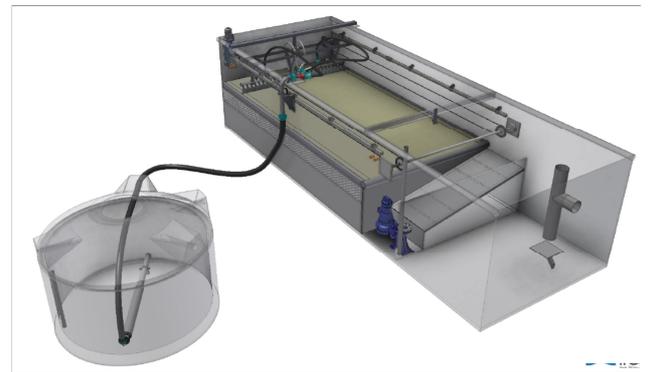


Forschungsvorhaben:

Entwicklung eines
Filterklärbeckens (FKB)

zur zentralen Behandlung von
belastetem Niederschlagswasser



Hagen, 03.12.2015



Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Aufgabenstellung.....	4
1.1	Träger der Maßnahme	4
1.2	Veranlassung	4
1.3	Gegenstand der Planung	5
2	Örtliche Verhältnisse	6
2.1	Beschreibung des Entwässerungsgebietes	6
2.2	Punkt der Entnahme.....	8
3	Beschreibung des Systems	8
3.1	Fließweg und Reinigungsvorgang (gültig für alle Bauzustände).....	8
3.2	Bauzustand 1	10
3.3	Bauzustand 2	12
3.4	Bauzustand 3	15
3.4.1	Prozess der Niederschlagswasserreinigung.....	16
3.4.1.1	Sandfang	16
3.4.1.2	Vlies.....	17
3.4.1.3	Mineralfilter.....	20
3.4.2	Prozesse der Reinigung und Selbstreinigung der Komponenten	23
3.4.2.1	Sandfang	24
3.4.2.2	Vlies.....	24
3.4.2.3	Mineralfilter	26
3.4.2.4	Reinigung Mineralfilter	27
3.5	Steuerung des Systems.....	28
3.6	Betriebssicherheit.....	29
3.7	Untersuchungsprogramm	30
3.7.1	Ableitung der Vergleichbarkeit mit einem Regenklärbecken	30
3.7.2	In Situ (Modellanlage)	30
3.7.2.1	Beschickung der Anlage.....	30
3.7.2.2	Untersuchte Parameter.....	31
3.7.2.3	Probenehmer	32
3.7.2.4	Art der Proben	32
3.7.3	Verifizierung der Messergebnisse	33
3.8	Ergebnisse	33
3.8.1	Reinigungsleistung (in Situ).....	33
3.8.2	Untersuchungsergebnisse	34
3.8.2.1	Abfiltrierbare Stoffe	35
3.8.2.2	CSB und TOC.....	37

3.8.2.3	Kupfer (Cu) und Zink (Zn).....	39
3.8.2.4	PAK und MKW	40
3.8.3	Reinigungsleistung (Labor, IKT)	40
3.8.4	Betriebsergebnisse/Optimierung	41
4	Ausblick/Pilotanlage.....	42
5	Zusammenfassung	44
6	Rechtsverbindliche Unterschriften:	45
7	Literatur	46

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Container der Modellanlage.....	5
Abbildung 2	Orthofoto Einzugsgebiet Regenklärbecken.....	6
Abbildung 3	Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV).....	7
Abbildung 4	Regenklärbecken und Entnahmepunkt.....	8
Abbildung 5	Foto Container gesamt	9
Abbildung 6	Probenahmebereich und Zulauf	9
Abbildung 7	FKB Bauzustand 1 Zeichnungen Liquitec	10
Abbildung 8	Aufbau Mineralfilter Bauzustand 1	11
Abbildung 9	FKB Bauzustand 2	12
Abbildung 10	Verstopftes Vlies nach teilweiser Reinigung (Hochdruckreiniger)	14
Abbildung 11	FKB Bauzustand 3 Zeichnungen Liquitec	15
Abbildung 12	Comtrac®-Geokomposit, Typ 50/50 B25 der Firma Huesker.....	17
Abbildung 13	HaTe® Filtergewebe, Typ 80.557.....	19
Abbildung 14	Strömungsbrecher (Gewebestahlmatte)	26
Abbildung 15	Versuchsaufbau Ausspülung Verschmutzung Mineralfilter	27
Abbildung 16	Mineralfilter ungespült, gespült, verschmutztes Spülwasser	27
Abbildung 17	Spülung Mineralfilter	27
Abbildung 18	Schaltkasten der SPS.....	28
Abbildung 19	Webcam (Bauzustand 3)	29
Abbildung 20	Auszug Fernwirksystem.....	29
Abbildung 21	Probenahmestelle Zulauf.....	32
Abbildung 22	Probenahmestelle Ablauf	32
Abbildung 23	Probenehmer	32
Abbildung 24	Probenahmeart [5]	33
Abbildung 25	Zulauf- und Ablaufproben.....	34
Abbildung 26	Abfiltrierbare Stoffe	35
Abbildung 27	CSB und TOC	37
Abbildung 28	Cu und Zn.....	39
Abbildung 29	3-D-Zeichnung des Prototypen	42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Datenblatt Filtervlies der Firma Huesker	18
Tabelle 2 Vlies des Mineralfilterunterbaus	19
Tabelle 3 Körnungslinie Mineralgemisch 1	21
Tabelle 4 Durchlässigkeitsversuch Mineralgemisch 1	21
Tabelle 5 Körnungslinie Mineralgemisch 2	22
Tabelle 6 Körnungslinie Mineralgemisch 3	23
Tabelle 7 Abgeleitete Rückhaltewirkung RKB.....	30
Tabelle 8 Gesamtreinigungsleistung RKB.....	30
Tabelle 9 Zusammenstellung maßgeblicher Stoffparameter [4]	31
Tabelle 10 Untersuchungsergebnisse	34
Tabelle 11 Versuchsparameter zur Ermittlung des Rückhalts AFS.....	40

Anhänge

- 1 Technische Daten Modellanlage (Bauzustand 3)**
- 2 Technische Daten Spülwasserzisterne**
- 3 Prüfbericht IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur**
Prüfung des Partikelrückhalts eines Filterbeckens:
Laborversuch an einem Filterausschnitt mit Sedimentationsbecken
Vom 13.11.2015; Prüfberichtsnummer F0251
- 4 Prüfbericht IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur**
Prüfung des Partikelrückhalts eines Filterbeckens:
Laborversuch an einem Filterausschnitt mit Sedimentationsbecken
Zusatzuntersuchung
Ermittlung des Rückhalts vom Millisil W4 bei einem simulierten Regenereignis
von 100 L/(s*ha)
Vom 24.11.2015; Prüfberichtsnummer D00953

Erläuterungsbericht

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

1.1 Träger der Maßnahme

Der erste Bauzustand wurde bis Oktober 2011 geplant und konzeptioniert. Bis Juni 2012 wurde die Anlage eingefahren. Ab diesem Zeitpunkt startete das Forschungsvorhaben mit der Entwicklung der Funktion und Nachweis der Reinigungsleistung.

Durch das Land NRW ist mit Zuwendungsbescheid vom 25.11.2011 die Förderung des Projektes bewilligt worden.

Dieser Bericht ist entsprechend den Vorgaben des Zuwendungsbescheides erstellt und die Ergebnisse der Forschung in der Umweltforschungsdatenbank (UFORDAT) eingepflegt worden.

1.2 Veranlassung

Durch die in den letzten Jahren entwickelten dezentralen und semizentralen Systeme ist es möglich geworden, behandlungsbedürftiges Niederschlagswasser effizient am Entstehungsort zu behandeln, sodass in zentralen Anlagen Gesamtabflüsse nicht mehr kostenintensiv gereinigt werden müssen.

Oftmals liegen allerdings Einzugsgebiete vor, die eine Vielzahl unterschiedlichster Flächen beinhalten. Die daraus resultierende große notwendige Anzahl unterschiedlicher dezentraler und/oder semizentraler Systeme bedeutet einen erheblichen Investitions- und vor allem Unterhaltungsaufwand.

Private Flächen (zumeist Gewerbeflächen) müssen in dieses Systemnetz integriert, dessen Unterhaltung kontrolliert und Nutzungsänderungen aller Privat- und Gewerbeflächen nachgehalten werden.

In derartigen Fällen erweist sich ein zentrales System als die effizientere und kostengünstigere Variante. Das in solchen Fällen zumeist eingesetzte Regenklärbecken hat sich, insbesondere bei Betrachtung der hoch belasteten Feinstpartikel, als nur bedingt effizient herausgestellt, da diese Schwebstoffe sich nur zu einem geringen Teil absetzen. Nachgeschaltete Retentionsbodenfilter sind eine sehr wirkungsvolle Ergänzung des Behandlungssystems, haben allerdings die Nachteile der erheblich gesteigerten Investition, Unterhaltung und des Flächenbedarfs. Gerade letzteres stellt im dicht besiedelten urbanen Raum ein großes Problem dar.

Aus diesem Grund wurde durch den Wirtschaftsbetrieb Hagen WBH AöR die Entwicklung eines zentralen Systems zur Behandlung von Niederschlagswasser begonnen, welches in seiner Baugröße und -art einem Regenklärbecken nahe kommt, aber den gesteigerten Rückhalt von Feinstpartikeln ermöglicht.

1.3 Gegenstand der Planung

Ziel ist es, eine Anlage zu entwickeln, die:

- als zentrales System (End of Pipe) funktioniert.
- auch Fahrflächen der Kategorie III (gem. Trennerlass [1]) ausreichend reinigen kann.
- an ihren Abmaßen einem Regenklärbecken nahe kommt.
- überbaubar ist (Anordnung unterhalb von Straßenflächen möglich)
- eine Reinigungsleistung vergleichbar mit einem Regenklärbecken erreicht, aber zusätzlich vermehrt Feinstpartikel zurückhält.
- einen möglichst geringen Einsatz von mechanischen oder elektronischen Anlagenteilen benötigt.
- wartungsarm funktioniert.

Da es sich bei dem System Filterklärbecken (FKB) um eine erhebliche Investition handelt, sind die Anlagenteile der Modellanlage in kleinerem Maßstab entwickelt worden.

Es handelt sich bei der Modellanlage um einen Container mit der Seitenlänge l/b/h von 7,0/2,4/1,7 m (s. Abbildung 1).

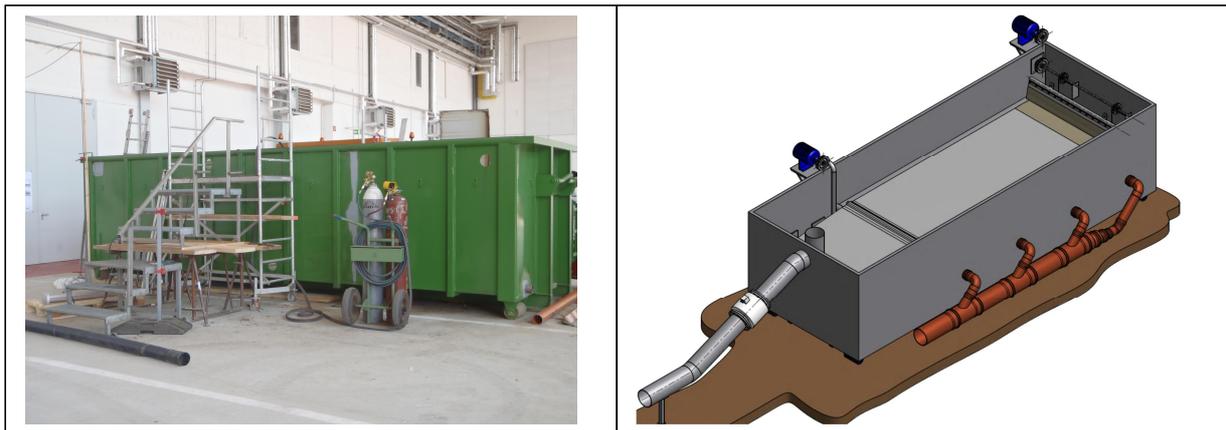


Abbildung 1 Container der Modellanlage

Unter Punkt 3 Veranlassung und Aufgabenstellung sind die Funktion und die Bauteile der Modellanlage des Filterklärbeckens beschrieben.

2 Örtliche Verhältnisse

2.1 Beschreibung des Entwässerungsgebietes

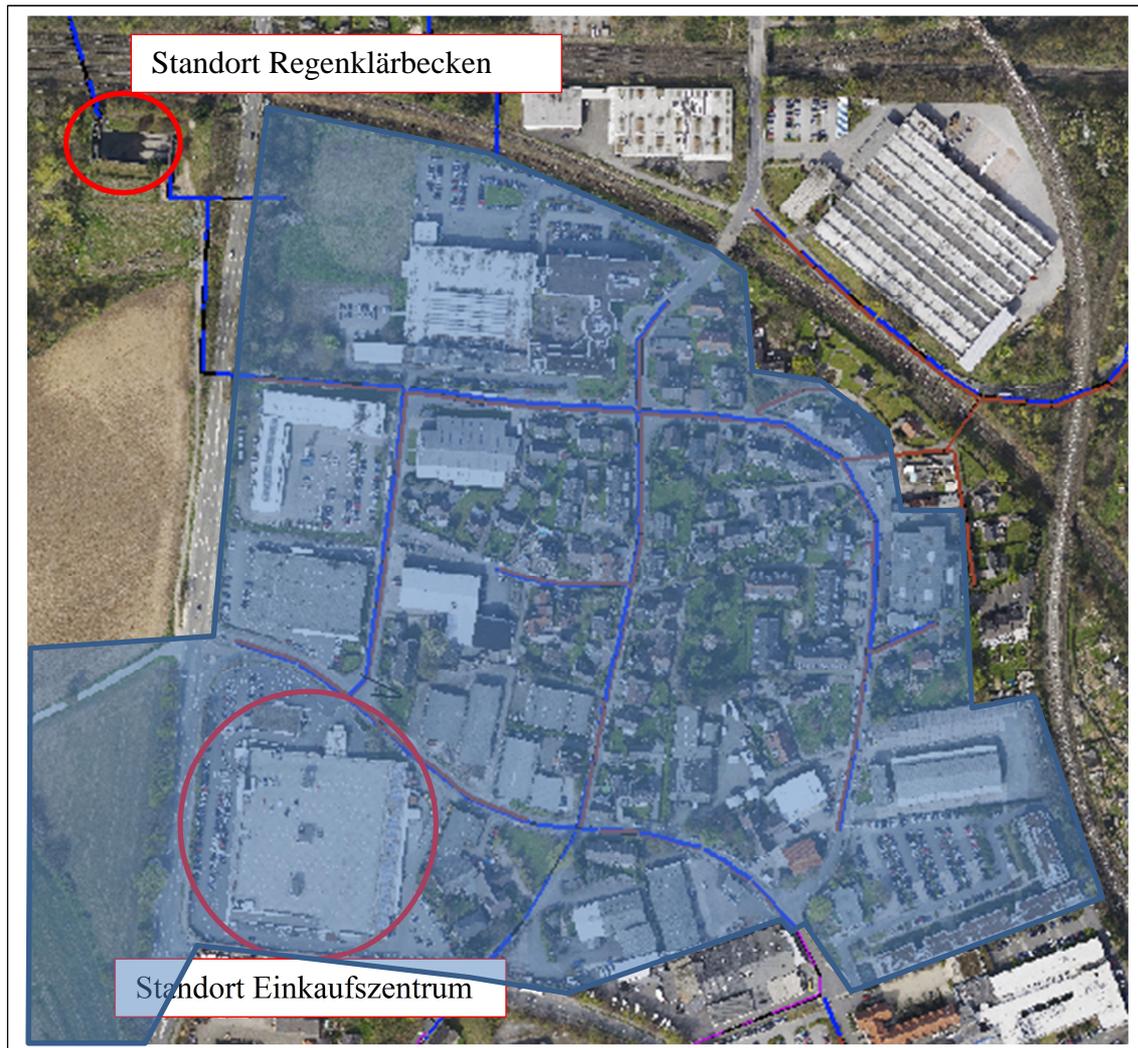


Abbildung 2 Orthofoto Einzugsgebiet Regenklärbecken

Bei dem Einzugsgebiet des Regenklärbeckens, aus dem das Niederschlagswasser für die Modellanlage Filterklärbecken (FKB) entnommen wird, handelt es sich um ein Mischgebiet mit einer Einzugsgebietsgröße von 24,4 ha (ohne Außengebiete). Der Gewerbeanteil der Fläche beträgt 17,2 ha und der des Wohngebiets 7,2 ha. Die nachfolgend aufgeführten Straßenflächen der Dortmunder und Wandhofener Straße bringen zu den bisherigen 24,4 ha weitere 1,3 ha plus einer unbekannt Fläche der BAB 1. Der Befestigungsgrad ist mit 95% anzusetzen.

In dem Gebiet befindet sich ein sehr großes Einkaufszentrum (s. rote Markierung in Abbildung 2). Dort besteht ein sehr hohes Verkehrsaufkommen. Auch das Dach wird als Parkfläche genutzt und ist hoch frequentiert. Lenk- und Bremsmanöver führen, insbesondere in den Stoßzeiten, zu erheblichem Abrieb an Fahrzeugen und der Fahrbahndecke.

Westlich des Gebietes liegen ausgedehnte landwirtschaftlich genutzte Flächen. Aufgrund der dortigen Topografie entwässern diese in das Trenngebiet und führen dann erhebliche Mengen an Inhaltsstoffen mit sich. Die genaue Größe dieser Außengebiete kann nicht festgelegt werden. Dies hängt von der Dauer und Intensität des Niederschlags sowie der Sättigung der Böden durch Vorregen ab.

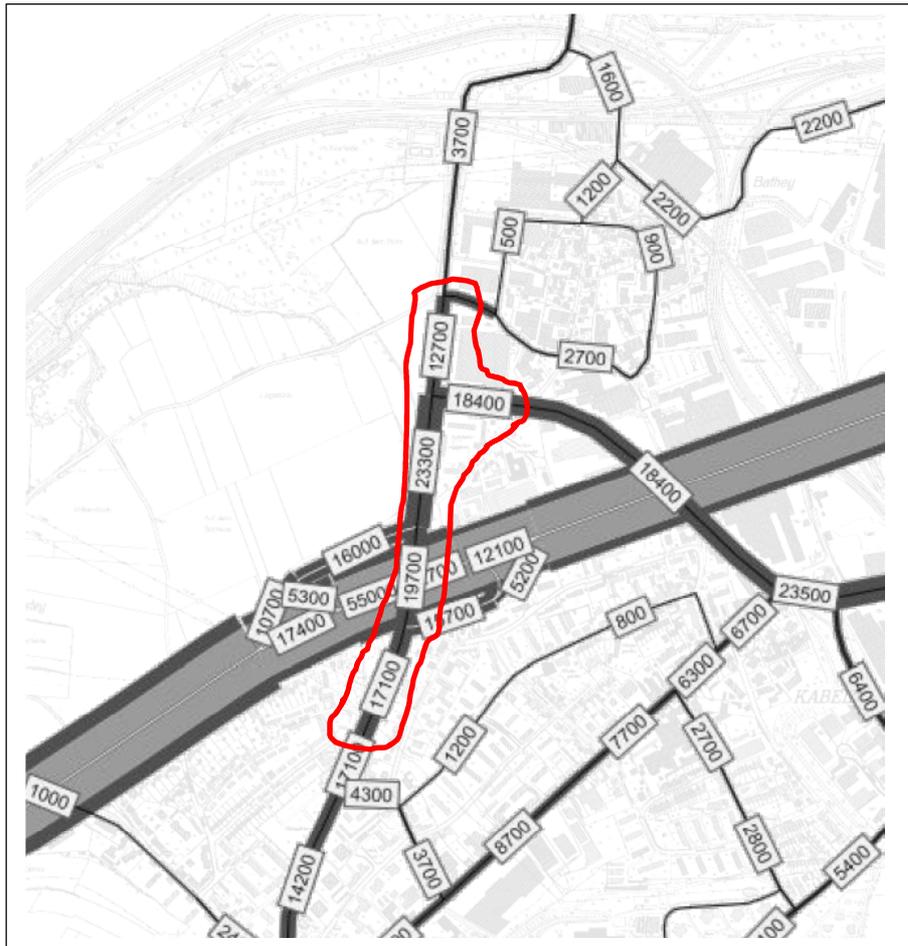


Abbildung 3 Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV)

Vom westlichen Rand bis weit südlich über das Einzugsgebiet hinaus verläuft die Dortmunder und Wandhofener Straße mit einem Verkehrsaufkommen von 12.700-23.300 Kfz/d (s. Abbildung 3). Diese Straßen entwässern über Straßeneinläufe und flachen Seitengräben. Bei starken Regenereignissen kommt es über die Seitengräben zu erheblichen Abflüssen von den Straßen. Bei diesen Straßenflächen handelt es sich um Flächen der Kategorie III [1]

Während der Erprobung des Modells ist im Zulauf Schmutzwasser detektiert worden. Dieses wurde nachverfolgt und beseitigt. Es hat sich in diesem Zusammenhang gezeigt, dass Schmutzwasserfehlanschlüsse sowohl für Mineral- als auch für Textilfilter stark belastend sind und zum Versagen dieser Einheiten führen können.

2.2 Punkt der Entnahme

Das unbehandelte Niederschlagswasser wird aus der Schlammtasche des Zulaufs des dem Trennsystem zugehörigen Regenklärbeckens mittels Kreiselpumpe entnommen.

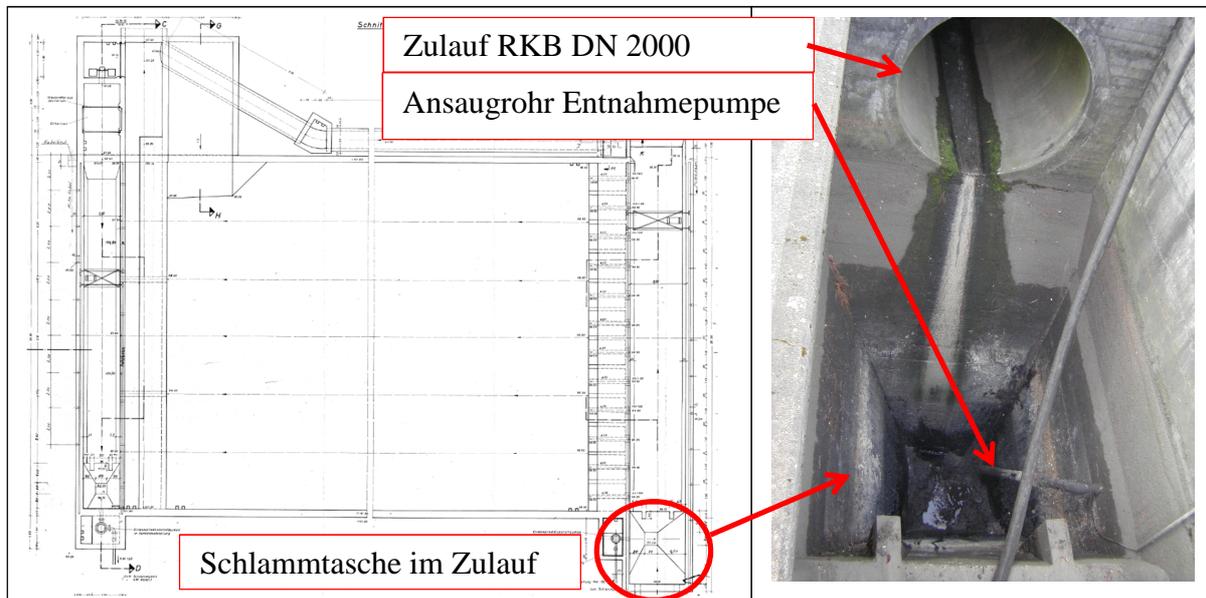


Abbildung 4 Regenklärbecken und Entnahmepunkt

3 Beschreibung des Systems

Ein solches Projekt wird neben den eigenen Planungen und Bauleistungen immer durch Fremdfirmen ergänzt. Es war deshalb bereits vorab klar, dass, zur Sicherung der Ergebnisse der Forschung, dieses System patentrechtlich geschützt werden musste. Das Patent wurde am 14.09.2010 eingereicht und am 14.08.2013 erteilt.

Die Entwicklung der Anlage verlief in einer Vielzahl von Entwicklungsschritten. Die drei maßgeblichen Bauzustände entstanden aus immer wieder neu erhaltenen Erkenntnissen, wobei der finale und aktuelle Bauzustand auch den Endzustand mit voller Funktion darstellt.

Im Nachfolgenden werden die einzelnen Entwicklungs- bzw. Bauzustände kurz beschrieben. Ausführlich wird dann der letzte Zustand erläutert, da dieser die vorhergehenden Erfahrungen beinhaltet bzw. berücksichtigt.

3.1 Fließweg und Reinigungsvorgang (gültig für alle Bauzustände)

Unter Punkt 2.2 ist beschrieben, wo das zu behandelnde Niederschlagswasser entnommen wird.

Eine Kreiselpumpe fördert einen Strom von rd. 23 L/s in den Container. Ein gedükertes MID misst hierbei den Zulaufstrom. In diesem Bereich befindet sich die Entnahmestelle des Probennehmers für den Zulauf. Dieser Zulaufbereich ist in einer Wellblechhütte untergebracht, in der sich auch die Entnahmepumpe für die Ablaufproben mit dem dazugehörige Probennehmer befinden.



Abbildung 5 Foto Container gesamt

Abbildung 6 Probenahmebereich und Zulauf

Der Reinigungsvorgang des verschmutzten Niederschlagswassers ist bei allen Bauzuständen gleich:

1. Sandfang
2. Filterung durch Vliesstoff ($7 \cdot 10^{-2}$ m/s)
3. Filterung durch Mineralfilter (k_f -Wert $\geq 5 \cdot 10^{-3}$ m/s)
4. Ableitung des gereinigten Niederschlagswassers

Die Unterschiede ergeben sich aus der Reinigung des Filtervlieses und des Mineralfilters.

Über ein senkrechttes Rohr gelangt das Wasser in den Sandfang. Grobe Bestandteile setzen sich ab. Anschließend gelangt das Wasser im Bauzustand 1 und 2 (s. Abbildung 7 und Abbildung 9) direkt auf das Filtervlies. Nach dem Sandfang folgt im Bauzustand 3 zunächst ein Pumpensumpf für die vom Vlies zurückgehaltenen Schmutzstoffe.

Das Wasser sickert zunächst durch das Vlies und anschließend durch den Mineralfilter mit einer Stärke von rd. 40 cm.

Am Grund des Mineralfilters befinden sich Drainagen, die das gereinigte Niederschlagswasser sammeln und ableiten. In der Sammelleitung der Drainagen werden die Proben vom Probennehmer genommen. Das gereinigte Niederschlagswasser wird dem Regenklärbecken zugeführt. Dieses gereinigte Niederschlagswasser kann systembedingt nicht wieder in den Zulauf des RKB gelangen, sodass Kurzschlussströme ausgeschlossen sind.

Um bei Versagen der Anlage ein Überlaufen zu vermeiden, ist ein Notüberlauf angeordnet.

Um belastbare und unverfälschte Ablaufergebnisse zu erhalten, wurde der Container innen sandgestrahlt und anschließend mit einer wasserneutralen Grundierung aus dem Trinkwasserbereich und 2 Lagen Dichtschichtlack versehen (MP Dichtschichtgrund und 2 x Dichtschichtlack RAL 5010).

3.2 Bauzustand 1

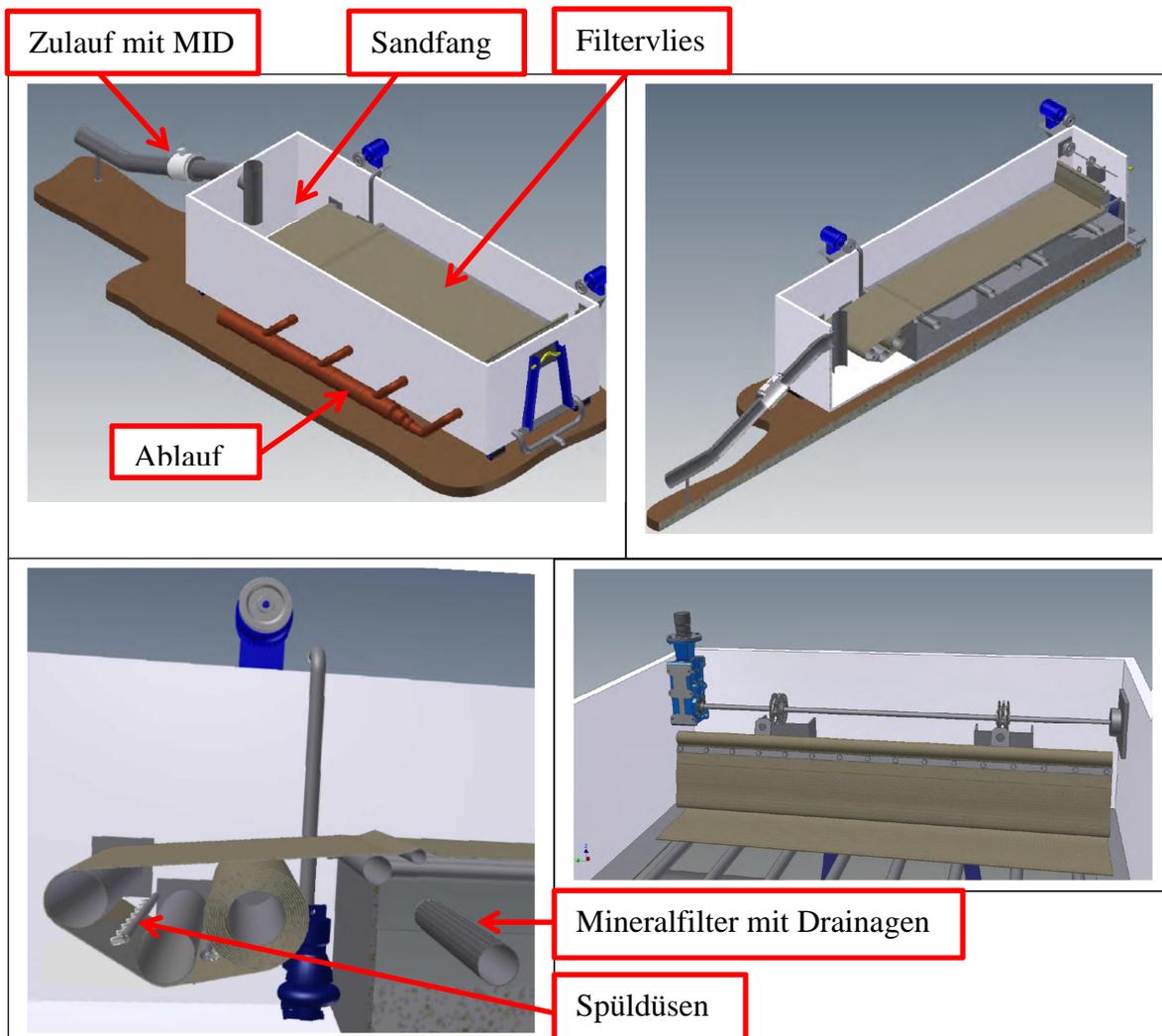


Abbildung 7 FKB Bauzustand 1 Zeichnungen Liquitec

Im ersten Bauzustand wurde das Filtervlies über ein Rollensystem vom Filter in den Sandfang gezogen und dort, entgegen der normalen Durchströmungsrichtung, „von hinten“ gereinigt (Spüldüsen).

Das Filtervlies musste aufgrund der entstehenden Kräfte eine hohe Zugfestigkeit aufweisen. Die hydraulische Leistungsfähigkeit musste mindestens $5 \cdot 10^{-3}$ m/s betragen und die Öffnungsweite möglichst klein sein. Da sich das Filtervlies über alle Bauzustände bewährt kommt es auch im finalen Bauzustand 3 weiter zur Anwendung. Im Bauzustand 3 ist unter 3.4.1.2 Vlies näheres beschrieben.

Der Mineralfilter muss eine dauerhafte hydraulische Leistungsfähigkeit von $5 \cdot 10^{-3}$ m/s haben. Zudem sollten partikuläre Substanzen, die das Vlies passieren, möglichst weitgehend zurückgehalten werden. Aufgrund der kurzen Kontaktzeit mit dem Mineralfilter können gelöste Bestandteile nur zu einem geringen Teil gefällt und ausgefiltert werden. Trotzdem sollte auch dies möglich sein. Näheres ist unter 3.4.1.3 Mineralfilter beschrieben.

Angetrieben wird das Reinigungssystem über einen Hydraulikantrieb von einem Multicar oder einem umgebauten Spülwagen. Der Ex-Schutz ist durch das Fehlen elektrischer Kompo-

nenen gegeben. Nach erfolgter Reinigung wird das Vlies über den hydraulischen Kettenantrieb wieder zurück auf den Mineralfilter gezogen.

Das Spülwasser stammt von einem Spülwagen.

Um beim Ziehen des Vlieses den Mineralfilter nicht zu bewegen, wurden in Zugrichtung bis auf Höhe der Oberkante des Mineralfilters im Abstand von 0,25 m Edelstahlrohre verlegt (s. Abbildung 8). Zudem wurde die oberste Schicht des Filters mit Kieseln (Siebkies 16/32) bedeckt.



Abbildung 8 Aufbau Mineralfilter Bauzustand 1

Es gibt hierzu folgende Erkenntnisse:

- Die Reinigung des Vlieses funktionierte gut.
- Der Mineralfilter blieb, aufgrund der groben rolligen Schicht und den Edelstahlrohren fixiert.
- Der Mineralfilter trägt in den ersten Tagen sehr viel feinstes Eigenmaterial aus.
- Die Ablaufergebnisse waren sehr gut.
- Der Mineralfilter hatte eine zu geringe hydraulische Leistungsfähigkeit (k_f -Wert $< 5 \cdot 10^{-3}$ m/s).
- Die geplante monatliche Reinigung war viel zu gering angesetzt. Es hat sich gezeigt, dass bei stärkeren Regenereignissen zusammen mit dem ersten Schmutzstoß bereits nach 20-30 Minuten die erste Reinigung erforderlich wurde.
- Die Führung über die Rollen konnte gut eingestellt werden. Jedoch würden schon geringe Längenänderungen des Vlieses zu Betriebsproblemen führen. Eine Automation musste ausgeschlossen werden
- Bei einem anstehenden Wasserstand über dem Vlies neigt dieses zum Aufschwimmen. Schmutzstoffe gelangten unter das Vlies. Die oberste Schicht des Mineralgemisches musste anschließend abgeschält werden, um die hydraulische Leistungsfähigkeit wieder herzustellen.

3.3 Bauzustand 2



Abbildung 9 FKB Bauzustand 2

Der Bauzustand 2 stellt den ersten Test der Reinigung des Filtervlieses mittels starr auf dem Mineralfilter liegenden Vlieses und einem über das Vlies fahrenden Räumwagen mit Spüldüsen dar. Eine Automation liegt noch nicht vor.

Der Antrieb des Räumwagens erfolgt wie zuvor durch das Bewegen des Filtervlieses mittels Kettenantrieb, welcher seinerseits über ein Multicar hydraulisch angetrieben wird.

Die Düsen werden über eine Pumpe im Sandfang des Containers mit rd 2,3 bar beschickt. Die Düsen sind starr mit rd. 45 Grad nach vorn geneigt. Die Wasserstrahlen überlappen sich leicht.

Die im Bauzustand 1 angebrachten Stahlrohre zur Führung des Vlieses sind nicht mehr erforderlich und wurden deshalb entfernt.

Das Mineralgemisch aus Bauzustand 1 erbrachte eine sehr gute Reinigung des verschmutzten Niederschlagswassers. Die hydraulische Leistungsfähigkeit blieb aber leicht unter den geplanten $5 \cdot 10^{-3}$ m/s. In Bauzustand 2 wurde ein neues Mineralgemisch getestet. Es entsprach dem

aus Bauzustand 1, jedoch es fehlten die unteren Kornfraktionen. Näheres hierzu siehe 3.4.1.3 Mineralfilter.

Folgende Beobachtungen und Erkenntnisse traten auf bzw. ließen sich ableiten:

- Durch die fehlenden Führungsrohre (aus Bauzustand 1) des Vlieses ist die aktive Versickerungsfläche größer. Das Wasser versickert deutlich schneller auf dem gereinigten Vlies.
- Die Reinigung des Vlieses hat etwa den gleichen Zeitaufwand wie bei Bauzustand 1 (30s => 0,13m/s).
- Das Vlies zeigte nach etwa 2 Wochen Anzeichen von innerer Kolmation. Die Durchgängigkeit ging kontinuierlich zurück und kam schließlich ganz zum Erliegen.
- Die Verwendung eines dünneren Vlieses führte zu keiner Besserung der inneren Kolmation. Die Ablaufergebnisse wurden schlechter.
- Durch massives Spülen des Vlieses (Hochdruckreiniger) mit sauberem Wasser konnte die Durchgängigkeit desselben wieder voll hergestellt werden (s. Abbildung 10).
- Auch nach mehrmaligem Spülen mit einem Hochdruckreiniger war das Vlies unbeschädigt. Die Ablaufergebnisse blieben unverändert gut.
- Bei Beaufschlagung des Vlieses mit sauberem Wasser bei hohem Druck mittels des Räumwagens zeigte sich, dass das Spülwasser vom Mineralfilter nicht schnell genug abgeleitet werden konnte, so dass sich ein schädliches Wasserpolster auf dem Vlies bildete.
- Es wurde deshalb ein Abstand von 3-5 cm zwischen dem Vlies und dem Mineralfilter geschaffen. Das punktuell anfallende Spülwasser durchdringt das Vlies und kann sich auf dem Mineralfilter ausbreiten und versickern.
- Ein Druck von mindestens 7 bar ist erforderlich, um die hydraulische Durchgängigkeit des Vlieses aufrecht zu erhalten.
- Eine Durchtrocknung des Vlieses zeigt eine erhebliche Verbesserung der hydraulischen Eigenschaften, die mit der zuvor beschriebenen Druckspülung für einen langen Zeitraum aufrechterhalten werden kann.
- Der Abstand zum Mineralfilter wurde im ersten Versuch mittels Vlies auf einer Bewehrungsstahlmatte erreicht. Die sich bildenden kleinen „Säckchen“ zwischen den Stäben, weisen eine gewisse Flexibilität auf, sodass das Vlies dem Wasserstrahl ausweichen kann. Die Reinigungsintensität des Vlieses ist reduziert.
- Der grobkörnige Mineralfilter weist eine sehr gute hydraulische Leistungsfähigkeit auf. Die Ablaufergebnisse wurden allerdings bedeutend schlechter.



Abbildung 10 Verstopftes Vlies nach teilweiser Reinigung (Hochdruckreiniger)

3.4 **Bauzustand 3**

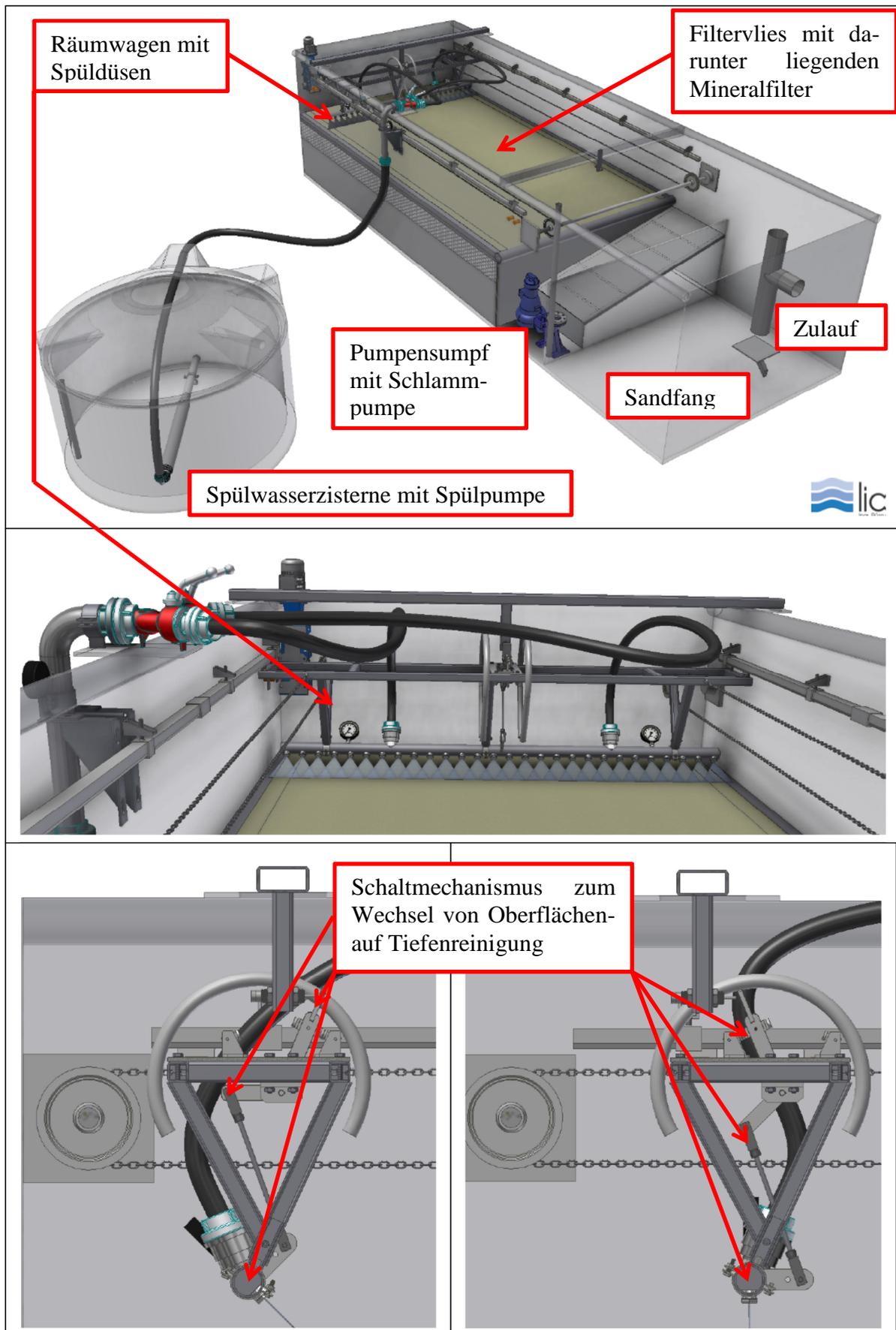


Abbildung 11 FKB Bauzustand 3 Zeichnungen Liquitec

Auch in Bauzustand 3 ist der grundsätzliche Fließweg:

1. Beschickung (rd. 23 L/s)
2. Sandfang
3. Filterung durch Vliesstoff ($7 \cdot 10^{-2}$ m/s)
4. Filterung durch Mineralfilter (k_f -Wert $\geq 5 \cdot 10^{-3}$ m/s)
5. Ableitung des gereinigten Niederschlagswassers

Der Modellcontainer hat eine aktive Versickerungsfläche von $7,57 \text{ m}^2$ ($A=1,94 \text{ m} \cdot 3,90 \text{ m}$). Hieraus ergibt sich bei dem angestrebten k_f -Wert von $5 \cdot 10^{-3}$ m/s eine hydraulische Leistungsfähigkeit von 37,8 L/s. Somit erhält man bei Beschickung der Anlage eine Belastung von 61%.

Über ein senkrechtes Rohr gelangt der Zulauf in den Sandfang. Mittels Prallblech wird eine stete Umwälzung des Sandfangs vermieden.

Über eine Überfallkante fließt das von Grobstoffen gereinigte Wasser über den Pumpensumpf der Schlammpumpe auf das Filtervlies und versickert dort.

Die vom Vlies zurückgehaltenen Substanzen bilden einen Filterkuchen mit einem geringen k_f -Wert. Mit Zunahme des Filterkuchens (die Versickerung verringert sich) beginnt der Wasserstand in der Anlage zu steigen. Erreicht dieser einen kritischen Wert (wahlweise 5-15 cm), wird der Zulauf gestoppt. Das Filtervlies wird, wie unter 3.4.2.2 beschrieben, gereinigt.

Unter dem Filtervlies liegt der Mineralfilter, in dem noch vorhandene Partikel aus dem Niederschlagswasser entfernt werden. Eine begrenzte chemische Reaktion mit gelösten Substanzen findet statt, so dass auch diese zu einem geringen Teil aus dem Wasser entfernt werden. Sich im Mineralfilter akkumulierende Schmutzpartikel werden, aufgrund der senkrecht nach unten ausgerichteten Fließrichtung und dem Eigengewicht der Schmutzstoffe, in einem Schlammraum unter dem Mineralfilter gesammelt. Näheres hierzu siehe 3.4.1.2 und 3.4.2.3.

Das gereinigte Niederschlagswasser füllt die Spülwasserzisterne wieder auf. Ist diese gefüllt, fließt das Wasser über den Überlauf der Zisterne, vorbei an dem Entnahmepunkt der Ablaufproben, bis in den hinteren Bereich des Regenklärbeckens zur anschließenden Einleitung in das Gewässer.

3.4.1 Prozess der Niederschlagswasserreinigung

3.4.1.1 Sandfang

In der Modellanlage hat der Sandfang eine untergeordnete Bedeutung, da es diesbezüglich bereits eine Reihe von ausgereiften Systemen gibt.

Ein Absetzvorgang der Grobbestandteile findet statt. Insbesondere durch die Anordnung einer Prallplatte im Zulauf hat sich dieser Vorgang noch verstärkt, sodass die Beaufschlagung des Filtervlieses mit der in der späteren Großanlage vergleichbar ist.

Eine Tauchwand ist nicht, wie für spätere Großanlagen vorgesehen, angeordnet. Schwimmstoffe und Leichtflüssigkeiten gelangen nicht in die Modellanlage, da die Zulaufpumpe das Wasser aus der Schlammtasche des Regenklärbeckens fördert. Das Saugrohr ist dabei permanent mindestens 1,0 m unter der Wasseroberfläche getaucht und wirkt deshalb wie eine Tauchwand.

3.4.1.2 Vlies

Filtervlies

Das Filtervlies hat eine zentrale Bedeutung bei dem Filterklärbecken. Es hat die Aufgabe, den Hauptteil der partikulären Substanzen herauszufiltern. Gleichzeitig muss eine dauerhafte hydraulische Leistungsfähigkeit ($\geq 5 \cdot 10^{-3}$ m/s) erhalten bleiben.

Der Reinigungsvorgang bedeutet eine hohe mechanische Beanspruchung. In Bauzustand 1 wurde das Vlies zusammen mit dem Filterkuchen über ein Rollensystem aufgewickelt und dabei mittels Spüldüsen unter hohem Druck (rd. 2,3 bar an den Düsen) gereinigt. Das Vlies durfte hierbei keine Längenänderung erfahren, damit der Auf- und Abrollvorgang sicher ablaufen konnte. Zur Wahrung der Reinigung durfte sich die Öffnungsweite nicht vergrößern.

Zum Einsatz kam und kommt das Comtrac-Geokomposit, Typ 50/50 B25 der Firma Huesker. Es handelt sich hierbei um ein amorphes Vlies mit Bändchennaht. In Bauzustand 2 und 3 hat sich dieses Gewebe als überaus robust, langlebig und mit einer dauerhaft guten Reinigungsleistung erwiesen. Auch Reinigungsvorgänge mit einem Wasserstrahl weit über 10 bar aus einem Hochdruckreiniger zeigten keinerlei Veränderung am Gewebe. Das einmal ausprobierte Comtrac, Typ 30/30 B20 ist ein ähnliches Vlies, allerdings dünner. Es ist leichter durchzuspülen, zeigt aber eine geringere Reinigungsleistung.



Abbildung 12 Comtrac®-Geokomposit, Typ 50/50 B25 der Firma Huesker
Ober- und Unterseite

HUESKER Bauen mit Geokunststoffen		HUESKER Synthetic GmbH Postfach 1262 · D-48705 Gescher	Telefon: (0 25 42) 7 01- 0 Telefax: (0 25 42) 7 01- 480	E-mail: vertrieb@huesker.de Internet: www.huesker.com
				
Abdichten · Bewehren · Dränen · Filtern · Schützen · Stabilisieren · Trennen · Verpacken				
Datenblatt				
Comtrac®-Geokomposit, Typ 50/50 B25				
01. Masse je Flächeneinheit (DIN EN ISO 9864)	g/m ²	≥ 440		
02. Zugfestigkeit (DIN EN ISO 10319)	längs kN/m quer kN/m	≥ 50 ≥ 50		
03. Dehnung bei Nennkraft (DIN EN ISO 10319)	längs % quer %	≤ 10 ≤ 10		
04. Durchdrückverhalten (DIN EN ISO 12236)	(x-s) N	≥ 3.000		
05. Charakteristische Öffnungsweite O₉₀ (DIN EN ISO 12956)	mm	≅ 0,10		
06. Wasserdurchflussgeschwindigkeitsindex V_{H50} (DIN EN ISO 11058)	m/s	70 x 10 ⁻³		
07. Witterungsbeständigkeit (DIN EN 12224)	2 Wochen Freiliegedauer			
08. Beständigkeit (DIN EN 13249ff Anhang B)	mehr als 25 Jahre in Böden mit einem pH-Wert > 4 und < 9,5 und einer Bodentemperatur < 25° C			
09. Scherverhalten (DIN EN ISO 12957-1/-2)	Reibungsbeiwert ≥ 0,70 (Sand)			
10. Zugkriechverhalten (DIN EN ISO 13431)	Zeitstandfestigkeit 64 % der Zugfestigkeit für 120 Jahre Belastungsdauer			
11. Standardrollenabmessungen (Breite x Länge)	m x m	5,20 x 200		
<small>Comtrac® ist eine registrierte Marke der HUESKER Synthetic GmbH. Alle Werte entsprechen einem Vertrauensbereich von 95 %. Das Recht auf Produktänderung ohne Ankündigung ist vorbehalten. Stand: 07/2006</small>				

Tabelle 1 Datenblatt Filtervlies der Firma Huesker

Die große Dicke des amorphen Gewebes verkleinert nochmals zusätzlich die Öffnungsweite, sodass mit dem Auge nicht durch das Material gesehen werden kann.

Vlies des Mineralfilterunterbaus:

Ebenso wie das obere Filtervlies verschmutzt auch der Mineralfilter. Untersuchungen zeigen, dass rd. 40 mg/L durch den Mineralfilter zurückgehalten werden. Hochgerechnet auf 1000 m³ bedeutet das einen Rückhalt von 40 kg Feinstmaterial (Korngröße ≤ 0,1 mm gem. Öffnungsweite des Filtervlieses). Je nach Verschmutzung des Niederschlagswassers erschöpft sich damit innerhalb eines Jahres die Aufnahmefähigkeit des Mineralfilters. Um die Standzeiten signifikant zu erhöhen, muss auch der Mineralfilter von diesen Partikeln gereinigt werden. Teilweise werden diese Feinststoffe an der Oberfläche der Mineralfilterpartikel angelagert. Insgesamt kann allerdings eine Wanderung dieser Schmutzstoffe in Fließrichtung und aufgrund deren Wichte durch den Filter beobachtet werden (näheres s. 3.4.2.3 und 3.4.2.4.).

Unter dem Mineralfilter wurde deshalb ein Schlammraum (in der Modellanlage gefüllt mit dem rolligen Material (Siebkies 16/32) geschaffen. Damit der Mineralfilter nicht in den

Schlammraum rieselt, wurde als Trennschicht unter dem Mineralfilter das Filtergewebe HaTe®, Typ 80.557 der Firma Huesker eingebaut.



Abbildung 13 HaTe® Filtergewebe, Typ 80.557

		HUESKER Ideen. Ingenieure. Innovationen.	
Datenblatt			
HaTe® Filtergewebe, Typ 80.557			
01. Masse je Flächeneinheit (DIN EN ISO 9864)	g/m ²	≅	190
02. Schichtdicke (DIN EN ISO 9863 - 1)	mm	≥	0,5
03. Zugfestigkeit (DIN EN ISO 10319)	längs quer	kN/m kN/m	≥ 40 ≥ 38
04. Dehnung bei Nennkraft (DIN EN ISO 10319)	längs quer	% %	≤ 30 ≤ 25
05. Durchdrückverhalten (DIN EN ISO 12236)	(x-s)	N	≥ 3500
06. Charakteristische Öffnungsweite O₉₀ (DIN EN ISO 12956)	mm	≅	0,60
07. Wasserdurchflussgeschwindigkeitsindex V_{I50} (DIN EN ISO 11058)	m/s	≅	220 x 10 ⁻³
08. Witterungsbeständigkeit (DIN EN 12224)	1 Monat Freiliegedauer		
09. Beständigkeit (DIN EN 13249ff Anhang B)	mehr als 25 Jahre in Böden mit einem pH-Wert > 4 und < 13 und einer Bodentemperatur < 25° C		
10. Standardrollenabmessungen (Breite x Länge)	m x m		5,00 x 100
<small> HUESKER Synthetic GmbH Fabrikstraße 13-15, D-48712 Gesscher Tel.: +49 (0) 25 42 / 701 - 0 Fax: +49 (0) 25 42 / 701 - 480 E-Mail: vertrieb@HUESKER.de Internet: www.HUESKER.com </small>			
<small> </small>			
<small> HaTe® ist eine registrierte Marke der HUESKER Synthetic GmbH. Alle Werte entsprechen einem Vertrauensbereich von 95 %. Das Recht auf Produktänderung ohne Ankündigung ist vorbehalten. Stand: 03/2013 </small>			

Tabelle 2 Vlies des Mineralfilterunterbaus

3.4.1.3 Mineralfilter

Die vornehmliche Aufgabe des Mineralfilters ist es, die das Filtervlies passierten partikulären Schmutzstoffe vom zu reinigenden Niederschlagswasser zurückzuhalten. Gleichzeitig muss eine dauerhafte hydraulische Leistungsfähigkeit von mindestens $5 \cdot 10^{-3}$ m/s (k_f -Wert) aufrechterhalten bleiben. Diese Eigenschaften sollen, zur Verminderung des Unterhaltungsaufwands, über mehrere Jahre konstant bleiben.

Gelöste Substanzen können, aufgrund der geringen Kontaktzeit (max. 80 Sekunden bei einer Filterstärke von 40 cm), nur begrenzt gefällt und ausgefiltert werden. Trotzdem ist Kalkbrechsand und Eisenhydroxid verwendet worden, um auch die gelösten Schmutzstoffe zumindest teilweise aus dem verschmutzten Niederschlagswasser zu entfernen.

Mineralgemisch 1

Das erste Mineralgemisch aus Bauzustand 1 wies eine sehr gute Reinigungsleistung auf (Ergebnisse s. 3.7.2 In Situ (Modellanlage); Zeitraum 06.06.-07.11.2012. Insbesondere die Abfiltrierbaren Stoffe konnten sehr gut zurückgehalten werden. Dauerhaft konnte aber der geplante k_f -Wert von $\geq 5 \cdot 10^{-3}$ m/s nicht eingehalten werden.

Da das Substrat zusammen mit der Firma Forschungsgemeinschaft Landschaftsbau und Wasserwirtschaft AG entwickelt wurde, unterliegt die genaue Zusammensetzung der Geheimhaltung.

Als wesentliche Bestandteile sind Kalk und Mineralien mit großer Oberfläche verwendet worden. Neben dem Kalk ist zudem Eisenhydroxid zur verbesserten Bindung von gelösten und ungelösten Schwermetallen vorhanden.

Im Folgenden ist die Sieblinie des Substrats aufgeführt:

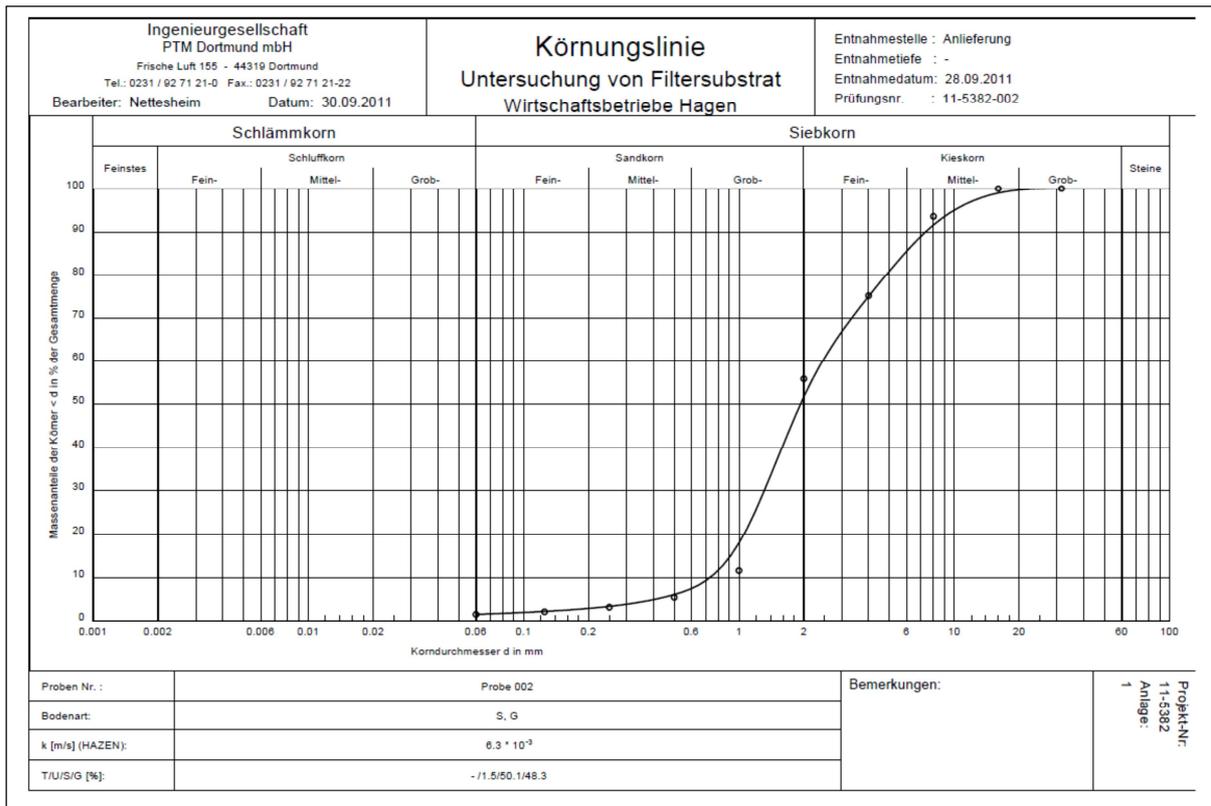


Tabelle 3 Körnungslinie Mineralgemisch 1

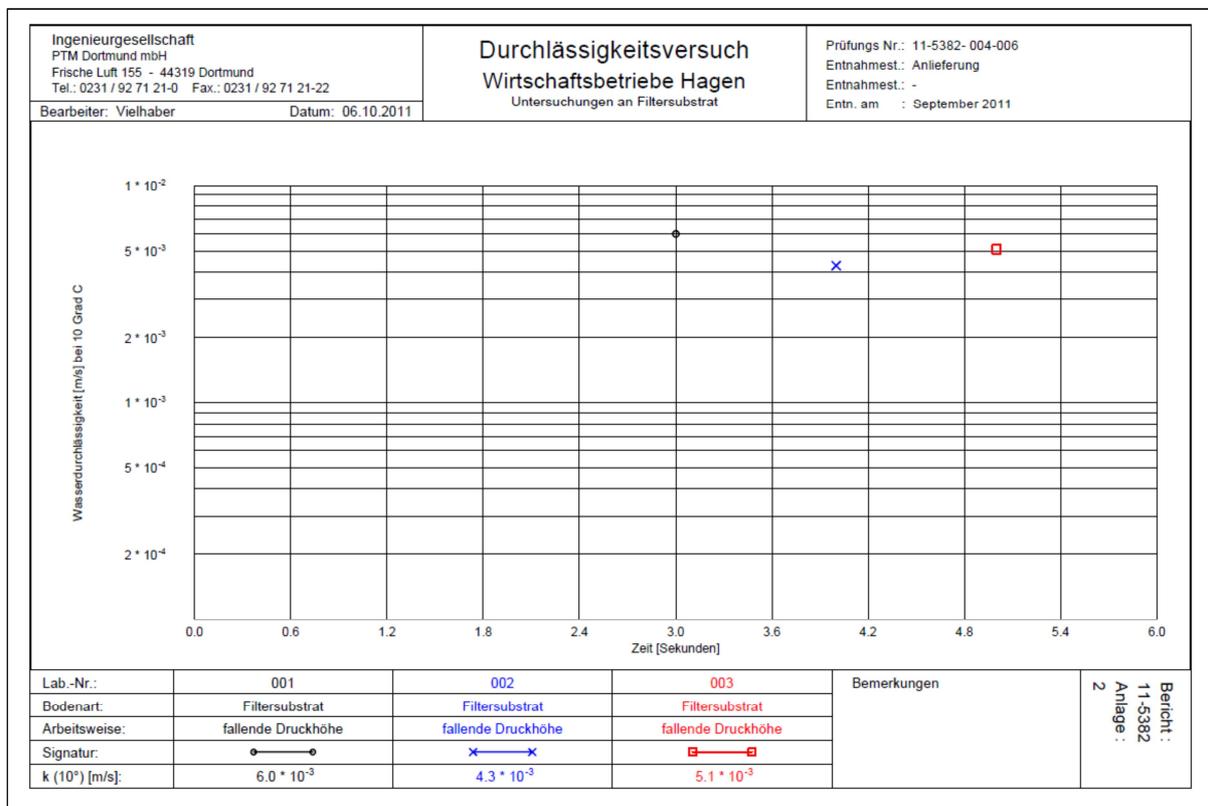


Tabelle 4 Durchlässigkeitsversuch Mineralgemisch 1

Mineralgemisch 2

Aus der Annahme heraus, dass das Filtervlies den sehr guten Rückhalt der abfiltrierbaren Substanzen bewirkt, wurde beim zweiten Mineralgemisch besonderer Wert auf einen hohen k_f -Wert gelegt.

Es zeigte sich aber, dass der Mineralfilter einen erheblichen Anteil an dem Rückhalt von Feinstpartikeln hat. Die Ablaufergebnisse verschlechterten sich gegenüber dem Mineralgemisch 1 erheblich (Ergebnisse s. 3.7.2 In Situ (Modellanlage); Zeitraum 31.01.2013) Zu den dokumentierten Ergebnissen liegt nur eine Untersuchung vor. Es wurden aber regelmäßig Proben bis zum 24.05.2013 gezogen. Diese zeigten jedoch bereits mit bloßem Auge einen hohen Anteil an Feinstpartikeln in den Ablaufproben, sodass auf eine weitere (teure) Untersuchung verzichtet wurde.

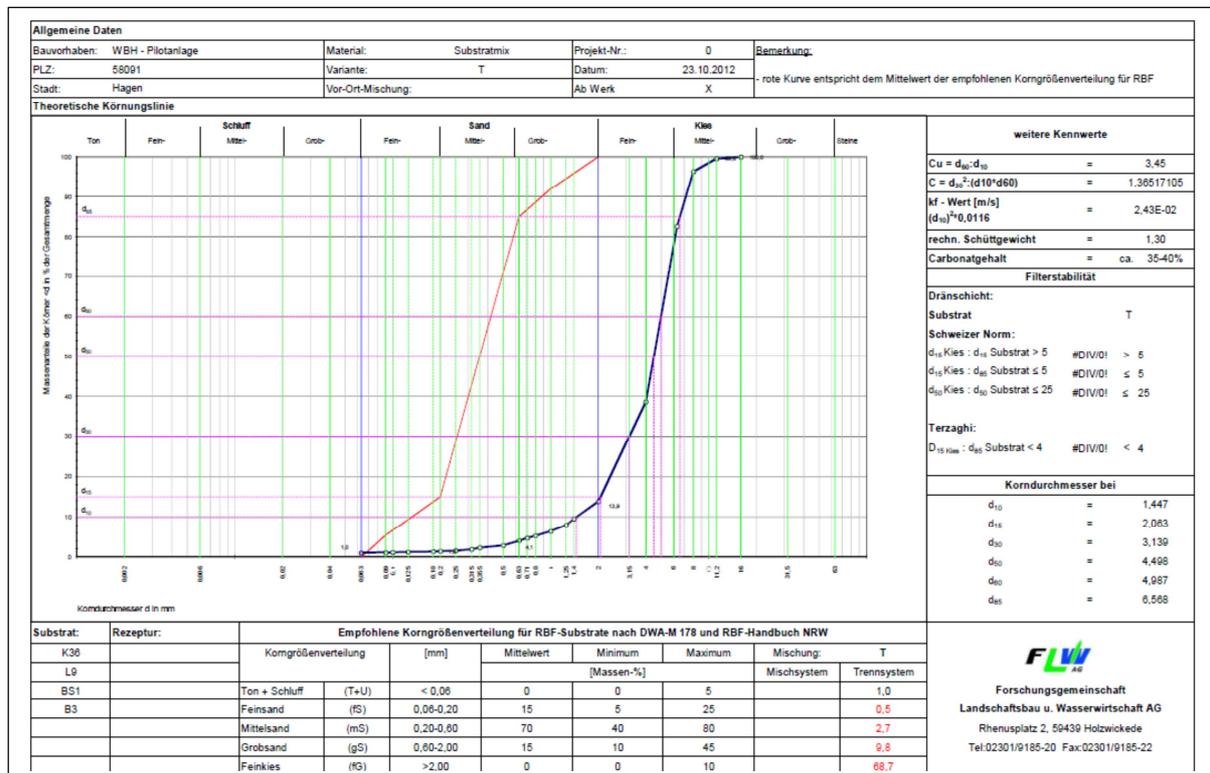


Tabelle 5 Körnungslinie Mineralgemisch 2

Der tatsächliche Versickerungswert (k_f -Wert) wurde nicht ermittelt, da dieser das geforderte Maß in der Anwendung deutlich überstieg.

Mineralgemisch 3

Die getesteten Mineralgemische 1 und 2 zeigten in Teilen gute Ergebnisse. Als drittes wurde ein 70/30-Mix aus beiden erstellt.

Bei der Anwendung zeigten sich gute Eigenschaften. Die hydraulische Leistungsfähigkeit (k_f -Wert) war dauerhaft ausreichend. Die Ablaufproben zeigten gute Werte bei den untersuchten Parametern.

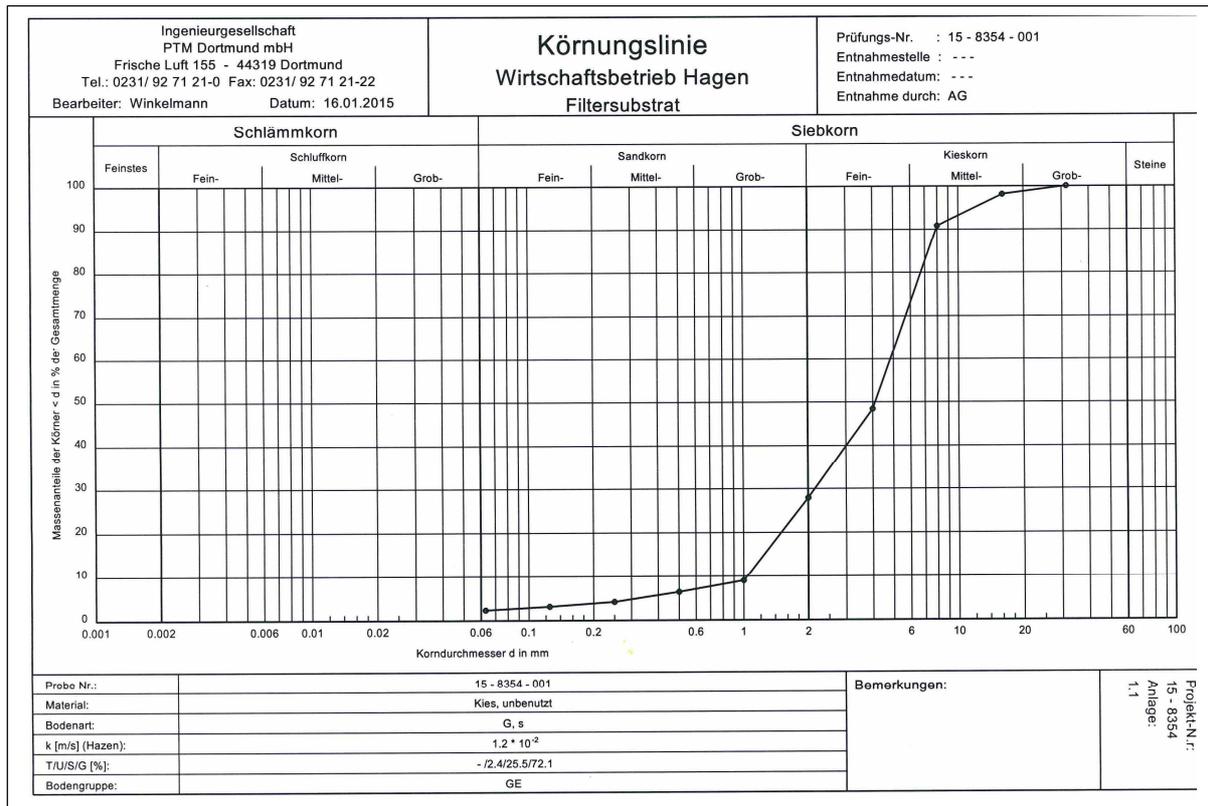


Tabelle 6 Körnungslinie Mineralgemisch 3

Gemäß HAZEN wurde ein k-Wert von $1,2 \cdot 10^{-2}$ m/s ermittelt.

Hinsichtlich der Ermittlung des k_f -Wertes stellte das untersuchende Labor fest:
 „Wegen der sandig-kiesigen Ausbildung und den aus den Sieblinien berechneten hohen Durchlässigkeiten können Standrohrversuche nicht durchgeführt werden.“

Die Benutzung des Substrats zeigte eine ausreichende dauerhafte hydraulische Leistungsfähigkeit, sodass weitere Untersuchungen diesbezüglich nicht durchgeführt wurden.

3.4.2 Prozesse der Reinigung und Selbstreinigung der Komponenten

Der Nachteil von Filteranlagen ist, dass das abgefilterte Material die Leistungsfähigkeit bis zum Versagen des Systems reduziert. Ein Filter zerstört sich somit selbst.

Neben der guten Reinigungsleistung des belasteten Niederschlagswassers sind betriebliche Gesichtspunkte Kernbereiche der Entwicklung des Filterklärbeckens:

- Aufrechterhaltung der hydraulischen Leistungsfähigkeit
- Hohe Standzeiten der trennenden und filternden Anlagenteile
- Hohe Betriebssicherheit
- Geringer Wartungs- und Unterhaltungsbedarf

Hieraus resultieren geringe laufende Kosten und eine hohe Zuverlässigkeit eines solchen Systems.

Zur Erreichung dieser Ziele ist ein besonderer Fokus auf folgende Gesichtspunkte gelegt:

- Selbstständige Reinigung der Filterkomponenten
- Möglichst geringer Einsatz von technischen Anlagenteilen

Dennoch war es notwendig, elektrische und elektronische Anlagenteile einzusetzen, um die gefilterten Schmutzstoffe aus den filternden Elementen zu entfernen.

3.4.2.1 Sandfang

Der Sandfang kommt ohne technische Anlagen aus. In der Modellanlage ist er lediglich ein Absetzraum. Zur Verbesserung seiner Eigenschaften ist am Einlaufrohr ein Prallblech angeordnet, welches zu einer spürbaren Verbesserung der Absetzwirkung geführt hat.

In späteren Großanlagen können je nach Bedarf unterschiedliche Arten und Größen von Sandfängen angeordnet werden. Sinnvoll ist es, in dem Sandfang auch einen Rückhalt von Leichtflüssigkeiten und Schwimmstoffen vorzusehen. Dies bedeutet, neben dem Schutz des Gewässers vor Verschmutzung, auch eine signifikante Erhöhung der Betriebssicherheit der Anlage, da grobe, große und schmierende Bestandteile (z. B. Öle und Fette) nicht zu weiteren Systemteilen vordringen können. Unter 4 Ausblick/Pilotanlage ist beschrieben, welche Lösung für den ersten Prototyp vorgesehen ist.

3.4.2.2 Vlies

Unter 3.4.1.2 ist das eingesetzte Vlies bereits beschrieben worden. Die im Bauzustand 1 vorgesehene Abreinigung des Stoffes durch Aufwickeln und Ausdüsen hat sich als zu aufwändig und nicht betriebssicher herausgestellt. Ohne Vor-Ort-Kontrolle konnte nicht dauerhaft sichergestellt werden, dass das Vlies gerade aufgewickelt wird. Zudem fand sich keine Lösung, um das Aufschwimmen des Vlieses zu verhindern.

In Bauzustand 2 begonnen und in Bauzustand 3 perfektioniert erfolgt die Reinigung vollautomatisch und betriebssicher.

Reinigungsvorgang (Bauzustand 2 und 3)

Die vom Vlies zurückgehaltenen Substanzen bilden einen Filterkuchen mit geringem k_f -Wert. Aufgrund dessen beginnt der Wasserstand in der Anlage zu steigen. Erreicht dieser einen kritischen Wert von (wahlweise 5-15 cm über dem Vlies), so wird der Zulauf gestoppt.

Das Wasser versickert weiterhin durch das Vlies. Gleichzeitig schaltet sich die Schlammpumpe (s. Abbildung 11) ein und beschleunigt diesen Vorgang. Liegt der Wasserstand unter der Oberkante des Vlieses, beginnt die Spülpumpe mit der Förderung des in der Zisterne gesammelten gereinigten Niederschlagswassers.

Der Räumwagen baut mittels des Düsenstocks einen nach vorne gerichteten (ca. 45 Grad) Spülstrahl über die gesamte Breite der Anlage auf (s. Abbildung 9).

Der Räumwagen setzt sich mit einer Geschwindigkeit von bis zu 0,10 m/s vorwärts in Bewegung und treibt somit den Filterkuchen bis in den Pumpensumpf voran, wo dieses Schlamm-Wasser-Gemisch von der Schlammpumpe aus dem System entfernt wird.

Am vorderen Anschlagpunkt/Stopppunkt des Räumwagens wird über einen Schaltmechanismus der Düsenstock gedreht (s. Abbildung 11), sodass der Spülstrahl senkrecht nach unten

gerichtet ist. Mit einer Geschwindigkeit von bis zu 0,05 m/s fährt der Wagen wieder in seine Ausgangsposition zurück und führt dabei eine Tiefenreinigung des Vlieses durch.

Am hinteren Stoppunkt wird der Düsenstock wieder mechanisch nach vorn gedreht. Die Spülpumpe stoppt.

Soweit noch nicht erreicht, wird der Pumpensumpf von der Schlammpumpe zu Ende entleert.

Anschließend wird die Anlage wieder mit zu behandelndem Niederschlagswasser beschickt. Versickertes gereinigtes Niederschlagswasser füllt die Zisterne auf. Nach vollständiger Auffüllung fließt das Wasser über einen Überlauf weiter in das Gewässer. Bei der Modellanlage gelangt das gereinigte Wasser in den hinteren Teil des Regenklärbeckens und von dort ins Gewässer.

Der stete Filtervorgang bewirkt, dass Schmutzpartikel auch in das Gewebe eindringen. Die Durchgängigkeit reduziert sich stetig und kommt, wie im Bauzustand 2 geschehen, schließlich ganz zum Erliegen. Aus diesem Grund ist die beschriebene Tiefenreinigung vorgesehen worden. Es ist ein Spüldruck von mindestens 7 bar beim verwendeten Filtervlies erforderlich. Das Vlies hält dieser Beanspruchung auch dauerhaft (getestet mit mehr als 800 Reinigungsvorgängen) stand ohne seine Eigenschaften merklich zu verändern.

Der hohe Druck bedeutet gesteigerte Anforderungen an die Spülpumpe, da neben dem Druck gleichzeitig eine große Wassermenge benötigt wird. Die Druckverluste in der Spüleleitung können nur durch große Durchmesser begrenzt werden. Erst in ausgiebigen Tests mit verschiedenen Spüldüsen war es möglich, den nötigen Druck und die Spülwassermenge aufeinander abzustimmen. Der benötigte Spülwasserspeicher (Zisterne) konnte damit ebenfalls begrenzt werden (je Spülgang 1,41m³). Für die Großanlagen bedeutet dies, dass die Reinigung nur über die Länge erfolgen kann, da sonst unwirtschaftlich große Spülpumpen benötigt würden.

Die hohe Wassermenge bei der Tiefenreinigung auf einer sehr begrenzten Fläche führt zu einem Wasserpolster, da das Wasser nicht schnell genug vom darunterliegenden Mineralfilter abgeführt werden kann. Dieses Polster verringert die Wirkung des Wasserstrahls. Zudem wird der Mineralfilter an der Oberfläche aufgewirbelt, was zu einer Umlagerung und ausgeprägter Wellenbildung des mineralischen Filters führt. Aus diesem Grund liegt das Filtervlies 3-5 cm über dem Mineralfilter. Sowohl das Wasserpolster, als auch die Umlagerung des Mineralfilters werden so verhindert. In der Modellanlage liegt das Vlies auf Kunststoff-Rasengittersteinen. Diese haben dünne Stege, sodass das Wasser gut durch das Vlies sickern kann.

Die Eigenschaften des Vlieses verbessern sich, wenn dieses abtrocknet. Deshalb befindet sich ein Belüftungsrohr im Raum zwischen Filtervlies und Mineralfilter. Eine Zwangsbelüftung funktioniert jedoch nur dann, wenn mindestens 1 zusätzliches Rohr zur Entlüftung angeordnet wird, da das nasse Filtervlies luftundurchlässig ist. Es käme ansonsten zu Aufblähungen des Vlieses bei Nässe.

Da in der Modellanlage die Beschickung über die schmale Seite erfolgt, treten im vorderen Bereich des Vlieses hohe Fließgeschwindigkeiten auf, sodass die Versickerung dort gestört ist. Durch Auflegen von Strömungsbrechern (Gewebestahlmatte s. Abbildung 14) wird die Versickerung deutlich verbessert. Die Reinigung des Vlieses funktioniert weiterhin gut.

Spätere Großanlagen werden querseits beschickt, so dass Strömungsbrecher nicht mehr erforderlich sind.

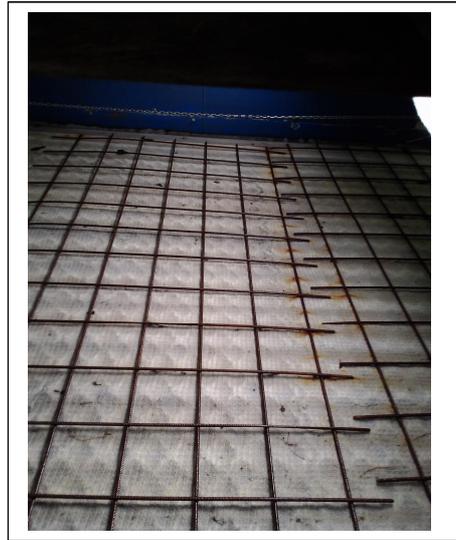


Abbildung 14 Strömungsbrecher (Gewebestahlmatte)

Bei der Modellanlage muss das Schlamm-Wasser-Gemisch in den Beckenteil des Regenklärbeckens geleitet werden. Dort setzt es sich wie gehabt ab, sodass sich die Einleitung in das Gewässer qualitativ nicht verschlechtert.

In den späteren Großanlagen werden die zurückgehaltenen Schmutzstoffe über die Schlammpumpe in das Schmutzwassernetz gefördert.

3.4.2.3 Mineralfilter

Die Zusammensetzung des im Bauzustand 3 verwendeten Mineralfilters ist bereits unter 3.4.1.3 beschrieben worden.

Ebenso wie das obere Filtervlies verschmutzt auch der Mineralfilter. Untersuchungen zeigen, dass rd. 40 mg/L durch den Mineralfilter zurückgehalten werden. Hochgerechnet auf 1000 m³ bedeutet das einen Rückhalt von 40 kg Feinstmaterial (Korngröße $\leq 0,1$ mm gem. Öffnungsweite des Filtervlieses). Die Aufnahmefähigkeit des Mineralfilters erschöpft sich damit, je nach Verschmutzung des Niederschlagswassers, innerhalb eines Jahres. Um die Standzeiten signifikant zu erhöhen, muss auch der Mineralfilter von diesen Partikeln gereinigt werden. Teilweise werden diese Feinststoffe an der Oberfläche des Mineralfilters angelagert. Insgesamt kann allerdings eine Wanderung dieser Schmutzstoffe in Fließrichtung und aufgrund ihrer Wichte durch den Filter beobachtet werden.

Durch die Anordnung eines Filtergewebes (s. 3.4.1.2 Vlies des Mineralfilterunterbaus) können diese Partikel in einen darunter gelegenen Schlammraum gelangen und dort in einem bestimmten Turnus (hängt von der Verschmutzung des Niederschlagswassers ab) abgepumpt werden. Im nachfolgend dargestellten Versuch ist dieser Vorgang dargelegt.

3.4.2.4 Reinigung Mineralfilter



Abbildung 15 Versuchsaufbau Ausspülung Verschmutzung Mineralfilter



Abbildung 16 Mineralfilter ungespült, gespült, verschmutztes Spülwasser

Auch in der Anwendung auf die Modellanlage zeigt sich, dass sich der verschmutzte Mineralfilter ausspülen lässt (s. Abbildung 17 Spülung Mineralfilter). Seit dieser regelmäßigen Spülung funktioniert der Filter wieder einwandfrei.

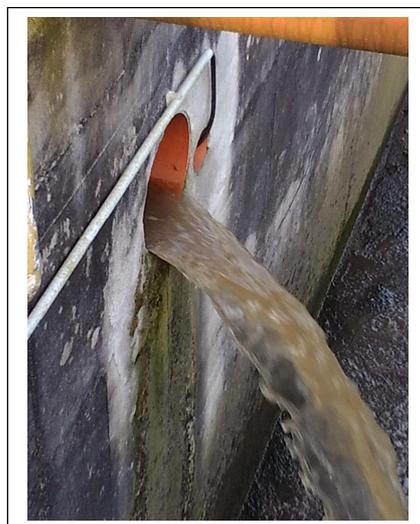


Abbildung 17 Spülung Mineralfilter

3.5 Steuerung des Systems

Ziel war es, eine Anlage mit möglichst wenigen mechanischen, elektrischen und elektronischen Bauteilen zu entwickeln. Da eine Reinigung beider Filterstufen erfolgt, kann nicht gänzlich auf die genannten Bauteile verzichtet werden.

Eingesetzt werden:

- Beschickungspumpe (bei späteren Großanlagen nicht mehr notwendig, da der Zulauf direkt aus dem Freispiegelkanal erfolgt)
- Kippschalter (redundant ausgelegt) zur Steuerung des Ein- und Ausschaltpunktes der Beschickungspumpe (bei der späteren Großanlage nicht erforderlich)
- 2 Drucksonden (Pumpensumpf und Zisterne) zur Steuerung:
 - der Schlammpumpe
 - des Räumwagens
 - der Spülpumpe
- Näherungssensoren zur Steuerung der Stopppunkte des Räumwagens
- Antrieb Räumwagen
- Mechanischer oder elektrischer Schlepp für die Spülwasserleitungen
- Lüftung zur Trocknung des Filtervlieses

Zur Verarbeitung der Impulse und Steuerung der Anlage wird eine SPS benötigt (Speicher programmierbare Steuerung). Diese empfängt die eingehenden Impulse der Sensoren und verarbeitet sie zu weiteren Steuerimpulsen der elektrischen Anlagenteile.



Abbildung 18 Schaltkasten der SPS

Die Vorteile einer solchen SPS sind:

- Ein Monitoring der Anlage ist gegeben.
- Zusammen mit einem Internetanschluss ist ein Fernwirken der Anlage jederzeit möglich.

Bei der Modellanlage ist zusätzlich eine Webcam (mit Nachtsicht) integriert worden. Der Zustand und die Vorgänge in der Anlage können damit auch visuell betrachtet werden.

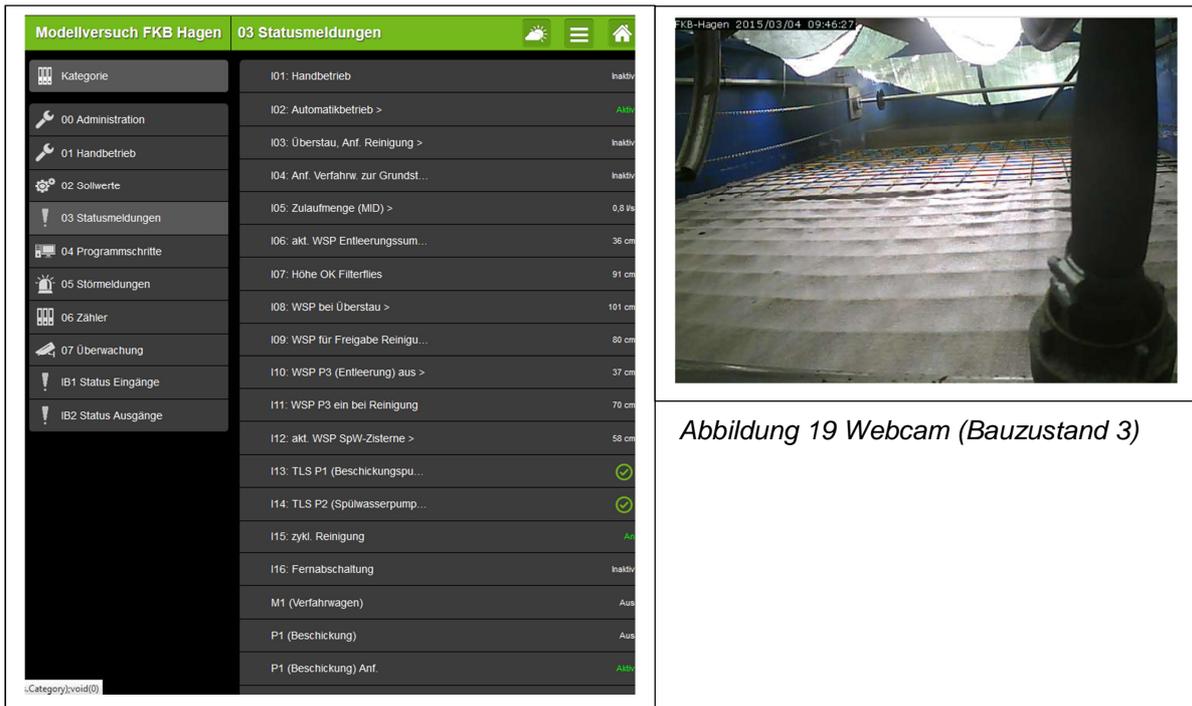


Abbildung 19 Webcam (Bauzustand 3)

Abbildung 20 Auszug Fernwirksystem

3.6 Betriebssicherheit

Die Betriebssicherheit teilt sich auf in:

- Sicherheit für die Mitarbeiter
- Schutz der technischen Anlage

Sicherheit für die Mitarbeiter:

Aufgrund der Höhe der Modellanlage kann diese nur mit einer Leiter betreten werden. Die Anlage ist zudem mit einer Gewebeplane abgedeckt.

Im Bereich des Sandfangs ist es Pflicht, für den Ein- und Ausstieg eine Leiter zu verwenden.

Es befinden sich 2 Notausschalter an beiden Beobachtungspunkten und einer am Schaltschrank der Anlage. Ein Wiedereinschalten kann nur durch Quittieren der Aufhebung des Notaus erreicht werden.

Schutz der technischen Anlage:

Die Beschickungspumpe wird über den Wasserstand in der Schlammtasche gesteuert. Es sind zwei Schwimmerschalter an gegenüberliegenden Punkten des Schlammraum angebracht.

Die drei Pumpen verfügen über interne Thermoschutzschalter.

Die Stoppunkte des Räumwagens sind mit jeweils 2 Näherungssensoren ausgestattet.

Zur Überlaufsicherung der Anlage sind ein Notüberlauf DN 200 und eine Notabschaltung bei erhöhtem Wasserstand vorhanden.

3.7 Untersuchungsprogramm

3.7.1 Ableitung der Vergleichbarkeit mit einem Regenklärbecken

Basis für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Filterklärbeckens ist die Vergleichbarkeit mit einem Regenklärbecken. Obwohl Regenklärbecken bereits seit vielen Jahrzehnten gebaut und betrieben werden, gibt es nur wenige Untersuchungen zu deren tatsächlicher Leistungsfähigkeit. Neuere Untersuchungen zeigen hier erhebliche Schwankungsbreiten. Im Abschlussbericht [2] des Forschungsprojektes „Dezentrale Niederschlagswasserbehandlung in Trennsystemen – Umsetzung des Trennerlasses“ mit Stand 11/2011 wurden veröffentlichte Rückhaltewirkungen zusammengefasst und mittlere Wirkungsgrade definiert.

Als Rückhaltewirkungen für Regenklärbecken wurden im Abschlussbericht [2] folgende Werte festgelegt:

Parameter	AFS	CSB	MKW	Zink
Einheit	%	%	%	%
Min	31	28	38	25
Max	62	55	77	50
Mittel	46,5	41	57,5	37,5

Tabelle 7 Abgeleitete Rückhaltewirkung RKB

Hierbei ist allerdings zu beachten, dass Regenklärbecken bei Zuflüssen oberhalb des Q_{krit} über ein Abschlagsbauwerk entlasten und Niederschlagswasser ungereinigt in die Gewässer einleiten. Es ergibt sich somit eine Gesamtreinigungsleistung, die unterhalb der Rückhaltewirkung eines RKB's liegt. Im genannten Abschlussbericht [2] werden folgende Wirkungsgrade definiert:

Parameter	AFS	CSB	MKW	Zink
Einheit	%	%	%	%
Min	26	23	32	21
Max	53	47	65	43
Mittel	40	35	49	32

Tabelle 8 Gesamtreinigungsleistung RKB

Da die Modellanlage mit einem konstanten Zufluss von rd. 23 L/s beschickt wird, ist keine Entlastung erforderlich. Aus diesem Grund sind die Ergebnisse der abgeleiteten Rückhaltewirkung RKB für den Vergleich mit der Modellanlage maßgeblich.

3.7.2 In Situ (Modellanlage)

3.7.2.1 Beschickung der Anlage

Die Modellanlage wird über eine Freistromradpumpe mit einer Förderleistung von ca. 23 L/s beschickt.

Der Zufluss der Modellanlage wird nicht proportional zum Abfluss im Zulaufkanal des Regenklärbeckens gesteuert.

3.7.2.2 Untersuchte Parameter

Folgende Parameter der Modellanlage werden gemessen:

- Volumenstrom Zulauf
- Verschmutztes Niederschlagswasser Zulauf:
 - pH-Wert
 - Leitfähigkeit
 - Abfiltrierbare Stoffe
 - CSB
 - TOC
 - Kupfer (Nachweisgrenze 10 µg)
 - Zink (Nachweisgrenze 100 µg)
 - PAK n. EPA (Nachweisgrenze 1 µg)
 - MKW (Nachweisgrenze 1 mg)
- Gereinigtes Niederschlagswasser Ablauf:
 - pH-Wert
 - Leitfähigkeit
 - Abfiltrierbare Stoffe
 - CSB
 - TOC
 - Kupfer (Nachweisgrenze 10µg)
 - Zink (Nachweisgrenze 100 µg)
 - PAK n. EPA (Nachweisgrenze 1 µg)
 - MKW (Nachweisgrenze 1mg)
- Für die verwendeten Mineralgemische wurden:
 - Sieblinien und
 - Durchlässigkeitsversuche (soweit möglich) durchgeführt

Die Festlegung der Parameter und Nachweisgrenzen stützt sich auf Aussagen aus dem Abschlussbericht [2] des Forschungsprojekts „Dezentrale Niederschlagswasserbehandlung in Trennsystemen – Umsetzung des Trennerlasses“ Stand November 2011.

In diesem Bericht werden die Parameter und deren Herkunft ausgiebig erläutert. Auf weitere Ausführungen wird hier verzichtet.

Im Fazit zum Stoffaufkommen in Niederschlagsabflüssen ist tendenziell mit folgenden Konzentrationen zu rechnen (Schwerpunktwerte):

Matrix	AFS [mg/L]	CSB [mg/L]	Cu [µg/L]	Zn [µg/L]	PAK [µg/L]	MKW [mg/L]
Dachabfluss	50	50	100	600	1,0	0,7
Verkehrsflächenabfluss	200	100	80	440	2,5	1,0
Mischflächenabfluss	150	100	80	500	2,0	1,0

Tabelle 9 Zusammenstellung maßgeblicher Stoffparameter [4]

Im Abschlussbericht [2] wurden die abfiltrierbaren Stoffe als wichtigster Parameter ermittelt, da Feststoffe verschiedene negative Auswirkungen auf das Gewässer und die dort lebenden Organismen haben können.

Zudem wird in dem Bericht festgestellt, dass Schadstoffe zu einem hohen Anteil an den Feststoffen absorbiert sind. Hierbei werden besonders Kornfraktionen $< 200 \mu\text{m}$ genannt, an die Schwermetalle und organische Schadstoffe angelagert sind.

3.7.2.3 Probenehmer

Für den Zu- und den Ablauf wurde jeweils ein Probenehmer verwendet. Es handelt sich hierbei um das System der Firma MAXX, Typ SPIII-D12.



Abbildung 23 Probenehmer

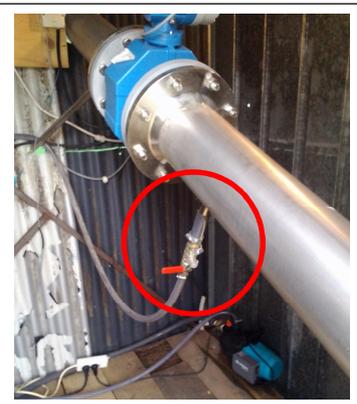


Abbildung 21 Probenahmestelle Zulauf



Abbildung 22 Probenahmestelle Ablauf

3.7.2.4 Art der Proben

Da die Zulaufpumpe zur Modellanlage immer einen konstanten Volumenstrom von rd. 23 L/s fördert, wurde eine über die Zeit konstante Probemenge genommen. Minütlich wurden 50 mL Proben gezogen (Zeitproportionale Mischprobe). Die Proben wurden in den Probenehmern in 2-Liter-Flaschen gesammelt und gekühlt. Nach Abschluss der Probenahme wurden die Proben gemischt und homogenisiert. Hieraus wurden 4 1-Liter-Flaschen befüllt und umgehend in das Labor zur Untersuchung gebracht.

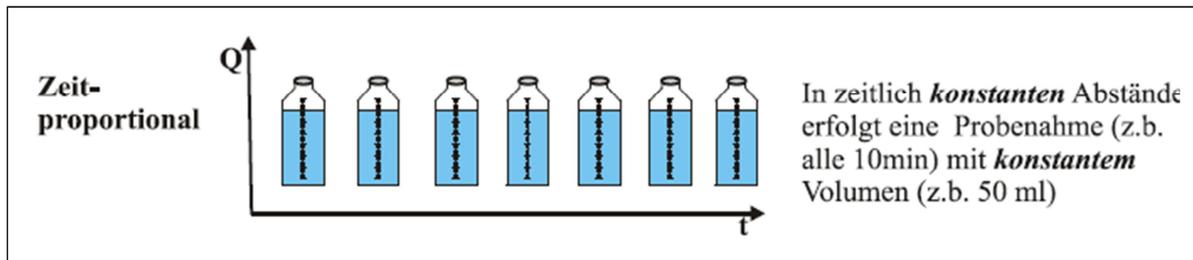


Abbildung 24 Probenahmeart [5]

3.7.3 Verifizierung der Messergebnisse

Das Landesamt für Natur-, Umwelt- und Verbraucherschutz (LANUV) hat eine Liste für die in Nordrhein Westfalen genehmigungsfähigen Niederschlagswasserbehandlungssysteme herausgegeben (LANUV-Liste).

<http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/ds.htm>

Die Prüfung der Leistungsfähigkeit einer solchen Anlage wird durch das

IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH

Exterbruch 1

45886 Gelsenkirchen

www.ikt.de

durchgeführt.

3.8 Ergebnisse

3.8.1 Reinigungsleistung (in Situ)

Die Modellanlage wurde in allen 3 Bauzuständen im monatlichen Rhythmus seit dem 06.06.2012 untersucht. Im Zuge der Umbaumaßnahmen, Betriebsprobleme sowie Frostzeiten wurde die Modellanlage temporär stillgelegt.

Ab dem 06.06.2012 wurde das Mineralgemisch 1 verwendet.

Ab dem 31.01.2013 kam das Mineralgemisch 2 zum Einsatz. Es wurden nur einmal Proben im Labor untersucht, da in diesen Proben deutlich sichtbar war, dass der Anteil an Abfiltrierbaren Stoffen erheblich zugenommen hatte.

Ab dem 24.05.2013 kam das finale Mineralgemisch 3 zum Einsatz.

3.8.2 Untersuchungsergebnisse

Ort	Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf
Parameter	pH-Wert		Leitfähigkeit		abfiltr. Stoffe		CSB		TOC		Kupfer		Zink		PAK n. EPA		MKW	
Einheit			in µS/cm		in mg/L		in mg/L		in mg/L		in µg/L		in µg/L		in µg/L		in mg/L	
Datum																		
06.06.2012	8,10	8,10	72,6	105,6	30	<10	22,0	14,0	5,1	5,0	9,4	7,5	20	<20	0,375	0,378	<100	300
27.09.2012	7,35	7,39	130,0	320,0	12	<10	30,0	17,0	6,2	5,3	12,8	9,5	180	70	<1	<1	420	<50
07.11.2012	8,20	8,00	107,0	129,0	530	<10	12,0	10,0	4,8	4,5	14,0	9,8	140	20	<0,7	<0,8	<1	<1
31.01.2013	7,70	7,70	459,0	438,0	282	235	25,0	23,0	6,7	6,5	155,0	117,0	1670	1840	0,220	<1	370	450
24.05.2013	7,50	7,60	268,0	268,0	32	11	22,0	18,0	6,7	6,6	74,0	42,0	310	130	<0,13	<1	<1	<1
19.12.2013	7,95	7,94	795,0	756,0	80	21	22,0	20,0	4,9	4,2	55,0	66,0	180	150	<1	<1	<1	<1
19.02.2014	7,11	7,12	287,0	330,0	90	6	23,0	22,0	6,3	6,9	70,0	40,0	340	180	<1	<1	1,2	<1
08.04.2014	7,50	7,40	265,0	230,0	300	100	42,0	45,0	15,0	17,0	260,0	100,0	2020	270	<1	<1	<1	<1
13.05.2014	7,10	7,10	200,0	231,0	524	17	21,0	17,0	20,0	21,0	120,0	40,0	1900	140	<1	<1	<1	<1
26.05.2014	7,10	7,20	255,0	259,0	962	8	35,0	27,0	9,0	7,0	320,0	45,0	2170	1460	15,400	9,400	<1	<1
30.06.2014	7,60	7,70	95,5	109,3	187	37	20,0	18,0	1,8	2,2	90,0	60,0	1200	980	<10	<10	<1	<1
08.10.2014	7,10	7,10	418,0	486,0	76	30	36,0	31,0	9,1	4,6	80,0	50,0	290	170	<10	<10	<1	<1
22.10.2014	6,70	6,90	233,0	281,0			20,0	17,0	6,7	2,4	20,0	10,0	230	140	<10	<10	<1	<1
24.11.2014	7,60	7,60	217,0	280,0	57	13	17,0	15,0	5,4	4,6	60,0	50,0	1100	910	<0,4	<0,4	<2	<2
11.12.2014	8,40	8,60	427,0	581,0	800	60	90,0	64,0	17,0	14,0	140,0	70,0	1050	380	<0,4	<0,4	<2	<2
26.01.2015	7,20	7,10	2810,0	6680,0	140	30	53,0	28,0	10,0	1,0	50,0	20,0	470	260	3,000	0,500	<1	<1
05.05.2015	7,20	7,40	308,0	317,0	46.600	35	66	32	5,2	3,5	540,0	40,0	1900	890	<0,4	<0,4	<2	<2
23.06.2015	8,10	7,60	242,0	265,0	116	2	50	32	9,5	14,0	50,0	50,0	290	240	<0,4	<0,4	<1,3	<1,3
Reduktion (über den gesamten Untersuchungszeitraum) in %					99		26		13		61		47		46		5	
Reduktion ab 24.05.2013 in %					83		22		26		49		45		61			

Tabelle 10 Untersuchungsergebnisse

Legende der Zellfarben

	Zulaufwert
	Ablaufwert
	Unplausibles Ergebnis



Abbildung 25 Zulauf- und Ablaufproben

Aufgrund der kurzen Kontaktzeit des zu reinigenden Niederschlagswassers mit den Filterstufen ist eine Umwandlung von gelösten Substanzen (insbesondere Schwermetalle) in eine ungelöste Form mit anschließender Ausfilterung (Rückhalt) nur sehr begrenzt möglich. Der Fokus in punkto Reinigungsleistung liegt demnach bei den partikulären Substanzen. Gleichwohl ist der Mineralfilter in seiner Zusammensetzung so aufgebaut, dass auch gelöste Substanzen gefällt und zurückgehalten werden können.

Ab dem 24.05.2013 kam das finale Mineralgemisch 3 (s. 3.4.1.3) zum Einsatz. Dieses stellt den derzeit besten Kompromiss zwischen Reinigungsleistung und hydraulischen Leistungsfähigkeit dar. Im Folgenden beziehen sich die Erläuterungen auf die Ergebnisse ab dem 24.05.2013.

Mit einer konstanten Beschickung von rd. 23 L/s und einer Leistungsfähigkeit von 37,8 L/s wird die Modellanlage bei Niederschlagsabfluss mit 61 % belastet.

3.8.2.1 Abfiltrierbare Stoffe

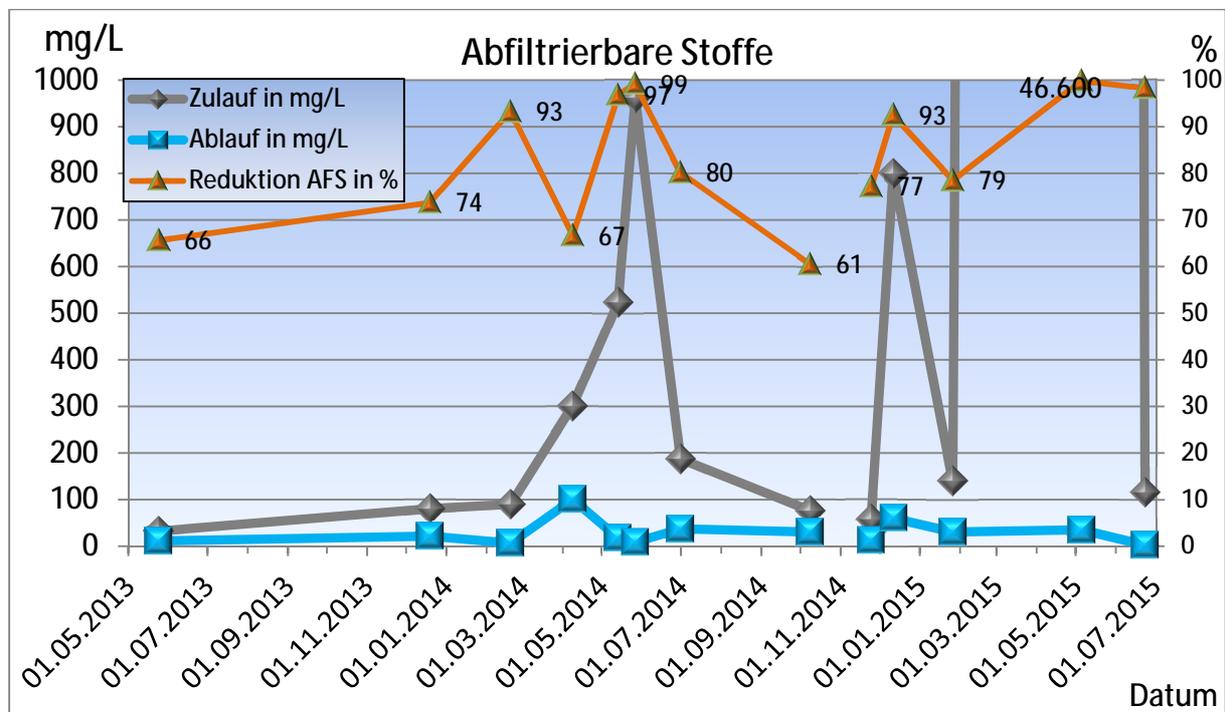


Abbildung 26 Abfiltrierbare Stoffe

Der Wirtschaftsbetrieb Hagen AöR hatte im Zeitraum 08.2008-02.2011 ein Forschungsvorhaben zum dezentralen Niederschlagswasserbehandlungssystem INNOLET [3] durchgeführt. Dort wurden selten AFS-Zulaufwerte unter 2.000 mg/L festgestellt. Die Spitzenwerte lagen über 400.000 mg/L. Im Einzugsgebiet des FKB's befinden sich Sinkkästen mit Nassschlammfang. Diese beeinflussen deutlich erkennbar ($AFS_{max, Zulauf} = 962 \text{ mg/L}$; der Ausreißer mit 46.600 mg/L wird hier vernachlässigt) die Zusammensetzung, insbesondere bei den abfiltrierbaren Stoffen.

Gemäß Tabelle 10 ergibt sich ein mittlerer Rückhalt der abfiltrierbaren Stoffe von 83 %. Damit liegt dieser zentrale Wert 78,5 % über dem angepeilten Rückhaltewert von 46,5 % (s. Tabelle 7).

Abbildung 26 zeigt die Ergebnisse der Probenahmen. Deutlich erkennbar ist der hohe Anteil an partikulären Inhaltsstoffen im Frühling 2014. Der hohe Wert im Dezember 2014 stammt

von einem starken Gewitter und ist deshalb nicht repräsentativ für den Jahresverlauf. Der Zulaufwert von 46.600 mg/L am 06.05.2015 ist ein Ausreißer und wird im Folgenden nur im Reduktionswert berücksichtigt. Diese Probenahme zeigt allerdings, dass auch bei hohen Anteilen an Grobstoffen (Sande und Schotter) die Ablaufwerte weiterhin gut bleiben und der Betrieb der Anlage nicht gestört wird.

Gut erkennbar ist, dass die Ablaufwerte nicht vorwiegend durch hohe Zulaufwerte beeinflusst werden. Der höchste Ablaufwert vom 08.04.2014 wurde während des Pollenfluges ausgelöst. Die meisten Pollen haben eine Größe von 10-100 µm (Quelle Wikipedia). Das Vlies weist seinerseits eine Öffnungsweite von 100 µm auf. Es ist somit nachvollziehbar, dass die Ablaufwerte in diesem Falle ansteigen.

Sinkkästen mit Schlammfang verringern deutlich erkennbar den Zufluss an abfiltrierbaren Stoffen. Gleiches gilt für alle weiteren Parameter, die hieran gekoppelt sind. Für ein Filterklärbecken ist dies hinsichtlich der Ablaufergebnisse aber nur von untergeordneter Bedeutung. Die in den Schlammfängen zurückgehaltenen Schmutzpartikel sind größtenteils Grobstoffe, die bereits im Schlammfang eines Filterklärbeckens erfasst werden.

3.8.2.2 CSB und TOC

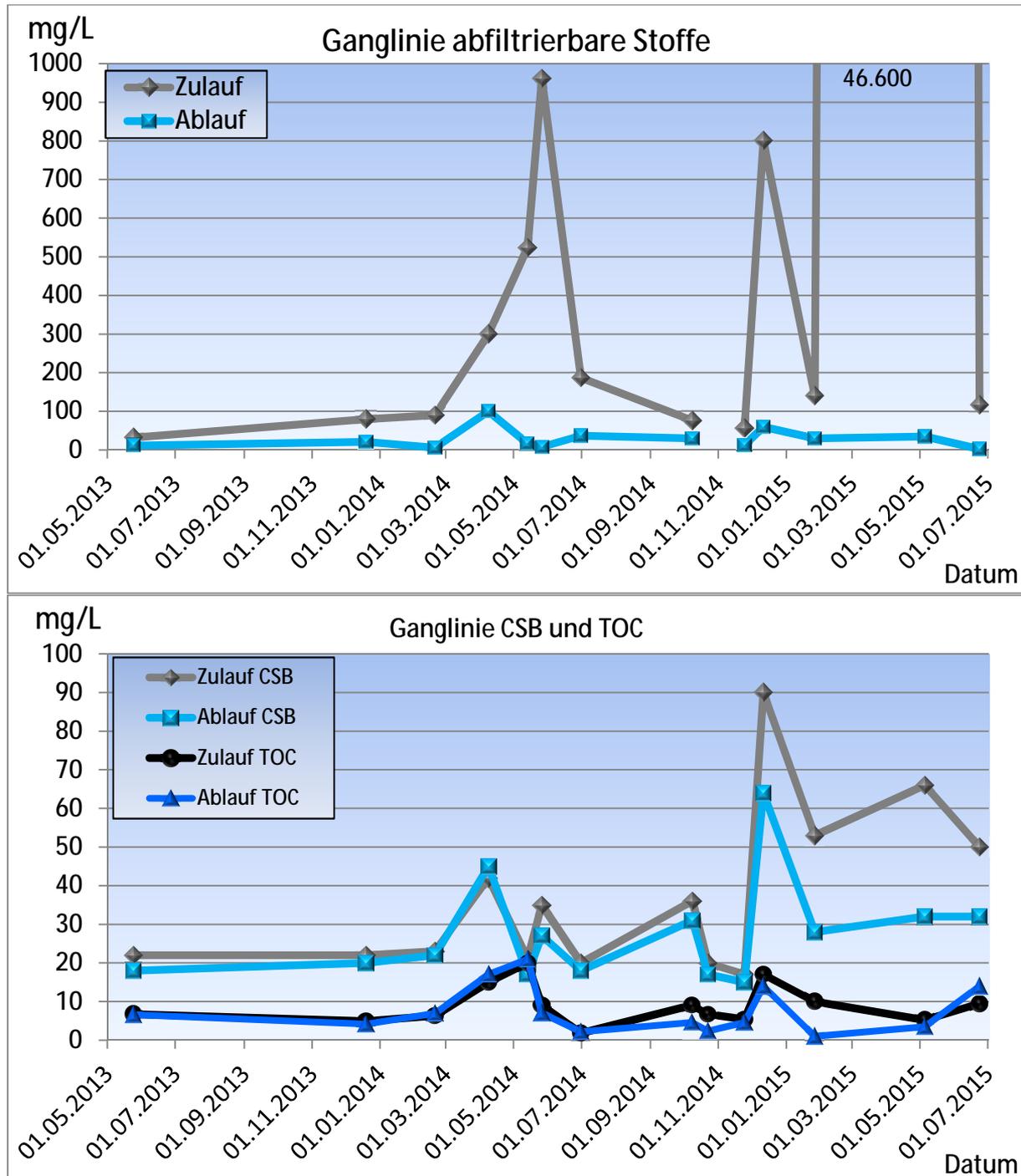


Abbildung 27 CSB und TOC

Gemäß Tabelle 10 ergibt sich ein mittlerer Rückhalt von 22 % des CSB und 26 % des TOC.

Abbildung 27 zeigt die Ergebnisse der Probenahmen. Im Vergleich mit der darüber angeordneten Ganglinie der AFS zeigt sich ein deutlicher Zusammenhang. Treten erhöhte abfiltrierbare Stoffe auf, so steigt auch der CSB und TOC deutlich an. Dies gilt sowohl im Zu- als auch im Ablauf vom CSB und TOC.

Da die Ablaufwerte der AFS auch bei hohen Zulaufwerten weiterhin tief liegen, hingegen die Ablaufwerte von CSB und TOC proportional zu den Zulaufwerten ansteigen, ist zu vermuten,

dass im Einzugsgebiet der Anlage der CSB und TOC, abweichend von den Aussagen des Abschlussberichtes [2] von 2011, größtenteils gelöst vorliegen.

Die Zulaufwerte von maximal CSB 90 mg/L und TOC 20 mg/L sind als auffallend gering und ortsspezifisch einzustufen (s. Tabelle 9). Der angestrebte mittlere Rückhalt von 41 % (s. Tabelle 7) kann damit nicht erreicht werden.

Im Untersuchungszeitraum wurden beim CSB 60 mg/L und beim TOC 21 mg/L im Ablauf nicht überschritten. Der CSB in der Ruhr (Hengsteysee) liegt zwischen 6 mg/L im Frühling und 9 mg/L im Sommer (Ruhrgütebericht 2013 des Ruhrverbands Bild 24.2). Eine übermäßige Belastung der Ruhr (Hengsteysee) hinsichtlich dieser Parameter ist nicht gegeben.

3.8.2.3 Kupfer (Cu) und Zink (Zn)

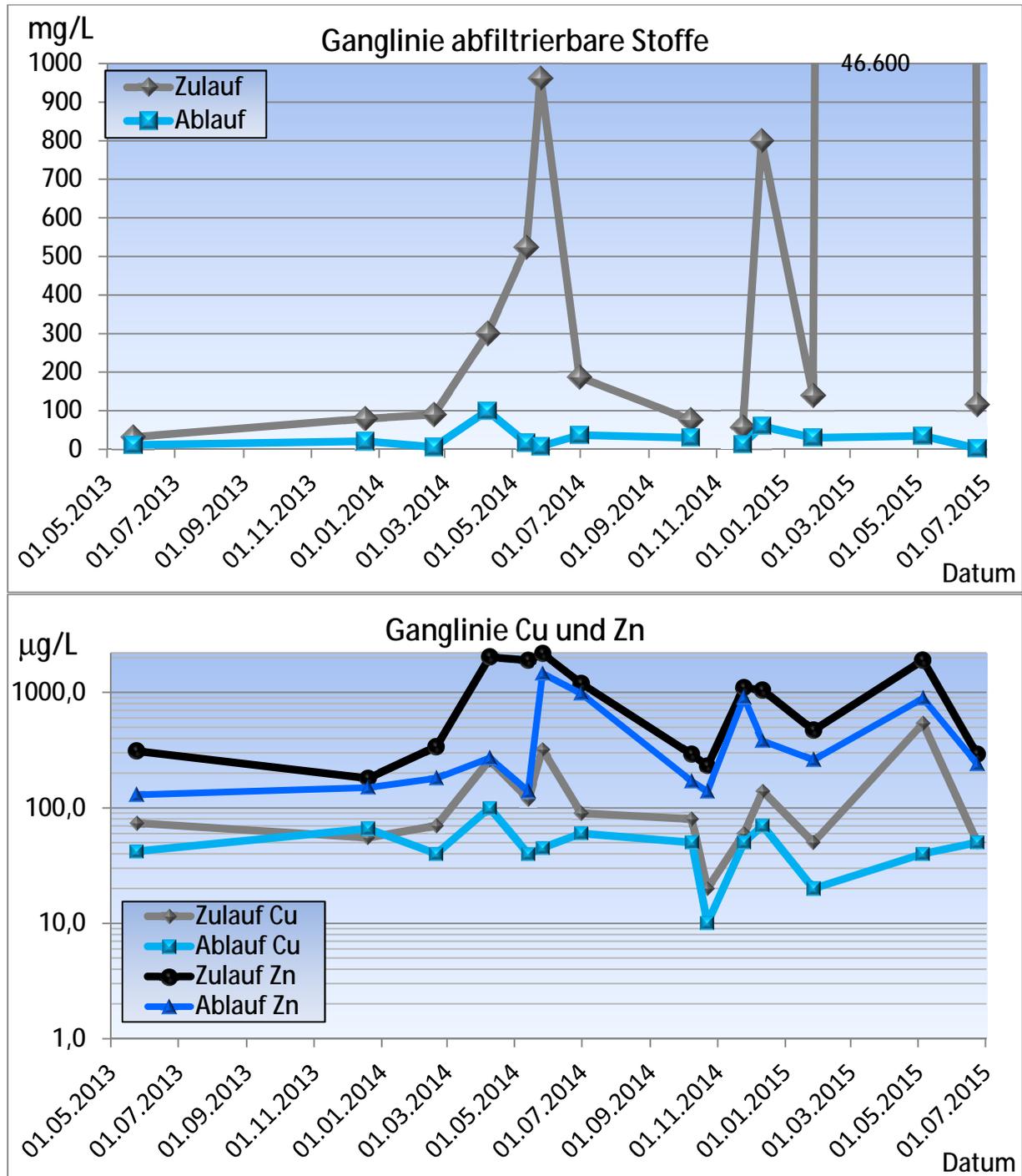


Abbildung 28 Cu und Zn

Gemäß Tabelle 10 ergibt sich ein mittlerer Rückhalt von 49 % des Kupfers und 45 % des Zinks. Der angestrebte minimale Rückhalt von 37,5 % bei Zink wird somit deutlich übertroffen (s. Tabelle 7).

Abbildung 28 zeigt die Ergebnisse der Probenahmen. Ebenso wie bei CSB und TOC zeigt sich im Vergleich mit der darüber angeordneten Ganglinie der AFS ein Zusammenhang. Der Verlauf der AFS im Zulauf ist ebenfalls bei den beiden untersuchten Schwermetallen im Zulauf auch im Ablauf zu erkennen.

3.8.2.4 PAK und MKW

Über den gesamten Beprobungszeitraum lag der Parameter MKW unter der Nachweisgrenze, sodass hier keine Aussagen getroffen werden können.

Ähnlich verhält es sich mit den Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK). Bei nur zwei Beprobungen lag der gemessene Wert über der Nachweisgrenze. Es ergibt sich dort eine Reduktion um 61%. Hier zeigt sich zumindest der Hinweis, dass eine ausreichende Reduktion im System möglich ist.

In den späteren Großanlagen werden wahrscheinlich noch bessere Werte erreicht werden können, da aufgrund der angeordneten Beruhigungsstrecke und der Tauchwand Fette und Öle noch besser zurückgehalten werden können.

3.8.3 Reinigungsleistung (Labor, IKT)

Um eine Vergleichbarkeit mit den in der LANUV-Liste aufgeführten Systemen zu bekommen, wurde ein weiteres Versuchsmodell des Filterklärbeckens beim IKT gebaut und unter Laborbedingungen geprüft.

In den vom IKT durchgeführten Testverfahren würden 4 aufeinander folgende Teilprüfungen durchgeführt. Nachfolgend ist die Tabelle 3 des Prüfberichts des FKB durch das FKB dargestellt.

Teilprüfung Nr.	Regenintensität in L/(s*ha)	Volumenstrom in L/s ^{*1}	Quarzmehl		Prüfdauer in min	Proben Anzahl
			in kg	in g/L		
1	2,5	0,125	12,500	3,47	480	10
2	6,0	0,300	8,333	2,31	200	10
3	25,0	1,250	4,167	1,16	48	10
4	100,0	5,000	0,000	0,00	15	15
Summe			25,000		743	45
*1 Berechnet aus Multiplikation der maximal anzuschließenden Fläche (500 m ²) mit der jeweiligen Prüfregeuspense						

Tabelle 11 Versuchsparameter zur Ermittlung des Rückhalts AFS

Abweichend zu allen bisher getesteten Systemen reinigt sich das Filterklärbecken (FKB) selbsttätig. Da die Prüfungen aufeinander ohne Reinigung der (Filter-)Anlage erfolgen, ist die Reinigung der Anlage nicht vorgesehen und auch nicht erfolgt, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit allen anderen bisher getesteten Systemen zu gewährleisten.

Es ergibt sich hieraus eine Rückhalt der Gesamtanlage gem. Formel DIBt von 89,32% (s. Tabelle 5 des Prüfberichts des IKT). Nimmt man an, dass eine automatische Reinigung des Filtervlieses nach Teilprüfung 3 erfolgt, so ergibt sich ein **Rückhalt von 91,71%** (s. Tabelle 5 des Prüfberichts des IKT).

Der detaillierte Prüfbericht liegt diesem Abschlussbericht als Anhang 3 bei.

3.8.4 Betriebsergebnisse/Optimierung

Aufgrund der Forschung seit 2011 hat es eine Vielzahl von Verbesserungen und Anpassungen gegeben. Der Bauzustand 3 stellt das Ergebnis dieser Arbeiten dar.

Neben den vielen Details sind besonders zu nennen:

Sandfang:

Der Sandfang in der Modellanlage spielt nur eine untergeordnete Rolle, da es diesbezüglich bereits ausgereifte Systeme gibt. Großanlagen werden diese dann Verwendung finden.

Durch die Anordnung eines Prallbleches am Zulaufrohr konnte die die Wirkung des Sandfangs der Modellanlage entscheidend verbessert werden.

Filtervlies:

Das Filtervlies weist eine enorme Haltbarkeit auf. Aufgrund seiner Öffnungsweite von rd. 100 µm (0,1mm) filtert es sehr effektiv belastetes Niederschlagswasser. Die glatte Oberfläche ermöglicht die Abreinigung des Stoffes vom Filterkuchen mittels eines vorwärts gerichteten Wasserstrahls.

Als nachteilig erweist sich die Neigung zur Kolmation des Stoffes. Bei einer Stärke von ca. 2-2,5 mm wird ein hoher Wasserdruck zur Aufrechterhaltung einer dauerhaften hohen Versickerungsfähigkeit benötigt. Für diese Tiefenreinigung wird zudem sauberes Wasser benötigt. Von der Anlage gereinigtes Niederschlagswasser erweist sich hierbei als geeignet. In einem Sammelraum muss das zur Reinigung benötigte Wasser zwischengespeichert werden.

Bei der Tiefenreinigung des Vlieses wird punktuell sehr viel Wasser durch den Stoff gedüst. Der Mineralfilter ist nicht in der Lage, dieses Wasser schnell genug abzuleiten. Zudem dringt der Wasserstrahl durch das Vlies und verlagert den Mineralfilter, sodass Wellen und Anhäufungen entstehen. Durch Schaffung eines Abstandes zwischen Filtervlies und Mineralfilter von min. 3 cm werden diese Probleme behoben.

In den allermeisten Regenwassernetzen fällt mehr oder minder viel Fremdwasser an. Auch dieses transportiert Schmutzstoffe, die sich auf dem Vlies anlagern. Deshalb ist es, insbesondere in Trockenzeiten sinnvoll das Filtervlies in regelmäßigen Abständen zu reinigen. Der notwendige Zyklus ist abhängig vom Einzugsgebiet.

Eine Belüftung des Luftraumes zwischen den beiden Filterstufen ist notwendig, da die Abtrocknung eines Filters der Kolmation entgegenwirkt.

Sobald sich ein Filterkuchen auf dem Vlies bildet, verringert sich dessen Durchgängigkeit. Bei weiterem Zufluss beginnt sich letztlich ein Wasserkörper auf dem Vlies zu bilden. Über diesen wird der Zeitpunkt zur Reinigung des Filtervlieses bestimmt. Versuche haben gezeigt, dass ein Wasserstand von 5-15 cm nicht überschritten werden sollte. Dieses Wasser versickert noch zügig durch das Vlies (mit Unterstützung der Schlammpumpe). Zudem neigt das Vlies dann nicht so stark zur Kolmation. Bestätigt wird diese Beobachtung durch einen weiteren Test des IKT (s. Anhang 4). Dort wurde festgestellt, dass durch erhöhten Wasserstand steigende Konzentrationswerte im Ablauf gemessen worden sind (s. Anhang 4, Seite 6 letzter Absatz).

Mineralfilter:

Mithilfe des Einsatzes eines Minerals als zweite Filterstufe wird die Reinigung des belasteten Niederschlagswassers erheblich verbessert. Partikuläre Bestandteile, die das Filtervlies pas-

siert haben ($\leq 0,1\text{mm}$) werden hier zurückgehalten. Aufgrund der Verwendung von Kalkbrechsanden und Eisenhydroxid, können auch gelöste Bestandteile erfasst und zurückgehalten werden.

Ebenso wie das Filtervlies beginnt sich auch der Mineralfilter mit gefilterten Schmutzstoffen zu kolmieren. Aufgrund der abwärts gerichteten Fließrichtung und des spezifischen Eigengewichts dieser Schmutzstoffe wandern diese zum Grund des Mineralfilters. Teilweise werden sie auch über die Drainage des Filters wieder ausgetragen. Werden diese Schmutzstoffe nicht aus dem Mineralfilter entfernt, reichern sie sich immer weiter im Filter an und führen zu einer immer geringeren hydraulischen Durchlässigkeit und letztlich zur völligen Verstopfung.

Durch Anordnung eines feinen Gittergewebes unter dem Mineralfilter können diese Feinstbestandteile in einen unterhalb angeordneten Schlammsammelraum gelangen. Der Mineralfilter bleibt somit ohne weitere mechanische Einrichtungen leistungsfähig. Je nach Bedarf wird dieser Schlammsammelraum turnusmäßig ausgepumpt.

4 Ausblick/Pilotanlage

Die Entwicklung der Modellanlage des Filterklärbeckens hat sich als Erfolg herausgestellt. In 2015 ist mit der Planung eines Prototyps begonnen worden. Der Baubeginn ist für 2016/2017 vorgesehen.

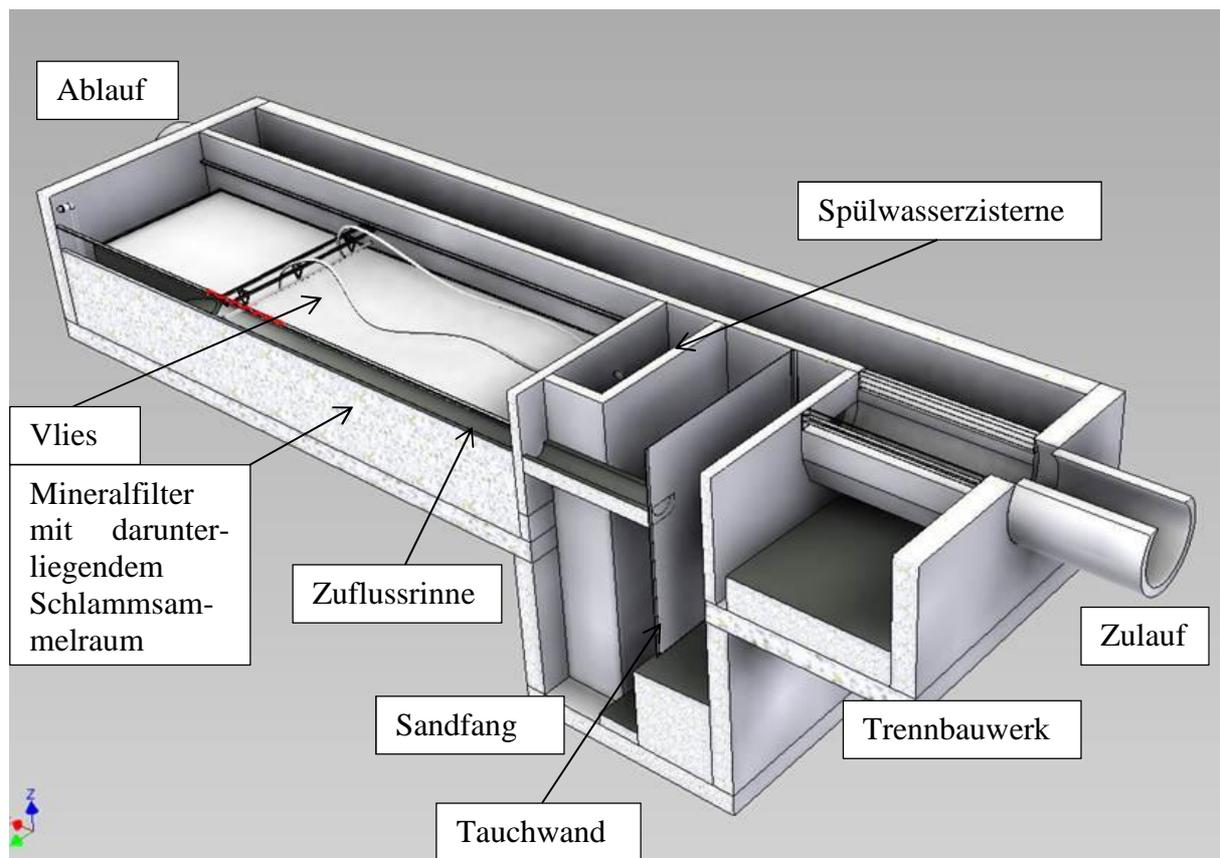


Abbildung 29 3-D-Zeichnung des Prototypen

Die Vorgänge in dem Prototyp entsprechen weitestgehend denen der Modellanlage.

Über das Zulaufrohr (beruhigt auf $20 D_0$ mit $Fr \leq 0,75$) gelangt das zu behandelnde Wasser in den Beckenüberlauf/Trennbauwerk. Über eine Drossel wird der zu behandelnde Anteil des

Zulaufes (15 L/s je Hektar befestigter, behandlungsbedürftiger Fläche und 5 L/s je Hektar nicht behandlungsbedürftiger Fläche) in den Sandfang geleitet.

Über eine Tauchwand wird das Wasser in die Tiefe geleitet. Schwimmstoffe werden zurückgehalten. Nach Unterströmen der Tauchwand bewirkt das stark aufgeweitete Fließprofil eine starke Beruhigung der Strömung und somit die Abtrennung grober Sinkstoffe aus dem Abwasserstrom.

Mittels einer Zuflussrinne wird das Vlies über die Längsseite beaufschlagt. Vorgesehen ist hierbei, die Überfallkante im vorderen Bereich einige Zentimeter tiefer auszuführen. Dies ist darin begründet, dass hier die Drainage zu Beschickung der Spülwasserzisterne vorhanden ist und diese vorrangig aufgefüllt werden soll.

Unterhalb des Vlieses befindet sich der im Bericht unter 3.4.2.2 beschriebene Luftraum. Das Wasser trifft nach Filterung durch das Vlies auf den Mineralfilter. Feinstpartikel werden hier zurückgehalten. Das gereinigte Niederschlagswasser fließt über die im Filter integrierten Drainageleitungen in den Ablauf der Anlage, welcher im Bedarfsfall vom Trennbauwerk auch zur Entlastung genutzt wird.

Um einen Rückstau der Anlage durch Hochwasser des Gewässers zu vermeiden, wird am Ablauf der Anlage eine Rückstausicherung vorgesehen.

Die Reinigung des Vlieses und des Mineralfilters erfolgt wie bei der Modellanlage (s. 3.4.2.2 und 3.4.2.3). Abweichend zur Modellanlage wird der Zufluss zum Filter durch einen elektrisch betätigten Schieber gestoppt.

Der Schlammraum wird über die Schlammpumpe turnusmäßig leergepumpt. Zur Verbesserung der Reinigung des Sammelraumes wird entlang der Längsseite gegenüber der Schlammpumpe eine Spüleinrichtung vorgesehen. Diese kann über einen Schieber von der Spülwasserpumpe beschickt werden. Das Schlamm-Wasser-Gemisch wird über das Schmutzwassernetz zur Kläranlage geleitet und dort behandelt.

Viele Details müssen, insbesondere unter betrieblichen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten, für diese Großanlage neu geplant werden. Dazu gehören unter anderem:

- eine vereinfachte Aufbringung des Filtervlieses
- ein Schlepp für die Spülschläuche
- eine Reinigung des Schlammraum
- Eine Aufteilung des Mineralfilters in Segmente, um diesen je nach Verschmutzung austauschen zu können (geplant ist eine Aussaugung des Materials, z. B. durch Spülwagen)
- die Belüftung des Luftraumes zwischen den Filterstufen
- eine Konzipierung der Anlage in der Örtlichkeit, sodass eine ausreichende lichte Höhe/Arbeitsraum oberhalb des Vlieses entsteht.

Diese genannten Punkte stellen aber die Funktion der Anlage nicht in Frage, sodass diesbezüglich der Bau des Prototyps nicht in Frage gestellt wird.

5 Zusammenfassung

Erfahrungen im Regenwassernetz haben gezeigt, dass in Einzugsgebieten mit:

- großer Fläche,
- unterschiedlichster Nutzung und/oder
- unterschiedlichster Belastung der Verkehrsflächen

zentrale Anlagen gegenüber den dezentralen und semizentralen Anlagen wirtschaftlicher sind. Das Monitoring ist, im Vergleich zu dezentralen Anlagen sehr viel einfacher und kostengünstiger.

Regenklärbecken haben sich in ihrer Reinigungsleistung gerade gegenüber den Feinstpartikeln in den meisten Fällen dauerhaft als nicht mehr ausreichend herausgestellt.

Ertüchtigungs- oder Ausbaumaßnahmen bedeuten einen großen finanziellen Aufwand in Bau und Unterhaltung. Nachgeschaltete Retentionsbodenfilter haben zudem einen erheblichen Flächenbedarf, der im urbanen Raum oftmals nicht zu Verfügung steht.

Der Wirtschaftsbetrieb Hagen AöR entwickelt aus diesem Grund ein zentrales System welches:

- in der Größe in etwa einem Regenklärbecken entspricht.
- überbaubar ist (Anordnung im Straßenraum möglich).
- in der Filterleistung ausreicht, um Fahrflächen der Kategorie III zu reinigen.
- einen möglichst geringen Unterhaltungsaufwand bedarf.

Das entwickelte System Filterklärbecken (FKB) funktioniert wie ein Regenklärbecken, nur dass der Großteil des Absetzraumes durch ein zweistufiges Filtersystem (Filtervlies und Mineralfilter) ersetzt wurde.

Die Erfahrungen mit Filteranlagen zeigen, dass diese einer regelmäßigen Reinigung bzw. einem Austausch der verschmutzten Filtermedien bedürfen. Das System FKB reinigt sich selbsttätig und erhält somit seine Leistungsfähigkeit in punkto Reinigung und hydraulischer Durchgängigkeit über einen langen Zeitraum.

Das System ist bisher als Modellanlage zur Entwicklung der Filterkomponenten und der Reinigungssystematik entwickelt worden. Es wurde mit Niederschlagswasser aus einem Wohn- und Gewerbegebiet im Norden von Hagen sowie von Fahrflächen der Dortmunder Straße und BAB 1 (beides Kategorie III) beaufschlagt.

Der finale Bauzustand 3 zeigt neben der guten Reinigungsleistung ebenfalls die Wirksamkeit der Systeme zur automatischen Reinigung der beiden Filterstufen (Filtervlies und Mineralfilter). Die abgefilterten Schmutzstoffe werden als Schlamm-Wasser-Gemisch abgepumpt und in den zukünftigen Anlagen in das Schmutzwassernetz geleitet. Hauptsächlich werden partikuläre Substanzen über das System erfasst. Der entwickelte Mineralfilter ist in der Lage, aufgrund seiner Zusammensetzung bedingt gelöste Substanzen zu erfassen. Aufgrund der geringen Kontaktzeit des Filters mit dem zu behandelnden Wasser und der fehlenden biologischen Zonen, wie einer Bepflanzung, ist die Wirkung dahingehend begrenzt.

Während sich der Mineralfilter aufgrund seiner Durchströmungsrichtung von oben nach unten und des spezifischen Eigengewichts der Schmutzstoffe selbsttätig reinigt, ist für das Filtervlies ein Reinigungssystem erforderlich. Der entstehende Filterkuchen auf dem Vlies wird mit-

tels eines Wasserstrahls abgespült. Die beginnende Kolmation im Vlies wird durch ein intensives Durchspülen mit dem Wasserstrahl im Nachgang aufgehoben.

In 2015 ist mit der Planung eines Prototyps begonnen worden. Der Baubeginn ist für 2016/2017 vorgesehen.

6 Rechtsverbindliche Unterschriften:

Hagen, 22.12.2015

gez. Bihs

Bihs

Vorstand

gez. Sommer

Sommer

Fachbereichsleiter
Entwässerungsplanung,

gez. Kiese Wetter

Kiese Wetter

Fachleiter, Entwickler FKB
Entwässerungsplanung

7 Literatur

- 1 MUNLV-NRW (2004): Anforderung an die Niederschlagsentwässerung im Trennverfahren, Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf.
 - 2 Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR, den Stadtbetrieben Königwinter und der Stadtentwässerung Schwerte GmbH (2011): Dezentrale Niederschlagswasserbehandlung in Trennsystemen – Umsetzung des Trennerlasses
 - 3 Wirtschaftsbetrieb Hagen AöR, Untersuchungen Straßenablaufilter INNOLET, Juli 2008-Februar 2010
 - 4 DWA, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Entwicklung von Prüfverfahren für Anlagen zur dezentralen Niederschlagswasserbehandlung im Trennverfahren, Juli 2010
 - 5 MAXX, Mess- und Probenahmetechnik GmbH, Bedienungsanleitung Probenahmegerät MAXX SP III, Januar 2006
-

Anhang 1

Technische Daten Modellanlage Bauzustand 3

Maße:

Container:

$$\begin{aligned} l/b/h &= 7,0/2,4/1,70\text{m} \\ A_{\text{Versickerung}} &= 1,94 * 3,90 = 7,57 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Zisterne:

Siehe Anhang 2

Hydraulik und Steuerungsdaten:

$$\begin{aligned} Q_{\text{zu}} &= 23 \text{ L/s} \\ k_f (\text{angestrebt}) &\geq 5 * 10^{-3} \text{ m/s} \\ \text{Einschaltpunkt Reinigung Vlies} &= 5-15 \text{ cm über OK Vlies} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{Spülwasser}} &= 8,8 \text{ L/s} \\ V_{\text{Spülwasser}} &= 1,41 \text{ m}^3/\text{Spülgang (Vor- und Rückfahrt)} \\ P_{\text{Spülwasser}} &= 7,0 \text{ bar an Spüldüse} \end{aligned}$$

Abreinigungszeiten Vlies:

$$\begin{aligned} t_{\text{Oberflächenreinigung}} &= 80\text{s (kann auf die Hälfte verkürzt werden)} \\ t_{\text{Tiefenreinigung}} &= 80\text{s} \end{aligned}$$

Maschinentchnik:

$$\text{Steuerung} = \text{SPS}$$

MID:

Endress und Hauser Promag 10W1F, DN 150 6“

Schlammpumpe:

KSB KRTF 80-200

Freistromlaufrad

3,4 kW

Spülwasserpumpe:

KSB UPA 150C-30/11 UMA 150E 13/21

10 KW

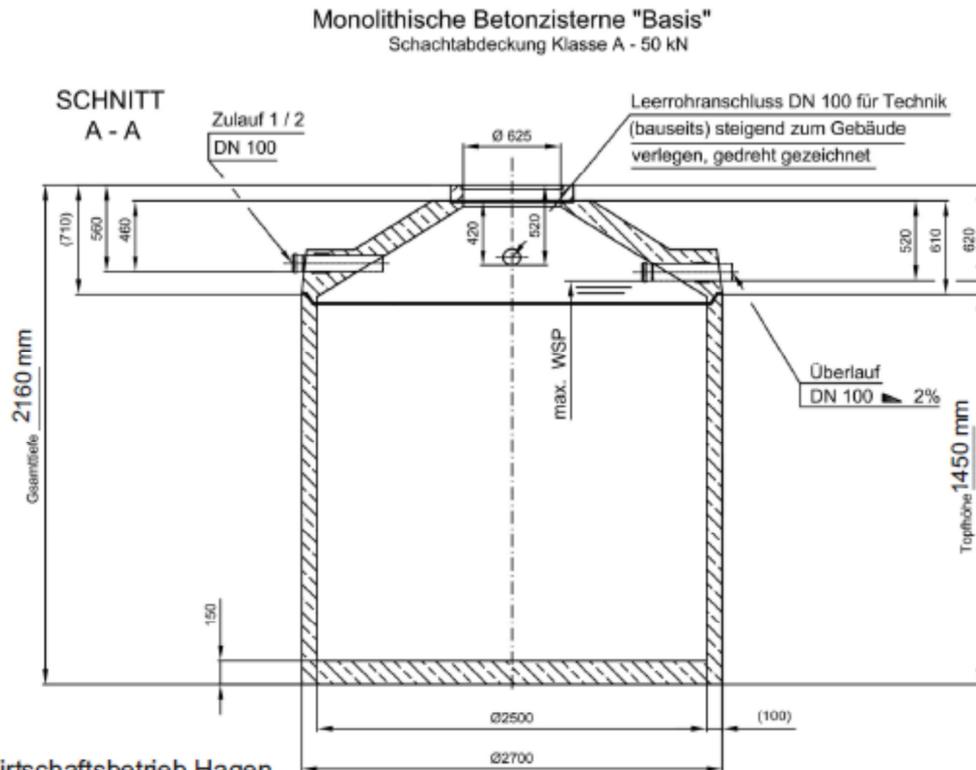
Spüldüsen:

Lechler 616.804.16.00.00.0

Flachstrahldüse, Werkstoff 4305

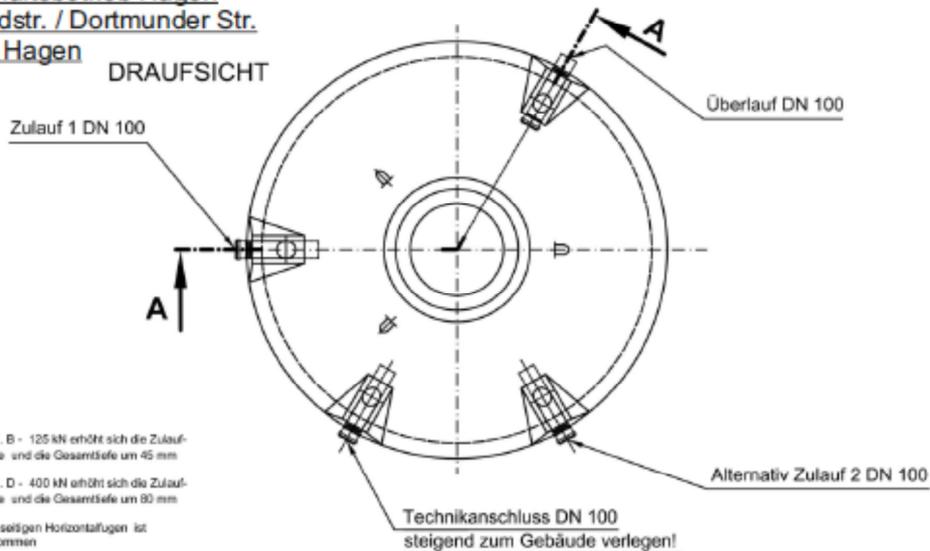
Anhang 2

Technische Daten Spülwasserzisterne Bauzustand 3



BV: Wirtschaftsbetrieb Hagen
Böhfeldstr. / Dortmunder Str.
58099 Hagen

DRAUFSICHT



- Mit Abdeckung Kl. B - 125 kN erhöht sich die Zulauf-tiefe, Überlauf-tiefe und die Gesamttiefe um 45 mm
- Mit Abdeckung Kl. D - 400 kN erhöht sich die Zulauf-tiefe, Überlauf-tiefe und die Gesamttiefe um 90 mm
- Die Höhe der bauseitigen Horizontalfugen ist mit 10 mm angedessen
- Toleranzen der Betonteile nach DIN 4034

M 1:40	Maße in mm	B.G: C35/45	Artikelnummer	Gesamt - volumen (L)	Gesamt - tiefe (mm)	Topf - höhe (mm)	Wasser - tiefe (mm)	schwerst. Einzel - gewicht (kg)	Gesamt - gewicht (kg)
<p>MMD Herzbachweg 65 63571 Gelnhausen Tel: 06051 7039-0 Fax: 06051 7039-20 e-Mail: info@mmd-ag.de</p>			BZB6000-M25	6000	1800	1200	1400	6100	6200
			BZB7000-M25*	7000	2160	1450	1390	6560	6640
			BZB8100-M25*	8100	2400	1750	1650	7400	7500
			BZB9500-M25	9500	2670	1960	1900	6000	7940
			BZB11000-M25	11000	2990	2280	2220	6660	8600
			BZB12400-M25	12400	3270	2500	2300	7250	9170
Datum 22.05.2012	Datum geprüft:		* Konus werkseitig aufgemörtelt						
gez: R.Braun	Geprüft von:								