsereignissen geringerer Intensität häufig zu einem Rückstau bis auf die Fahrbahnoberfläche (Abbildung 58), zu dessen Behebung ein Mitarbeiter des städtischen Bauhofes vor Ort eingreifen musste. Als Ursache stellten sich die dort angepflanzten Bäume und das Buschwerk heraus, das zu einem vermehrten Eintrag von Laub in die Anlagen führte. Als Folge trat wiederholt eine Verblockung des Koaleszenzfilters auf.



Abbildung 58: Starkregenereignis vom 19.06.2006. Rückstau des Niederschlagsabflusses vor dem Wendehammer auf der Straße „Pfennigbreite“.

8.2 Durchführung einer Anlagenwartung

Für die Durchführung einer vollständigen Anlagenreinigung sind folgende Arbeitsschritte durchzuführen:

1. Aufnehmen des Gitterrostes
2. Entnahme und Entleerung des Laubfangs
3. Entfernen des Arretierstabes der beiden Halbschalen des Nassschlammfangs
4. Entnahme der Halbschalen des Nassschlammfangs
5. Entnahme der unteren Halbschale, die die zweite und dritte Kammer abdeckt
6. Abpumpen des Anlageninhalts mittels Saugrüssel
7. Entnahme des Koaleszenzfilters und Reinigung („Ausklopfen“)
8. Einsetzen des Koaleszenzfilters
9. Befüllen der Anlage mit ca. 100 Litern Wasser
10. Lösen der Ventilkugel von ihrem Sitz, da diese nicht selbsttätig aufschwimmt (ggf. Anregung mittels Stange o.ä.)
11. Einsetzen der unteren Halbschale
12. Einsetzen der oben Halbschalen des Nassschlammfangs
13. Einsetzen des Arretierstabes
14. Einsetzen des Laubfangs
15. Aufsetzen des Gitterrostes

Der Zeitaufwand für einen Wartungsvorgang beträgt ca. 20 - 30 Minuten. Der Arbeitsschritt 10 (Lösen der Ventilkugel) darf hierbei auf keinen Fall unterlassen werden, da es ansonsten zu einer vollständigen Abdichtung des Systems käme, die nur durch eine erneute Öffnung des Systems mit anschließendem Lösen der Kugel behoben werden könnte.

Die Stadt Höxter verfügt nicht über einen Saugwagen zum Abpumpen des Anlageninhalts. Bei der Wartung findet daher nur eine Entleerung des Nassschlammfangs mittels Maurerkelle und anschließendem Ausklopfen des Koaleszenzfilters statt. Dies bedeutet, dass der Inhalt der unteren drei Kammern nicht vom Schlamm befreit werden kann. Der zeitliche Aufwand wird auch hier mit ca. 30 Minuten je System angegeben. Die spezifischen Kosten für Personal und Fahrzeug werden seitens des Bauhofes Höxter nach Aussage des Bauhofleiters Herrn Probsthain mit ca. 40 Euro pro System abgeschätzt.

8.3 Erfahrungen aus der Anlagenwartung

Die Durchführung der Anlagenwartung ist mit folgenden Problemen behaftet:

1. Der Arretierstab über den oberen Halbschalen lässt sich nur entfernen, wenn die ausführende Person sich auf die Fahrbahndecke kniet. Der Stab muss hierzu stark verformt werden, damit er aus den beiden Arretierungen gelöst werden kann.
2. Das Lösen des Stabes gestaltet sich aufgrund des abgelagerten Feststoffes häufig schwierig. Gleiches gilt für den Wiedereinbau, bei dem Feststoffe, die sich unter den Arretierungen festsetzen, das Fixieren des Stabes erschweren. Entlastung kann durch ein vorheriges Spülen, z.B. durch den Einsatz einer Spritzflasche mit Wasser, erreicht werden.
3. 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.
4. Sofern die unteren 3 Kammern entleert werden (z.B. mittels Saugrüssel), muss anschließend eine Befüllung mit Wasser erfolgen, da die Ventilkugel in der Ablaufkammer sich auf den Dichtring setzt und anschließend nicht mehr aufschwimmt, ohne mechanisch (mittels Stab) angeregt zu werden.
5. Die Entnahme und der Wiedereinbau des Koaleszenzfilters sind nur möglich, wenn sich das Wartungspersonal auf die Fahrbahn legt (Abbildung 59). Der Hersteller hat in einigen Modellen im Griffteil des Koaleszenzfilters eine Bohrung für den Einsatz

eines Zughakens eingebracht - in anderen Modellen fehlte diese. Dennoch stellt der Einsatz eines Zughakens nur bei der Entnahme eine Erleichterung dar; spätestens das Einsetzen des Filters muss liegend erfolgen. Dabei muss der Filter passgenau in die Führungsschienen eingesetzt und dabei leicht gegen die Wandung gepresst werden, was sich oftmals problematisch gestaltet.



Abbildung 59: Ein- und Ausbau des Koaleszenzfilters

8.4 Kritikpunkte aus der Betreuung der Versuchsanlage

Während der Betreuung der Versuchsanlage sind folgende kritische Punkte des Centrifoel-Systems deutlich geworden:

1. Die Anlage weist mit ca. 1,4 m eine Einbauhöhe auf, bei der auf ausreichenden Höhenabstand zum Sammler geachtet werden muss.
2. Das System ist hauptsächlich als Leichtstoffabscheider (Ölabscheider) konzipiert. Auf der Homepage des Herstellers (<http://www.centrifoel.de/produkt.html>) ist eine Kombination mit vorgeschaltetem Schlammfang dargestellt, die sich jedoch kaum zum dezentralen Einsatz in einem Straßenkörper eignen dürfte.
3. In dem hier untersuchten Modell fehlt eine Zusatzöffnung, um eine Kamerainspektion des Kanals zu ermöglichen. Auf der Homepage des Herstellers sind inzwischen allerdings diesbezügliche Alternativprodukte dargestellt.

- Bei längeren Frostperioden kann der Nassschlammfang komplett einfrieren. Zusätzlich kam es im Versuchszeitraum auch zur Bildung einer Eisschicht in den unteren Kammern (Abbildung 60). Starkregen, die unmittelbar auf eine stärkere Frostperiode folgen, könnten in diesem Betriebszustand zum Aufstau auf der Fahrbahn führen.



Abbildung 60: Zugefrorener Nassschlammfang und Eiskecke in der ersten unteren Kammer am 30.01.2006.

8.5 Abschließende Bewertung des Systems

Die Bewertung des Systems als dezentrale Lösung zur Behandlung von schwach belastetem Niederschlagswasser orientiert sich an den Ergebnissen der hydraulischen und stofflichen Untersuchungen sowie der Erfahrungen, die im Betrieb mit der Anlage gesammelt wurden.

Auf der stofflichen Seite werden Reinigungseffekte erzielt, die vergleichbar mit einem mäßig wirksamen Regenklärbecken sind. Der Rückhalt an abfiltrierbaren Stoffen liegt im Mittel bei 65%. Allerdings findet sich hiervon nur die Hälfte der Masse im Nassschlammfang wieder. Der Rest gelangt in die darunter liegenden Kammern, die primär für einen Leichtstoffrückhalt (Öl, Benzin) konzipiert sind, und lagert sich dort ab. Als Barriere zur Abflusseite fungiert nur der Koaleszenzfilter zwischen der zweiten und dritten Kammer. Die Wirkungsgrade zur

Abscheidung von Schwermetallen liegen eher im unteren Leistungsbereich von Regenklärbecken, in denen in der Regel bessere Wirkungsgrade erzielt werden.

Die hydraulischen Daten bei dem bestimmungsgemäßen Betrieb mit eingebautem Koaleszenzfilter stellen sich als unzureichend dar. Die vom Hersteller angegebene maximale hydraulische Belastung mit $Q = 5 \text{ l/s}$ führte am Standort der Versuchsanlage in der Regel zu einem Aufstau des Wassers bis auf Straßenniveau. Die korrespondierende Regenspende von $r = 125 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ tritt für das Gebiet der Stadt Höxter gemäß KOSTRA-DWD 2000 statistisch 1,4 Mal pro Jahr auf und liegt wesentlich unter der Empfehlung nach ATV-A 118 "Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen". Dort wird für Industrie- und Gewerbegebiete im günstigsten Fall ein zweijähriger Bemessungsregen angegeben, der für das Gebiet der Stadt Höxter in der Dauerstufe von 5 Minuten einer Spende von $r = 197 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ entspricht. Mit einer Reduzierung der an die Anlage angeschlossenen Fläche auf ca. 250 m^2 ließe sich diese Forderung erfüllen, wobei jedoch berücksichtigt werden muss, dass im Versuchszeitraum auch Niederschlagsereignisse mit wesentlich geringerer Intensität von $r = 25 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$ zu einem kompletten Einstau des System bis zum Laubfang führten. Es ist nicht anzunehmen, dass unter solchen Betriebsbedingungen eine ausreichende Sedimentation im Nassschlammfang stattfindet, der nur ein Volumen von ca. 20 Litern aufweist. Die in den unteren Kammern gefundenen Sedimente deuten auf eine zu geringe Verweilzeit hin, die bei einem Volumenstrom von $Q = 5 \text{ l/s}$ nur 4 Sekunden beträgt und zur Abscheidung feinerer Feststoffe keinesfalls ausreicht. Hier sind in der Regel Verweilzeiten erforderlich, die im Bereich mehrerer 10 Minuten liegen. Ein maßgeblicher Faktor bei dem Stoffrückhalt im System wird daher dem Koaleszenzfilter zugeschrieben, dessen eigentliche Aufgabe die Koagulation feiner Öltröpfchen sein soll. Die Ergebnisse der Betriebsphase II ohne Koaleszenzfilter lassen zumindest die qualitative Aussage zu, dass ein verminderter Feststoffrückhalt im System stattfindet, wenn der Filter nicht eingebaut ist.

Als Fazit bleibt festzuhalten, dass es sich bei dem betrachteten System um einen Leichtstoffabscheider handelt, der in der vorliegenden Konfiguration mit der Abscheidung von Feststoffen im Nassschlammfang offensichtlich überlastet ist. Die alternative Vorschaltung eines Nassschlammfangs mit einem bedeutend größeren Volumen, wie sie auf der Homepage des Herstellers dargestellt ist, könnte ggf. zu einer Verbesserung der Abscheideleistung beitragen. Allerdings ist ein Einbau dieser Zwei-Behälter-Systeme in den Straßenkörper nur mit entsprechend hohem Aufwand realisierbar.

Der Aufwand für den Betrieb und die Wartung der Anlage liegt im Vergleich zu herkömmlichen Straßeneinläufen wesentlich höher. Zudem sind die durchzuführenden Tätigkeiten bei der Wartung mit einem hohen körperlichen Einsatz verbunden. Setzt man eine monatliche Reinigung des Systems voraus, ergeben sich jährliche Kosten in Höhe von ca. 400 – 500 Euro/Straßeneinlauf für Personal- und Fahrzeugeinsatz. Die Entsorgung des Schlammes ist hierbei nicht berücksichtigt, da diese kostenseitig auch bei zentralen Lösungen auftreten würde. Die genannte Wartungshäufigkeit ist also keinesfalls als praxistauglich zu bezeichnen. Bei Trockengullys geht man beispielsweise vielmehr von 4- bis 12-monatigen Reinigungsintervallen aus [10].

Eine uneingeschränkte Empfehlung für den Einsatz dieses Systems als dezentrale Lösung zur Behandlung schwach belasteter Niederschlagsabflüsse im öffentlichen Straßenbereich kann aus den genannten technischen und betrieblichen Gründen nicht ausgesprochen werden.

8.6 Betriebshandbuch

Die im Antrag des Forschungsvorhabens vorgesehene Erstellung eines verbindlichen Betriebshandbuches setzt voraus, dass die betreffende Anlage in Wartung und Betrieb eine geeignete Alternative zu einem zentralen Behandlungsverfahren darstellt. Dies ist im vorliegenden Fall nicht gegeben. Aufgrund der im Normalfall ausschließlichen Belastung des Niederschlagabflusses mit gelösten und partikulären Stoffen, stellt sich das hier untersuchte Centrifloel-System, welches vorwiegend als Leichtstoff-Abscheider ausgelegt ist, für den Normalfall als nicht geeignet dar.

Eine gewisse Wirksamkeit wäre bei einem Havariefall (Eintrag von freien Kohlenwasserstoffen, etwa bei einem Unfall) zu erwarten, doch diese Situation stellt nicht das primäre Einsatzziel eines dezentralen Behandlungssystems dar und war im Rahmen dieses Vorhabens auch nicht Gegenstand der Untersuchungen.

9 Literatur

- [1] Wassergesetz für das Land Nordrhein-Westfalen in der Fassung vom 25. Juni 1995 (GV. NRW. S. 926)
- [2] Niederschlagswasserbeseitigung gemäß § 51a des Landeswassergesetzes NRW
Runderlass des MURL vom 18.5.1998 (MBI. NRW. 1998 S. 654)
- [3] Anforderungen an die Niederschlagsentwässerung im Trennverfahren,
Runderlass des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz vom 26.05.2004 (MBI. NRW. 2004 S. 583)
- [4] <http://www.centrifoel.de/oeko.html>
Valpertz-Scarabaeus GmbH, Abruf: Juni 2005
- [5] Lange, G.: Gutachtliche Aussage zur Reinigungswirkung des CENTRIFOEL®
Straßenablaufes, Achim, 07. April 1999
- [6] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts, Wasserhaushaltsgesetz (WHG)
vom 19. August 2002 (BGBl. I Nr. 59 vom 23.8.2002, S. 3245)
- [7] Pick, V., Fettig, J., Miethe, M.: Dezentrale Behandlung des gefaßten
Niederschlagswassers von Verkehrsflächen in Schachtanlagen.
Abschlußbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Auftrage des
MUNLV, Höxter 2000.
- [8] Krauth, K.; Stotz, G.: Wirkung von Regenklärbecken für die Reinigung von
Niederschlagswasser, Schlussbericht zum GFA-Forschungsfondsprojekt
11/98, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft,
Universität Stuttgart, April 2000

- [9] Kasting, U.; Janiczek, M.; Grotehusmann, D.: Bodenfilteranlagen zur Reinigung von Abflüssen stark verschmutzter Verkehrsflächen, KA 50 (2003) 9, S. 1428-1433
- [10] Grottker, M.: Möglichkeiten der Regenwasserbehandlung, KA 38 (1991) 7, S. 905-915
- [11] Landesbetrieb Straßenbau Nordrhein-Westfalen: Verkehrszählung am Knoten L 755 / Pfennigbreite in Höxter, Dezember 2004

Anhang 1

Verkehrszählungsdaten

Für eine Abschätzung der Verkehrsdichte wurden Untersuchungen des Landesbetriebs Straßenbau Nordrhein-Westfalen [11] aus dem Zeitraum 9. bis 14. Dezember 2004 ausgewertet und durch eine eigene Verkehrszählung vom 9. Juli 2005 ergänzt. Bei der eigenen Erfassung wurde zwischen ein- und ausfahrenden Pkw unterschieden. In dem Zeitraum wurden insgesamt 4600 Ein- und Ausfahrten, darunter 21 Lkw, im Bereich der Versuchsanlage gezählt. Die Zählungen des Landesbetriebs Straßenbau Nordrhein-Westfalen basieren auf einer Aufzeichnung der Detektoren der Ampelanlage an der Mündung zur Lütmarser Straße. Es muss berücksichtigt werden, dass die Ampelanlage nach eigener Beobachtung von etwa 10 % der Fahrzeuge bei der Ausfahrt nicht passiert wird, da diese über die Verlängerung der Pfennigbreite, parallel zur Lütmarser Straße ausfahren. Diese Differenz muss bei einem Vergleich der graphischen Darstellung der eigenen Verkehrszählung, welche in Abbildung 61 aufgeführt ist, entsprechend berücksichtigt werden.

Insgesamt liegen aus dem Jahr 2004 für 5 Werktage und einen Sonntag Daten für die Verkehrsdichte vor, die in Abbildung 62 bis Abbildung 67 veranschaulicht sind und eine Hochrechnung für die mittlere Verkehrsbelastung erlauben. Demnach beträgt das durchschnittliche tägliche Verkehrsaufkommen am Standort der Versuchsanlage ca. 3.500 Fahrzeuge.

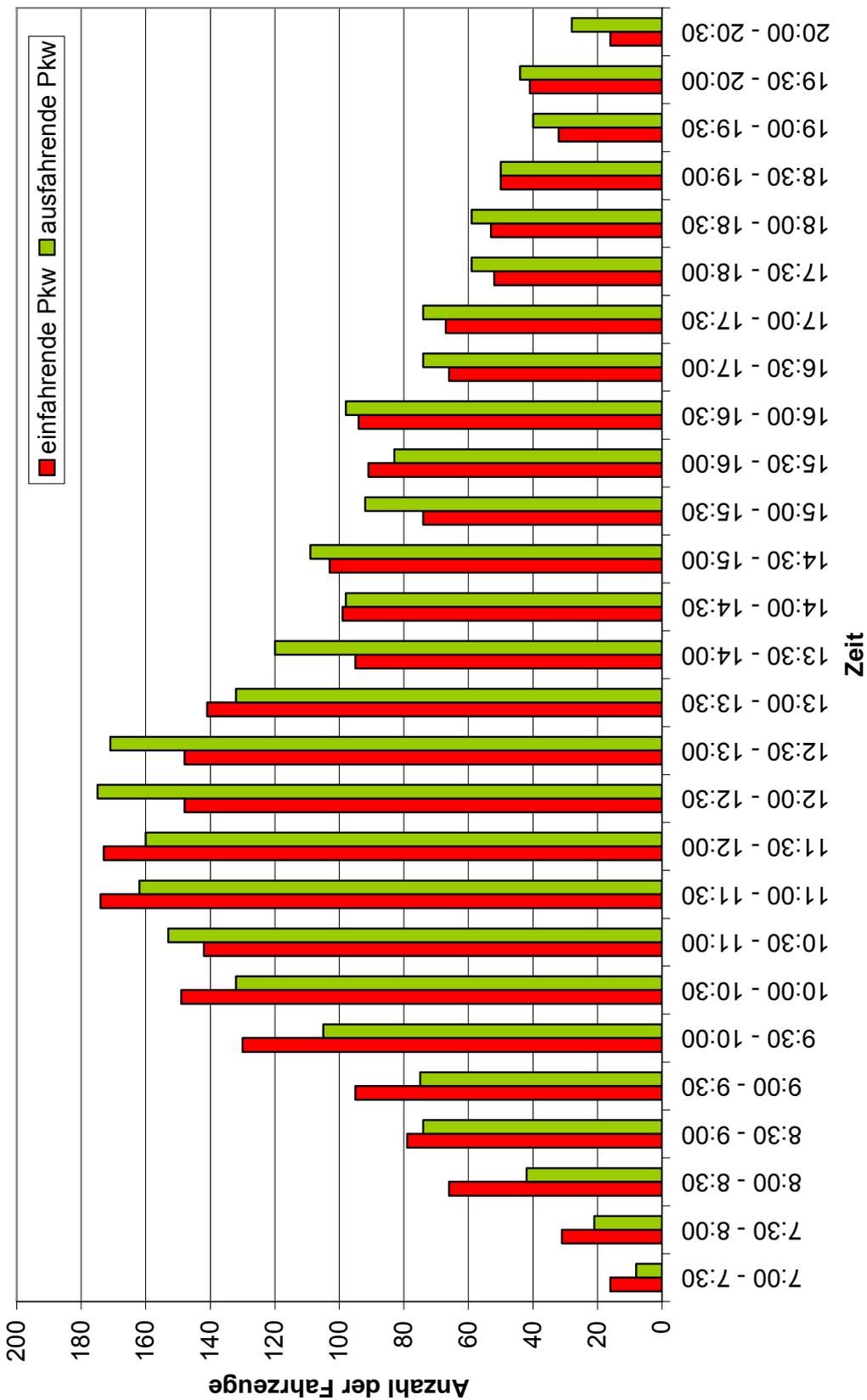


Abbildung 61: Verkehrszählung im Rahmen des Projektes am Samstag, den 09.07.2005

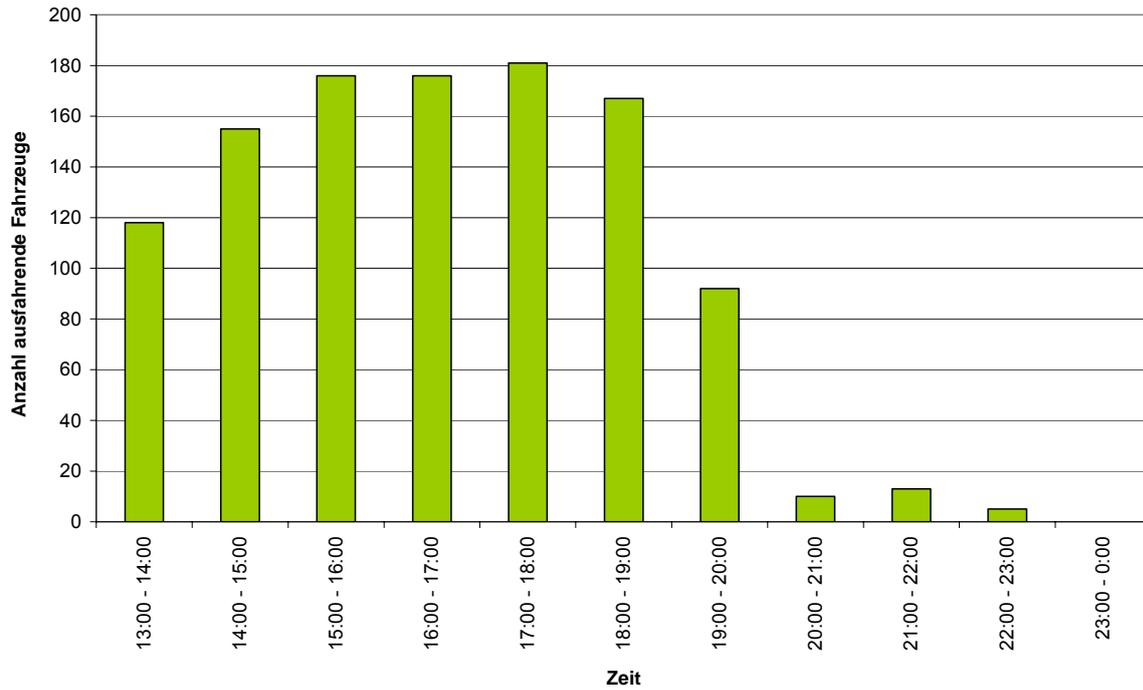


Abbildung 62: Verkehrszählung am Donnerstag, den 09.12.2004 [11]

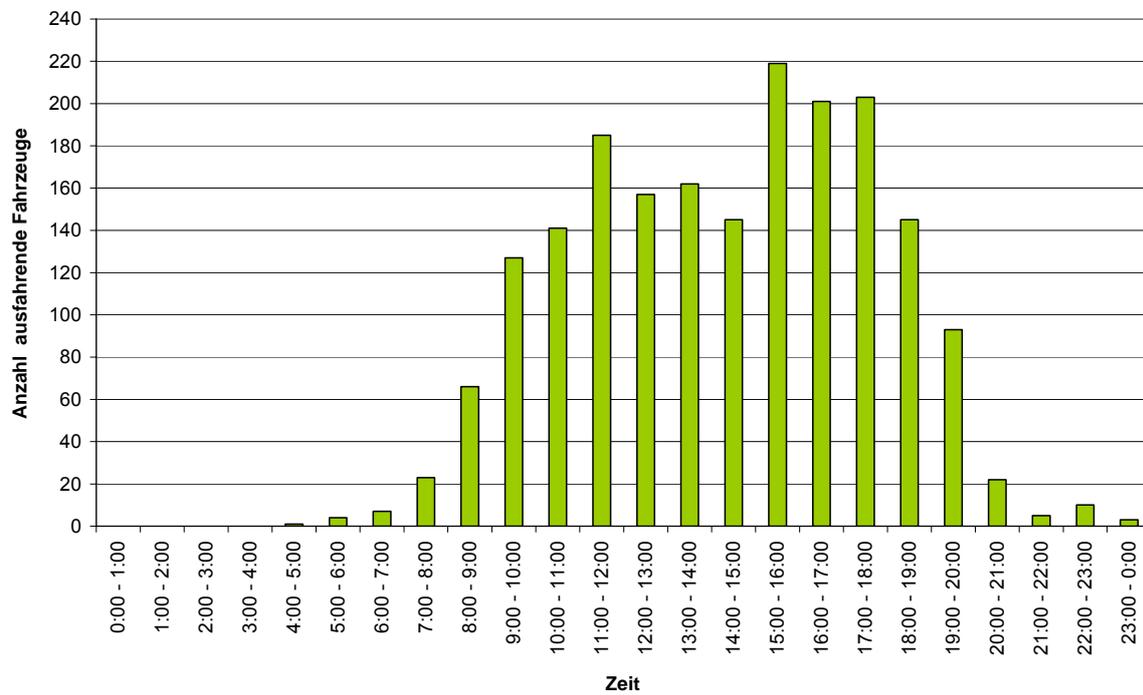


Abbildung 63: Verkehrszählung am Freitag, den 10.12.2004 [11]

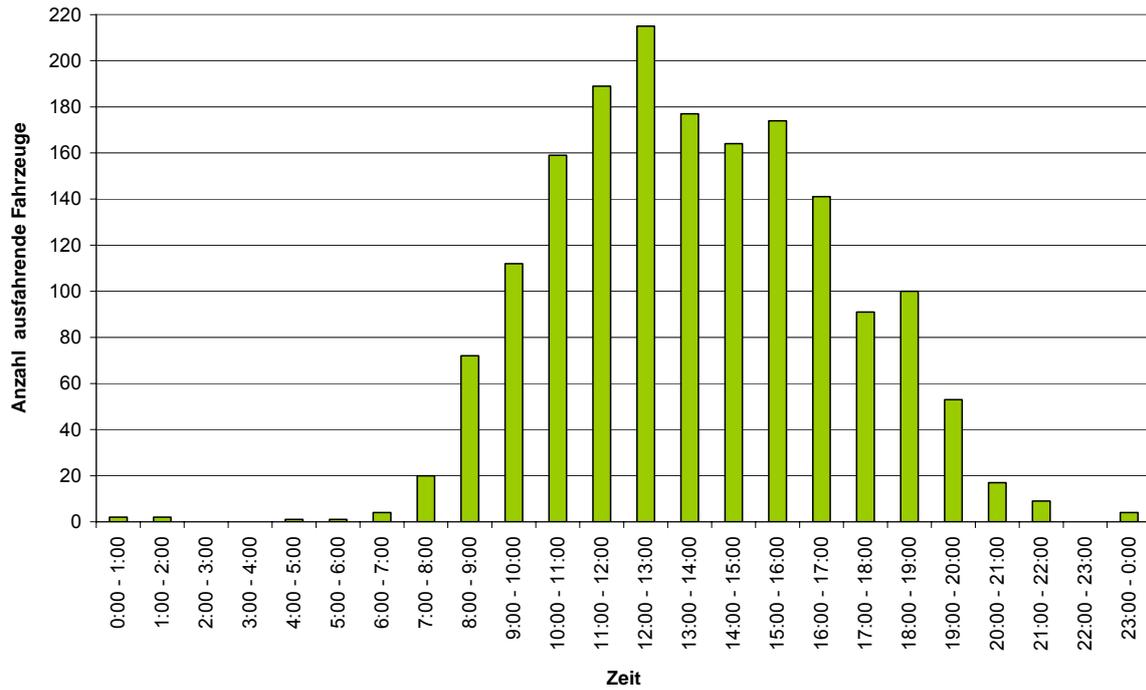


Abbildung 64: Verkehrszählung am Samstag, den 11.12.2004 [11]

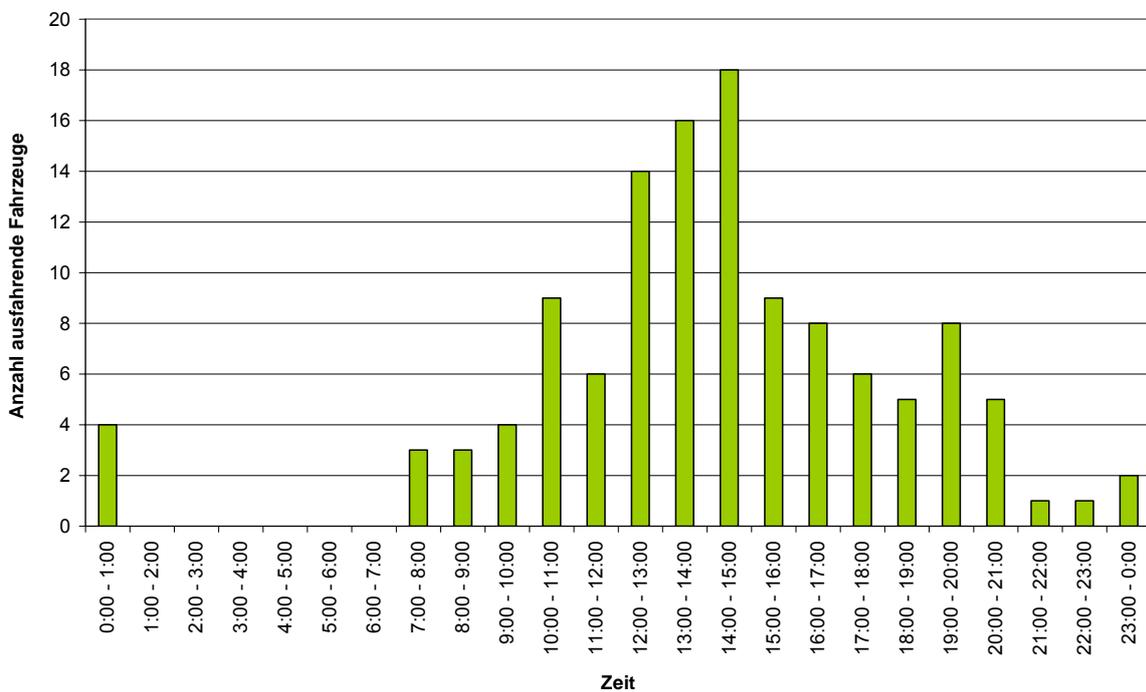


Abbildung 65: Verkehrszählung am Sonntag, den 12.12.2004 [11]

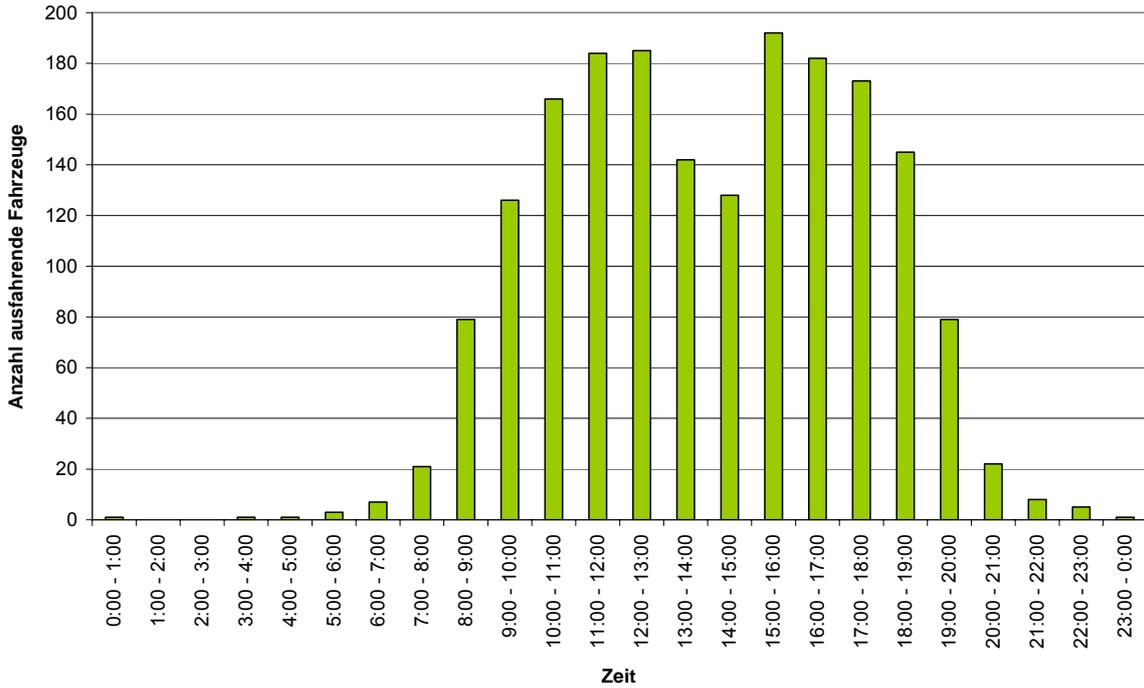


Abbildung 66: Verkehrszählung am Montag, den 13.12.2004 [11]

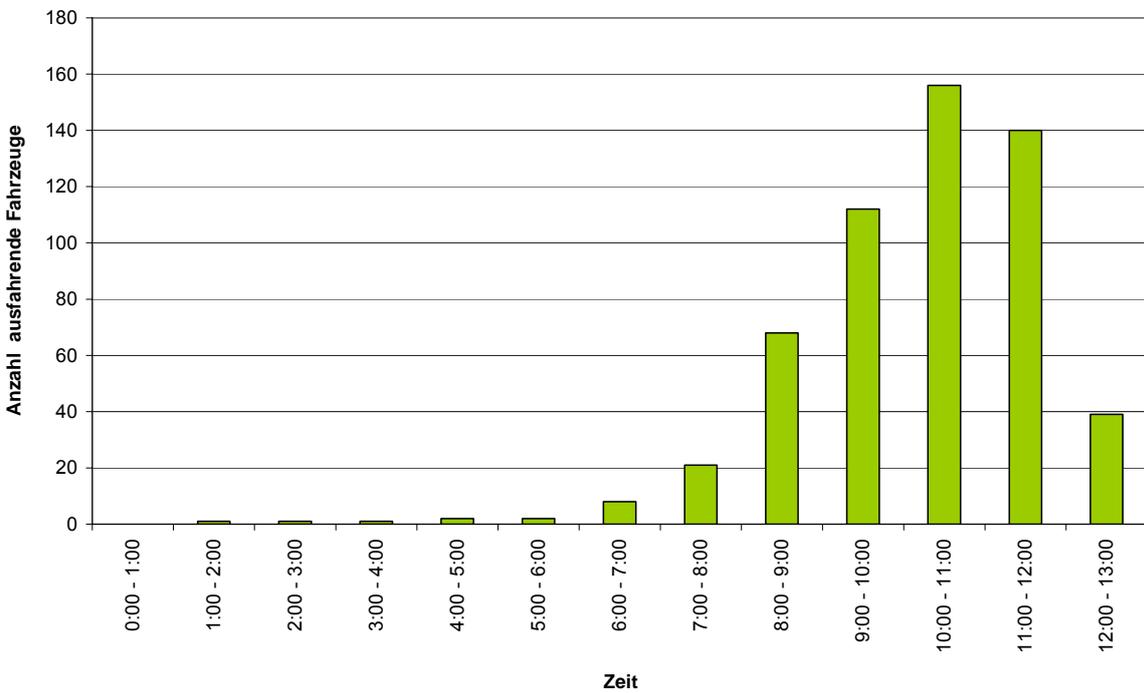


Abbildung 67: Verkehrszählung am Dienstag, den 14.12.2004 [11]

Anhang 2

Starkniederschlagsauswertung

Die Auswertung der Starkniederschläge für das Gebiet der Stadt Höxter erfolgte auf der Basis von Daten aus dem Programm KOSTRA-DWD 2000, die in Tabelle 18 dargestellt sind.

Tabelle 18: Starkniederschlagsdaten für das Gebiet der Stadt Höxter
Quelle: KOSTRA-DWD 2000

Starkniederschlagsauswertung auf der Basis von KOSTRA-Daten (KOSTRA-DWD 2000)

Dauer	Einheit	T _n =0,5 a		T _n =1 a		T _n =2 a		T _n =5 a		T _n =10 a		T _n =20 a		T _n =50 a		T _n =100 a	
		hN	RN	hN	RN	hN	RN	hN	RN	hN	RN	hN	RN	hN	RN	hN	RN
5	min	3,0	99,2	4,5	148,6	5,9	198,0	7,9	263,3	9,4	312,6	10,9	362,0	12,8	427,3	14,3	476,7
10	min	5,3	88,3	7,3	121,5	9,3	154,7	11,9	198,6	13,9	231,9	15,9	265,1	18,5	309,0	20,5	342,2
15	min	6,9	76,4	9,3	102,8	11,6	129,1	14,8	163,9	17,1	190,3	19,5	216,6	22,6	251,4	25,0	277,8
20	min	8,0	66,7	10,7	89,1	13,4	111,4	16,9	140,9	19,6	163,3	22,3	185,6	25,8	215,2	28,5	237,5
30	min	9,5	52,6	12,7	70,3	15,8	88,0	20,1	111,4	23,2	129,1	26,4	146,9	30,6	170,3	33,8	188,0
45	min	10,6	39,4	14,4	53,4	18,2	67,4	23,2	86,0	27,0	100,1	30,8	114,1	35,8	132,7	39,6	146,7
60	min	11,2	31,1	15,5	43,1	19,8	55,0	25,5	70,7	29,7	82,6	34,0	94,6	39,7	110,3	44,0	122,2
90	min	12,5	23,2	17,2	31,8	21,8	40,4	27,9	51,7	32,6	60,3	37,2	68,9	43,3	80,3	48,0	88,9
120	min	13,6	18,8	18,5	25,6	23,4	32,4	29,8	41,4	34,7	48,3	39,6	55,1	46,1	64,1	51,0	70,9

T_n = Wiederkehrhäufigkeit (a)

h_N = Niederschlagshöhe (mm)

R_N = Regenspende (l/(s·ha))

Durch exponentielle Regression wurden die Funktionen zur Beschreibung der Wiederkehrhäufigkeit bei einer gegebenen Niederschlagshöhe in der entsprechenden Dauerstufe ermittelt. Die allgemeine Form lautet:

$$T_n = b \cdot m^{H_N} \quad (\text{Formel 5})$$

mit

T_n = Wiederkehrhäufigkeit in der entsprechenden Dauerstufe (a)

b, m = Dimensionslose Konstanten für die entsprechende Dauerstufe

H_N = Niederschlagshöhe in der entsprechenden Dauerstufe (mm)

Nach Auswertung der KOSTRA-Daten für die einzelnen Dauerstufen erhält man die in Tabelle 19 dargestellten dimensionslosen Konstanten für b und m .

Tabelle 19: Konstanten für die einzelnen Dauerstufen, berechnet aus KOSTRA-DWD 2000

Dauerstufe (Min)	Konstanten	
	m	b
5	1,5978	0,1229
10	1,4174	0,0784
15	1,3406	0,0660
20	1,2952	0,0629
30	1,2438	0,0630
45	1,2005	0,0720
60	1,1755	0,0816
90	1,1612	0,0769
120	1,1523	0,0728

Durch Auflösen der oben stehenden Formel nach H_N erhält man:

$$H_N = \frac{\log T_n - \log b}{\log m} \quad (\text{Formel 6})$$

Für die Wiederkehrzeit $T_n = 0,2$ wurden die Niederschlagshöhen für die einzelnen Dauerstufen berechnet. Das Ergebnis ist in Abbildung 68 dargestellt. Berücksichtigt werden muss die Tatsache, dass die Ergebnisse für $T_n = 0,2$ statistisch nicht über die KOSTRA-Daten gesichert und somit nur als Orientierungswerte zu verstehen sind.

Starkniederschlagsauswertung auf der Basis von KOSTRA-Daten

Regenhöhenlinien mit unterschiedlichen Wiederkehrzeiten für die Stadt Höxter

aus KOSTRA-DWD 2000

erweitert um die Wiederkehrzeit $T_n = 0,2$

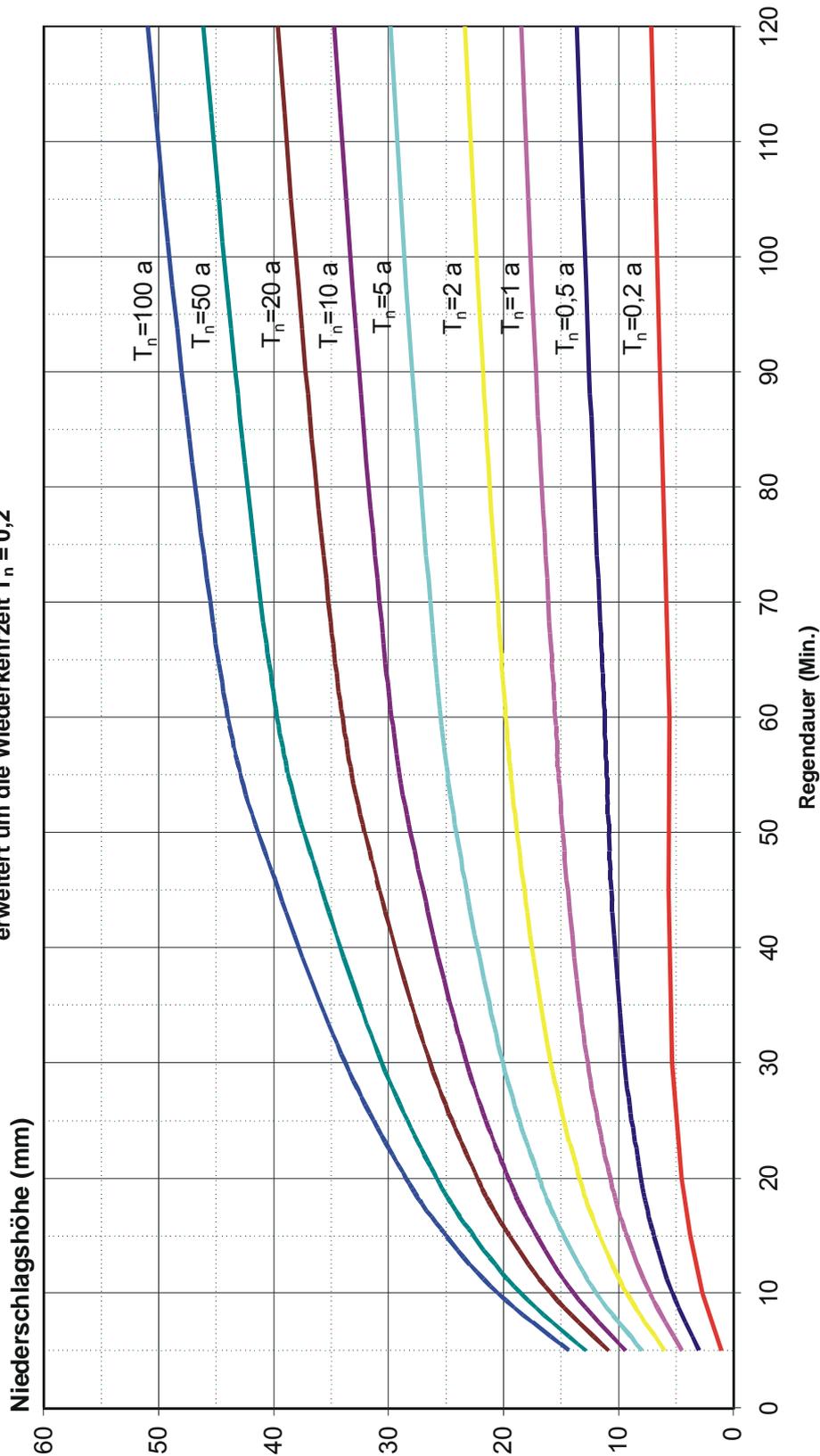


Abbildung 68: Starkniederschlagsauswertung für die Stadt Höxter. Die KOSTRA-Daten wurden um die Wiederkehrhäufigkeit $T_n = 0,2$ erweitert

Anhang 3

Beschreibung der KOSIM-Modellierung

Für den Aufbau und die Kalibrierung des KOSIM-Modells wurden während der Betriebsphase II (ohne Koaleszenzfilter) die durch den Q-Logger gemessenen Durchflüsse verwendet. Die im Modell anfangs angelegte undurchlässige Fläche, die auf dem Parametersatz „Straßenflächen“ basierte, führte trotz Veränderung der Parameter „Benetzungsverluste“, „Muldenverluste“ und „Endabflussbeiwert“ in der Regel zu höheren Abflüssen als die tatsächlich gemessenen. Es wird vermutet, dass durch die beiden abgedeckten Straßeneinläufe im Einzugsbereich der Anlage und dem Rinnstein, der als doppelreihiges Pflaster ausgeführt ist, eine gewisse Menge an Niederschlag versickert bzw. anderweitig abfließt. Dies trat besonders bei geringen Regenspenden ($r < 10 \text{ l/(s}\cdot\text{ha)}$) auf. Hier lieferte KOSIM mit dem Parametersatz „Straßenfläche“ deutlich höhere Werte, als sie an der Anlage aufgetreten sind.

Die Versuchsfläche wurde daher im Modell als „Durchlässige Fläche“ angelegt und eine Anpassung der Parameter vorgenommen, bis eine gute Deckung der berechneten mit den gemessenen Werten erzielt wurde. Die Parameter der Flächen lauten wie folgt:

- Fläche: 400 m²
- Neigungsgruppe: 1
- Benetzungs- / Interzeptionsverluste: 0,50 mm
- Muldenverluste: 1,80 mm
- Anfangsabflussbeiwert: 0,0
- Endabflussbeiwert: 0,90
- Bodenart: Benutzerdefiniert
- Anfangsinfiltrationsrate: 0,050 mm/min
- Endinfiltrationsrate: 0,005 mm/min
- Rückgangskonstante: 43,0 /d
- Regenerationskonstante: 0,144 /d

Die Simulationsergebnisse weisen für die Mehrzahl der Niederschlagsereignisse eine gute Deckung mit den Loggerdaten auf. Lediglich für einzelne Starkregenereignisse wurden mit KOSIM in der Regel etwas geringere Abflüsse berechnet als die in der Realität aufgetretenen. Für die Ausgabe der berechneten Abflüsse unter KOSIM wurde als Bilanzknotenpunkt ein Durchlaufbecken im Hauptschluss verwendet.

Anhang 4

Wasseranalysen

Tabelle 20: Wasserqualitätsdaten für den Zeitraum Mai - August 2005

KW	Datum	Probe	LF [µS/cm]	Trübung [TE(F)]	pH	AFS [mg/l]	CSB [mg/l]	TOC [mg/l]	Kupfer [µg/l]	Zink [µg/l]	Nickel [µg/l]	Chrom [µg/l]	Cadmium [µg/l]	Blei [µg/l]	MKW [mg/l]	Bemerkungen
20	17/05/2005	Zulauf	130	80	7,50	-	114 (gel. 30)	19,06	100	1500	9	13	<0,5	17	Misch-MKW Zulauf: 0,2 Ablauf: 0,1	
		Ablauf	134	80	7,45	-	117 (gel. 16)	26,58	84	270	7	8	<0,5	15		
21	24/05/2005	Zulauf	124	52	7,32	119,4	90	20,85	180	700	6	8	<0,5	11	Misch-MKW Zulauf: 0,1 Ablauf: <0,1	
		Ablauf	135	44	7,57	96,3	82	17,33	67	160	6	9	<0,5	9		
22	31/05/2005	Zulauf	151	24	7,60	49,73	85	23,96	51	350	<5	<5	<0,5	5	Misch-MKW Zulauf: 0,1 Ablauf: <0,1	
		Ablauf	166	20	7,70	30,53	89	20,94	83	120	<5	<5	<0,5	5		
23	07/06/2005	Zulauf	97	20	7,52	61,7	61	17,87	50	260	6	6	<0,5	<5	Misch-MKW Zulauf: 0,1 Ablauf: <0,1	
		Ablauf	99	19	7,45	49,7	68	10,2	51	120	<5	<5	<0,5	<5		
24	14/06/2005	Zulauf	208	7	7,51	-	76	7,45	110	210	6	9	<0,5	7	Misch-MKW Zulauf: 0,1 Ablauf: <0,1	
		Ablauf	240	30	7,73	-	62	15,18	51	120	<5	<5	<0,5	<5		
25	21/06/2005	Zulauf														
		Ablauf														
26	28/06/2005	Zulauf														
		Ablauf														
27	05/07/2005	Zulauf	162	37	8,03		104	31,77	78	200	7	8	<0,5	7	Misch-MKW Juli Zulauf: <0,1 Ablauf: <0,1	
		Ablauf	207	10	8,15		95	51,44	120	130	<5	<5	1,9	19		
28	12/07/2005	Zulauf	165	45	7,95		103		94	240	7	6	<0,5	7	Misch-MKW Zulauf: <0,1 Ablauf: <0,1	
		Ablauf	269	30	8,03		97		140	180	5	<5	<0,5	30		
29	19/07/2005	Zulauf	177	85	7,70		414	68,57	110	420	11	12	<0,5	14	Misch-MKW Zulauf: <0,1 Ablauf: <0,1	
		Ablauf	198	75	7,94		256	60,13	170	430	11	23	<0,5	62		
30	26/07/2005	Zulauf	72	42	7,74	92,2	84	23,56	66	190	7	8	<0,5	8	Misch-MKW Zulauf: <0,1 Ablauf: <0,1	
		Ablauf	77	32	7,82	51,4	62	17,22	76	150	<5	5	<0,5	20		
31	02/08/2005	Zulauf	70	15	6,70	35,60	40	12,93	76	150	<5	5	<0,5	20	Misch-MKW Zulauf: <0,1 Ablauf: <0,1	
		Ablauf	83	8	6,75	17,10	31	9,53	49	74	<5	<5	<0,5	10		
32	09/08/2005	Zulauf	64	24	6,89	21	32	11,11	28	92	<5	<5	<0,5	<5	Misch-MKW Zulauf: <0,1 Ablauf: <0,1	
		Ablauf	67	18	7,00	13,4	37	7,37	44	77	<5	<5	<0,5	7		
33	16/08/2005	Zulauf	48	32	7,95	43,3	100	10,39	27	130	<5	<5	<0,5	5	Misch-MKW Zulauf: <0,1 Ablauf: <0,1	
		Ablauf	61	19	7,90	23,17	64	6,38	45	110	<5	<5	<0,5	11		
34	23/08/2005	Zulauf	49	30	7,87	38,5	81	10,93	35	150	15	24	<0,5	6	Misch-MKW Zulauf: <0,1 Ablauf: <0,1	
		Ablauf	50	12	7,82	8,33	37	6,83	38	120	8	7	<0,5	11		
35	30/08/2005	Zulauf													Misch-MKW Zulauf: <0,1 Ablauf: <0,1	
		Ablauf														

Tabelle 21: Wasserqualitätsdaten für den Zeitraum September - Dezember 2005

KW	Datum	Probe	LF [µS/cm]	Trübung [°E(F)]	pH [-]	AFS [mg/l]	CSB [mg/l]	TOC [mg/l]	Kupfer [µg/l]	Zink [µg/l]	Nickel [µg/l]	Chrom [µg/l]	Cadmium [µg/l]	Blei [µg/l]	MKW [mg/l]	Bemerkungen
36	06/09/2005	Zulauf														
		Ablauf														
37	13/09/2005	Zulauf														
		Ablauf														
38	20/09/2005	Zulauf	43	10	7,24	8	60	9,96	33	85	<5	<5	<0,5	<5	Misch-MKW September Zulauf: <0,1 Ablauf: <0,1	
		Ablauf	62	15	7,26	18	70	15,97	70	180	<5	<5	<0,5	19		
39	27/09/2005	Zulauf	60	14	6,82				48	97	<5	<5	<0,5	<5		
		Ablauf	72	16	6,88				85	110	<5	<5	<0,5	15		
40	04/10/2005	Zulauf														Fehler bei Proberahme
		Ablauf														
41	11/10/2005	Zulauf														
		Ablauf														
42	18/10/2005	Zulauf														
		Ablauf														
43	24/10/2005	Zulauf	42	37	7,12	50,57	80	11,16	42	150	<5	<5	<0,5	7,7	Misch-MKW Oktober Zulauf: <0,1 Ablauf: <0,1	
		Ablauf	48	47	7,13	52	85	17,29	240	180	<5	<5	<0,5	11		
44	31/10/2005	Zulauf	77	22	7,14		70	7,62	140	130	<5	<5	<0,5	5,3		
		Ablauf	82	39	7,22		77	8,11	90	170	<5	5,2	<0,5	36		
45	07/11/2005	Zulauf														
		Ablauf														
46	15/11/2005	Zulauf														
		Ablauf														
47	22/11/2005	Zulauf	67	74	7,44	76,17	85	19,85	51	220	5,2	6,8	<0,5	11	Misch-MKW November Zulauf: <0,1 Ablauf: <0,1	
		Ablauf	70	82	7,20	82,71	97	22,5	100	250	6	7,5	<0,5	24		
48	29/11/2005	Zulauf	115	17	7,60		29	7,48	30	120	<5	<5	<0,5	<5		
		Ablauf	117	16	7,70		37	6,15	44	140	5	<5	<0,5	<5		
49	06/12/2005	Zulauf	45	15	6,89	27,67	41	6,17	35	100	<5	<5	<0,5	<5		
		Ablauf	51	14	7,12	21,17	38	5,9	44	110	<5	<5	<0,5	5,4		
50	13/12/2005	Zulauf	105	59	7,22		54	11,78	41	200	5,2	<5	<0,5	6,2	Misch-MKW Dezember Zulauf: <0,1 Ablauf: <0,1	
		Ablauf	81	20	7,45		37	7,04	28	120	<5	<5	<0,5	5,5		
51	20/12/2005	Zulauf	216	120	7,63	14,3	130	32,49	68	300	7,6	9,2	<0,5	14		
		Ablauf	219	108	7,60	104,67	96	28,67	84	280	6,8	8,2	<0,5	15		
52	27/12/2005	Zulauf	109	26	6,96	27,67	28	8,25	34	94	<5	<5	<0,5	<5		
		Ablauf	120	29	7,01	22,33	29	7,22	56	110	<5	<5	<0,5	8,2		

Tabelle 22: Wasserqualitätsdaten für den Zeitraum Januar - April 2006

KW	Datum	Probe	LF [µS/cm]	Trübung [°E(F)]	pH [-]	AFS [mg/l]	CSB [mg/l]	TOC [mg/l]	Kupfer [µg/l]	Zink [µg/l]	Nickel [µg/l]	Chrom [µg/l]	Cadmium [µg/l]	Blei [µg/l]	MKW [mg/l]	Bemerkungen
1	03/01/2006	Zulauf	4100	15	6,90	18,81	60	15,7	33	330	<5	<5	<0,5	<5		
		Ablauf	2110	11	7,08	10,8	140	12,9	38	210	<5	<5	<0,5	<5		
2	10/01/2006	Zulauf	7620	21	7,15	33,89	50	13,3	33	460	6,7	<5	<0,5	<5	Misch-MKW Januar Zulauf: 0,4 Ablauf: 0,4	
		Ablauf	6660	8	7,18	19,52	50	8,44	40	390	<5	<5	<0,5	5		
3	17/01/2006	Zulauf	7980	54	6,93	92,22	180	39,63	92	630	13	11	<0,5	10		
		Ablauf	7550	6	7,10	12,31	50	10,36	69	490	<5	<5	<0,5	17		
4	24/01/2006	Zulauf	2140	102	7,02	102,72	150	51,29	90	380	7,5	8,4	<0,5	12		
		Ablauf	4090	93	6,88	80,16	90	36,57	170	610	7,4	7,4	<0,5	19		
5	31/01/2006	Zulauf													Leitungen eingeföhren	
		Ablauf														
6	07/02/2006	Zulauf	1632	25	7,39	36,92	110	19,7	70	23	<5	<5	<0,5	6		
		Ablauf	4820	48	7,47	62,57	130	29,84	140	290	5,7	5,2	<0,5	19		
7	14/02/2006	Zulauf	4530	136	7,53	116,08	110	52,39	130	340	8	11	<0,5	13	Misch-MKW Februar Zulauf: 0,9 Ablauf: 0,9	
		Ablauf	2090	100	7,51	77	60	41,37	220	280	7,6	10	<0,5	17		
8	21/02/2006	Zulauf	749	88	7,20	97,98	100	47,08	300	210	6	9	<0,5	10	pH-Wert steigt bei längerem Röhren	
		Ablauf	1008	75	7,20	78,23	140	38,6	62	210	<5	5,9	<0,5	9,8		
9	28/02/2006	Zulauf														
		Ablauf														
10	07/03/2006	Zulauf	3980	248	7,36	171,74	210	63,57	61	460	10	17	<0,5	25		
		Ablauf	3190	204	7,27	136,59	100	62,45	87	360	11	14	<0,5	41		
11	14/03/2006	Zulauf	10220	96	7,18	75,78	80	32,95	210	130	<5	<5	<0,5	20	Misch-MKW März Zulauf: 0,5 Ablauf: 0,7	
		Ablauf	1215	19	7,06	23,43	40	12,27	6,6	120	<5	16	<0,5	10		
12	21/03/2006	Zulauf	1323	13	7,25	12,64	70	15,79	190	270	6,9	8,9	<0,5	8,3		
		Ablauf	560	89	7,28	69,77	100	47,58	190	270	6,9	8,9	<0,5	11		
13	28/03/2006	Zulauf	585	70	7,44	39,29	42	26,43	39	170	<5	5,3	<0,5	9,3		
		Ablauf	163,4	71	7,34	54,99	100	39,64	61	200	<5	6,4	<0,5	9		
14	04/04/2006	Zulauf	166,1	59	7,45	41,1	48	32,72	60	190	<5	<5	<0,5	10		
		Ablauf	137,3	41	7,61	44,36	80	14,11	<3	130	17	19	<0,5	8		
15	11/04/2006	Zulauf	143,6	39	7,54	31,95	27	19,46	21	120	<5	<5	<0,5	9,9	Misch-MKW April Zulauf: 0,4 Ablauf: 0,3	
		Ablauf	81,2	38	7,61	47,25	51	17,19	26	130	<5	<5	<0,5	7		
16	18/04/2006	Zulauf	82,6	41	7,60	40,76	48	20,23	85	160	5,9	7,7	<0,5	9,3		
		Ablauf	81,7	7	6,79		24	11,19	45	62	7,6	<5	<0,5	17		
17	25/04/2006	Zulauf	84,7	23	6,75	20,83	30	18,36	49	110	<5	<5	<0,5	6,2		
		Ablauf														

Tabelle 23: Wasserqualitätsdaten für den Zeitraum April - Juni 2006

KW	Datum	Probe	LF [µS/cm]	Trübung [°E(F)]	pH [-]	AFS [mg/l]	CSB [mg/l]	TOC [mg/l]	Kupfer [µg/l]	Zink [µg/l]	Nickel [µg/l]	Chrom [µg/l]	Cadmium [µg/l]	Blei [µg/l]	MKW [mg/l]	Bemerkungen
18	02/05/2006	Zulauf	78,7	23	7,40	23,64	36	19,79	37	62	<5	<5	<0,5	13		
		Ablauf	78,9	22	7,01	30,95	69	23,82	190	320	22	8,3	<0,5	<5		
19	09/05/2006	Zulauf	103,6	9	7,58		63	14,88	150	90	11	16	<0,5	<5		
		Ablauf	123	8	7,48	22,5	27	18,36	270	110	18	5	<0,5	6,5		
20	16/05/2006	Zulauf	12,5	10	6,50		37		13	85	<5	<5	<0,5	<5		
		Ablauf	14,5	23	7,11		68		220	120	<5	<5	<0,5	11		
21	23/05/2006	Zulauf	86	25	6,69	22,34	42	20	190	250	<5	<5	<0,5	<5		
		Ablauf	92	24	6,97	16,67	39	19,39	140	110	66	14	<0,5	14		
22	30/05/2006	Zulauf	70	22	7,22	16,91	30	13,3	270	85	<5	<5	<0,5	57		
		Ablauf	68	13	7,24	9,5	27	13,66	180	76	<5	<5	<0,5	5,1		
23	06/06/2006	Zulauf	92	33	7,22	32,04	129		160	140	<5	<5	<0,5	<5		
		Ablauf	86	24	7,15	19,48	54		150	110	<5	<5	<0,5	6,1		
24	13/06/2006	Zulauf														
		Ablauf														
25	20/06/2006	Zulauf	94,9	30,5	7,10	906,32	123		86	1700	41	45	0,64	190		Probleme mit Zulaufprobennehmer
		Ablauf	91,5	17	7,17	19,89	105		36	140	<5	9,4	<0,5	8,5		
26	27/06/2006	Zulauf	63,7	16	6,89	23,92	81		17	82	<5	<5	<0,5	<5		
		Ablauf	84,4	11	7,32	16,39	54		22	63	<5	<5	<0,5	7,2		