

Entwicklung von Prüfverfahren für Anlagen zur dezentralen Niederschlagswasserbehandlung im Trennverfahren - Verifikation

Schlussbericht
gefördert unter dem AZ: 28940/02-23
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Prof. Dr.-Ing. habil. Antje Welker, Prof. Dr.-Ing. Mathias Uhl,
Dipl.-Ing. Martina Dierschke, B. Eng. Julian Langner

Juni 2013



Der Abschlussbericht ist erhältlich bei:

DWA

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

Theodor-Heuss-Allee 17

53773 Hennef

Kooperationspartner:

Prof. Dr.-Ing. habil. Antje Welker

Dipl.-Ing. Martina Dierschke

FG Siedlungswasserwirtschaft

und Hydromechanik

FH Frankfurt am Main

Nibelungenplatz 1

60318 Frankfurt am Main

Prof. Dr.-Ing. Mathias Uhl

B. Eng. Julian Langner

Institut für Wasser·Ressourcen·Umwelt

Fachbereich Bauingenieurwesen

FH Münster

Corrensstr.25

48149 Münster

• **Projektkennblatt**
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



AZ	28940/02	Referat	23	Fördersumme	56.418 €
Antragstitel		Entwicklung von Prüfverfahren für Anlagen zur dezentralen Niederschlagswasserbehandlung im Trennverfahren - hier: Verifikation der Prüfverfahren			
Stichworte		Gewässer, Wasser, Regenwasser, Schutzgebiet			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
8 Monate	07.03.2012	06.11.2012	1		
Zwischenberichte					
Bewilligungsempfänger		Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) e. V. Theodor-Heuss-Allee 17 53773 Hennef		Tel	02242/872-126
				Fax	02242/872-184
				Projektleitung Dipl.-Biol. Sabine Thaler	
				Koordination Prof. Welker Prof. Uhl	
Kooperationspartner		FH Frankfurt am Main, FG Siedlungswasserwirtschaft und Hydromechanik FH Münster, FB Bauingenieurwesen, Institut für Wasser-Ressourcen-Umwelt			

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Im Rahmen des DBU-Vorhabens „Entwicklung von Prüfverfahren für Anlagen zur dezentralen Niederschlagswasserbehandlung im Trennverfahren“ wurden Prüfverfahren für die bauaufsichtliche Zulassung dezentraler Anlagen in einem ersten Schritt theoretisch entwickelt [DWA, 2010]. Von den entwickelten Prüfverfahren sollen wichtige Impulse für den Einsatz dezentraler Behandlungsanlagen ausgehen und die Entwicklung effizienter, standardisierter Anlagen vorangetrieben werden. Mit den Prüfverfahren werden Bewertungsstandards geschaffen, die den zukünftigen Stand der Technik maßgeblich mitbestimmen.

Im oben genannten Projekt wurden acht Vorschläge für Prüfverfahren formuliert. Eine versuchstechnische Überprüfung der Prüfmethodik fand bisher noch nicht im notwendigen Umfang statt. Der Fachbeirat des ersten Projekts hat sich auf der Abschlussitzung am 9.7.2010 in Düsseldorf daher für eine Überprüfung der erarbeiteten Prüfverfahren im Sinne einer Verifizierung im Prüfstand ausgesprochen. Die Verifizierung ist Ziel des beantragten Projekts. Die Ergebnisse des Vorhabens sollen in die Regelwerksarbeit der DWA eingebunden werden und damit eine richtungsgebende Wirkung entfalten.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Arbeitspaket 1: Laborpraktische Verifikation

Das Arbeitspaket 1 umfasst die laborpraktische Verifikation der Wirksamkeitsprüfung für eine Behandlungsanlage gemäß zweier Laborprüfvorschriften. Die Verifikation wird an der Anlage Hydrosystem 1000 heavy traffic der Firma 3P Technik vorgenommen. Zu diesem Produkttyp liegen bereits erste versuchspraktische Erfahrungen vor, die einen guten Vergleich zu den hier geplanten Untersuchungen zulassen.

Arbeitspaket 2: Implementierung der Erkenntnisse in Prüfverfahren und Optimierung

Das Arbeitspaket beinhaltet den Abgleich zwischen der bisher vorgeschlagenen Prüfvorschrift mit den aus versuchspraktischer Sicht erforderlichen Angaben. Die gewonnenen Erkenntnisse werden in die vorgeschlagenen Prüfverfahren eingearbeitet.

Arbeitspaket 3: Ergänzende Säulenversuche zum Schwermetallrückhalt

Es ist nicht geklärt, ob die geplante Methodik zur Untersuchung des Schwermetallrückhalts zu reproduzierbaren Ergebnissen führt. Deshalb sollen ergänzende Säulenversuche mit verschiedenen Substraten unter den vorliegenden Prüfbedingungen durchgeführt werden. Bei positiver Wiederholbarkeit und einer weitgehenden Unabhängigkeit vom Substrat ließe sich eine zielführende Schwermetallprüfung endgültig formulieren.

Arbeitspaket 4: erste Vorschläge zur Prüfung der Kolmationsneigung

In den bisherigen Prüfvorschriften werden mögliche Kolmationseffekte der Behandlungsanlagen durch einen vermehrten Feststoffeintrag nicht geprüft. Die Einflussfaktoren zum Auftreten und zum Ausmaß einer möglichen Kolmation unter Betriebsbedingungen sollen im Arbeitspaket 4 zusammengestellt und bewertet werden. Dies bildet dann die Grundlage für erste theoretische Vorschläge einer Prüfung der Kolmationsneigung.

Ergebnisse und Diskussion

Arbeitspaket 1 und 2: Verifikation des Prüfverfahrens

Die AFS-Untersuchungen an der Fachhochschule Münster zeigten, dass die Versuche nach den DIBt-Zulassungsgrundsätzen (2011) standortunabhängig zu den gleichen Ergebnissen führen. Der Vergleich mit den Versuchen der LGA in Würzburg zeigen in den Gesamtwirkungsgraden keine bzw. nur sehr geringe Abweichungen. Die Abweichungen zwischen der LGA und der FH Münster liegen zwischen 0,8 bis maximal 1,5%-Punkten. Diese Ergebnisse zeigen, dass die AFS-Untersuchung reproduzierbar ist und zzt. keiner ausführlicheren Beschreibung oder Optimierung unterliegen muss. Die MKW-Untersuchung am Standort Münster zeigte in der ersten Durchführung Abweichungen gegenüber den Ergebnissen der LGA. Als Ursache konnte die Lagerungszeit der MKW-Proben identifiziert werden. Weitergehende Untersuchungen zeigten, dass bei einer Lagerungszeit von bis zu 48 Stunden nach der Probenahme gleiche Analyseergebnisse erzielt werden.

Ein weiterentwickeltes Probennahmekonzept aus einem vom MKULNV geförderten Vorhaben [Schmitt et al., 2011] zeigte, dass die Werte der Doppelbeprobung nach diesem Konzept dicht bei einander liegen. Der Gesamtwirkungsgrad der Untersuchungen an der FH Münster liegt im Bereich der bereits durchgeführten Referenzversuche an der LGA Würzburg.

Es wird empfohlen, die Probenahme und besonders die Analyse der Proben in der Prüfvorschrift detaillierter zu beschreiben.

Die Schwermetall-Untersuchung an den Filtersäulen zeigte bei der ersten Versuchsdurchführung Unterschiede in den Ergebnissen. Ursache könnte eine Verdichtung der Filtersäulen sein oder die Ausfällung der Schwermetalle im Zulaufwasser. Eine zweite Durchführung der Versuche liefert Ergebnisse, welche im Bereich der Ergebnisse der LGA in Würzburg liegen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Anmischung des Zulaufwassers, sowie der Aufbau der Filtersäulen einschließlich Lagerungsdichte in der Prüfvorschrift detaillierter beschrieben werden müssen.

Arbeitspaket 3: Ergänzende Säulenversuche zum Schwermetallrückhalt

Die Untersuchung wurde für drei unterschiedliche Materialien (1. Zeolith und Aktivkohle, 2. Kalksand mit GEH, 3. Kalksand und Porenbeton) und jeweils zwei verschiedenen Säulendurchmessern (DN 100, DN 16) durchgeführt. Material und Säulenaufbau entsprach typischen dezentralen Anlagen. Die Untersuchung zeigte, dass das Wirkprinzip des Schwermetallrückhaltes Skaleneinflüsse aufweist. Bei Materialien mit dem Wirkprinzip Fällung ist der Unterschied der Ergebnisse bei verschiedenen Säulendurchmessern gering. Weiterhin zeigt sich hier die gute Wiederholbarkeit der Ergebnisse in der Schwermetallprüfung. Bei Untersuchungen zum Schwermetallrückhalt mit Ionenaustausch ist der Effekt der unterschiedlichen Säulendurchmesser deutlich erkennbar. Der Rückhalt sowohl des Zinks als auch des Kupfers ist in der Säule mit DN 16 um etwa 10% geringer als in der Säule mit DN 100. Für die Untersuchung des Schwermetallrückhalts wird daher ein Minstdurchmesser von 10 cm empfohlen.

Arbeitspaket 4: erste Vorschläge zur Prüfung der Kolmationsneigung

Ausgewerte Betriebsdaten aus Forschungsprojekten und im Betrieb befindlichen Anlagen zeigen, dass eine Kolmationsneigung sowohl von den Zulaufbedingungen im Einzugsgebiet als auch vom eingesetzten Anlagentyp abhängt. Eine Vorab-Prüfung ist somit nicht geeignet, die Kolmationswahrscheinlichkeit einer Anlage aufzuzeigen. Als Alternative existieren zwei Möglichkeiten: Zum einen eine Definition eines in-situ Prüffeldes, das möglichst worst-case Bedingungen abbildet und eine relative Kolmationsneigung im Vergleich zu einer wenig kolmatierenden Anlage ermittelt oder die Erzeugung von umfassenden Daten zur Betriebsüberwachung mit einheitlichen Untersuchungsmethodiken an vielen Standorten.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Ergebnisse des Forschungsvorhabens werden wie folgt präsentiert und veröffentlicht:

2 Beiträge auf der internationalen Konferenz NOVATECH, Lyon (23.-27.6.2013)

1 Beitrag auf den DWA-Regenwassertagen 11./12.6.2013 in Freiburg

2 Publikationen in Fachzeitschriften (Korrespondenz Abwasser, Water Science and Technology), geplant

Fazit

Die experimentelle Validierung des Prüfverfahrens kann hinsichtlich der AFS-Untersuchung als reproduzierbar angesehen werden. Bei der MKW-Untersuchung stellte sich die Lagerungszeit der Proben als Einflussgröße heraus. In die Prüfvorschrift sollte daher eine maximale Lagerungszeit der Proben von 48 Stunden aufgenommen werden. Die Schwermetallprüfung kann als reproduzierbar angesehen werden, wenn die Lagerungsdichte des Filtermaterials gleich ist. Die Prüfvorschriften sollten hierzu klare Empfehlungen geben und Ermittlung der Lagerungsdichte des Filtermaterials aufnehmen. Die Prüfung des Schwermetallrückhalts sollte an Filtersäulen mit einem Durchmesser von mindestens 10 cm durchgeführt werden. In diesem Punkt ist die bestehende Prüfvorschrift bestätigt worden. Die Kolmationsneigung kann labortechnisch nicht geprüft werden. Der Einfluss des Einzugsgebietes sowie der Anlagenart haben großen Einfluss auf die Kolmationsneigung, hier sind dringend weitere Untersuchungen im Betrieb notwendig.

Quelle: Schmitt, T.G.; Welker, A.; Dierschke, M.; Arnold, G.; Wahrmund, D. (2011): Entwicklung und Validierung von Prüfverfahren für dezentrale Niederschlagswasserbehandlungsanlagen. Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (MKULNV) NRW. Bearbeitung: TU Kaiserslautern; FH Frankfurt; TÜV Rheinland LGA Products GmbH, Würzburg; DIBt, Berlin. Kaiserslautern, August 2011, unveröffentlicht

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2	Verifikation des Prüfverfahrens (FH Münster)	2
2.1	Veranlassung und Zielsetzung	2
2.2	Material und Methoden	2
2.3	Untersuchte Anlage	2
2.3.1	Versuchsstand	4
2.3.2	Prüfgut und Analyseverfahren	5
2.3.2.1	Feststoffe	5
2.3.2.2	MKW	5
2.3.2.3	Schwermetalle	6
2.3.3	Prüfkonfiguration 1	7
2.3.3.1	AFS-Rückhalt	7
2.3.3.2	MKW-Rückhalt	8
2.3.3.3	Schwermetallrückhalt	9
2.3.4	Prüfkonfiguration 2	11
2.3.4.1	AFS-Rückhalt	11
2.3.4.2	Schwermetallrückhalt	11
2.3.5	Nachuntersuchungen zum Rückhalt von MKW und Schwermetallen	12
	MKW-Rückhalt	12
	Schwermetallrückhalt	13
2.4	Ergebnisse und Diskussion	13
2.4.1	Ergebnisse zum AFS-Rückhalt	13
2.4.1.1	Prüfkonfiguration 1	13
2.4.1.2	Prüfkonfiguration 2	17
2.4.2	Ergebnisse zum MKW-Rückhalt	20
2.4.3	Ergebnisse zum Schwermetallrückhalt	21
2.4.3.1	Prüfkonfiguration 1 (Versuch 1 und 2)	21
2.4.3.2	Prüfkonfiguration 2 (Versuch 3 und 4)	24
2.4.4	Ergebnisse der Nachuntersuchung zum MKW-Rückhalt	26
2.4.4.1	Einfluss der Lagerungszeit der Proben	26
2.4.4.2	MKW-Rückhalt in der Nachuntersuchung	27
2.4.5	Ergebnisse der Nachuntersuchung zum Schwermetallrückhalt	28

2.5	Vergleich mit den Prüfergebnissen der LGA Würzburg.....	30
2.5.1	AFS-Prüfung	30
2.5.2	MKW-Prüfung.....	31
2.5.3	Schwermetallprüfung.....	33
2.6	Zusammenfassung.....	35
3	Ergänzende Säulenversuche zum Schwermetallrückhalt (FH Ffm).....	38
4	Neue Erkenntnisse zur Kolmation von dezentralen Anlagen in situ - erste Vorschläge zur Prüfung der Kolmationsneigung (FH Ffm)	40
4.1	Zusammenstellung neuer Erkenntnisse zum Aufkommen und der Zusammensetzung von Feststofffraktionen in Verkehrsflächenabflüssen	42
4.2	Auswertung verfügbarer Betriebsdaten zum Kolmationsverhalten von realen Anlagen 48	
4.2.1	NRW-Projekt Köln [SEK, 2011]	51
4.2.2	Vergleichsuntersuchung zentrale/ dezentrale Niederschlagswasserbehandlung in Wuppertal [Pecher AG, 2011]	62
4.2.3	Untersuchungen zur Filterpatrone Innolet in Hagen [SEH und IGS, 2010].....	63
4.2.4	Untersuchungen zur Reinigungswirkung des Separationsstraßenablaufs im Vergleich zu herkömmlichen Straßenabläufen [Stein, 2008].....	66
4.2.5	Untersuchungen zur Reinigung von Straßenabwasser mit einem Filtersack/Adsorbersystem [Boller et al., 2006].....	69
4.2.6	Erfahrungen mit einer dreistufigen Anlage zur Behandlung von Straßenablaufwasser [Helmreich, 2011].....	72
4.2.7	Betriebliche Erfahrungen mit dezentralen Anlagen zur Straßenentwässerung in NRW [Ellerhorst, 2012a und b]	74
4.2.8	3P-Anlage in verkehrsreicher Bremer Straße, Hamburg [Dierkes, 2010]	79
4.2.9	Behandlungsanlage mit Geotextilsystem in landwirtschaftlichem Hofabfluss [Lambert, 2011]	81
4.2.10	Herstellerangaben.....	81
4.2.11	Fazit.....	85
4.3	Erste theoretische Überlegungen zur Entwicklung einer Prüfmethodik zum Nachweis des Kolmationsverhaltens	88
5	Fazit/Zusammenfassung.....	90
6	Literatur.....	92

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Physikalische Eigenschaften MILLISIL W4	5
Tabelle 2-2: Übersicht der Versuche nach dem DIBt-Verfahren	7
Tabelle 2-3: Versuchsssetup der MKW-Untersuchung	9
Tabelle 2-4: Versuchsssetup der Schwermetallprüfung (Prüfkonfiguration 1).....	10
Tabelle 2-5: Schwermetallkonzentrationen des Beschickungswasser und Prüfwerte im Ablauf.....	10
Tabelle 2-6: Versuchsssetup der Teilprüfung 4 (Rücklösung bei Tausalzeinfluss)	10
Tabelle 2-7: Festgesetzte Prüfwerte Zink und Kupfer (DIBt 2011)	10
Tabelle 2-8: AFS-Untersuchung für Mischflächen bei Einleitung in Oberflächengewässer ...	11
Tabelle 2-9: Versuchsssetup der Schwermetallprüfung (Prüfkonfiguration 2).....	12
Tabelle 2-10: Versuchsssetup der Nachuntersuchung	13
Tabelle 2-11: Wirkungsgrad der Teilprüfungen (Versuch 1)	14
Tabelle 2-12: Wirkungsgrad der Teilprüfungen (Versuch 2)	14
Tabelle 2-13: Ergebnisse der MKW-Untersuchung (Versuch 1)	20
Tabelle 2-14: Ergebnisse der MKW-Untersuchung (Versuch 2)	20
Tabelle 2-15: Ergebnisse der Teilprüfungen zum Schwermetallrückhalt Cu (Versuch 1)	22
Tabelle 2-16: Ergebnisse der Teilprüfungen zum Schwermetallrückhalt Zn (Versuch 1)	22
Tabelle 2-17: Ergebnisse der Teilprüfungen zum Schwermetallrückhalt Cu (Versuch 2)	22
Tabelle 2-18: Ergebnisse der Teilprüfungen zum Schwermetallrückhalt Zn (Versuch 2)	22
Tabelle 2-19: Ergebnisse der Teiluntersuchung zum Schwermetallrückhalt unter Tausalzeinfluss (Teilprüfung 4, Versuche 1 und 2).....	23
Tabelle 2-20: Ergebnisse der Teilprüfungen zum Schwermetallrückhalt Cu (versuch 3).....	25
Tabelle 2-21: Ergebnisse der Teilprüfungen zum Schwermetallrückhalt Zn (Versuch 3)	25
Tabelle 2-22: Ergebnisse der Teilprüfungen zum Schwermetallrückhalt Cu (Versuch 4)	25
Tabelle 2-23: Ergebnisse der Teilprüfungen zum Schwermetallrückhalt Zn (Versuch 4)	25
Tabelle 2-24: Ergebnisse der Teiluntersuchung zum Schwermetallrückhalt unter Tausalzeinfluss (Teilprüfung 4, Versuche 3 und 4).....	26
Tabelle 2-25: Abbau von MKW in Abhängigkeit der Lagerungszeit	27
Tabelle 2-26: Ergebnisse der Nachuntersuchung zum MKW-Rückhalt.....	28
Tabelle 2-27: Ergebnisse der Nachuntersuchung zum Schwermetallrückhalt Cu	29
Tabelle 2-28: Ergebnisse der Nachuntersuchung für Schwermetalle Zn	29
Tabelle 3-1: Aufbau der verwendeten Filtersäulen zum Schwermetallrückhalt	39

Tabelle 4-1: Einflussgrößen auf die Kolmation, aus [Schwarz, 2004], verändert nach [Schälchli, 1993].....	41
Tabelle 4-2: Partikelgrößen von verschiedenen verkehrsbedingten Belastungen	44
Tabelle 4-3: AFSges in [mg/l] als Mittelwert je Quartal in einer 9-jährigen Messkampagne an der Derchinger Straße in Augsburg mit 7.000 DTV [Nadler und Meißner, 2008].....	45
Tabelle 4-4: Steckbrief der in Köln eingebauten Geotextilfiltersäcke	53
Tabelle 4-5: Steckbrief der in Köln eingebauten Separationsstraßenabläufe	55
Tabelle 4-6: Steckbrief der in Köln eingebauten Centrifloel-Systeme	57
Tabelle 4-7: Steckbrief der in Köln eingebauten Innolet-Filterpatronen.....	59
Tabelle 4-8: Steckbrief der in Königswinter eingebauten 3P-Anlage.....	61
Tabelle 4-9: Steckbrief der in Wuppertal eingebauten 3P-Anlage.....	62
Tabelle 4-10: Steckbrief der in Hagen eingebauten Innolet-Filterpatronen	64
Tabelle 4-11: Steckbrief der in Herne eingebauten Separationsstraßenabläufe	67
Tabelle 4-12: Steckbrief der in Burgdorf eingebauten Pilotanlagen	69
Tabelle 4-13: Steckbrief der in Bayern eingesetzten Kombinationsanlage.....	72
Tabelle 4-14: Steckbrief der in Winterberg eingebauten Aquafoel-Systeme	74
Tabelle 4-15: Steckbrief der in Bielefeld eingebauten Innolet-Filterpatronen	76
Tabelle 4-16: Steckbrief des in Köln-Widdersdorf eingebauten Geotextilfiltersacks.....	77
Tabelle 4-17: Steckbrief des in ein Mischgebiet im Duisburger Hafen eingebauten Mall-Lamellenklärers.....	78
Tabelle 4-18: Steckbrief der in Hamburg eingebauten 3-P-Anlagen	79
Tabelle 4-19: Kolmationsneigung für dezentrale Behandlungsanlage mit Filtereinheit zum Entfernen von gelösten Schwermetallen.....	87

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Hydrosystem 1000 traffic.....	3
Abbildung 2-2: Schema des Versuchsstandes	4
Abbildung 2-3: Probenahmeverrichtung nach DIN EN 858-1.....	6
Abbildung 2-4: Verlauf der AFS-Ablaufkonzentrationen bei Prüfkfiguration 1 (Versuch 1)15	
Abbildung 2-5: Verlauf der AFS-Ablaufkonzentrationen bei Prüfkfiguration 1 (Versuch 2)16	
Abbildung 2-6: Verlauf der AFS-Ablaufkonzentrationen bei Prüfkfiguration 2 (Versuch 3)18	
Abbildung 2-7: Verlauf der AFS-Ablaufkonzentrationen bei Prüfkfiguration 2 (Versuch 4)19	
Abbildung 2-8: Verlauf der Ablaufkonzentrationen von Zink und Kupfer bei Tausalzeinfluss (Teilprüfung 4, (Versuche 1 und 2).....	23
Abbildung 2-9: Verlauf der Ablaufkonzentrationen von Zink und Kupfer bei Tausalzeinfluss (Teilprüfung 4, Versuche 3 und 4).....	24
Abbildung 2-10: Verlauf der MKW-Konzentration abhängig von der Lagerungszeit der Proben	27
Abbildung 2-11: Verlauf der MKW-Ablaufkonzentrationen den Teilprüfungen 1 bis 4.....	28
Abbildung 2-12: Verlauf der Ablaufkonzentrationen für Schwermetalle	29
Abbildung 2-13: AFS-Austrag in Prüfrengenspende 1 bis 4.....	30
Abbildung 2-14: AFS-Rückhalt in den einzelnen Prüfrengenspenden und Gesamtbewertung 31	
Abbildung 2-15: MKW-Ablaufkonzentration in Prüfrengenspende 1 bis 4.....	32
Abbildung 2-16: MKW-Gesamtrückhalt	32
Abbildung 2-17: Kupfer-Rückhalt in Prüfrengenspende 1 bis 3.....	33
Abbildung 2-18: Zink-Rückhalt in Prüfrengenspende 1 bis 3	34
Abbildung 2-19: Gesamtrückhalt für den Parameter Kupfer-	34
Abbildung 2-20: Gesamtrückhalt für den Parameter Zink-	35
Abbildung 3-1: Kupferrückhalt in den Säulenversuchen	39
Abbildung 3-2: Zinkrückhalt in den Säulenversuchen	40
Abbildung 4-1: Herkunft der AFS im Verkehrsflächenabfluss (Straßen, Parkplätze).....	42
Abbildung 4-2: Größenbereiche von Partikeln in der Atmosphäre, aus [HLUG, o.J.]	43
Abbildung 4-3: Korngrößenverteilung im Staubniederschlag der Stadt Linz, Messungen 1973 und 1974, Messdaten aus [Gruber, 1981]	44
Abbildung 4-4: Dokumentation von „Salzflecken“ und die Auswaschung von Feinpartikeln aus dem Fahrbahnmaterial als Folge der Salzstreuung [Lambert, 2010].....	45
Abbildung 4-5: Prinzipskizze Geotextilfiltersack (unmaßstäblich)	53
Abbildung 4-6: Prinzipskizze ACO SSA Combipoint (unmaßstäblich).....	55

Abbildung 4-7: Prinzipskizze Centrifoel, Baureihe 3 (unmaßstäblich)	57
Abbildung 4-8: Prinzipskizze Innolet-Filterpatrone (unmaßstäblich).....	59
Abbildung 4-9: Prinzipskizze 3 P Hydrosystem (unmaßstäblich)	61
Abbildung 4-10: Kolmation durch Belag auf dem Zulaufsieb einer 3-P-Anlage [Pecher, 2011].....	63
Abbildung 4-11: Probenahme INNOLET Filtermaterialien [SEH und IGS, 2010].....	64
Abbildung 4-12: Zusetzen der Filtermantelfläche durch feine Pollen im Frühjahr [SEH und IGS, 2010].....	65
Abbildung 4-13: Herbstlaub im Bereich des Straßeneinlaufes [SEH und IGS, 2010]	65
Abbildung 4-14: Einsatz im Winter [SEH und IGS, 2010].....	66
Abbildung 4-15: Angewendete Einsatzkonstruktionen des SSA [Stein, 2008]	67
Abbildung 4-16: Beispiele unterschiedlicher Füllstände im Eimer [Stein, 2008]	68
Abbildung 4-17: Versuchsanordnung der Phase I in Burgdorf [Boller et al., 2006].....	70
Abbildung 4-18: Versuchsanordnung der Phase III in Burgdorf [Boller et al., 2006].....	71
Abbildung 4-19: 1. Stufe: Entwässerungssystem mit Rinne [Helmreich, 2011]	72
Abbildung 4-20: Prinzipskizze (unmaßstäblich). 2. und 3. Stufe: Hydrozyklon (Abscheider, unten) Sorptionsfilter mit Filterelement und Vorfilter (oben) [Hilliges et al., 2007]	73
Abbildung 4-21: Prinzipskizze Aquafoel-Sicherheitsstraßenablauf(unmaßstäblich)	75
Abbildung 4-22: Aquafoel-Sicherheitsstraßenabläufe bei der Kontrolle [Ellerhorst, 2012a]...75	
Abbildung 4-23: Prinzipskizze Mall-Lamellenklärer (unmaßstäblich)	78
Abbildung 4-24: Prinzipskizze des in Hamburg eingebauten Regenwassersystems [Dierkes, 2010].....	80
Abbildung 4-25: Mikrobielle Kolmation eines Geotextils [Lambert, 2011].....	81
Abbildung 4-26: Filter-Durchlässigkeitswerte, rot: Anlagen in Verkehrsflächen, blau: andere Flächen	84
Abbildung 4-27: Autarke Wasserstandmessung zur Überwachung dezentraler Regenwasserbehandlungsanlagen [Hoppe, 2012]	89
Abbildung 4-28: Auswertung und Betriebsdokumentation einer Betriebsüberwachung [Hoppe, 2012]	89

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Neben zentralen Anlagen (z.B. Regenklärbecken) werden vermehrt dezentrale Anlagen zur Behandlung von Niederschlagsabflüssen (z.B. Filterschächte) realisiert. Die Wirksamkeit dieser Anlagen kann durch ein Messprogramm an realen Anlagen nachgewiesen werden oder alternativ durch standardisierte Laborprüfverfahren [DIBt, 2011, DWA 2010].

Im Rahmen des abgeschlossenen DBU-Vorhabens „Entwicklung von Prüfverfahren für Anlagen zur dezentralen Niederschlagswasserbehandlung im Trennverfahren“ wurden acht Prüfverfahren für die bauaufsichtliche Zulassung dezentraler Anlagen theoretisch entwickelt und formuliert [DWA, 2010]. Eine versuchstechnische Überprüfung der Prüfmethodik fand bisher noch nicht im notwendigen Umfang statt. Diese Verifizierung im Labormaßstab ist Ziel des vorliegenden Projekts. Die Ergebnisse des Vorhabens sollen in die Regelwerksarbeit der DWA eingebunden werden und damit eine richtungsgebende Wirkung entfalten. Mit den Prüfverfahren werden Bewertungsstandards geschaffen, die den zukünftigen Stand der Technik maßgeblich mitbestimmen.

In Kapitel 2 wird die laborpraktische Verifikation der Wirksamkeitsprüfung für eine Behandlungsanlage gemäß zweier Laborprüfvorschriften beschrieben. Vorgesehen ist die Verifikation an der Anlage Hydrosystem 1000 heavy traffic der Firma 3P Technik vorzunehmen. Zu diesem Produkttyp liegen bereits erste versuchspraktische Erfahrungen vor, die einen guten Vergleich zu den hier geplanten Untersuchungen zulassen.

Es ist bislang nicht abschließend geklärt, ob die geplante Methodik zur Untersuchung des Schwermetallrückhalts zu reproduzierbaren Ergebnissen führt. Deshalb sollen Kapitel 3 die Ergebnisse ergänzender Säulenversuche mit verschiedenen Substraten und Durchmessern unter den vorliegenden Prüfbedingungen vorgestellt werden. Bei positiver Wiederholbarkeit und einer weitgehenden Unabhängigkeit vom Substrat ließe sich eine zielführende Schwermetallprüfung endgültig formulieren.

In den bisherigen Prüfvorschriften werden mögliche Kolmationseffekte der Behandlungsanlagen durch einen vermehrten Feststoffeintrag nicht geprüft. Die Einflussfaktoren zum Auftreten und zum Ausmaß einer möglichen Kolmation unter Betriebsbedingungen sollen in Kapitel 4 zusammengestellt und bewertet werden. Dies bildet dann die Grundlage für erste theoretische Vorschläge einer Prüfung der Kolmationsneigung.

Abschließend werden die Erkenntnisse aus den theoretischen Vorüberlegungen und den Versuchsergebnissen in Kapitel 5 zusammengefasst und in die Prüfverfahren implementiert.

2 Verifikation des Prüfverfahrens (FH Münster)

2.1 Veranlassung und Zielsetzung

Im Rahmen des DBU-Vorhabens (AZ 26840-23) „Entwicklung von Prüfverfahren für Anlagen zur dezentralen Niederschlagswasserbehandlung im Trennverfahren“ wurden Prüfverfahren für die bauaufsichtliche Zulassung dezentraler, standardisierter Anlagen zur Behandlung von Niederschlagswasser theoretisch entwickelt [DWA, 2010]. Von den entwickelten Prüfverfahren sollen wichtige Impulse für den Einsatz dezentraler Behandlungsanlagen ausgehen und die Entwicklung effizienter, standardisierter Anlagen vorangetrieben werden. Mit den Prüfverfahren werden Bewertungsstandards geschaffen, die den zukünftigen Stand der Technik maßgeblich mitbestimmen. In dem Projekt wurden acht Vorschläge für Prüfverfahren formuliert. Diese basieren auf theoretischen Überlegungen und ersten Vortests zur praxismgerechten Ausgestaltung der Prüfverfahren.

Eine versuchstechnische Verifizierung der Prüfmethodik fand bisher noch nicht im notwendigen Umfang statt. Der Fachbeirat des ersten Projekts hat sich auf der Abschlusssitzung am 9.7.2010 in Düsseldorf daher für eine Überprüfung der erarbeiteten Prüfverfahren im Sinne einer Verifizierung im Prüfstand ausgesprochen.

Ziel der Arbeiten an der FH Münster ist die Verifikation des Prüfverfahrens in seiner bislang vorliegenden Fassung. Zum einen soll die praktische Handhabung der Prüfvorschrift im Detail nachvollzogen und so auf gegebenenfalls vorliegende Unzulänglichkeiten überprüft werden. Zum anderen soll die Prüfung an einer Anlage durchgeführt werden, die von der LGA in Würzburg bereits mit dem Prüfverfahren detailliert untersucht worden ist. Die Ergebnisse der Prüfung wurden der FH Münster nicht bekannt gegeben. Dieser Blindtest dient der Validierung des Prüfverfahrens, wenn die Prüfergebnisse beider Untersuchungen übereinstimmen.

2.2 Material und Methoden

Das Arbeitspaket 1 umfasst die laborpraktische Verifikation der Wirksamkeitsprüfung für eine Behandlungsanlage gemäß zweier Laborprüfvorschriften. Die Verifikation wurde an der Anlage Hydrosystem 1000 heavy traffic der Firma 3P Technik durchgeführt. Zu diesem Produkttyp liegen bereits erste versuchspraktische Erfahrungen vor, die einen guten Vergleich zu den hier geplanten Untersuchungen zulassen. Des Weiteren besteht bereits eine Zulassung für diesen Anlagentyp. Zur Verifikation der Versuchsdurchführung wurden die einzelnen Prüfungen zweimal durchgeführt.

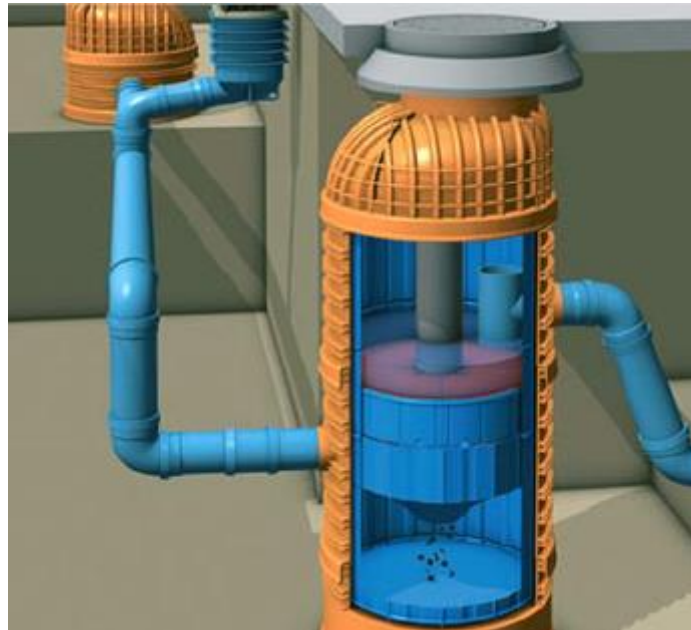
2.3 Untersuchte Anlage

Das 3P Hydrosystem 1000 traffic ist ein aus Kunststoff bestehender Schacht, welcher in einen Standardbetonschacht eingebaut wird. Die Anlage ist konzipiert zum Anschluss von gering belasteten Verkehrsflächen bis 500 m². Das Regenwasser wird im Filterschacht gereinigt und soll anschließend weitergeleitet werden in eine Versickerungsanlage oder ein Ober-

flächengewässer. Bei der Reinigung des zulaufenden Abflusses werden verschiedene Reinigungsverfahren eingesetzt. Die einzelnen Verfahren werden in der Anlage durch einen hydrodynamischen Abscheider und eingebauten Filterelementen gewährleistet.

Die Reinigung beruht auf den folgenden Verfahren:

- Sedimentation,
- Adsorption,
- Filtration,
- und einer chemische Fällung



(Quelle:Produktbeschreibung 3P Technik Filtersysteme GmbH)

Abbildung 2-1: Hydrosystem 1000 traffic

Der Einbau der Anlage ist in Abbildung 2-1 dargestellt. Der Zulauf zur Anlage ist als Rohr DN 200 ausgeführt. Das Zulaufrohr wird über eine Falleitung am unteren Teil der Anlage angeschlossen. Der Ablauf der Anlage, ebenfalls DN 200, erfolgt über ein T-Stück und dann wiederum über eine Falleitung in den Ablauf. Das angeschlossene T-Stück dient zur Abscheidung von Leichtstoffen.

Das zugeleitete Regenwasser wird tangential in die Anlage zu einem hydrodynamischen Abscheider geleitet, der eine radiale Strömung ausbildet. In diesem Teil der Anlage findet eine Sedimentation der Sandfraktion statt, welche im Schlammfang zurückgehalten wird. Im mittleren Teil der Anlage sind vier Filterelemente eingebaut. Diese bewirken die Filtration von Feinstoffen, die Ausfällung und die Adsorption von gelösten Schadstoffen. Im oberen Bereich befindet sich der Ablauf mit integriertem Leichtstoffabscheider.

2.3.1 Versuchsstand

Die zu untersuchende Anlage wird gemäß den Herstellerangaben im Versuchsstand aufgebaut. Die Beschickung der Anlage erfolgt mit Kreiselpumpen aus einem bis zu 32 m³ fassenden Speicher mit feststofffreiem Trinkwasser. Für die Durchflussmessung stehen zwei MIDs (Promag 50 W DN 25 und 53 W DN 150, Firma Endress und Hauser) zur Verfügung. Die Förderleistung der Pumpen wird mit Hilfe von Frequenzumrichter geregelt, bei sehr geringen Durchflüssen über einen manuellen Schieber.

In die Zulaufleitung zur Anlage kann mit Hilfe einer volumetrisch arbeitenden Feststoffdosierschnecke (Typ K-MV-KT20, Firma K-TRON Deutschland GmbH) Prüfmehl zudosiert werden. Die gewünschte Feststoffkonzentration im Zulauf wird über die Förderleistung der Dosierschnecke eingestellt. Vor der zu untersuchenden Behandlungsanlage kann die Durchmischung des Prüfmehls in einem Sichtrohr kontrolliert werden. An derselben Stelle findet auch die Zudosierung des Heizöls statt. Diese wird mit einer Vorrichtung gleichmäßig über einen definierten Zeitraum dem Zulauf zudosiert.

Direkt im Ablauf der Behandlungsanlage erfolgt an einer gut durchmischten Stelle die Probenahme für die Feststoff- und die MKW-Untersuchung. Zur Verringerung des Wasserbedarfs kann unbelastetes Wasser im Kreislauf gepumpt werden.

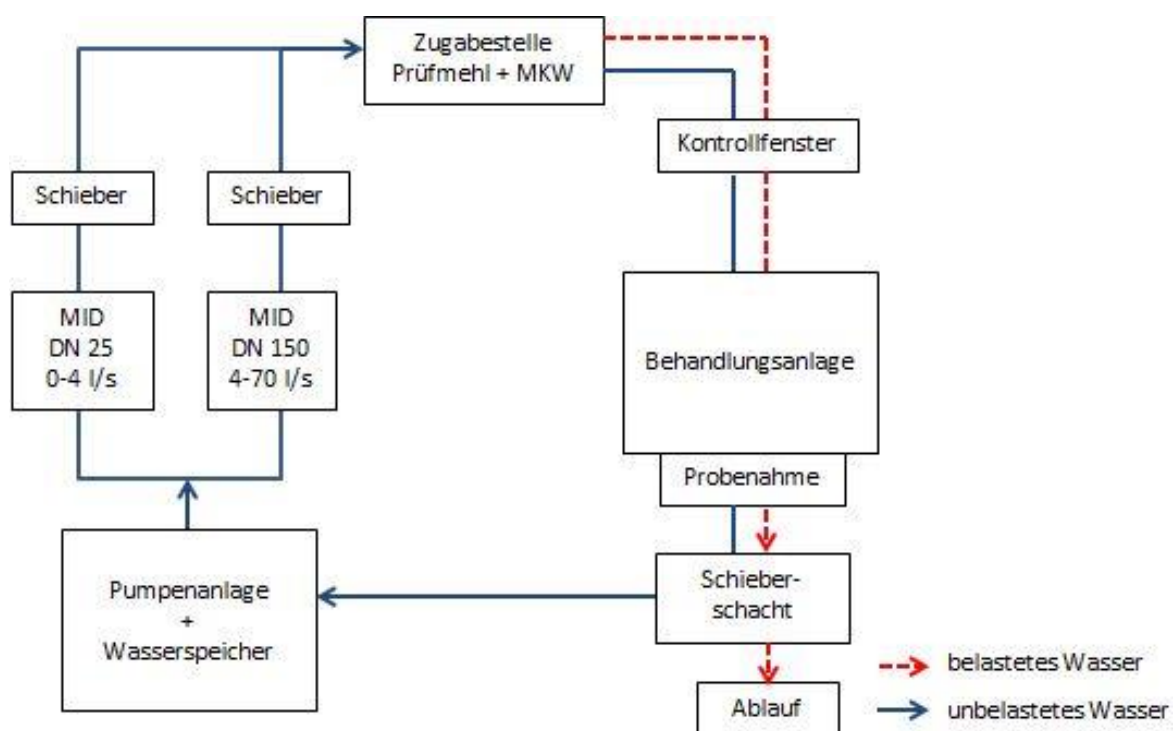


Abbildung 2-2: Schema des Versuchsstandes

2.3.2 Prüfgut und Analyseverfahren

2.3.2.1 Feststoffe

Für die Untersuchung des Feststoffrückhaltes der Anlage wurde das Quarzmehl MILLISIL W 4 der Quarzwerke GmbH aus Frechen eingesetzt. Die Herstellerangaben der physikalischen und chemischen Eigenschaften sind in Tabelle 2-1 zusammengefasst.

Aus dem gut durchmischten Ablaufstrom wurden manuell Schöpfproben mittels 1 l-Glasweithalsflaschen entnommen. Die Konzentration der AFS wurde nach [DIN 38409-2, 1987; DIBt, 2011, 1997] ermittelt. Die Porenweite des eingesetzten Membranfilters beträgt 0,45 µm.

Tabelle 2-1: Physikalische Eigenschaften MILLISIL W4

MILLISIL W 4	physikalische Eigenschaften
Dichte (DIN EN ISO 787-10)	2,65 g/ml
pH-Wert (DIN ISO 10390)	7
Härte nach Mohs	7
Schüttdichte	1,3 g/cm ³
Spez. Oberfläche (Blaine DIN 66126-2)	1300 cm ² /g
chemische Analyse (Gew.-%)	
SiO ₂	99
Al ₂ O ₃	0,3
Fe ₂ O ₃	0,05
CaO + MgO	0,1
Na ₂ O + K ₂ O	0,2
Glühverlust 1000°C (DIN EN ISO 3262-1)	0,25
Feuchtigkeit (DIN ISO 787-2) (werkfrische Ware)	0,1

Die AFS-Proben werden im Labor der Fachhochschule Münster analysiert und ausgewertet. Dazu werden die Membranfilter bei 105 °C im Trockenschrank getrocknet und anschließend mit einer Präzisionswaage gewogen. Die Genauigkeit der Analysewaage liegt bei 0,0001 g. Die Proben werden durch ein Vakuumverfahren über dem Membranfilter abfiltriert und wieder im Trockenschrank bei 105 °C bis zur Volumenkonstanz getrocknet. Durch die Gewichts-differenz zum unbeladenen Filter ergibt sich die Feststofffracht in der Probe. Aus dem Volumen der Probe sowie dem Gewicht der Feststoffe in der Probe kann die Konzentration ermittelt werden.

2.3.2.2 MKW

Für die MKW-Untersuchungen wurde gemäß den DIBt-Zulassungsgrundsätzen (2011) Heizöl EL nach DIN 51603 dem Zulauf gleichmäßig innerhalb der ersten 5 Minuten zugeführt (Toleranz ± 2 %). Die Teilproben sind mit einem Messzylinder aus Glas mit Hilfe einer Probe-

nahmevorrichtung gemäß DIN EN 858-1 dem Volumenstrom entnommen worden (vgl. Abbildung 2-3). Diese Teilproben wurden unmittelbar nach der Probenahme in eine 1 l Mischprobeflasche aus Glas gegeben.

Die MKW-Analytik wird durch das Labor Wessling GmbH in Altenberge durchgeführt. Die Proben werden in 1 l Schliffflaschen genommen, welche durch das Labor bereitgestellt werden. Die Analyse wird gemäß EN ISO 9377-2 durchgeführt, um den Kohlenwasserstoffindex im Wasser zu bestimmen. Die Bestimmungsgrenze liegt bei 0,1 mg/l.



Abbildung 2-3: Probenahmevorrichtung nach DIN EN 858-1

2.3.2.3 Schwermetalle

Die Prüfung des Schwermetallrückhaltes wurde an Filtersäulen durchgeführt. Die Teilproben wurden direkt im Ablauf der Säule, mit einem Probengefäß von 200 ml aus PE, genommen. Die Teilproben wurden mit einem Probengefäß 200 ml PE entnommen. Die Gefäße wurden vom Prüflabor Wessling GmbH zur Verfügung gestellt.

Diese wurden nach DIN 38406-21 auf die Schwermetalle Kupfer und Zink untersucht.

Die Schwermetall-Analytik (Cu und Zn) wird ebenfalls durch das Umweltlabor Wessling GmbH in Altenberge durchgeführt. Die Proben werden in 200 ml Gefäßen genommen, welche mit einem Stabilisierer versehen sind. Zur Stabilisierung kommt HCl zum Einsatz, um einen Abbau bzw. ein Ausflocken zu verhindern. Die Probegefäße werden durch das Umweltlabor bereitgestellt. Die Analyse wird gemäß ISO 17294-2 durchgeführt. Die Bestimmungsgrenze liegt bei 0,001 mg/l.

Das Labor ist durch die DAkkS nach DIN ISO/IEC 17025 als Prüflabor akkreditiert.

2.3.3 Prüfkonfiguration 1

Die Prüfkonfiguration 1 beinhalten das Versuchssetup aus den DIBt-Zulassungsgrundsätzen (2011), mit dem Anschluss einer Verkehrsfläche und der anschließenden Weiterleitung zu einer Versickerungsanlage. Für diese Konfiguration wurden die Untersuchungen auf dem Feststoff-, dem MKW- und dem Schwermetallrückhalt durchgeführt.

2.3.3.1 AFS-Rückhalt

Zur Ermittlung des Rückhaltes wird die Anlage mit der rechnerischen Jahresfracht von 50 g/m² AFS beschickt. Bei einer maximal anschließbaren Fläche von 500 m² ergibt sich die Jahresfracht zu 25 kg. Diese Fracht wird im Verhältnis 3:2:1 auf die ersten drei Teilprüfungen aufgeteilt (Tabelle 2-2).

Tabelle 2-2: Übersicht der Versuche nach dem DIBt-Verfahren

Versuch Nr.	Prüfregenspende l/(s*ha)	Durchfluss l/s	Konzentration mg/l	Prüfdauer min	Bemerkung
1	2,5	0,125	3.014	480	
2	6,0	0,3	2315	200	
3	25,0	1,25	1.157	48	
4	100,0	5,0	0	15	Remobilisierung

Zwischen dem Ende der Teilprüfung 3 und dem Beginn von Teilprüfung 4 ist eine Ruhezeit von mindestens 16 h einzuhalten. Der Zufluss der Teilprüfung 4 wird innerhalb von 10 Sekunden auf den Sollwert eingestellt. Die Prüfung erfolgt ohne Feststoffzudosierung und untersucht das Remobilisierungsverhalten von zuvor sedimentierten Feststoffen.

Die Probenahmezeitpunkte der Teilversuche berechnen sich aus der theoretischen Austauschrate der Anlage. Die einfache theoretische Austauschrate entspricht der Zeit, die benötigt wird um das Volumen in der Anlage durch den Zufluss einmal auszutauschen. Die erste Probe wird nach der einfachen theoretischen Austauschrate genommen. Die letzte Probe ist am Ende jeder Teilprüfung zu nehmen. Die restlichen drei Proben werden gleichmäßig auf die dazwischen liegende Zeit verteilt. Zur Überprüfung der Einzelwerte wird eine Doppelbeprobung durchgeführt. Die Beprobung des Remobilisierungsversuchs 4 weicht von den anderen Teilprüfungen ab. Hier werden über die gesamte Versuchszeit von 15 Minuten im Minutenabstand Proben genommen. Zusätzlich zu den in den DIBt-Zulassungsgrundsätzen (2011) vorgesehenen Proben wurden zwei weitere Proben bei $t = 0,5$ min und $t = 1,5$ min genommen. Um die Reproduzierbarkeit der Versuchsdurchführung zu prüfen, sind die Versuchsreihe zweimal durchgeführt worden.

Die Frachtbilanzierung erfolgt nach den DIBt-Zulassungsgrundsätzen (2011). Aus den Doppelbeprobungen der einzelnen Teilprüfungen werden arithmetische Mittelwerte berechnet. Für jede Teilprüfung wird aus den gemittelten Ablaufkonzentrationen eine Ablauffracht berechnet, wobei die Ablauffracht des Remobilisierungsversuchs nur zur Hälfte berücksichtigt wird. Die so ermittelten Teilprüfungsfrachten im Ablauf der Anlage werden zur Gesamtfracht

aufsummiert. Zur Bestimmung der Ablaufkonzentration wird die Gesamtfracht durch das Zulaufvolumen geteilt.

$$B_{ges} = V_{Pr,1} * C_1 + V_{Pr,2} * C_2 + V_{Pr,3} * C_3 + 0,5 * (V_{Pr,4} * C_4) \quad (1)$$

$$C_{ges} = \frac{B_{ges}}{V_{Pr,1} + V_{Pr,2} + V_{Pr,3} + V_{Pr,4}} \quad (2)$$

mit:

$V_{Pr,n}$	l	Beschickungsvolumen der Teilprüfung n
C_n	mg/l	gemittelte Ablaufkonzentration der Teilprüfung
B_{ges}	mg	gemittelte Ablauffracht gesamt
C_{ges}	mg/l	gemittelte Ablaufkonzentration gesamt

2.3.3.2 MKW-Rückhalt

Weiterer Teil der Untersuchung zur Verifikation der Prüfverfahren ist die Untersuchung des MKW-Rückhalts der Anlage. Die Versuche werden gemäß den DIBt-Zulassungsgrundsätzen (2011) durchgeführt.

Die Versuchsreihe ist in 4 Teilprüfungen aufgeteilt, wobei den ersten drei Teilprüfungen die rechnerische Jahresfracht von 0,68 g/m² gleichmäßig, innerhalb der ersten 5 Minuten jeder Teilprüfungen, zudosiert wird. Das Heizöl wurde dem Zulauf innerhalb der ersten 5 Minuten kontinuierlich zugegeben. Für das Hydrosystem mit einer anschließbaren Fläche von 500 m² ergibt sich eine Jahresfracht von 340 g an mineralölhaltigen Kohlenwasserstoffen.

Das Versuchssetup kann Tabelle 2-3 entnommen werden. Dabei sind die Prüfregenspenden entsprechend der AFS-Untersuchung. Die Versuchsdauern sind in den Zulassungsgrundsätzen vorgegeben, diese müssen jedoch mindestens dem 1,5-fachen der rechnerischen Verweilzeit entsprechen. Diese Randbedingungen sind eingehalten.

Die Beprobung erfolgt direkt im Ablauf der Anlage mittels einer Probenahmeverrichtung nach DIN EN 858-1. Dabei sind bei jeder Teilprüfung zwei Mischproben (Doppelbeprobung) aus dem Volumenstrom zu entnehmen (DIBt 2011). Das Probenahmekonzept sieht vor, gleichmäßig verteilt über die jeweilige Dauer der ersten drei Prüfungen 10-mal zwei Teilproben a 75 ml mit einem Messzylinder aus Glas zu entnehmen. Diese sind zu einer Mischprobe in einer 1 l Mischprobeflasche aus Glas zusammen zuführen.

Die vierte Teilprüfung weicht im Probenahmekonzept von den DIBt-Zulassungsgrundsätzen ab. Es wird alle 1,5 Minuten eine Teilprobe von 75 ml mittels der Probenahmeverrichtung entnommen. Demnach werden auch in dem vierten Teilversuch 10 Teilproben genommen und zu einer Mischprobe zusammengeführt. Auch für diese Teilprüfung wird eine Doppelbeprobung vorgesehen.

Die Konzentrationen werden nach DIN EN ISO 9377-2 bestimmt. Die Prüfungen gelten nach den DIBt-Zulassungsgrundsätzen als bestanden, wenn die MKW-Ablauffracht ≤ 20 % und die MKW-Ablauffracht jeder einzelnen Mischprobe ≤ 40 % der Zugabefracht ist (DIBt, 2011).

Tabelle 2-3: Versuchssetup der MKW-Untersuchung

Versuch Nr.	Prüfregenspende l/(s*ha)	Zufluss l/s	Prüfdauer min	Zugabemenge MKW g
1	2,5	0,125	200	113
2	6,0	0,3	80	113
3	25,0	1,25	20	113
4	100,0	5,0	15	-

2.3.3.3 Schwermetallrückhalt

Dritter Teil der Untersuchung ist die Prüfung des Schwermetallrückhaltes des Filtermaterials. Diese Untersuchung wurde an Filtersäulen durchgeführt, welche im Maßstab 1:74 aufgebaut sind. Als Leitparameter wurden Zink und Kupfer in gelöster Form untersucht. Die Untersuchung wurde gemäß DIBt-Zulassungsgrundsätzen (2011) durchgeführt.

Die Filtersäulen werden in den Versuchsstand eingebaut und das Vorlagewasser mit der Metalllösung versetzt. Für die Untersuchung wird demineralisiertes Wasser (Leitfähigkeit $\leq 200 \mu\text{S}$) genutzt welches mit Hilfe von Salpetersäure und Natronlauge auf einen konstanten pH-Wert von 5,0 gehalten wird. Dem Vorlagewasser werden die Metalle in Form von Standardlösungen zugegeben.

Die durchschnittliche Jahresfracht an gelöstem Zink beträgt $135,0 \text{ mg/m}^2$, die von Kupfer $15,5 \text{ mg/m}^2$. Der Beschickungszufluss ergibt sich aus der angeschlossenen Fläche (500 m^2), den Prüfregenspenden nach den DIBt-Zulassungsgrundsätzen (2011) und dem Verhältnisfaktor zwischen Säule und Filterelement. Die Zulaufkonzentrationen sowie die Parameter der Prüfungen können Tabelle 2-4 entnommen werden.

Die Versuche sind in 4 Teilprüfungen aufgeteilt. In den Teilprüfungen 1 bis 3 werden die Filtersäulen mit der Metalllösung beschickt und die Konzentration der Leitparameter im Ablauf bestimmt. Die vierte Teilprüfung untersucht eine mögliche Rücklösung unter Tausalzeinfluss.

Die Probenahme erfolgt direkt im Ablauf der Filtersäule. Dabei erfolgt die erste Probenahme nach der einfachen theoretischen Austauschrate der Filtersäule. Die letzte Probe wird am Ende der Teilprüfung genommen, die restlichen Proben werden gleichmäßig zwischen erster und letzter Probenahme aufgeteilt. Zur Reproduzierbarkeit werden bei jeder Probenahme Doppelbeprobungen vorgenommen. Insgesamt werden demnach 4 Doppelproben in gleichem Abstand über die Prüfdauer mit mindestens 100 ml Volumen genommen.

Die Konzentrationen der acht Einzelproben werden durch Mittelwertbildung für jede Teilprüfung (1 bis 3) zusammengefasst. Aus diesen Mittelwerten wird für jedes Schwermetall eine Gesamtablaufkonzentration durch Bildung des arithmetischen Mittelwertes der Teilprüfungen berechnet (DIBt 2011).

Die Gesamtablaufkonzentrationen an Zink und Kupfer dürfen die in Tabelle 2-5 angegebenen Ablaufkonzentrationen nicht überschreiten. Des Weiteren darf keine der drei Teilkonzentrationen das Zweifache der zulässigen Ablaufkonzentration überschreiten (DIBt 2011).

Tabelle 2-4: Versuchsssetup der Schwermetallprüfung (Prüfkonfiguration 1)

Versuchnr.	Prüfregenspende l/(s*ha)	Zufluss l/min	Prüfdauer min	Zulaufkonzentration		Bemerkung
				Zn mg/l	Cu mg/l	
1+2	2,50	0,10	480	6,25	0,72	
	6,00	0,24	200	6,25	0,72	
	25,00	1,00	48	6,25	0,72	
	25,00	1,00	15			Salzeinfluss

Tabelle 2-5: Schwermetallkonzentrationen des Beschickungswasser und Prüfwerte im Ablauf

Schwermetall	Zulaufkonzentration	zulässige Ablaufkonzentration	Mindestrückhalt
	µg/l	µg/l	%
Zink	6.250	≤ 1875	70
Kupfer	720	≤ 144	80

Die vierte Teilprüfung untersucht eine mögliche Rücklösung der gelösten Schwermetalle unter Tausalzeinfluss. Für diese Prüfung ist eine Lösung aus Trinkwasser und Tausalzen (Natriumchlorid gemäß TL Streu) anzusetzen. Der Versuch ist an der beladenen Filtersäule frühestens 16 h nach Beendigung der Teilprüfung 3 durchzuführen.

Das Probenahmekonzept ist gleich den ersten Teilprüfungen. Es werden insgesamt 4 Doppelproben genommen, dabei ist mit der ersten Probenahme zu warten bis das Volumen in der Säule theoretisch einmal ausgetauscht ist. Die verbleibenden drei Probenahmen werden gleichmäßig auf die restliche Zeit verteilt. Alle Proben sind auf die Schwermetallkonzentrationen von Kupfer und Zink nach DIN 38406-21 zu untersuchen.

Die Prüfung ist bestanden, wenn keine der gemittelten Konzentration der Doppelbestimmung das Zweifache der zulässigen Ablaufkonzentration und die gemittelte Gesamtkonzentration die zulässige Ablaufkonzentration nicht überschreitet (DIBt 2011).

Die Grundlagen der Teilprüfung 4 können Tabelle 2-6 und die zulässigen Ablaufkonzentrationen Tabelle 2-7 entnommen werden. Der Messwert der Leitparameter der Tausalzlösung wird für jeden Versuch bestimmt.

Tabelle 2-6: Versuchsssetup der Teilprüfung 4 (Rücklösung bei Tausalzeinfluss)

Prüfregenspende l/(s*ha)	Zufluss l/min	Prüfdauer min	Beschickungsvolumen l	Zulaufkonzentration Tausalz g/l	Fracht g
25,0	1,0	15	20	10	200

Tabelle 2-7: Festgesetzte Prüfwerte Zink und Kupfer (DIBt 2011)

Schwermetall	Zulaufkonzentration Schwermetall in der Tausalzlösung µg/l	Zulässige Ablaufkonzentration µg/l
Zink	Messwert	≤ 500 + Messwert
Kupfer	Messwert	≤ 50 + Messwert

2.3.4 Prüfkonfiguration 2

Die Prüfkonfiguration 2 basiert auf den Anschluss einer Mischfläche an die Anlage und der Weiterleitung des gereinigten Wasser in ein Oberflächengewässer. Diese Konfiguration ist in den DIBt-Zulassungsgrundsätzen (2011) nicht berücksichtigt. Für diese Konfiguration wurden die Untersuchungen des Feststoff- und des Schwermetallrückhaltes durchgeführt.

2.3.4.1 AFS-Rückhalt

Die Untersuchung unterscheidet sich zu den DIBt-Zulassungsgrundsätzen (2011) in der rechnerischen Jahresfracht und der Aufteilung der Fracht auf die Teilprüfungen gegenüber der ersten Untersuchung. In diesem Setup wird eine rechnerische Jahresfracht von 54,2 g/m² angenommen. Die gesamte Fracht wird im Verhältnis 2:2:1 auf die ersten drei Teilprüfungen aufgeteilt.

Das Probenahmekonzept basiert auf dem Vorschlag aus dem Projekt DBU II. Dabei werden die Zeitpunkte aus der theoretischen Austauschrate berechnet. Zusätzlich zu den Zeitpunkten gemäß DIBt-Zulassungsgrundsätzen werden weitere Proben genommen. Die erste Probe wird nach der 0,1-fachen Austauschrate genommen, die zweite nach der 0,2-fachen usw. bis zur 1,5-fachen Austauschrate. Eine weitere Probenahme findet nach der 1,75-fachen Austauschrate statt. Insgesamt werden demnach 20 Proben für die Teilprüfungen 1 bis 3 genommen. Das Probenahmekonzept der vierten Teilprüfung entspricht den DIBt-Zulassungsgrundsätzen (2011). Zusätzlich werden noch Probe nach 30 Sekunden und 1,5 Minuten genommen.

Tabelle 2-8: AFS-Untersuchung für Mischflächen bei Einleitung in Oberflächengewässer

Versuch Nr.	Prüfregenspende l/(s*ha)	Durchfluss l/s	Konzentration mg/l	Prüfdauer min	Bemerkung
1	2,5	0,125	3011	480	
2	6,0	0,3	3011	200	
3	25,0	1,25	1506	48	
4	100,0	5	0	15	Remobilisierung

2.3.4.2 Schwermetallrückhalt

Der Schwermetallrückhalt wird wie bereits in Kapitel 2.3.3.3 beschrieben in den Versuchstand eingebaut und das Vorlagewasser mit der Metalllösung versetzt. Durch die Annahme eines Anschlusses einer Mischfläche und der Weiterleitung in ein Oberflächengewässer ändert sich in dieser Untersuchung die rechnerische Jahresfracht der Leitparameter Zink und Kupfer. Für den Parameter Kupfer wird eine Konzentration von 0,778 mg/l und für Zink von 6,2 mg/l angenommen.

Die Untersuchungen des Schwermetallrückhaltes bestehen aus 4 Teilprüfungen entsprechend den DIBt-Zulassungsgrundsätzen (2011). Dabei wird die rechnerische Jahresfracht gleichmäßig über die ersten drei Teilprüfungen aufgebracht und die vierte Teilprüfung unter-

sucht eine mögliche Rücklösung unter Tausalzeinfluss. Das Probenahmekonzept entspricht dem bereits in Kapitel 2.3.3.3 beschriebenen Konzept. Die Teilprüfungen können Tabelle 2-9 entnommen werden. Die vierte Teilprüfung entspricht der Teilprüfung aus den DIBt-Zulassungsgrundsätzen (2011) und kann Kapitel 2.3.3.3 entnommen werden.

Tabelle 2-9: Versuchsssetup der Schwermetallprüfung (Prüfkonfiguration 2)

Versuchnr.	Prüfregenspende l/(s*ha)	Zufluss l/min	Prüfdauer min	Zulaufkonzentration		Bemerkung
				Zn mg/l	Cu mg/l	
3+4	2,50	0,10	480	6,2	0,778	
	6,00	0,24	200	6,2	0,778	
	25,00	1,00	48	6,2	0,778	
	25,00	1,00	15			Salzeinfluss

2.3.5 Nachuntersuchungen zum Rückhalt von MKW und Schwermetallen

MKW-Rückhalt

Die Ergebnisse der MKW-Untersuchung zeigten einen sehr hohen Wirkungsgrad der Anlage, die nicht zu Ergebnissen anderer direkt vergleichbarer Untersuchungen passte. Somit waren weitergehende Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit erforderlich. Als mögliche Ursachen der Diskrepanzen wurden unterschiedliche Lagerungszeiten der Proben vor der Analytik sowie die Analytik selber vermutet. Zur Klärung wurden folgende Nachuntersuchungen durchgeführt:

- Einfluss der Lagerungszeit der Proben auf die MKW-Konzentrationen
- Einfluss der Labors (Wessling GmbH, Altenberge und Rietzler, Nürnberg) auf die Analyseergebnisse

Das Versuchsssetup kann Tabelle 2-10 entnommen werden.

Aufgrund der Ergebnisse (vgl. Kapitel 3.4) wurde sodann die MKW-Untersuchung an der Anlage mit jeweils neuen Filtereinheiten noch einmal durchgeführt. Das Versuchsssetup der Zusatzuntersuchung entspricht der vorangegangenen Untersuchung und kann Tabelle 2-3 entnommen werden. Die Proben wurden bei der Nachuntersuchung innerhalb von 3 Stunden nach Beendigung der Versuchsdurchführung analysiert.

Tabelle 2-10: Versuchssetup der Nachuntersuchung

Probe	Konzentration mg/l	Standzeit	Labor
1 (Doppelprobe)	75	0	Wessling (MS)
2 (Doppelprobe)	75	0	Rietzler (N)
3 (Doppelprobe)	75	1 Woche	Wessling (MS)
4 (Doppelprobe)	75	1 Woche	Rietzler (N)
5 (3 fache Parallelanalyse)	75	0	Wessling (MS)
6 (3 fache Parallelanalyse)	75	2 Stunden	Wessling (MS)
7 (3 fache Parallelanalyse)	75	4 Stunden	Wessling (MS)
8 (3 fache Parallelanalyse)	75	8 Stunden	Wessling (MS)
9 (3 fache Parallelanalyse)	75	24 Stunden	Wessling (MS)
10 (3 fache Parallelanalyse)	75	48 Stunden	Wessling (MS)

Schwermetallrückhalt

Der Rückhalt der Schwermetalle Zink und Kupfer ergab wie die MKW-Untersuchung einen sehr hohen Rückhalt der Anlage. Im Vorfeld durchgeführte Untersuchungen zeigten ein ähnliches Verhalten. Bei diesen Prüfungen wurden jedoch die Filtersäulen verdichtet und dadurch entstand der hohe Rückhalt an den Schwermetallen. Weitere Ursache könnte ein Ausflocken der Schwermetalle sein, welche dann durch das Material gefiltert wird.

Aufgrund der Abweichung der erzielten Ergebnisse wurden in der Nachuntersuchung die Versuche des Versuchssetups 1 noch einmal durchgeführt, jedoch ohne die Prüfung der Rücklösung unter Tausalzeinfluss (siehe Tabelle 2-4). Bei dieser Prüfung wurde zusätzlich noch eine Zulaufbeprobung vorgesehen, welche für jede Teilprüfung die Zulaufkonzentration analysiert.

2.4 Ergebnisse und Diskussion

2.4.1 Ergebnisse zum AFS-Rückhalt

2.4.1.1 Prüfkonfiguration 1

Der Verlauf der Ablaufkonzentration der AFS der beiden Versuche mit der Konfiguration Verkehrsfläche - Grundwasser ist in Abbildung 2-4 und Abbildung 2-5 dargestellt. Die Konzentrationen der ersten drei Teilprüfungen sind relativ konstant. Die Ablaufwerte der ersten Teilprüfung des ersten Versuches liegen bei ca. 70 mg/l. Die Werte steigen bei einer Regenspende von 6,0 l/(s*ha) auf ca. 80 mg/l an. Bei einer Regenspende von 25 l/(s*ha) liegen die Ablaufkonzentrationen bei etwa 110 mg/l. Beim Remobilisierungsversuch wird eine maximale Ablaufkonzentration von ca. 900 mg/l gemessen. Der Verlauf zeigt ein typisches Verhalten einer Remobilisierung. Bei einer sehr hohen hydraulischen Belastung wird zu Beginn des Versuches eine bestimmte Fracht aus der Anlage ausgespült. Im weiteren Verlauf werden die Ablaufkonzentrationen wieder geringer und nähern sich Null an.

Der zweite Versuch, welcher zur Reproduzierbarkeit dienen soll, zeigt im Verlauf der Ablaufkonzentration ein ähnliches Verhalten. Die erste Teilprüfung im zweiten Versuch liefert jedoch etwas geringere Ablaufkonzentrationen. Das Gesamtergebnis (prozentualer Rückhalt) wird durch die sehr geringen Abweichungen jedoch nicht beeinflusst.

Nach den DIBt-Zulassungsgrundsätzen lässt sich der Wirkungsgrad der Anlage bezüglich des Rückhaltes von abfiltrierbaren Stoffen berechnen. Der Gesamtwirkungsgrad der Anlage liegt bei 95 % (in beiden Versuchen). Die Ergebnisse der Berechnung des Wirkungsgrads der Teilprüfungen kann Tabelle 2-11 und Tabelle 2-12 entnommen werden. Die Ergebnisse der Einzelproben kann dem Anhang 1.1 entnommen werden.

Tabelle 2-11: Wirkungsgrad der Teilprüfungen (Versuch 1)

Prüfregenspende	AFS-Konzentration Ablauf, Mittelwert	Niederschlags -volumen	AFS-Fracht Zulauf	AFS-Fracht Ablauf	Wirkungsgrad
l/(s*ha)	mg/l	l	g	g	%
2,5	66	3600	12499	238	98
6,0	73	3600	8334	262	97
25,0	107	3600	4165	386	91
100,0	176	4500	0	792	
Gesamt			25000	1282	95

Tabelle 2-12: Wirkungsgrad der Teilprüfungen (Versuch 2)

Prüfregenspende	AFS-Konzentration Ablauf, Mittelwert	Niederschlags -volumen	AFS-Fracht Zulauf	AFS-Fracht Ablauf	Wirkungsgrad
l/(s*ha)	mg/l	l	g	g	%
2,5	44	3600	12499	159	99
6,0	72	3600	8334	258	97
25,0	120	3600	4165	431	90
100,0	212	4500	0	952	
Gesamt			25000	1324	95

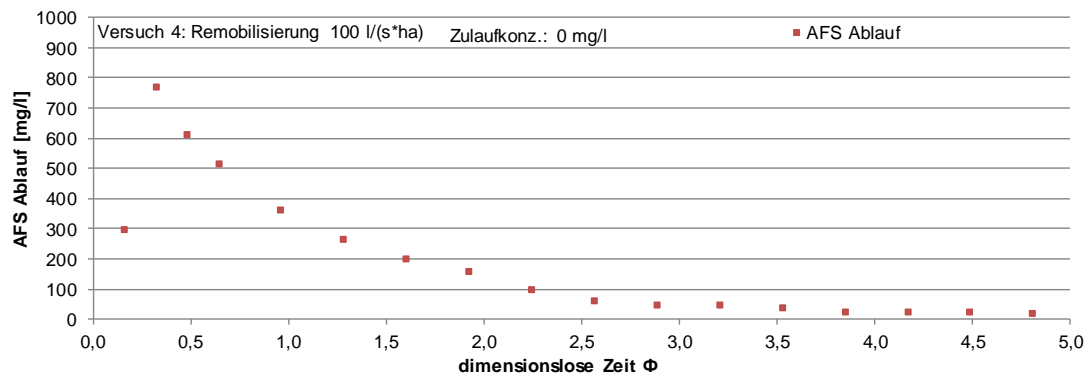
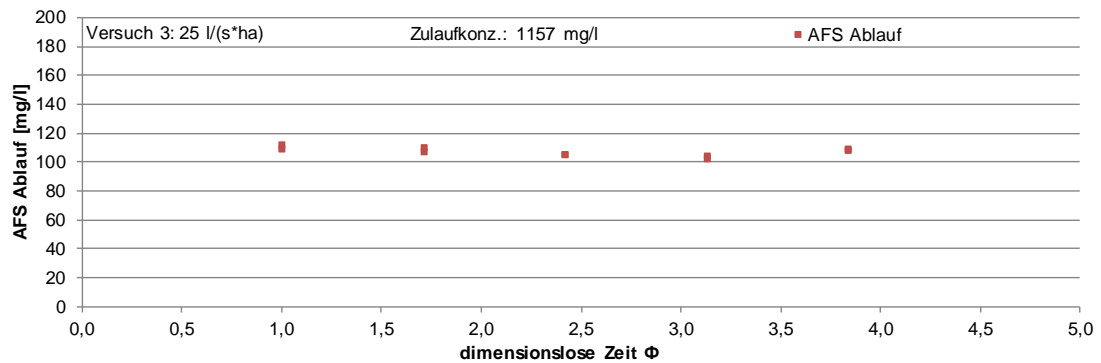
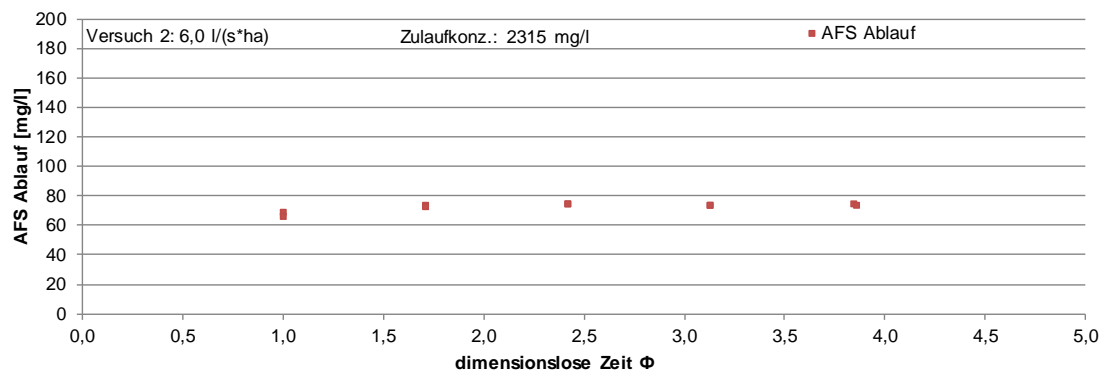
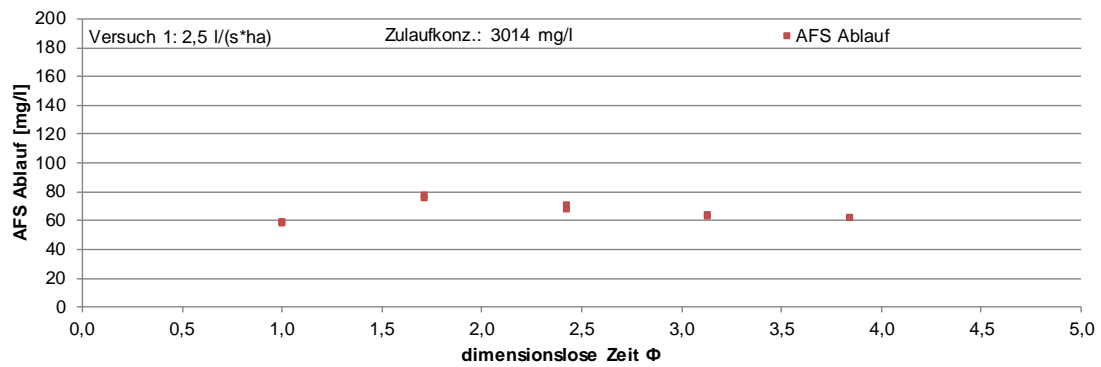


Abbildung 2-4: Verlauf der AFS-Ablaufkonzentrationen bei Prüfkongfiguration 1 (Versuch 1)

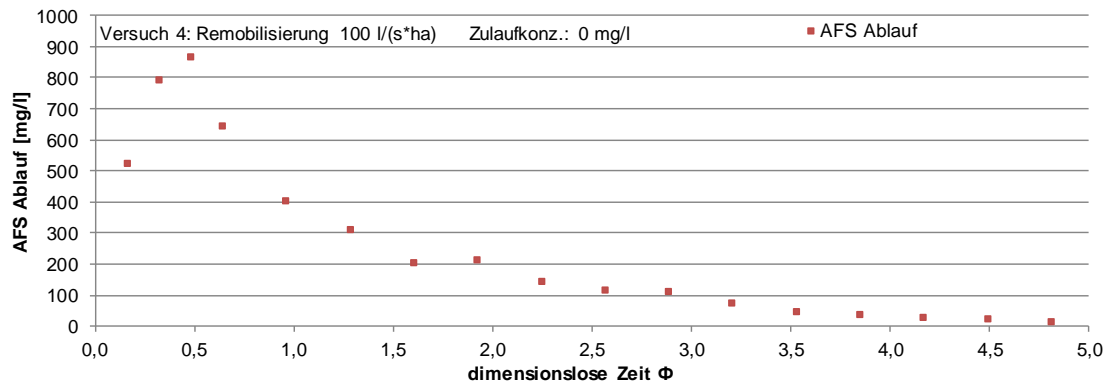
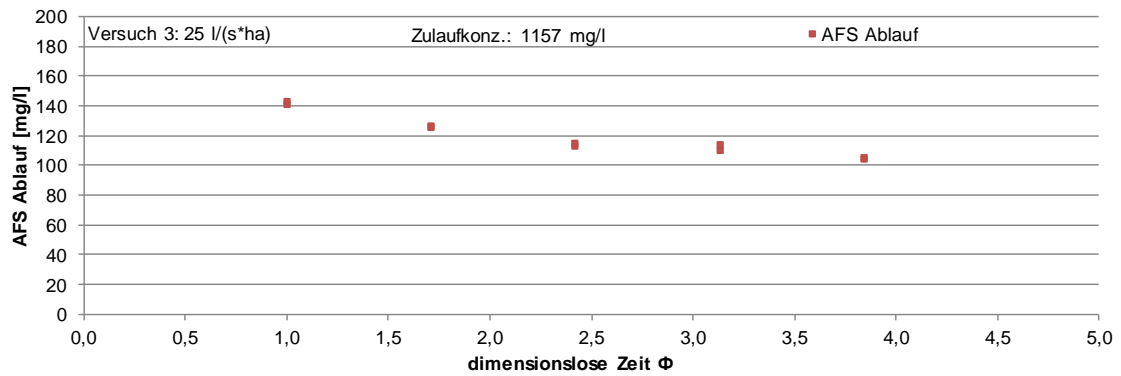
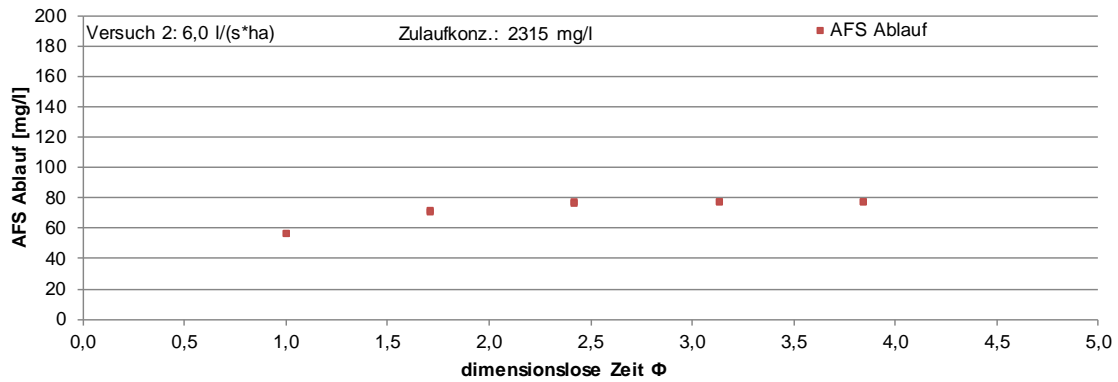
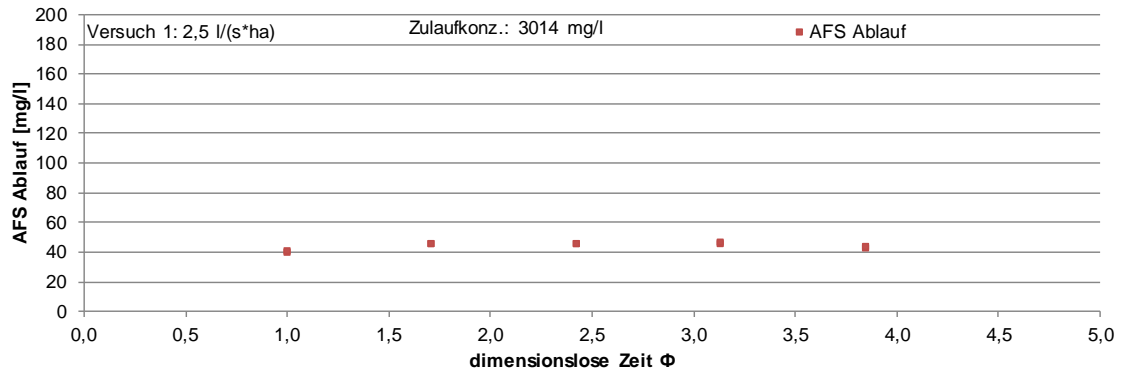


Abbildung 2-5: Verlauf der AFS-Ablaufkonzentrationen bei Prüfkongfiguration 1 (Versuch 2)

2.4.1.2 Prüfkonfiguration 2

Den Verlauf der Ablaufkonzentrationen der Versuche 3 und 4 mit der Konfiguration Mischfläche – Oberflächengewässer können Abbildung 2-6 und Abbildung 2-7 entnommen werden. Auf Grund des Probenahmekonzept wird der Verlauf der Ablaufkonzentration zu Beginn der Teilversuche deutlich. Dabei ist ersichtlich, dass die Ablaufkonzentration bis zur 1-fachen theoretischen Austauschrate ansteigt und im weiteren Verlauf konstant bleibt.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 2-6 und Abbildung 2-7 über die dimensionslose Zeit ϕ dargestellt. Dies zeigt den Verlauf der Ablaufkonzentration an AFS in Abhängigkeit zur theoretischen Austauschrate. Des Weiteren zeigt das hier gewählte Probenahmekonzept den Verlauf der Ablaufkonzentrationen, welcher nicht von den DIBt-Zulassungsgrundsätzen aufgenommen wird. In den Zulassungsgrundsätzen sind nur die letzten Probenahmen vorgesehen, bei denen im vorliegenden Fall die Konzentrationen schon auf einem konstanten Wert liegen.

Die Ablaufkonzentrationen liegen bei der geringsten hydraulischen Belastung von 0,125 l/s bei ca. 60 mg/l. Dieser Wert wird etwa nach dem 1,5-fachen Volumenaustausch erreicht (Versuch 3). Die Vergleichswerte des vierten Versuchs liegen nach dem 1,5-fachen Volumenaustausch bei ca. 50 mg/l. Der Anstieg der Konzentrationen ist relativ flach im Gegensatz zu den Teilversuchen 2 und 3.

Die Teilprüfungen 2 und 3 der Versuche 3 und 4 zeigen einen steileren Anstieg der Ablaufkonzentrationen. Die Werte erreichen bei der Teilprüfung 2, mit einer hydraulischen Belastung von 0,3 l/s (entspricht 6,0 l/(s*ha)) nach dem 1,25-fachen Volumenaustausch eine konstante Ablaufkonzentration. Diese liegt bei den Versuchen 3 und 4 bei ca. 110 mg/l. Die Konzentrationen an AFS im Ablauf der Anlage bei einer hydraulischen Belastung von 1,25 l/s (Teilprüfung 3) liegen in beiden Versuchen nach dem Anstieg zu Beginn bei 170 mg/l. Diese Ablaufkonzentration wird nach der 1-fachen theoretischen Austauschrate erreicht.

Der Remobilisierungsversuch ist in Bild 6 und Bild 7 über die Zeit in Minuten dargestellt. Die Ergebnisse zeigen einen eindeutigen Verlauf, der auf eine Remobilisierung der AFS schließen lässt. Die maximale Ablaufkonzentration wird nach einer Minute erreicht und liegt im Versuch 3 bei ca. 1500 mg/l. Nach etwa 10 Minuten ist der Verlauf abgeflacht und die Werte nähern sich der Abszisse an. Nach etwa 12 Minuten können kaum noch abfiltrierbare Stoffe im Ablauf der Anlage nachgewiesen werden. Versuch 4 zeigt einen ähnlichen Verlauf der Ablaufkonzentrationen. Die maximale Konzentration an AFS im Ablauf wird wie bei Versuch 3 nach einer Minute erreicht. Der Wert liegt bei ca. 1200 mg/l und demnach um 300 mg/l geringer als Versuch 3. Nach etwa 10 Minuten nähern sich die Ablaufkonzentrationen der Abszisse an und AFS können im Ablauf der Anlage kaum noch nachgewiesen werden.

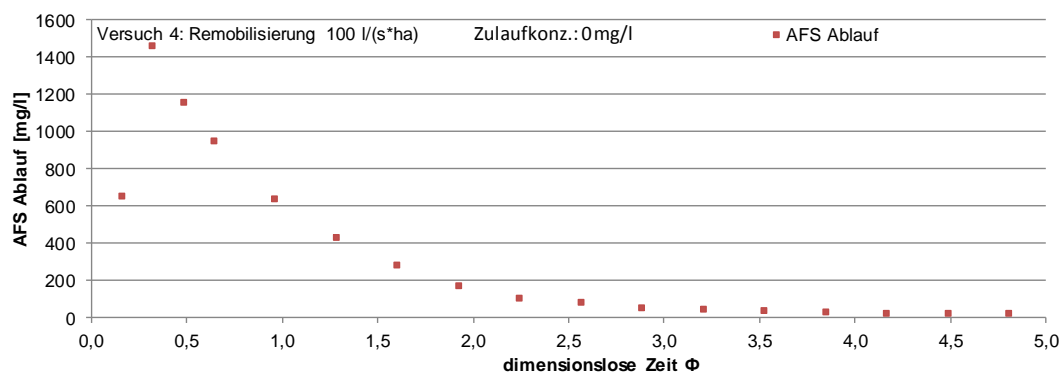
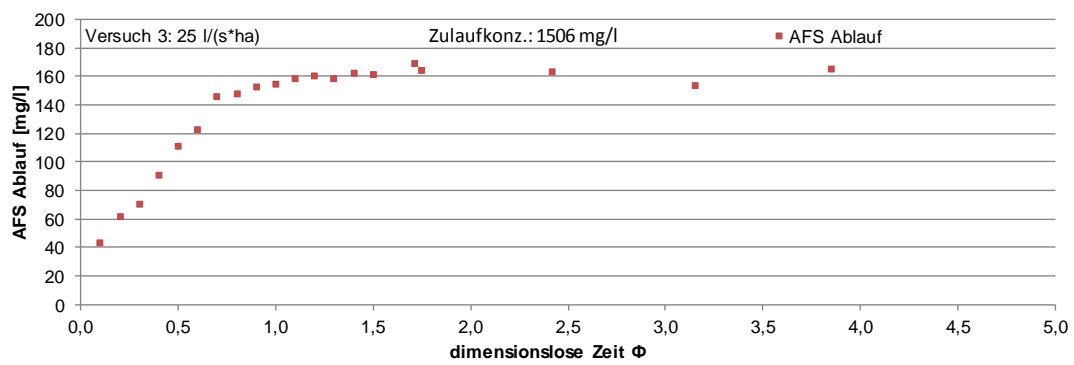
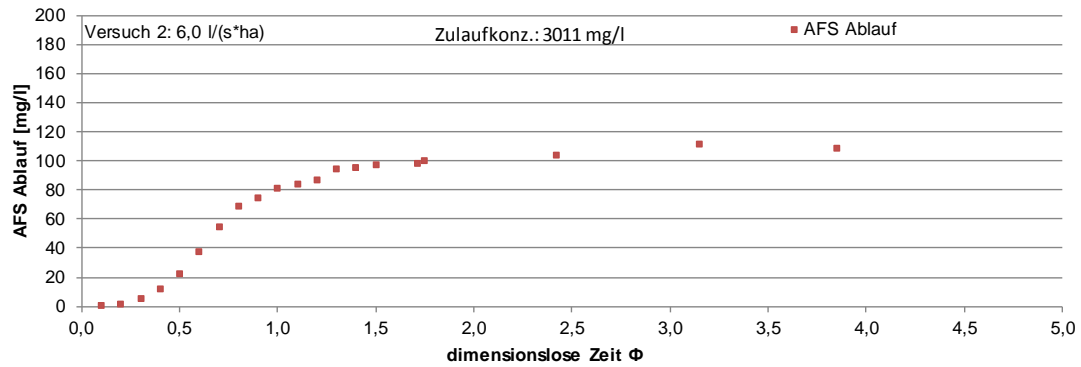
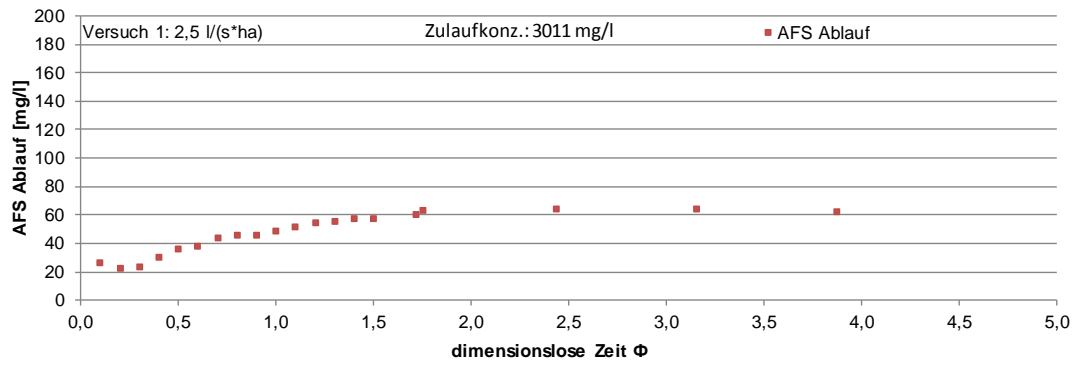


Abbildung 2-6: Verlauf der AFS-Ablaufkonzentrationen bei Prüfkongfiguration 2 (Versuch 3)

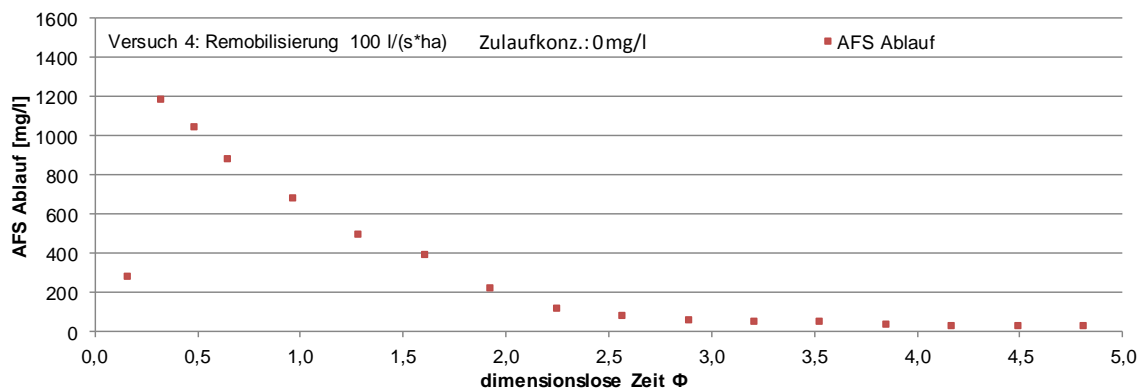
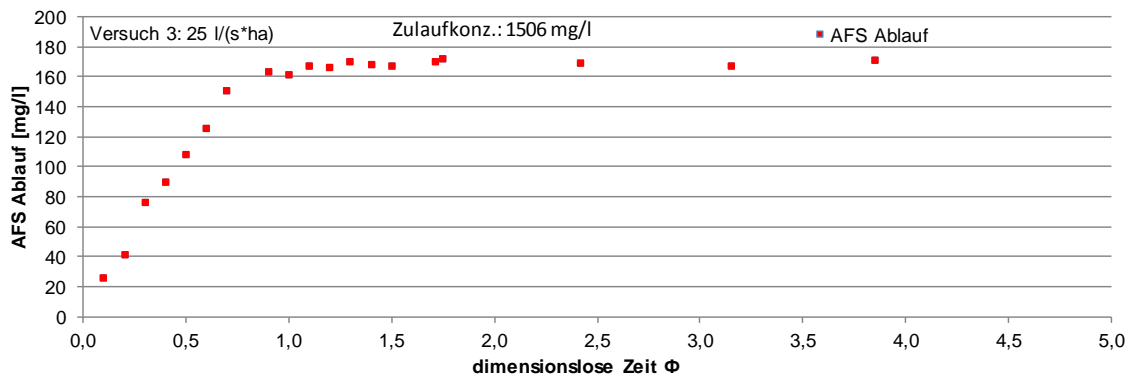
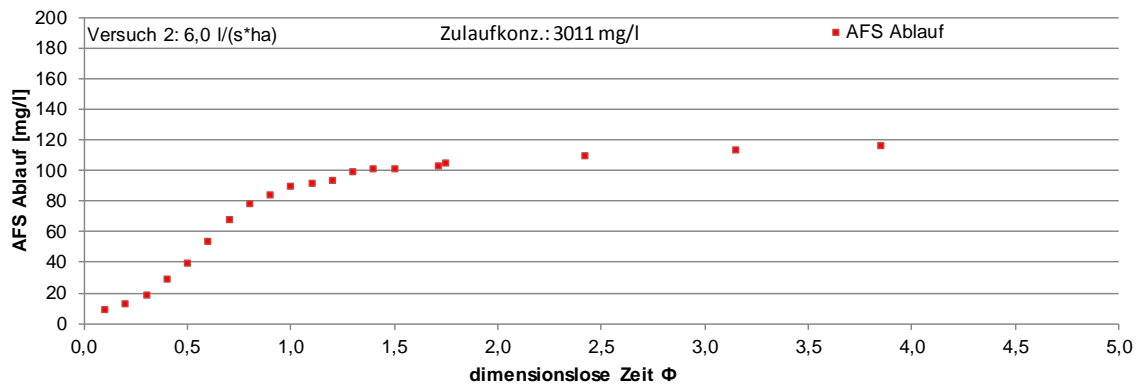
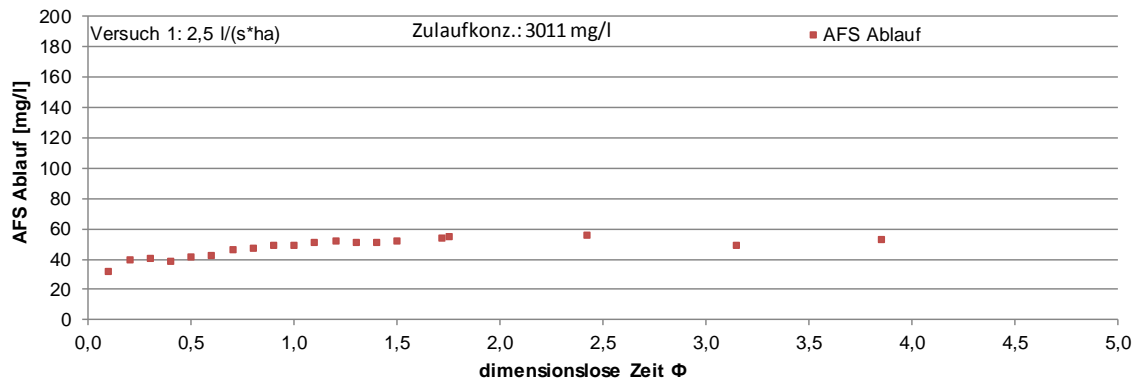


Abbildung 2-7: Verlauf der AFS-Ablaufkonzentrationen bei Prüfkfiguration 2 (Versuch 4)

2.4.2 Ergebnisse zum MKW-Rückhalt

Der erste Versuch zur Prüfung des MKW-Rückhalts wurde an den bereits mit AFS beladenen Filterelementen durchgeführt. Vor der Untersuchung wurden die Filter jedoch mit einer hohen hydraulischen Belastung (5 l/s) gespült und das Wasser in der Anlage zusammen mit den bereits abgesetzten Stoffen im Schlammfang leer gepumpt. Die Anlage wurde bis zur optischen Klarheit gespült.

Die Ergebnisse der MKW-Untersuchung kann Tabelle 2-13 und Tabelle 2-14 entnommen werden. Die gesamte Anlage zeigt in beiden Versuchen einen hohen Rückhalt von mineralölhaltigen Kohlenwasserstoffen. Nach dem ersten Versuch wurden die Filterelemente ausgetauscht, was die Ergebnisse des zweiten Versuchs erklären kann, in denen mineralölhaltigen Kohlenwasserstoff- Konzentrationen in allen Teilproben unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,1 mg/l liegen. Für die Proben, in denen die Ablaufkonzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze liegt, wurde die Hälfte der Bestimmungsgrenze (hier 0,05 mg/l) angenommen. Die Ergebnisse der einzelnen Teilproben aus der Doppelbeobachtung kann dem Anhang 1.2 entnommen werden. Auffallend ist in den Ergebnissen, dass die hohe hydraulische Belastung der Anlage anscheinend keine Auswirkung auf den Austrag an mineralölhaltigen Kohlenwasserstoffen hat. Trotz der hohen Belastung liegen die Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze der Analyse. Die größte Ablaufkonzentration der Teilprüfungen wird bei der geringsten Prüfspende von 2,5 l/(s*ha) ausgetragen.

Insgesamt weist die Anlage einen hohen Rückhalt gegenüber MKWs auf. Im ersten Versuch (vgl. Tabelle 2-13) wird ein Gesamtrückhalt von 99,70 % erreicht, mit einer Ablaufracht von ca. 1 g. Die gesamte Zulaufracht beträgt aufsummiert der Versuche 1 bis 3 insgesamt 340 g. Die Ergebnisse der Einzelproben kann Anhang 1.2 entnommen werden.

Tabelle 2-13: Ergebnisse der MKW-Untersuchung (Versuch 1)

Prüfregenspende l/(s*ha)	Zulaufracht g	Ablaufkonzentration mg/l	Ablaufracht g	Wirkungsgrad %
2,5	113	0,35	0,525	99,54
6,0	113	0,2	0,288	99,75
25	113	0,05	0,075	99,93
100	0	0,05	0,225	
gesamt	340	0,115	1,005	99,70

Tabelle 2-14: Ergebnisse der MKW-Untersuchung (Versuch 2)

Prüfregenspende l/(s*ha)	Zulaufracht g	Ablaufkonzentration mg/l	Ablaufracht g	Wirkungsgrad %
2,5	113	0,05*	0,075	99,93
6,0	113	0,05*	0,072	99,94
25	113	0,05*	0,075	99,93
100	0	0,05*	0,225	
gesamt	340	0,029	0,2595	99,92

* Probe unterhalb Bestimmungsgrenze von 0,1 mg/l

2.4.3 Ergebnisse zum Schwermetallrückhalt

Die Ergebnisse der Schwermetalluntersuchung mit den Leitparametern Zink und Kupfer sind in die beiden Prüfkonfigurationen Verkehrsfläche – Grundwasser (Versuch 1 und 2) und Mischfläche – Oberflächengewässer (Versuch 3 und 4) aufgeteilt und im nachfolgenden Abschnitt dargestellt. Die Versuche unterscheiden sich in der Zulaufkonzentration der beiden Schwermetalle in Lösung (vgl. Kapitel 2.3.3.3).

2.4.3.1 Prüfkonfiguration 1 (Versuch 1 und 2)

Die Ergebnisse der Versuche mit der Konfiguration Verkehrsfläche – Grundwasser sind in Tabelle 2-15 bis Tabelle 2-18 dargestellt. Die Ergebnisse der einzelnen Teilproben können dem Anhang 1.3 entnommen werden.

Auch bei der Schwermetalluntersuchung liegen die Cu-Ablaufkonzentrationen bei der geringen hydraulischen Belastung höher als bei hohen Belastungen. Der Versuch 1 liefert einen Gesamtrückhalt aus den Teilprüfungen 1 bis 3 von 94,53 % Cu und 95,30 % Zn. Die zulässige Ablaufkonzentration an Cu beträgt nach den DIBt-Zulassungsgrundsätzen 0,144 mg/l und für Zn 1,875 mg/l. Die mittlere Ablaufkonzentrationen laut den Analyseergebnissen beträgt für Cu 0,039 mg/l und für Zn 0,294 mg/l. Damit liegen die Ergebnisse unterhalb der zulässigen Konzentrationen nach den DIBt-Zulassungsgrundsätzen (2011). Auch die Grenzwerte für die Teilprüfungen werden eingehalten, die Ablaufkonzentrationen jeder Teilprüfung muss kleiner sein als die 2-fache zulässige Gesamtkonzentration für die beiden Leitparameter. Der Grenzwert für Zink entspricht für die Teilprüfungen 3,75 mg/l und für den Parameter Kupfer 0,288 mg/l.

Versuch 2 liefert einen Gesamtrückhalt von 94,71 % für den Leitparameter Cu und 96,10 % für den Parameter Zn. Auch der Versuch 2 zeigt einen ausreichenden Rückhalt für die beiden Leitparameter Kupfer und Zink. Die Ablaufkonzentrationen liegen bei 0,038 mg/l Cu und 0,244 mg/l Zn, damit liegen beide Werte unterhalb der zulässigen Grenzwerte nach DIBt (2011). Die Ergebnisse des zweiten Versuchs sind in Tabelle 2-17 und Tabelle 2-18 dargestellt, die Ablaufkonzentrationen der einzelnen Proben können dem Anhang entnommen werden. Die Grenzwerte für die Teilprüfungen werden im zweiten Versuch nicht überschritten. Die Ergebnisse der Einzelproben kann Anhang 1.3 entnommen werden.

Tabelle 2-15: Ergebnisse der Teilprüfungen zum Schwermetallrückhalt Cu (Versuch 1)

Regenspende l/(s*ha)	Zulauf		Ablauf		Wirkungsgrad %
	Konzentration mg/l	Fracht mg	Konzentration mg/l	Fracht mg	
2,5	0,72	34,56	0,057	2,736	92,1
6,0	0,72	34,56	0,053	2,544	92,6
25	0,72	34,56	0,008	0,384	98,9
25 (Salz)	0	0	0,265*	12,288	

* ohne Berücksichtigung der Konzentration der Tausalzlösung

Tabelle 2-16: Ergebnisse der Teilprüfungen zum Schwermetallrückhalt Zn (Versuch 1)

Regenspende l/(s*ha)	Zulauf		Ablauf		Wirkungsgrad %
	Konzentration mg/l	Fracht mg	Konzentration mg/l	Fracht mg	
2,5	6,25	300	0,179	8,592	97,1
6,0	6,25	300	0,626	30,048	90,0
25	6,25	300	0,078	3,744	98,8
25 (Salz)	0	0	0,444*	21,312	

* ohne Berücksichtigung der Konzentration der Tausalzlösung

Tabelle 2-17: Ergebnisse der Teilprüfungen zum Schwermetallrückhalt Cu (Versuch 2)

Regenspende l/(s*ha)	Zulauf		Ablauf		Wirkungsgrad %
	Konzentration mg/l	Fracht mg	Konzentration mg/l	Fracht mg	
2,5	0,72	34,56	0,051	2,448	92,9
6,0	0,72	34,56	0,054	2,592	92,5
25	0,72	34,56	0,009	0,432	98,8
25 (Salz)	0	0	0,253*	12,144*	

* ohne Berücksichtigung der Konzentration der Tausalzlösung

Tabelle 2-18: Ergebnisse der Teilprüfungen zum Schwermetallrückhalt Zn (Versuch 2)

Regenspende l/(s*ha)	Zulauf		Ablauf		Wirkungsgrad %
	Konzentration mg/l	Fracht mg	Konzentration mg/l	Fracht mg	
2,5	6,25	300	0,188	9,024	97,0
6,0	6,25	300	0,460	22,08	92,6
25	6,25	300	0,085	4,08	98,6
25 (Salz)	0	0	0,353*	16,94*	

* ohne Berücksichtigung der Konzentration der Tausalzlösung

Die Prüfung der Rücklösung der Schwermetalle unter Tausalzeinfluss zeigt einen Verlauf welcher dargestellt ist. Zum Zeitpunkt der ersten Probenahme (entspricht der einfachen Austauschrate) liegen die Ablaufkonzentration für Cu bei etwa 0,4 bis 0,6 mg/l und Zn bei ca. 1,2 bis 1,6 mg/l. Diese Konzentrationen sind die höchsten im gesamten Versuchszeitraum. Im Laufe des Versuchs werden die Ablaufkonzentrationen geringer. Nach den DIBt-Zulassungsgrundsätzen ist eine Ablaufkonzentration beim Rücklöseversuch von 0,5 mg/l plus der Konzentration der Tausalzlösung für den Parameter Zink und 0,05 mg/l plus der Konzentration der Tausalzlösung für den Leitparameter Kupfer zulässig. Diese Schwellenwerte werden bei beiden Versuchen nicht überschritten. Der Vergleich zwischen den beiden Versuchen zeigt, dass die ersten Proben einen Unterschied von 0,4 mg/l Zn und 0,2 mg/l Cu aufzeigen (vgl. Abbildung 2-8). Die Ergebnisse der restlichen Probenahmen liefern vergleichbare Ablaufkonzentrationen.

Tabelle 2-19: Ergebnisse der Teiluntersuchung zum Schwermetallrückhalt unter Tausalzeinfluss (Teilprüfung 4, Versuche 1 und 2)

Versuch	Konzentration der Tausalzlösung		Ablaufkonzentration		zulässige Konzentration	
	Cu mg/l	Zn mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l
-						
1	0,26	0,45	0,019	0,048	0,31	0,95
2	0,3	0,45	keine	keine	0,35	0,95

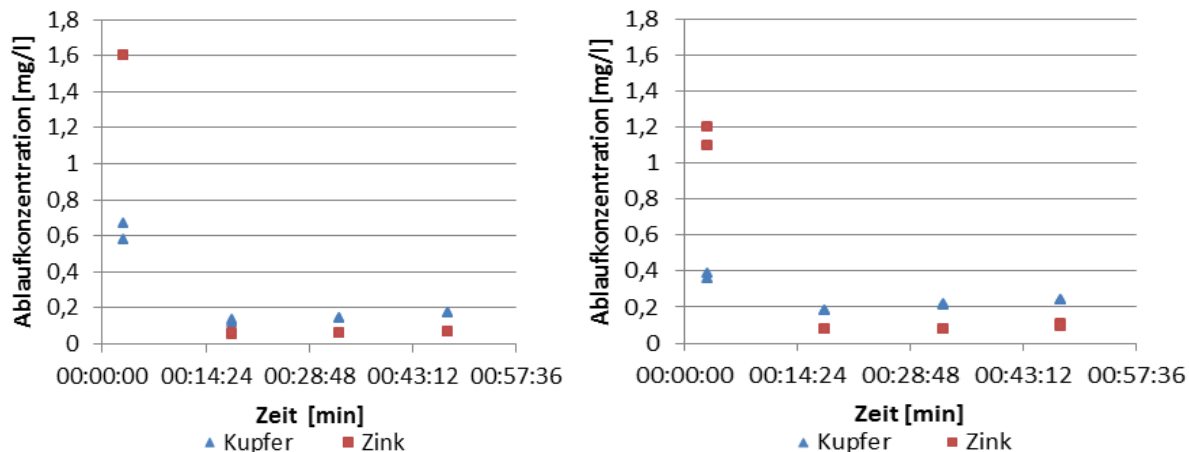


Abbildung 2-8: Verlauf der Ablaufkonzentrationen von Zink und Kupfer bei Tausalzeinfluss (Teilprüfung 4, (Versuche 1 und 2))

2.4.3.2 Prüfkonfiguration 2 (Versuch 3 und 4)

Die Ergebnisse der Versuche 3 und 4 mit einer Konfiguration Mischfläche - Oberflächengewässer sind in Tabelle 2-20 bis Tabelle 2-23 aufgeführt. Die Ergebnisse der einzelnen Ablaufkonzentrationen der Teilproben über die gesamte Versuchsdauer können dem Anhang 1.3 entnommen werden.

Die Versuche unterscheiden sich zu den Versuchen 1 und 2 in der Zulaufkonzentration der Schwermetalllösung. Die Versuche 3 und 4 werden mit einer Zulaufkonzentration von 0,778 mg/l Cu und 6,2 mg/l Zn durchgeführt. Der Verlauf der Ablaufkonzentrationen unterscheidet sich gegenüber den ersten beiden Versuchen. In dieser Konfiguration liegen die höchsten Ablaufkonzentrationen bei einer hydraulischen Belastung von 0,24 l/min.

Der Versuch 3 (Tabelle 2-20 und Tabelle 2-21) liefert einen Rückhalt der gelösten Schwermetalle von 94,74 % Cu und 96,03 % Zn. Die DIBt-Zulassungsgrundsätze sehen diese Anlagenkonfiguration nicht vor, dem entsprechend sind keine Grenzwerte gegeben.

Der Versuch 4 (Tabelle 2-22 und Tabelle 2-23) zeigt vergleichbare Werte zu Versuch 3. Auch der Verlauf der Konzentrationen in den einzelnen Teilprüfungen ist ähnlich. Die höchste Ablaufkonzentration der beiden Leitparameter von 0,68 mg/l Cu und 0,541 mg/l Zn treten bei einer hydraulischen Belastung von 0,24 l/min auf.

Der Verlauf der Ablaufkonzentrationen der Teilprüfung 4 ist in Abbildung 2-9 dargestellt. Der Verlauf ist vergleichbar mit den Versuchen 1 und 2. Zum Zeitpunkt der ersten Probenahme (entspricht der einfachen Austauschrate) liegen die Ablaufkonzentrationen hoch, diese werden bei anhaltender Versuchsdauer geringer werden. Die Ablaufkonzentration von Cu liegt bei der ersten Probenahme bei 0,4 mg/l bis 0,6 mg/l und bei Zn 0,11 mg/l bis 0,13 mg/l.

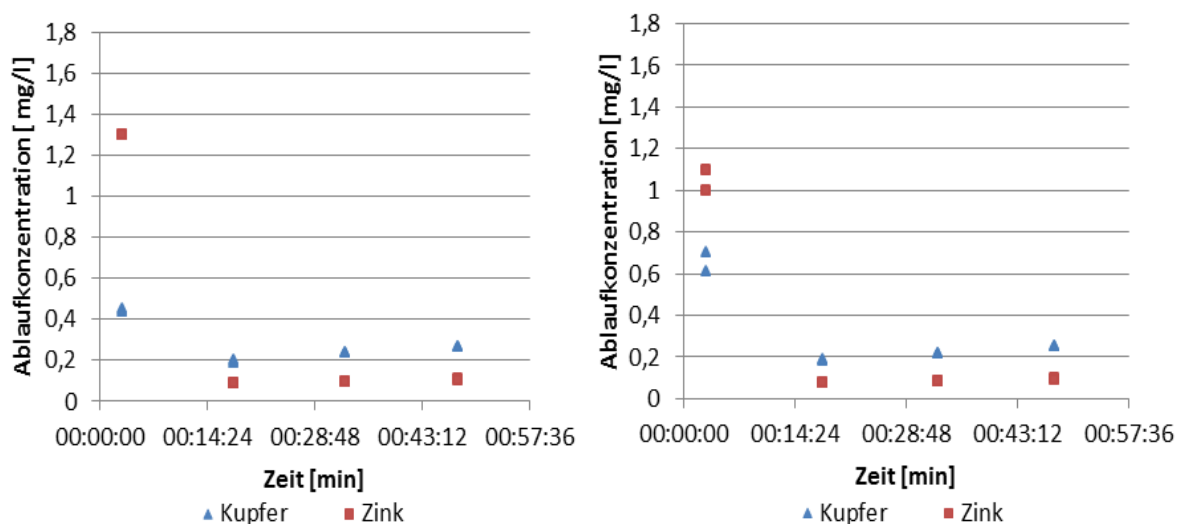


Abbildung 2-9: Verlauf der Ablaufkonzentrationen von Zink und Kupfer bei Tausalzeinfluss (Teilprüfung 4, Versuche 3 und 4)

Tabelle 2-20: Ergebnisse der Teilprüfungen zum Schwermetallrückhalt Cu (versuch 3)

Regenspende l/(s*ha)	Zulauf		Ablauf		Wirkungsgrad %
	Konzentration mg/l	Fracht mg	Konzentration mg/l	Fracht mg	
2,5	0,778	37,34	0,041	1,968	94,7
6,0	0,778	37,34	0,061	2,928	92,2
25	0,778	37,34	0,012	0,576	98,5
25 (Salz)	0	0	0,288*	13,824*	

* ohne Berücksichtigung der Konzentration der Tausalzlösung

Tabelle 2-21: Ergebnisse der Teilprüfungen zum Schwermetallrückhalt Zn (Versuch 3)

Regenspende l/(s*ha)	Zulauf		Ablauf		Wirkungsgrad %
	Konzentration mg/l	Fracht mg	Konzentration mg/l	Fracht mg	
2,5	6,2	297,6	0,120	5,76	98,1
6,0	6,2	297,6	0,522	25,06	91,6
25	6,2	297,6	0,103	4,94	98,3
25 (Salz)	0	0	0,397*	19,06	

* ohne Berücksichtigung der Konzentration der Tausalzlösung

Tabelle 2-22: Ergebnisse der Teilprüfungen zum Schwermetallrückhalt Cu (Versuch 4)

Regenspende l/(s*ha)	Zulauf		Ablauf		Wirkungsgrad %
	Konzentration mg/l	Fracht mg	Konzentration mg/l	Fracht mg	
2,5	0,778	37,34	0,039	1,872	95,0
6,0	0,778	37,34	0,068	3,264	91,3
25	0,778	37,34	0,011	0,528	98,6
25 (Salz)	0	0	0,328*	15,744	

* ohne Berücksichtigung der Konzentration der Tausalzlösung

Tabelle 2-23: Ergebnisse der Teilprüfungen zum Schwermetallrückhalt Zn (Versuch 4)

Regenspende l/(s*ha)	Zulauf		Ablauf		Wirkungsgrad %
	Konzentration mg/l	Fracht mg	Konzentration mg/l	Fracht mg	
2,5	6,2	297,6	0,139	6,67	97,8
6,0	6,2	297,6	0,541	24,68	91,3
25	6,2	297,6	0,096	4,61	98,5
25 (Salz)	0	0	0,326*	15,65	

* ohne Berücksichtigung der Konzentration der Tausalzlösung

Die DIBt-Zulassungsgrundsätze sehen die untersuchte Konfiguration (Mischfläche - Oberflächengewässer) nicht vor, dem entsprechend liegen für die Rücklösung der Schwermetalle unter Tausalzeinfluss keine Grenzwerte vor.

Die Ablaufkonzentrationen der beiden Versuche 3 und 4 liegen nur zum Zeitpunkt der ersten Probenahme auseinander. Versuch 3 liefert eine Ablaufkonzentration für den Leitparameter Zn von 1,3 mg/l. Die Zn-Ablaufkonzentration in Versuch 4 liegt bei der ersten Probenahme bei 1,5 mg/l. Die restlichen Ablaufkonzentrationen des Leitparameters Zink sind vergleichbar. Ein ähnliches Verhalten ist beim Leitparameter Kupfer zu erkennen. Die Konzentrationen der Proben 2 bis 4 liegen in beiden Versuchen etwa gleich. Nur die Ablaufkonzentrationen der ersten Probenahme zeigen Unterschiede. Versuch 3 liefert eine Cu-Ablaufkonzentration von ca. 0,4 mg/l und Versuch 4 von 0,7 mg/l.

Tabelle 2-24: Ergebnisse der Teiluntersuchung zum Schwermetallrückhalt unter Tausalzeinfluss (Teilprüfung 4, Versuche 3 und 4)

Versuch	Konzentration der Tausalztlösung		Ablaufkonzentration		zulässige Konzentration	
	Cu mg/l	Zn mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l
-						
3	0,3	0,45	keine	keine	0,350	0,950
4	0,26	0,47	0,079	keine	0,310	0,970

2.4.4 Ergebnisse der Nachuntersuchung zum MKW-Rückhalt

2.4.4.1 Einfluss der Lagerungszeit der Proben

Die Ergebnisse zum zeitlichen Verlauf der MKW-Konzentrationen können Tabelle 21 und Bild 11 entnommen werden. Alle Proben wurden mit einem Sollwert von 75 mg/l angesetzt und nach den angegebenen Lagerungszeiten analysiert. Die Proben mit einer Lagerungszeit bis zu 48 h weisen nur geringe Schwankungen auf. Ihr gemeinsamer Mittelwert liegt bei 73, 2 mg/l nahe beim Sollwert bei gleichzeitig geringen Werten der Standardabweichung von 4,07 mg/l und des Variationskoeffizienten von 0,056. Innerhalb der Lagerungszeit von 48 h ist kein zeitlicher Trend der Konzentrationen zu beobachten. Die Konzentrationen nach 168 h und 336 h hingegen sind erheblich geringer als der Sollwert. Verantwortlich für die Abnahmen dürfte eine Verflüchtigung bzw. Abbau der MKW sein.

Als Empfehlung für die Untersuchungspraxis kann abgeleitet werden, dass die MKW-Proben spätestens nach 48 h Lagerungszeit untersucht werden müssen. Kürzere Lagerungszeiten sind günstig.

In der ersten Untersuchung der Anlage betrug die Lagerungszeit der MKW-Proben deutlich über 48 h. Die Konzentrationen der Proben im Ablauf waren somit zu gering und täuschten zu hohe Wirkungsgrade der Anlage vor. Damit war eine Wiederholung der MKW-Prüfung an der Anlage mit kurzen Lagerungszeiten der Proben unverzichtbar.

Tabelle 2-25: Abbau von MKW in Abhängigkeit der Lagerungszeit

Probe	Lagerungszeit h	Konzentration MKW			Mittelwert mg/l
		Probe 1 mg/l	Probe 2 mg/l	Probe 3 mg/l	
1	0	68	71	69	69
2	2	74	76	75	75
3	4	77	79	78	78
4	8	76	72	75	74
5	24	64	73	70	69
6	48	69	74	78	74
7	168	34			34
8	336	28			28

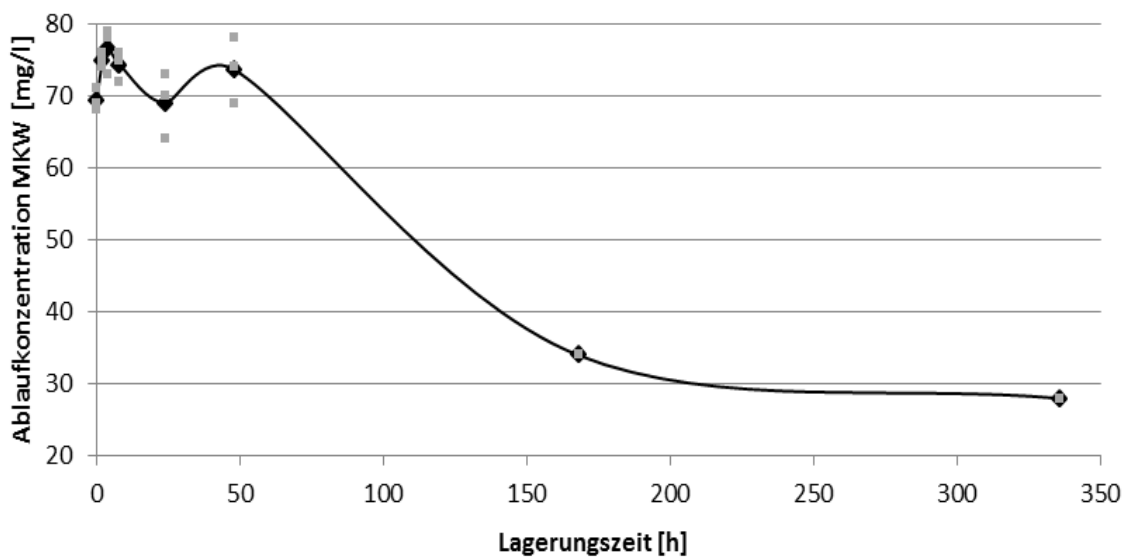


Abbildung 2-10: Verlauf der MKW-Konzentration abhängig von der Lagerungszeit der Proben

2.4.4.2 MKW-Rückhalt in der Nachuntersuchung

Die Ergebnisse des MKW-Rückhaltes in der Nachuntersuchung sind in Tabelle 2-26 und Abbildung 2-11 dargestellt. Der höchste Austrag an mineralöhlhaltigen Kohlenwasserstoffen entsteht bei der Teilprüfung 4 mit einer hydraulischen Belastung von 5 l/s. Die Doppelbeprobung zeigt einen Verlauf, welcher mit steigender hydraulischer Belastung eine Abnahme des Wirkungsgrad aufweist und dass in der vierten Teilprüfung ein Ausspülen der Kohlenwasserstoffe stattfindet. Der Gesamtwirkungsgrad der Anlage liegt bei 95,67 %. Die Ergebnisse der Nachuntersuchung zeigen einen ähnlichen Verlauf wie in Vorgängeruntersuchungen der LGA in Würzburg.

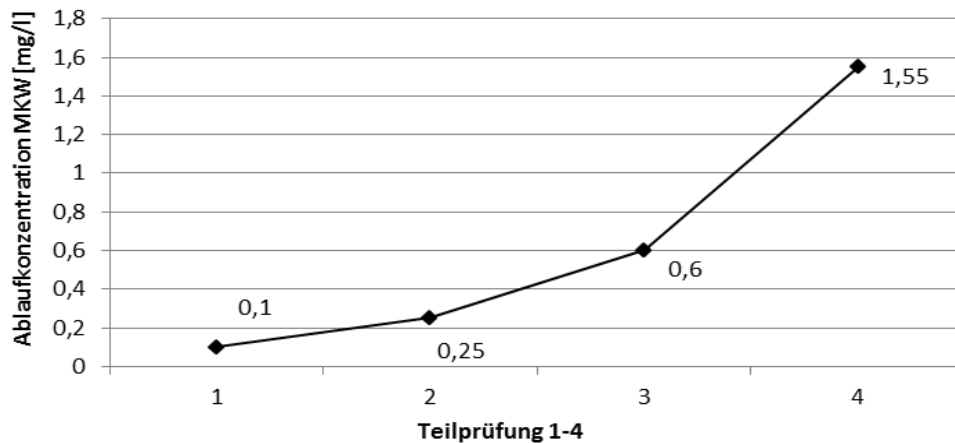


Abbildung 2-11: Verlauf der MKW-Ablaufkonzentrationen den Teilprüfungen 1 bis 4

Tabelle 2-26: Ergebnisse der Nachuntersuchung zum MKW-Rückhalt

Prüfregenspende l/(s*ha)	Zulauffracht g	Ablaufkonzentration mg/l	Ablauffracht g	Wirkungsgrad %
2,5	113	0,1	0,15	99,87
6,0	113	0,25	0,36	99,68
25	113	0,6	0,9	99,20
100	0	1,55	6,98	
gesamt	339	0,548	4,90	95,67

2.4.5 Ergebnisse der Nachuntersuchung zum Schwermetallrückhalt

Abbildung 2-12 zeigt die Konzentrationen von Kupfer und Zink im Ablauf der Säulen im Verlauf des Versuches. In Tabelle 2-27 und Tabelle 2-28 sind die mittleren Konzentrationen der Teilprüfungen sowie die Wirkungsgrade aufgeführt. Die Konzentrationen der Einzelproben sowie der Zulaufbeprobung kann dem Anhang 1.3 entnommen werden.

Die Ablaufkonzentrationen beider Schwermetalle steigen mit zunehmender hydraulischer Belastung deutlich bei gleicher Zulaufkonzentration. Der Wirkungsgrad ist eindeutig abhängig von der hydraulischen Belastung. Der Gesamtrückhalt der die Teilprüfungen 1 bis 3 liegt bei 83,75 % für den Parameter Kupfer und für den Leitparameter Zink bei 84,46 %. Damit liegen die Wirkungsgrade der beiden Parameter über den in den Zulassungsgrundsätzen (2008) geforderten 80 % (Kupfer) bzw. 70 % (Zink). Die Ablaufkonzentrationen der einzelnen Teilprüfungen liegen auch jeweils unter den geforderten zweifachen Grenzwerten (Cu 2x 0,144 mg/l und Zn 2x 1,875 mg/l)

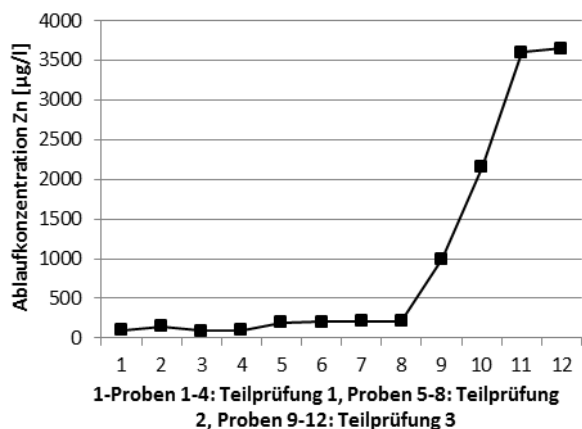
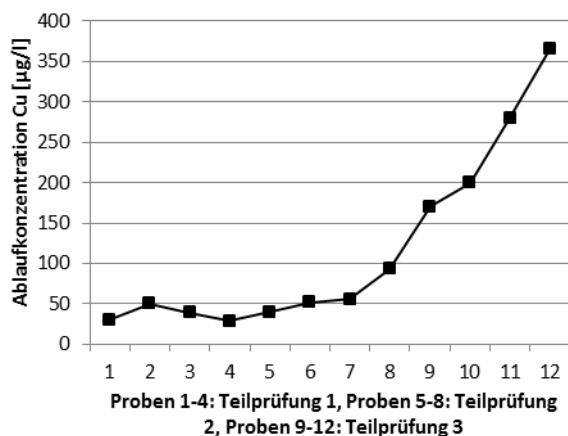


Abbildung 2-12: Verlauf der Ablaufkonzentrationen für Schwermetalle

Tabelle 2-27: Ergebnisse der Nachuntersuchung zum Schwermetallrückhalt Cu

Regenspende l/(s*ha)	Zulauf		Ablauf		Wirkungsgrad %
	Konzentration mg/l	Fracht mg	Konzentration mg/l	Fracht mg	
2,5	0,72	34,56	0,037	1,78	94,86
6,0	0,72	34,56	0,06	2,88	91,67
25	0,72	34,56	0,254	12,19	64,72

Tabelle 2-28: Ergebnisse der Nachuntersuchung für Schwermetalle Zn

Regenspende l/(s*ha)	Zulauf		Ablauf		Wirkungsgrad %
	Konzentration mg/l	Fracht mg	Konzentration mg/l	Fracht mg	
2,5	6,25	300	0,109	5,23	98,26
6,0	6,25	300	0,205	9,84	96,72
25	6,25	300	2,599	124,75	58,42

2.5 Vergleich mit den Prüfergebnissen der LGA Würzburg

2.5.1 AFS-Prüfung

In Abbildung 2-13 sind die Austräge an Feststoffen in den einzelnen Prüfergebnissen vergleichend dargestellt. Die Prüfungen an der LGA in Würzburg wurden im Rahmen eines vom MKUNLV geförderten Projektes zur Entwicklung und Validierung von Prüfverfahren für dezentrale Niederschlagswasserbehandlungsanlagen durchgeführt [MKULNV, 2011]. Die Unterschiede der Ergebnisse zwischen der Prüfstelle in Würzburg (LGA) und der FH Münster sind gering. Beim Remobilisierungsversuch weicht ein Ergebnis mit etwa 800 g im Vergleich zu 950 bis 1050 g etwas von den anderen Versuchen ab.

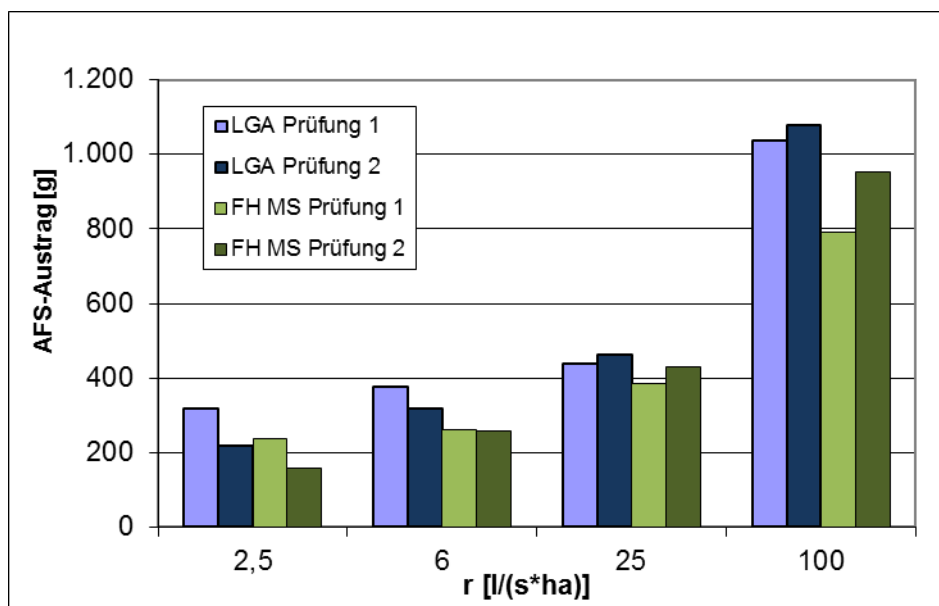


Abbildung 2-13: AFS-Austrag in Prüfergebnisse 1 bis 4

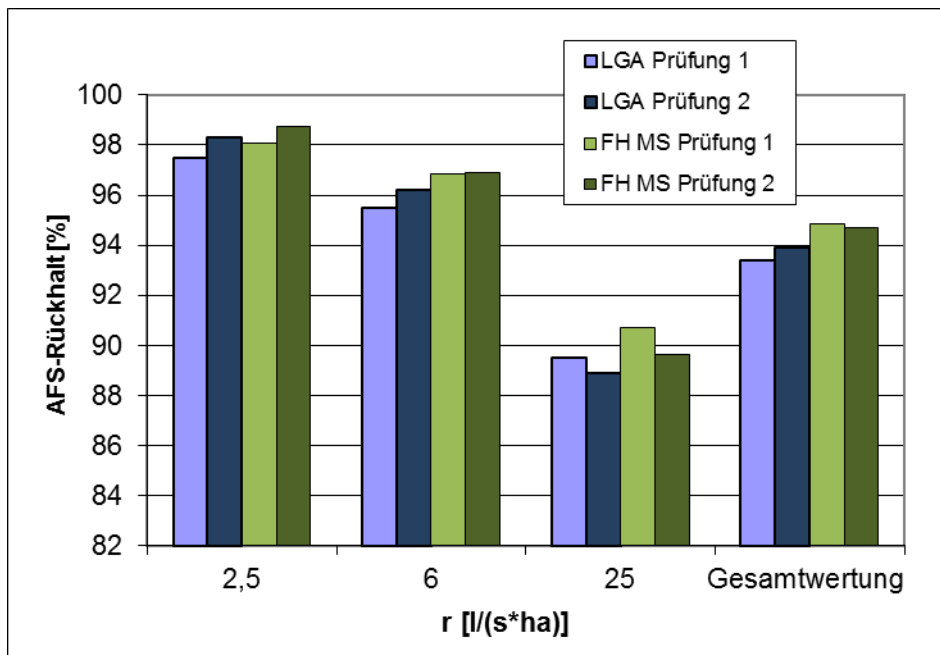


Abbildung 2-14: AFS-Rückhalt in den einzelnen Prüfreigenschaften und Gesamtbewertung

Die Gesamtbewertung liegt jedoch trotz dieses Ausreißers sehr nahe beieinander (LGA: 93,4%- bis 93,9%-Rückhalt; Münster 94,9%- bis 94,7%-Rückhalt). Dies ist eine Abweichung von 0,8 bis maximal 1,5%-Punkten.

Die AFS-Prüfung kann somit als reproduzierbar auch in verschiedenen Standorten bezeichnet werden und bedarf zzt. keiner ausführlicheren Beschreibung oder Optimierung.

2.5.2 MKW-Prüfung

Abbildung 2-15 zeigt die Ergebnisse der MKW-Prüfung im Vergleich. Die Ablaufkonzentrationen bewegen sich in der gleichen Größenordnung. Den großen Unterschieden insbesondere in Prüfreigenspende 4 wurde bereits als Erkenntnis aus anderen Forschungsprojekten [MKULNV, 2011] begegnet, indem die Probenahme-strategie dahingehend geändert wurde, dass der Probenahme verändert wurde. Das Ergebnis aus Münster zeigt, dass mit der verbesserten Probenahme-strategie die Ablaufkonzentrationen der A- und B-Probe dicht zusammenliegen.

Der Vergleich des Gesamtrückhalts schließlich ist in Abbildung 2-16 dargestellt. Der an der FH Münster ermittelte Rückhalt mit 95,7% liegt im Bereich der anderen Ergebnisse.

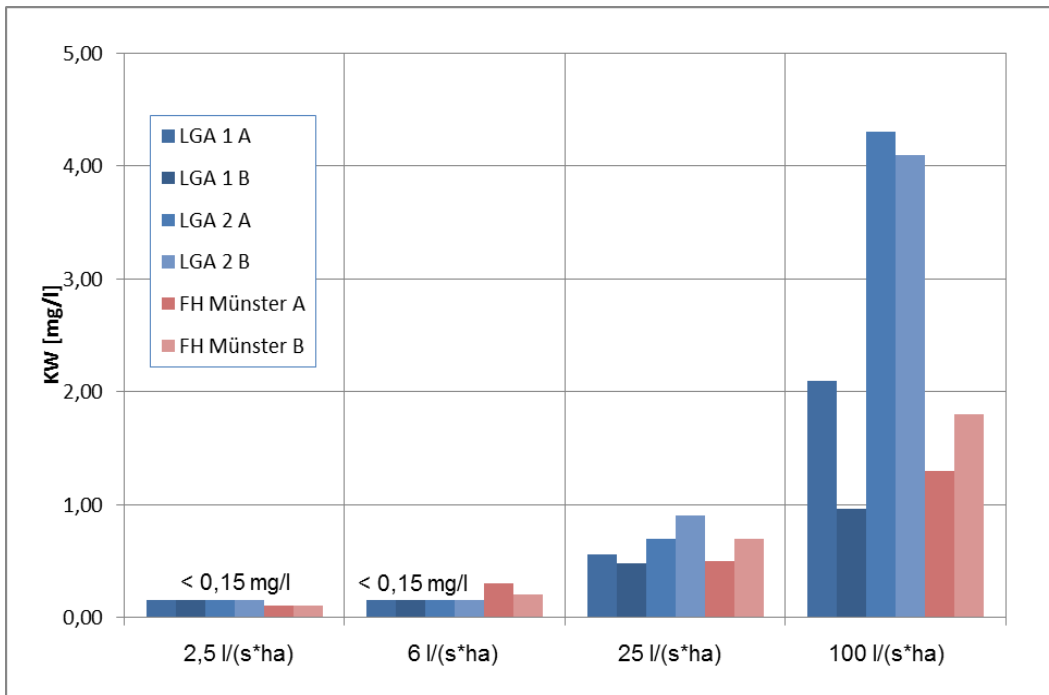


Abbildung 2-15: MKW-Ablaufkonzentration in Prüfreigenspende 1 bis 4

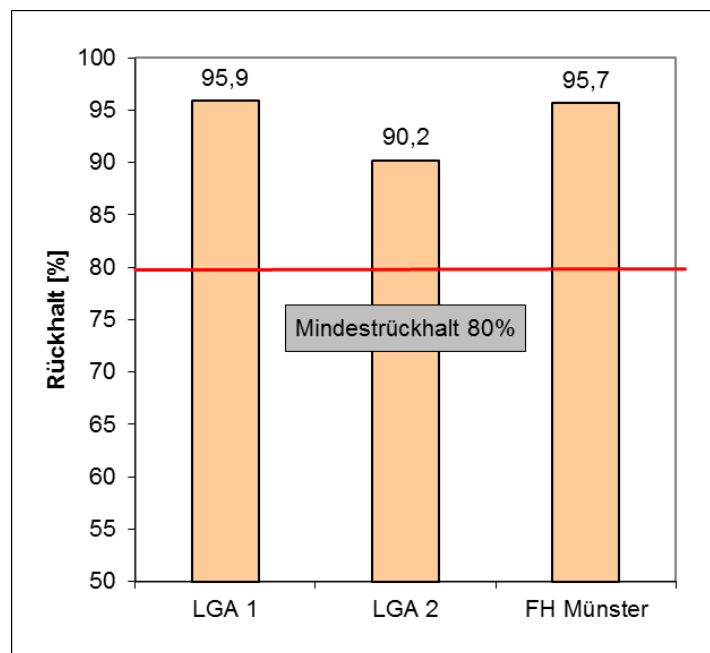


Abbildung 2-16: MKW-Gesamtrückhalt

2.5.3 Schwermetallprüfung

In Abbildung 2-17 sind die Rückhaltewerte für Kupfer für die einzelnen Prüfregenspenden im Vergleich dargestellt. Die Ergebnisse der Prüfung an der FH Münster entsprechen den Ergebnissen der Untersuchungen an der LGA Würzburg [MKULNV, 2011]. Auch der Vergleich der Zinkprüfung, Abbildung 2-18, zeigt die gute Übereinstimmung der Ergebnisse der FH Münster mit denen der LGA Würzburg.

Dementsprechend liegen die Gesamtrückhaltewerte für Kupfer (83,8%) und für Zink (84,5%) im Bereich der an der LGA Würzburg ermittelten Werte, vgl. Abbildung 2-19 und Abbildung 2-20.

Das DIBt-Prüfverfahren zum Schwermetallrückhalt kann somit abschließend als an verschiedenen Instituten reproduzierbar durchführbar bewertet werden.

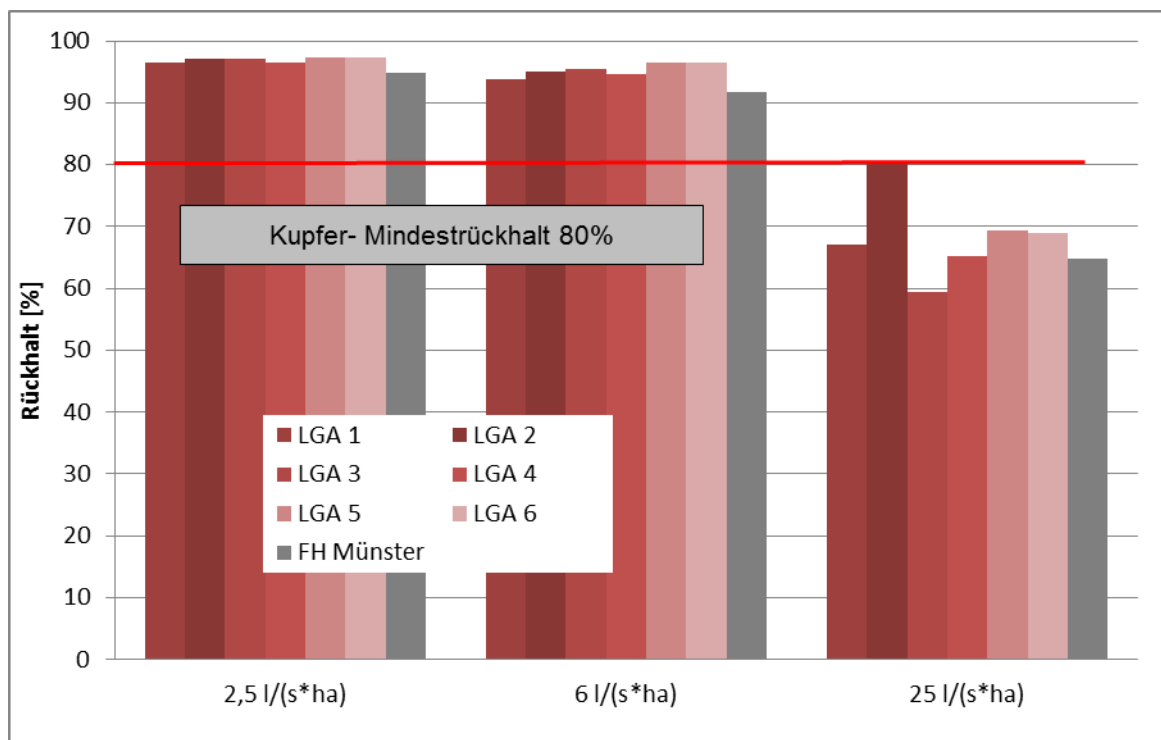


Abbildung 2-17: Kupfer-Rückhalt in Prüfregenspende 1 bis 3

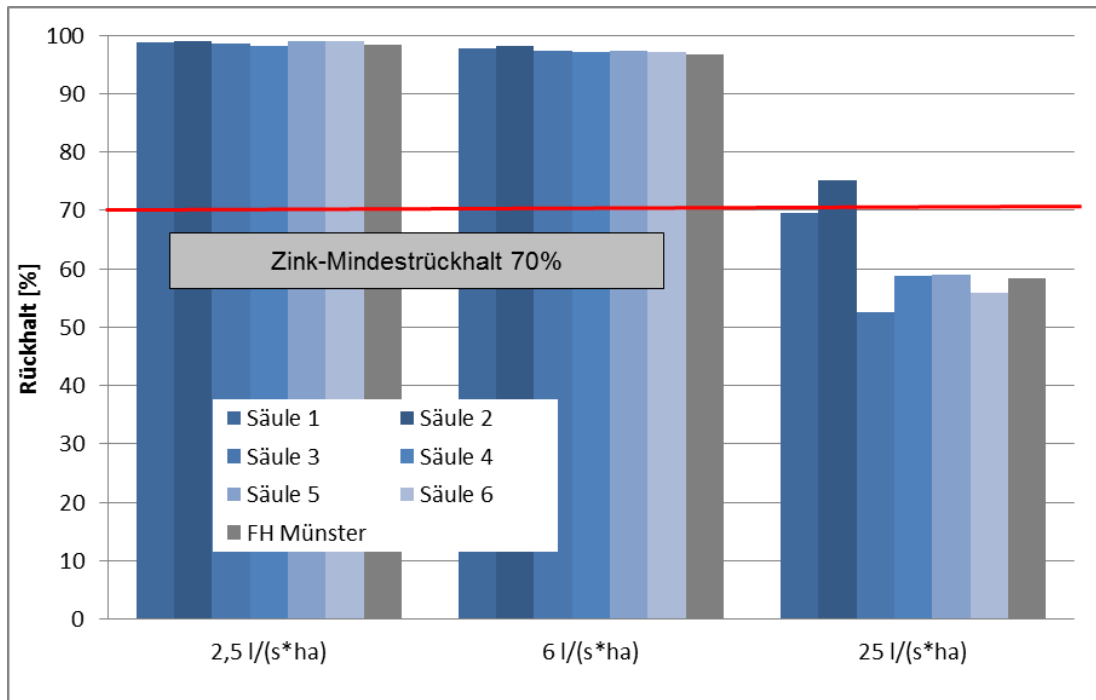


Abbildung 2-18: Zink-Rückhalt in Prüfreagenspende 1 bis 3

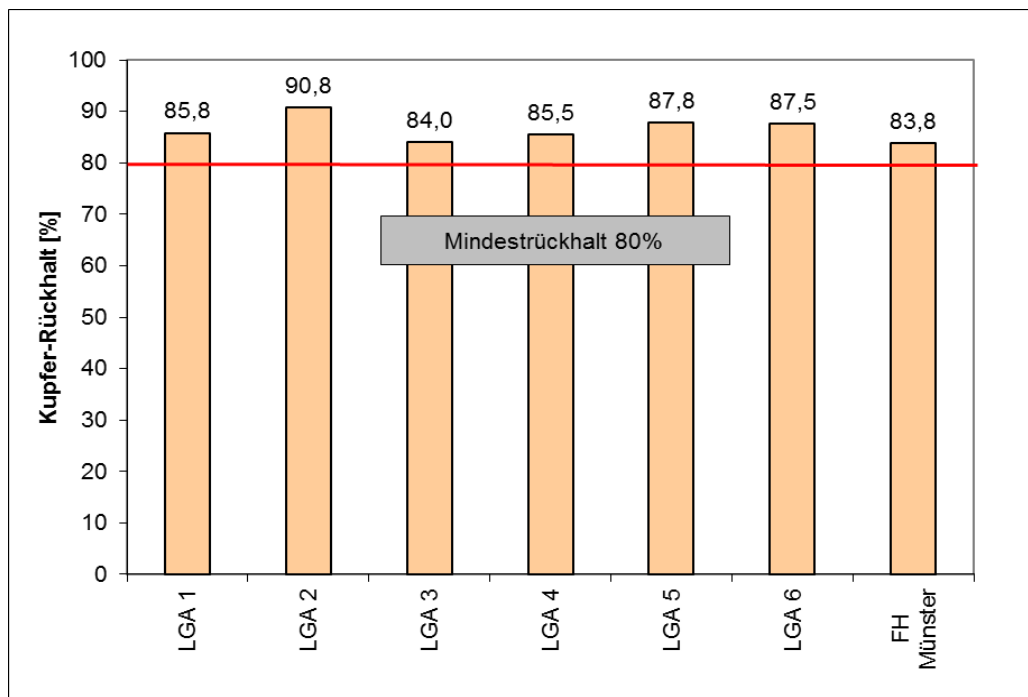


Abbildung 2-19: Gesamtrückhalt für den Parameter Kupfer-

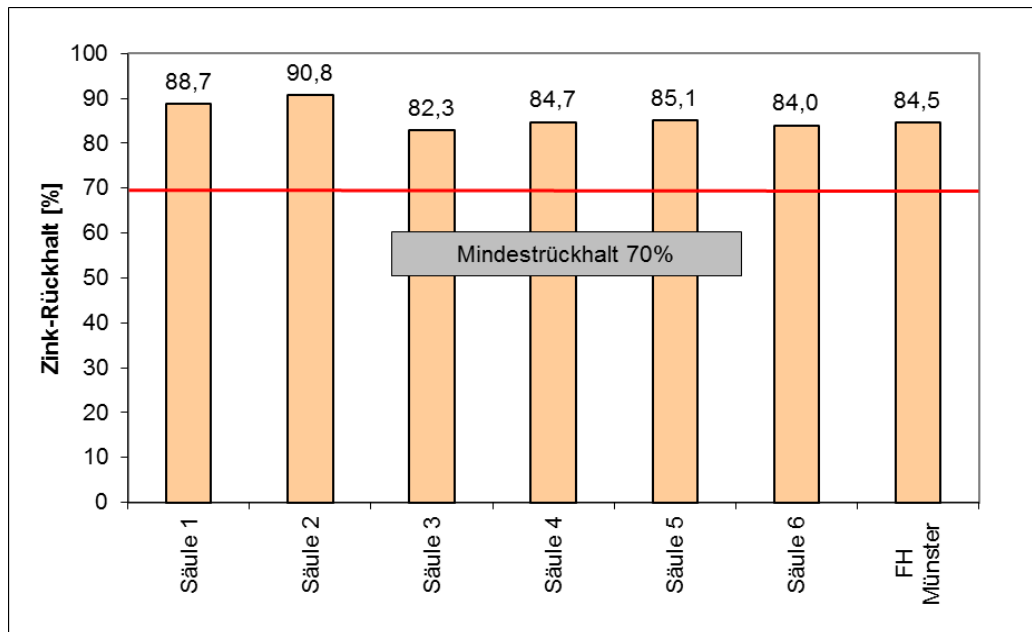


Abbildung 2-20: Gesamtrückhalt für den Parameter Zink-

2.6 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der **AFS**-Untersuchungen zeigen, dass die Versuche reproduzierbar durchgeführt werden können. Die Ergebnisse der beiden Prüfkonfigurationen (Verkehrsfläche – Grundwasser und Mischfläche – Oberflächengewässer) waren in beiden Versuchsdurchführungen nahezu identisch. Die Ergebnisse liegen in der Gesamtauswertung und im Verlauf der Ablaufkonzentrationen sehr eng beieinander. Die Prüfungen nach DIBt-Zulassungsgrundsätzen liefern einen Rückhalt von 95 % in beiden Versuchen.

Die Ergebnisse der ersten Untersuchung des Rückhaltes von **MKW** zeigen einen sehr hohen Wirkungsgrad der Anlage. Diese Ergebnisse passen nicht zu den Ergebnissen eines anderen Instituts, so dass die Reproduzierbarkeit des Untersuchungsverfahrens näher zu beleuchten war. Eine Ursachenanalyse zeigte, dass der hohe Rückhalt sehr wahrscheinlich an der nicht zeitnahen Analyse der Proben liegt. In der ersten Untersuchung wurden die Proben ca. 1 Woche im Labor gelagert, bevor sie zur Analytik gingen. In dieser Lagerungszeit nahm die Konzentration in der Probe durch Verflüchtigung bzw. Abbau ab. Infolge dessen wurden zu hohe Wirkungsgrade berechnet.

Aus diesem Grund wurden Nachuntersuchungen durchgeführt. Es konnte nachgewiesen werden, dass Lagerungsdauern von bis zu 48 h die MKW-Konzentrationen in Proben nicht beeinflusst. Innerhalb dieser Zeit wiesen die Analyseergebnisse von 18 Proben mit gleicher Ausgangskonzentration einen Variationskoeffizienten von 5,6 % auf. Die Verfahrensstandardabweichung der Analytik von MKW-Proben liegt laut Angaben der Labors zwischen 8 und 10 %.

Die Nachuntersuchung an der Anlage bezüglich MKW ergab einen Gesamtwirkungsgrad der Anlage bezüglich des Parameters MKW liegt bei 95,67 %. Damit werden die Ergebnisse des Prüfinstituts aus Würzburg bestätigt. Die Ablaufkonzentrationen der MKW steigen mit zunehmender hydraulischer Belastung an.

Die Untersuchung des **Schwermetallrückhaltes** zeigte ähnlich wie die MKW-Untersuchung einen sehr hohen Rückhalt, was wiederum nicht zu bislang bereits durchgeführten Ergebnissen passte. Vermutet wurde eine Verdichtung der Filtersäulen, bzw. eine Ausflockung der Metalle. Besonders die dritte Teilprüfung zeigte nicht den erwarteten Verlauf. Die Ergebnisse zeigten keinen Zusammenhang zwischen hydraulischer Belastung und Ablaufkonzentration. Aus diesem Grund wurde auch hier eine Nachuntersuchung durchgeführt.

Die Nachuntersuchung des Schwermetallrückhaltes zeigt eine Abhängigkeit der Ablaufkonzentration der Schwermetalle von der hydraulischen Belastung. Der Rückhalt liegt insgesamt für Kupfer bei 83,75 % und für Zink bei 84,46 % und damit über den geforderten 80 % (Kupfer) bzw. 70 % (Zink). Die dritte Prüfreagenspende, welche bei den ersten Versuchen unplausible Werte lieferte, zeigt bei der Nachuntersuchung den erwarteten Verlauf. Die Ablaufkonzentrationen beider Leitparameter sind in dieser Teilprüfung am höchsten und zeigen damit ebenfalls die plausible Abhängigkeit zur hydraulischen Belastung.

Die Untersuchungen ergaben wertvolle Erkenntnis, die in die Neufassung der Prüfvorschrift Eingang finden sollten.

Für Untersuchungen zum **AFS-Rückhalt** ist eine gute Reproduzierbarkeit festgestellt worden. Die Prüfvorschriften sind damit ausreichend genau.

Bei Untersuchungen zum **MKW-Rückhalt** muss die Lagerungszeit zwischen Entnahme und Analytik auf höchstens 48 h beschränkt werden. Des Weiteren sollte eindeutig beschrieben werden, ob die MKW Untersuchung an neuen Filterelementen oder an den Filterelementen, welche bereits bei der AFS-Untersuchung genutzt worden sind, durchgeführt werden soll. Dies ist in der Fassung aus dem Jahre 2008 nicht eindeutig geregelt und könnte zu Unstimmigkeiten führen.

Für die Untersuchungen zum **Schwermetallrückhalt** muss explizit darauf hingewiesen werden, dass das Material in den Säulen nicht verdichtet werden darf bzw. so eingebracht werden muss wie in der großtechnischen Anlage. Es sollte erwogen werden, die Lagerungsdichte als Parameter zu verwenden. Weiterhin sollte die Überwachung des pH-Wertes geregelt werden. In der gültigen Fassung von 2011 ist nicht genau beschrieben welche Methode und mit welcher Genauigkeit der pH-Wert überprüft werden soll. Weiterhin sollten Zulaufproben genommen werden, um zu gewährleisten, dass die Zulaufkonzentration der Schwermetalle eingehalten ist und die Anmischung des Zulaufwassers funktioniert hat. Da gerade in der Anmischung des Wassers eine sehr genaue Einhaltung der Zulassungsgrundsätze gewährleistet sein muss, sollte dieser Punkt auch sehr detailliert beschrieben sein.

Die Ergebnisse des gesamten Prüfverfahrens sind wie bei allen Prüfverfahren mit einer Verfahrensstandardabweichung ausgestattet. Es wird empfohlen, mittelfristig die Verfahrensstandardabweichung des Prüfverfahrens durch Parallelversuche an mehreren Prüfinstituten zu bestimmen, um begründete Akzeptanzgrenzen festzulegen.

3 Ergänzende Säulenversuche zum Schwermetallrückhalt (FH Ffm)

Die Schwermetallprüfung wird in den bisherigen Prüfverfahren an einem verkleinerten Filterelement - überwiegend als Säule - durchgeführt, um die Produktion von schwermetallhaltigem Abwasser zu verringern. Je kleiner der Durchmesser gewählt wird, desto geringer wird die produzierte schwermetallhaltige Abwassermenge.

Es ist jedoch bislang nicht abschließend geklärt, ob die geplante Methodik zur Untersuchung des Schwermetallrückhalts auch in kleinen Säulen zu reproduzierbaren Ergebnissen führt. Daher wurden Säulenversuche mit verschiedenen Substraten und unterschiedlichen Säulendurchmessern durchgeführt, um mögliche Skaleneffekte erkennen zu können.

Drei unterschiedliche Filtermaterialien, die häufig in dezentralen Behandlungsanlagen eingesetzt werden, wurden verwendet:

- Material 1: Zeolith und Aktivkohle
- Material 2: Kalksand mit GEH
- Material 3: Kalksand und Porenbeton

Material 1 besteht aus Zeolith und Aktivkohle. Zeolith ist ein Material, bei dem die gelösten Schwermetalle überwiegend mittels Ionenaustausch zurückgehalten werden. Die Aktivkohle dient bei Filtern zur Behandlung von Straßenabflüssen vorwiegend zum Rückhalt von organischen Stoffen sowie Phosphor. Bei Material 2 und 3 werden die gelösten Schwermetalle durch Anhebung des pH-Wertes (Beton und Kalksand) gefällt und als Feststoff im Sand zurückgehalten. Material 2 ist eine Mischung aus GEH (granuliertes Eisenhydroxid) und Kalksand und wurde schon häufiger in Untersuchungsprogrammen in der Schweiz eingesetzt. Material 3 besteht aus einem festen Porenbetonblock und darüber liegend ein rieselfähiger Kalksand. Auch dieses Material wurde schon bei dezentralen Behandlungsanlagen als Material eingesetzt.

Bei den bisherigen Zulassungsverfahren des DIBt wurden häufig Filtersäulen mit dem Durchmesser von 10 cm aber auch kleine Säulendurchmesser (< 1 cm) verwendet. Deshalb wurden für dieses Projekt Untersuchungen an Säulendurchmessern von DN 100 und DN 16 vorgenommen. Die Filtermaterialhöhe war jeweils 50 cm. Der Filteraufbau der Filter wurde in Anlehnung an realisierte Anlagen gefertigt und ist in Tabelle 3-1 dargestellt.

Tabelle 3-1: Aufbau der verwendeten Filtersäulen zum Schwermetallrückhalt

Material	Aufbau von unten nach oben	Fließrichtung
Material 1: Zeolith und Aktivkohle (ca. 1:1) rieselfähig	5 cm grobes Zeolith 20 cm feines Zeolith 25 cm Aktivkohle	aufwärts
Material 2: GEH und Kalksand (ca. 1:1) rieselfähig	50 cm Mischung aus Eisenhydroxid und Kalksand	abwärts
Material 3: Porenbeton (feste Form) und Kalksand (rieselfähig) (ca. 1:1)	25 cm Kalksand 25 cm Porenbeton	abwärts

Die Filtersäulen wurden jeweils mit schwermetallhaltigem Wasser (Zink und Kupfer) mit den drei Prüffregenspenden 2,5, 6 und 25 l/(s*ha) entsprechend der Prüfvorschrift nach DIBt beaufschlagt [DIBt, 2011]. PH-Wert und Leitfähigkeit des Beschickungswassers wurden entsprechend der Prüfvorschrift eingestellt. Das gesamte Wasservolumen wurde aufgefangen und daraus jeweils eine Probe auf Zink und Kupfer analysiert. Die Ergebnisse der Versuche sind in Abbildung 3-1 und Abbildung 3-2 dargestellt.

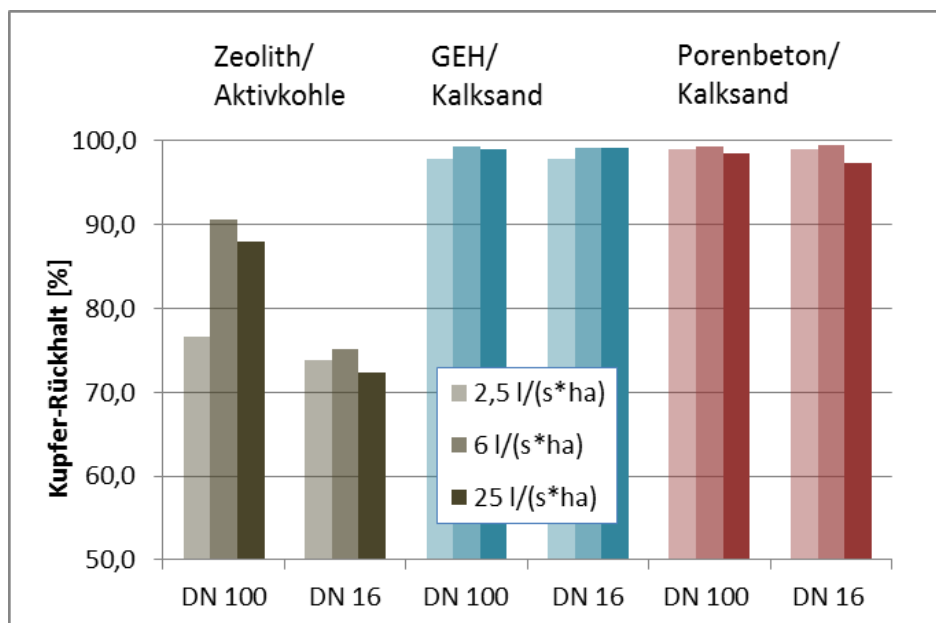


Abbildung 3-1: Kupferrückhalt in den Säulenversuchen

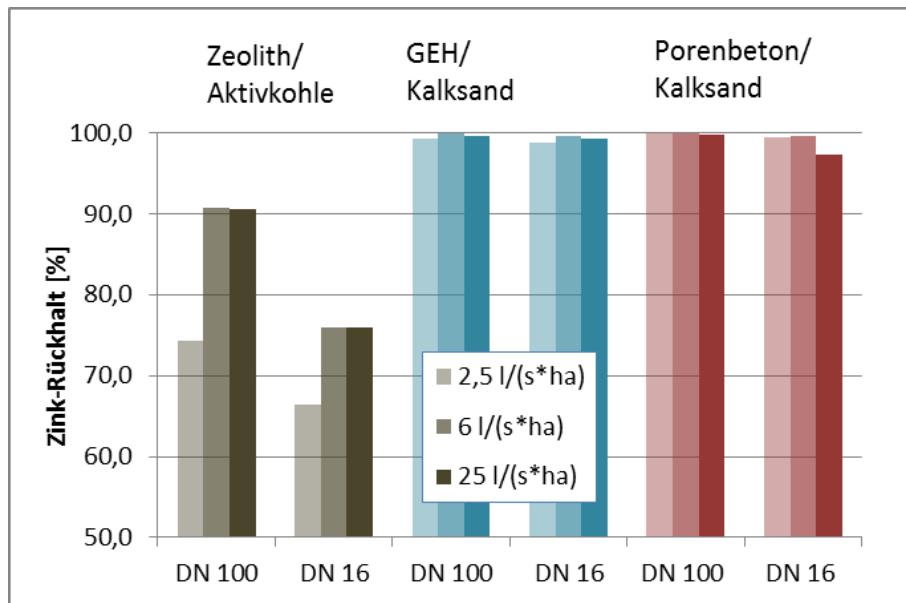


Abbildung 3-2: Zinkrückhalt in den Säulenversuchen

Der Rückhalt in den Filtersäulen mit GEH/Kalksand (blau) und Porenbeton/Kalksand (rot) war jeweils für Zink und Kupfer unabhängig vom Durchmesser der Filtersäulen sehr hoch. Bei Porenbeton und Kalksand ist ein etwas geringerer Rückhalt in der kleineren Säule (DN 16) bei der hohen Prüfredenspende festzustellen. Bei diesen Materialien mit dem Wirkprinzip Fällung ist insgesamt der Unterschied bei den Säulendurchmessern gering. Weiterhin zeigt sich hier die gute Wiederholbarkeit der Ergebnisse in der Schwermetallprüfung.

Bei den Untersuchungen zum Schwermetallrückhalt mit Ionenaustauschprozess ist dies jedoch anders. Beim Einsatz von Zeolith mit Aktivkohle (grün) ist der Effekt der unterschiedlichen Säulendurchmesser deutlich erkennbar. Der Rückhalt sowohl des Zinks als auch des Kupfers ist in der Säule mit einem Durchmesser von 16 mm um etwa 10% geringer als in der Säule mit 100 mm. Hier scheinen sich Randeffekte negativ auf den Ionenaustauschprozess auszuwirken.

Für die Prüfung des Schwermetallrückhalts wird daher ein Mindestdurchmesser von 10 cm empfohlen.

4 Neue Erkenntnisse zur Kolmation von dezentralen Anlagen in situ - erste Vorschläge zur Prüfung der Kolmationsneigung (FH Ffm)

Das Versagen einer dezentralen Niederschlagswasserbehandlungsanlage in der Realität wird oftmals durch eine Kolmation des Filtersubstrates bestimmt.

Als Kolmation wird in der Grundlagenforschung eine durch fortschreitende Verengung der Poren verursachte Selbstdichtung eines Bodens oder Filters bezeichnet [LfU, 2002]. Die Ursache kann dabei mechanisch und/oder biologisch sein. Bei der mechanischen Kolmation setzt sich der Filter durch sterische Behinderung und Brückenbildung bzw. durch Verfüllung des Grob- und Sekundärporenraums zu. Bei der biologischen Kolmation führt ein Abbau von Biomasse zum Zusetzen der Filterporen [BfG, 1995].

Die Einflussgrößen sind dabei sehr vielfältig und können ihre Ursache in den Eigenschaften des Substrates und/oder den Eigenschaften des Zulaufwassers haben. Zusätzlich spielen hydraulische Prozesse eine Rolle, wie in Tabelle 4-1 zusammengefasst.

Tabelle 4-1: Einflussgrößen auf die Kolmation, aus [Schwarz, 2004], verändert nach [Schälchli, 1993]

Parameter	Einflussgrößen
Matrix, Filterkörper	<ul style="list-style-type: none"> - Korngrößenverteilung - Durchlässigkeit - biologische Aktivität - Licht, Temperatur -
Fluid, Niederschlagsabfluss	<ul style="list-style-type: none"> - Partikelgrößenverteilung - Konzentration der Feststoffe - biologische Aktivität - Licht, Temperatur -
Prozessbedingungen, hydraulisch	<ul style="list-style-type: none"> - Wassersättigung (Dauerstau, trockenfallend) - Fließgeschwindigkeit - hydraulische Belastung

Aus Tabelle 4-1 geht hervor, dass insbesondere die Stoffkonzentration an Feststoffen und die Zusammensetzung der Partikelgrößen einen entscheidenden Einfluss haben können. Da insbesondere feinere Feststoffe im Niederschlagswasser Ursache für eine Kolmation sein können, werden zunächst neuere Erkenntnisse zum Aufkommen und der Zusammensetzung von (feinen) Feststoffen dargelegt (siehe Kapitel 4.1).

Die Auswertung von Betriebsdaten bestehender Anlagen schließlich soll Situationen darlegen, in denen Kolmation unter Feldbedingungen stattgefunden hat (siehe Kapitel 4.2).

Mit Hilfe dieser Informationen werden erste Vorschläge zur Prüfung der Kolmationsneigung herausgearbeitet. Hier werden die verschiedenen Randbedingungen beschrieben, die bei Niederschlagsbehandlungsanlagen kolmationsfördernd sein können (siehe Kapitel 4.3).

4.1 Zusammenstellung neuer Erkenntnisse zum Aufkommen und der Zusammensetzung von Feststofffraktionen in Verkehrsflächenabflüssen

In der ersten Phase des Projektes [DWA, 2010] wurden bereits einige Erkenntnisse und Zusammenhänge zu Aufkommen und der Zusammensetzung von Feststofffraktionen in verschiedenen Niederschlagsabflüssen dargestellt. Da Verkehrsflächenabflüsse den Hauptanwendungsfall für dezentrale Behandlungsanlagen darstellen, werden die Erkenntnisse für Verkehrsflächenabflüsse im Folgenden zusammengefasst und durch neue Erkenntnisse und Untersuchungen ergänzt. Der Feinanteil der abfiltrierbaren Stoffe mit einem Korndurchmesser von $< 63 \mu\text{m}$ ist dabei von besonderer Bedeutung, da sich Schadstoffe insbesondere an ihm anlagern und er eine Ursache für eine mögliche Kolmation sein kann.

Die Feststoffkonzentration und -fraktion in Verkehrsflächenabflüssen wird von vielen Randbedingungen in unterschiedlichem Maße beeinflusst.

In Abbildung 4-1 sind mögliche Einflussfaktoren, die AFS-Belastung im Verkehrsflächenabfluss beeinflussen, dargestellt.

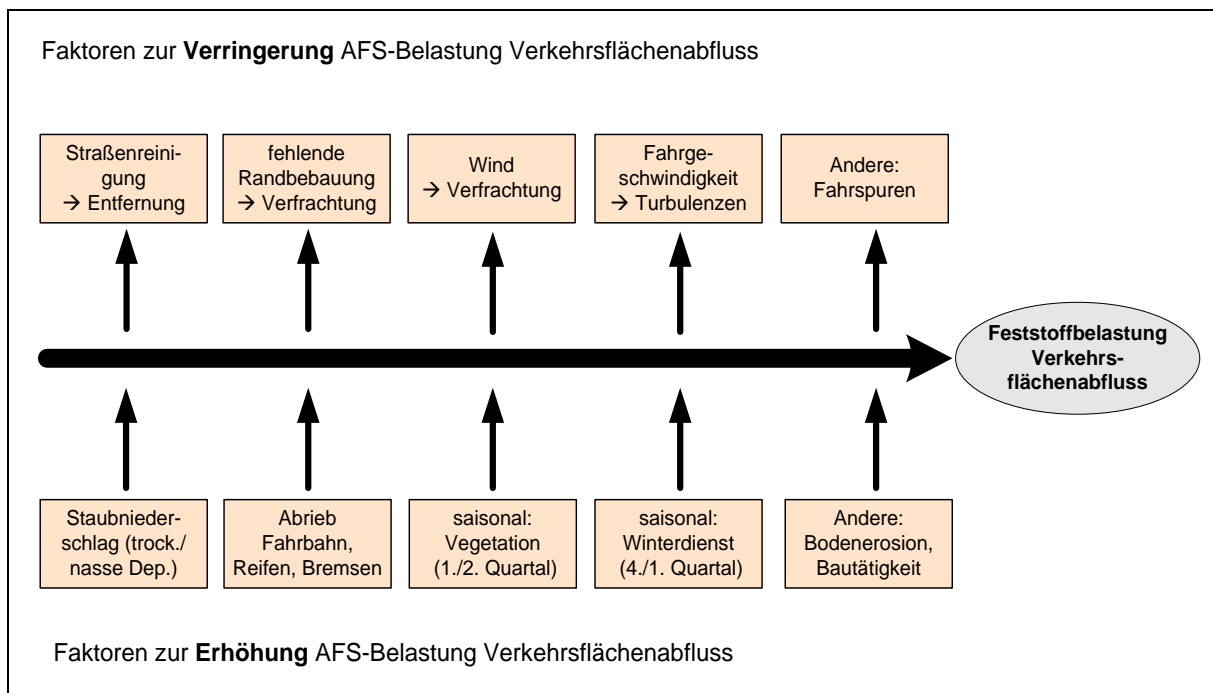


Abbildung 4-1: Herkunft der AFS im Verkehrsflächenabfluss (Straßen, Parkplätze)

Zu erkennen ist, dass es sowohl Faktoren zur Verringerung als auch zur Erhöhung der Feststoffbelastung gibt. Die wichtigsten Einflussfaktoren sollen deshalb im Folgenden beschrieben werden.

Staubniederschlag (nasse und trockene Deposition), der wiederum unterschiedlichen Einflussfaktoren wie industriellen und landwirtschaftlichen Tätigkeiten, Verkehrsaktivitäten, Verbrennungsrückständen aus privaten Heizungen und Verkehrsfahrzeugen, Bauaktivitäten, Schüttgutumschlägen oder organischer Belastung aus Pollen und Blüten unterliegt, ist ein wesentlicher Bestandteil von Verkehrsflächenabflüssen. Staubniederschläge weisen Korngrößen bis zu 200 µm auf, größere Partikel werden meist nicht in die Luft bzw. in die übliche Messhöhe von 1,5 m verfrachtet. Partikel < 1 µm verbleiben überwiegend in der Luft und sedimentieren nicht [Gruber, 1981], erst wenn sie durch Koagulation kleiner Teilchen zu/an großen bzw. Anlagerung von Partikeln an umgebenden Oberflächen anwachsen [BfVBS, 2012]. In Abbildung 4-2 sind die Größenbereiche und Bezeichnungen für Partikel in der Atmosphäre dargestellt.

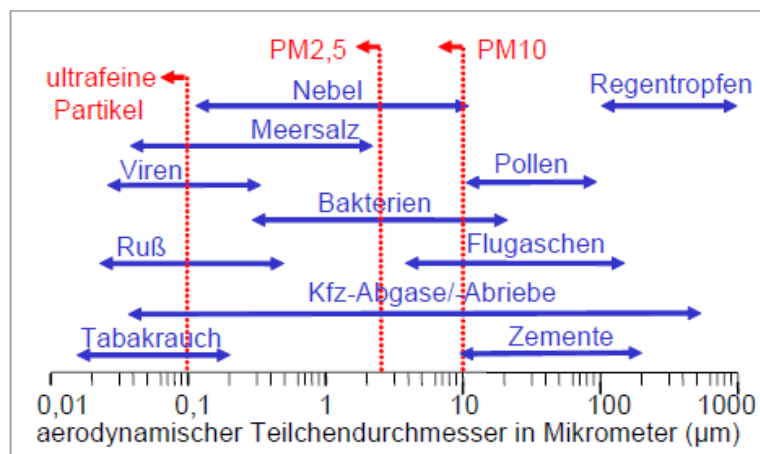


Abbildung 4-2: Größenbereiche von Partikeln in der Atmosphäre, aus [HLUG, o.J.]

[Gruber, 1981] untersuchte sehr intensiv die Zusammensetzung des Staubniederschlags in der Stadt Linz in den Jahren 1973 bis 1978. Die Korngrößenverteilung bezogen auf die Masse an 8 Messstellen sowie der Mittelwert daraus sind in Abbildung 4-3 dargestellt.

Nach dieser Darstellung ist der Korngrößenbereich kleiner 63 µm mit ca. 85% am häufigsten im Staubniederschlag enthalten. Allerdings ist der Staubniederschlag durch Maßnahmen in der Industrie und bei Verbrennungsprozessen (Rußfiltern, Verbot von Verbrennen von Gartenabfällen und Feldabrennen) insgesamt seit dieser Zeit stark gesunken und hat sich vermutlich leicht in Richtung „grob“ verschoben, so dass heute vermutlich eher 70 bis 80% des Staubniederschlags Korngrößen < 63 µm aufweisen.

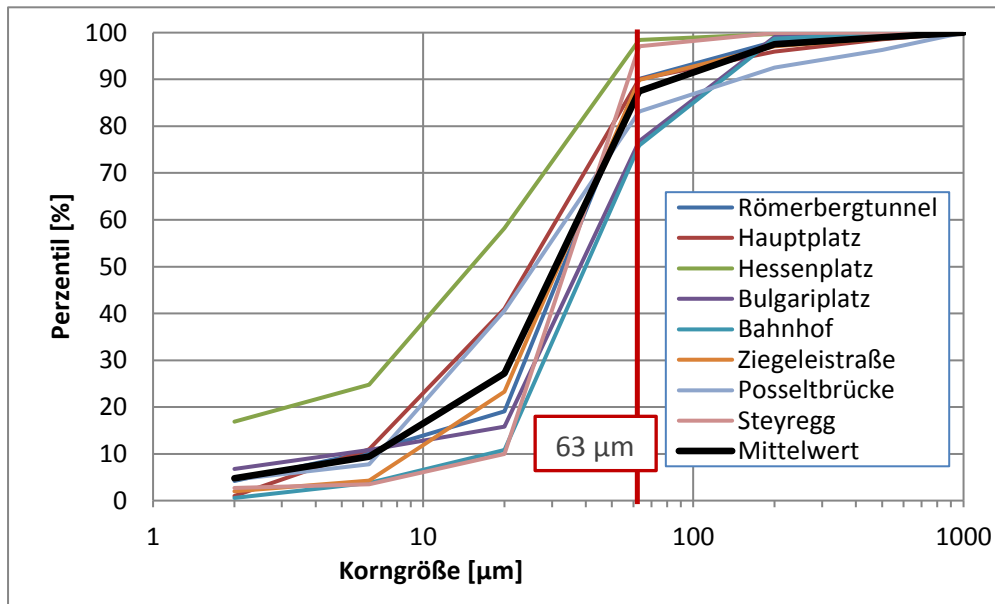


Abbildung 4-3: Korngrößenverteilung im Staubniederschlag der Stadt Linz, Messungen 1973 und 1974, Messdaten aus [Gruber, 1981]

Blüten und Pollen können in der Vegetationsperiode ebenfalls im Staubniederschlag enthalten sein. Die meisten Pollenkörner sind zwischen 10 und 100 Mikrometer groß [Schütt et al., 2002] und verursachen hauptsächlich zwischen März und Mai ein erhöhtes AFS-Aufkommen. Da Blütenpollen überwiegend organisch sind und sich zudem im unteren Korngrößenbereich befinden, können sie eine wesentliche Kolmationsursache für einen bestimmten Zeitraum im Jahr sein.

Über **Verkehrsaktivitäten** werden weitere Belastungen eingetragen, die über Verbrennungsprodukte (Ruß) einen Beitrag zum Staubniederschlag im Korngrößenbereich bis 2,5 µm liefern. Weiterhin sind Einträge wie Reifen-, Brems- und Fahrbahnabrieb enthalten. Reifenabrieb weist eine Korngröße von etwa 10 bis 100 µm auf. Der Fahrbahnabrieb (2,5 bis über 1.000 µm) hängt von der Oberflächenbeschaffenheit der Fahrbahn, von der Verkehrsbelastung und auch von der Art der Bereifung ab. Der Bremsabrieb wird überwiegend dem Feinstaub PM 2,5 bis 10 zugeschrieben [Gerwig, 2005], [Nielsen et al, 2003]. Somit tragen verkehrsbedingte Belastungen insbesondere zum Feinstaubanteil von Feststoffen bei und können Ursache möglicher Kolmationen an nachfolgenden Anlagen sein.

Tabelle 4-2: Partikelgrößen von verschiedenen verkehrsbedingten Belastungen

	Partikelgrößen
Reifenabrieb	10-100µm
Fahrbahnabrieb	2,5 bis > 1.000 µm
Bremsabrieb	2,5-10 µm

Im **Winter** kommt u.U. die Belastung aus der Salzstreuung hinzu, wobei nicht das lösliche Salz die Belastung an AFS im Niederschlagsabfluss darstellt, sondern die dadurch und durch Frost bedingte Zerstörung der Fahrbahndecke.



Abbildung 4-4: Dokumentation von „Salzflecken“ und die Auswaschung von Feinpartikeln aus dem Fahrbahnmaterial als Folge der Salzstreuung [Lambert, 2010]

Lambert [2011] ermittelte einen zusätzlichen Beitrag an Sediment an einer Autobahn von 1.350 kg/ha in drei Monaten, wobei 47,7 % dem Feinanteil < 63 µm zuzuordnen waren. Streusalz (zumeist Natriumchlorid) führt zu einer Dispergierung von agglomerierten Feststoffen in die Primärteilchen < 2 µm [Huwe, 2011], so dass die Kornverteilung der Feststoffe in Richtung „fein“ verschoben wird. Weiterhin finden sich durch den korrosionsfördernden Einfluss von Tausalz deutlich erhöhte Schwermetallkonzentrationen im Straßenabfluss [Huwe, 2011]. Maximal ergibt sich aus der Untersuchung von [Lambert, 2011] eine rechnerische Erhöhung im Straßenabfluss um 750 mg/l an AFS_{ges.} bzw. 360 mg/l AFS_{fein.} Aus zwei Stichproben an einer mit Ampeln versehenen Straßenkreuzung in Hamburg mit 28.000 DTV und häufigen Brems- und Anfahrvorgängen wurde nach der Winterstreuzeit ein über den sonstigen Mittelwert hinausgehende Konzentration von 1.382 mg/l AFS_{ges.} im Straßenabfluss (Stichprobe) ermittelt [Dierkes, 2010]. [Nadler und Meißner, 2008] untersuchten neun Jahre lang die Belastung an der Derchinger Straße in Augsburg, eine Bundesstraße, die mit etwa 7.000 DTV belastet wird. Interessant sind die AFS-Mittelwerte der einzelnen Quartale, an denen die Belastung durch Streusalz im Winter bzw. organische Belastung im Sommer gut ablesen kann, vgl. Tabelle 4-3. Die Erhöhung im Straßenabfluss im zweiten Quartal im Vergleich zu den Mittelwerten der drei anderen Quartale (Grundbelastung: ca. 75 mg/l) lag bei ca. 300 mg/ AFS_{ges.}

Tabelle 4-3: AFS_{ges.} in [mg/l] als Mittelwert je Quartal in einer 9-jährigen Messkampagne an der Derchinger Straße in Augsburg mit 7.000 DTV [Nadler und Meißner, 2008]

Quartale	4	1	2	3	1 - 4
AFS in mg/l	49,7	120	378	56,7	98,4

Aus diesen Beispielen ergibt sich, dass nach einer Salzstreuung in der Frostperiode mit erhöhter Kolmationsneigung gerechnet werden kann.

Auch **Erosionseinträge** von unbefestigten Flächen können die Feststoffbelastung im Verkehrsflächenabfluss wesentlich beeinflussen. In Deutschland werden derzeit 8 bis 10 t/ha und Jahr an Boden über Wind- oder Wassererosion abgetragen. Dies entspricht etwa einem flächendeckenden Abtrag von 1 mm jährlich [LfU, 2007]. Böden werden u.a. aufgrund ihrer Korngröße unterteilt in Ton ($< 2 \mu\text{m}$), Schluff (2 bis $63 \mu\text{m}$) und Sand ($> 63 \mu\text{m}$). Lehm stellt ein Gemisch aus den drei Bodenarten zu etwa gleichen Anteilen dar [LfU, 2007]. Die Erosionsneigung eines Bodens hängt insbesondere von der Fähigkeit Wasser zu binden ab. Tonige und lehmige Böden sowie Böden, die organisches Material enthalten, neigen weniger zur Erosion. Ein hoher Anteil mittlerer Korngrößen (Sand), zu fein bearbeiteter Oberboden, verdichtete Böden, zu stark gelockerte Böden oder ausgetrocknete Böden begünstigen eine Erosion. Aber auch das Gefälle, die Witterung, der Bewuchs und die Art der Bodenbearbeitung beeinflussen die Erosion [LfU, 2007]. [Fuchs, 2010] stellte fest, dass in Straßenabflüsse von 0 bis zu 6.000 kg/ha und Jahr grobes (mineralisches und organisches) Material $> 63 \mu\text{m}$ eingetragen werden können. Umgerechnet über einen Niederschlag von 800 mm sind dies maximal etwa 750 mg/l, die vermutlich neben dem Eintrag von Pflanzenteilen oder durch Bautätigkeiten zum großen Teil aus der Bodenerosion stammen. Insgesamt ist wenig zur Zusammensetzung der erosionsbedingten Einträge bekannt. Tendenziell werden eher größere Korngrößen $> 63 \mu\text{m}$ auftreten. Obwohl der überwiegende Anteil aus der Bodenerosion für eine Kolmation unkritische Korngrößen aufweist, wird jedoch aufgrund der hohen Gesamtkonzentration ein nicht unbeträchtlicher Anteil fein und somit kolmationsfördernd sein.

Bei **Bautätigkeiten** kann darüber hinaus der anstehende Boden unabhängig von der Erosionsneigung und Korngröße in den Straßenabfluss gelangen. Auch zu der Zusammensetzung dieses Eintrages ist wenig bekannt.

Neben Faktoren, die die AFS-Belastung des Straßenabflusses erhöhen, gibt es auch Faktoren, die die Belastungen verringern (siehe Abbildung 4-1). So kann der überwiegend gröbere Anteil mittels **Straßenkehrungen** entfernt werden, feine Anteile können durch Wind oder Verkehrsturbulenzen aufgewirbelt werden und finden sich im Feinstaub der Luft wieder. Durch Aufwirbelungen und Spritzwasser gelangen einige Anteile des Straßenstaubs bzw. des Verkehrsflächenabflusses nicht zum Abfluss, sondern auf angrenzende Oberflächen. Abhängig von der Anzahl der Fahrspuren, der Fahrgeschwindigkeit sowie einer **fehlenden seitlichen Bebauung** können bis zu 70% des Niederschlags bei Autobahnen ins Umland verspritzt oder verweht werden [Kaufmann, 2008a]. In einer langfristigen Untersuchung von [Beer et al., 2011] an drei Autobahnen mit etwa je 70.000 DTV wurden z.B. innerhalb eines 10-monatigen Messzeitraumes im Durchschnitt nur 200 mg/l AFS_{ges} im Straßenabfluss gefunden, aber abhängig von der Windrichtung erhöhte Staubbiederschläge in 1 bis 5 m Entfernung zur Fahrbahn. Sind dagegen Gehwege, Randstreifen oder Standspuren vorhanden, so lagern sich Schmutzstoffe dort ab und werden bei nachfolgenden Regenfällen abgeschwemmt [Kaufmann, 2008b].

Nach der Beschreibung der Einflussfaktoren werden im Folgenden **Messprogramme** zur Feststoffbelastung in Straßenabflüssen aufgeführt. Messungen zeigen diejenige Feststoffbelastung an, die alle Einträge, aber auch mögliche verringerten Einflüsse berücksichtigen. Da die Einflussfaktoren - wie dargestellt- sehr vielfältig sind und dazu noch vom Niederschlagsgeschehen beeinflusst werden, sind die publizierten Messergebnisse sehr heterogen. Bei den detektierten Parametern dominieren die AFS_{gesamt} -Messungen, sehr wenige Daten sind zu den feinen Feststofffraktionen verfügbar.

Daten zu AFS_{gesamt} -Konzentrationen in Verkehrsflächenabflüssen liegen seit den 1980er Jahren vielfach vor. Diese liegen zwischen 50 und 400 mg/l, im Maximum bei nahezu 2.000 mg/l und im Schwerpunkt bei 200 mg/l [Welker, 2005].

Wichtig für die Beurteilung der Schadstoffbelastung eines Straßenabflusses ist vor allem der Feinanteil $< 63 \mu m$, da dieser insbesondere mit Schadstoffen belastet ist [Xanthopoulos und Hahn, 1993]. Der Anteil des AFS_{fein} (Korngröße $< 63 \mu m$) liegt abhängig von Niederschlagsgeschehen, Straßenreinigungsintervallen und weiteren Randbedingungen bei 10% bis 90%, im Mittel bei etwa 50% der gesamten abfiltrierbaren Stoffe [DWA, 2010]. In Mischflächenabflüssen wurden AFS_{fein} -Konzentrationen von 50 bis 100 mg/l gefunden [Welker, 2005].

[Xanthopoulos und Hahn, 1993] konnten einen Bereich von 4 bis 33% $< 63 \mu m$ im Straßenabfluss verschiedener Einzugsgebiete in Karlsruhe identifizieren. Eine Stichprobe aus einer Straße in Burgdorf (17.000 DTV) ergab mehr als 90% an $AFS_{fein} < 63 \mu m$ mit einem Peak bei unter $10 \mu m$. [Dierschke et al., 2010] werteten Literaturdaten aus und kamen bei den Untersuchungen aus Europa und USA zu Anteilen an AFS_{fein} von 10 bis 20% im Straßenstaub bzw. -abfluss und von 70% in untersuchten Straßenabflüssen in Australien.

[Eyckmanns-Wolters et al., 2012] stellten in Untersuchungen aus Einzugsgebieten in Berlin und Baden-Württemberg fest, dass die Konzentrationen an feinen abfiltrierbaren Stoffen in einem engen Bereich von 60 bis 100 mg/l liegen, wohingegen grobes Material in einer Konzentration zwischen 0 und 10.000 mg/l schwanken kann. Sehr hohe Feststoffkonzentrationen treten vor allem in kleinen Einzugsgebieten auf, wie sie z.B. Straßenabschnitte darstellen, in denen Retentionsprozesse von untergeordneter Bedeutung sind. Die Feinfraktion ist meistens hochbelastet und schwer absetzbar, die Grobfraktion dagegen wenig belastet und leicht absetzbar. Ausnahmen stellen Gebiete mit hohem Vegetationsbestand dar, hier können organische Grobfraktionen auftreten, die schwer absetzbar sind und sich durch Abbau- und Zersetzungsvorgänge im Verlauf der Zeit in Feinanteile umwandeln können.

Die Heterogenität der veröffentlichten Daten liegt zum einen an den Randbedingungen im Einzugsgebiet, zum anderen an den völlig unterschiedlichen Untersuchungsmethodiken. So unterschieden sich häufig die Randbedingungen der Probennahme und Analytik. Weiterhin werden verschiedene Bezugsgrößen verwendet. Oft werden vor einer Messung grobe bzw. sedimentierbare Stoffe separiert, so dass sich die prozentualen Angaben nur auf einen Korngrößenbereich z.B. kleiner 150 oder $< 300 \mu m$ beziehen. Feine Feststoffe agglomerieren zum Teil zu größeren Partikeln, so dass das Ergebnis auch abhängig von der Messmethode (Darstellung der Primärpartikel oder der Agglomerate) sehr unterschiedlich sein kann.

Fazit:

Die Feststoffeinträge in Verkehrsflächenabflüssen hängen von vielen Faktoren (Staubniederschläge, Verkehrsbelastung, Vegetation, bauliche Gegebenheiten, Niederschlagsgeschehen, Wind, Straßenreinigung, Winterdienst ...) im Einzugsgebiet ab und schwanken umso mehr, je kleiner das Einzugsgebiet ist. Gerade bei dezentralen Behandlungsanlagen ist aber mit diesen geringen angeschlossenen Flächen zu rechnen.

Kritisch zu sehen sind insbesondere die Feinanteile, da sie höher mit Schadstoffen belastet und schlechter absetzbar sind. In Verkehrsflächenabflüssen liegen AFS_{fein}-Konzentrationen im Bereich von etwa 60 bis 100 mg/l. Die Grobanteile liegen bei 0 bis 10.000 mg/l und sind nur dann relevant, wenn sie organischer Herkunft sind.

4.2 Auswertung verfügbarer Betriebsdaten zum Kolmationsverhalten von realen Anlagen

Bei der Zusammenstellung verfügbarer Betriebsdaten sind signifikante Unterschiede zu verzeichnen, die einen direkten Vergleich der gewonnenen Erkenntnisse erschweren. Deshalb sollen im Folgenden die grundsätzlichen Unterscheidungsmerkmale benannt werden:

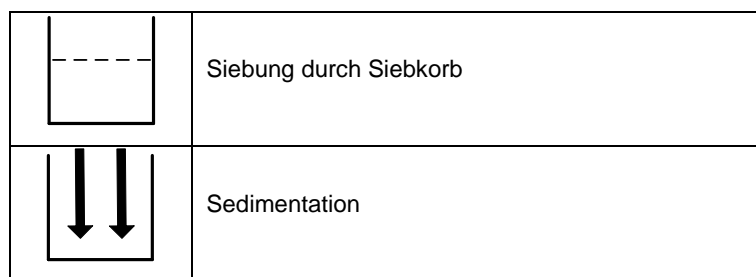
- **Randbedingungen des Einzugsgebietes** (völlig unterschiedlich bzw. nicht klar dokumentiert, sehr wenige Infos über stoffliche Zulaufbelastung,...)
- verwendete **Behandlungstechniken** bzw. Prinzipien, Vergleichbarkeit erschwert durch
 - o verschiedene **Grundprinzipien** (Sedimentation solo oder Kombination Filter und Sedimentation), reine Sedimentationsanlagen sind in der Regel nicht kolmationsgefährdet, bei den Filteranlagen sind Anlagen mit und ohne Notüberlauf zu unterscheiden. Bei Anlagen ohne Notüberlauf (z.B. 3P, Schreck) wird eine Kolmation direkt sichtbar durch den Rückstau auf die zu entwässernde Fläche. Bei Anlagen mit Notüberlauf (z.B. Innolet) kann eine Kolmation nicht ohne ein Warnsystem erkannt werden. Hier würde in der normalen Betriebskontrolle eine Kolmation nicht detektiert werden.
 - o unterschiedliche **Untersuchungsjahre** → Techniken teilweise nicht mehr aktuell,
 - o divergierende **Intensität der Untersuchungen** (z.B. reine Sichtkontrolle oder Durchlässigkeitsmessungen),
 - o andere **Besonderheiten** (z.B. angeschlossene Fläche entspricht nicht Planung, außergewöhnliche stoffliche Belastungen).

Zur besseren Einordnung der nachfolgend genannten Behandlungsanlagen kann die Fülle an Techniken in verschiedene Gruppen eingeteilt werden:

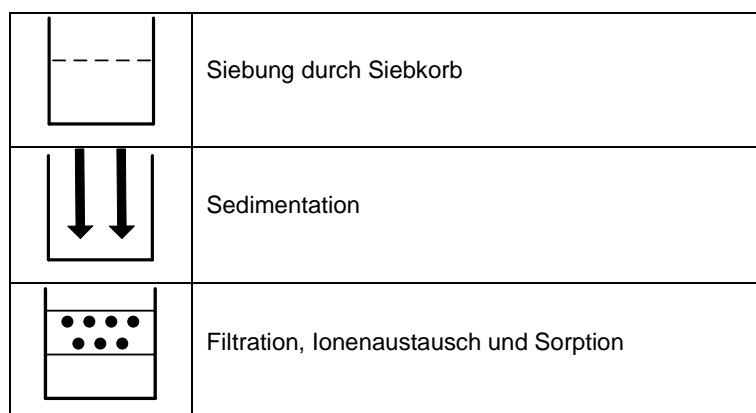
- **Filtration über Geotextilfiltersack** (z.B. Schreck, ...), vorwiegend angewendet zur Nachrüstung bestehender Straßeneinläufe, Filtersysteme ohne Notüberlauf



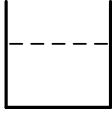
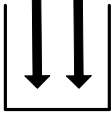
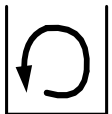
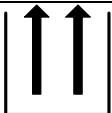
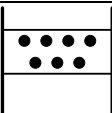
- **Kombination Siebung und Sedimentation** (z.B. SSA, mall (Lamellenabscheider), Centrifooel...), vorwiegend angewendet zur Nachrüstung bestehender Straßeneinläufe, Sedimentationsanlagen ohne Rückhalt an gelösten Schwermetallen, geringe Neigung zur Kolmation



- **Kombination Siebung, Sedimentation und Filtration** (z.B. Innolet...), vorwiegend angewendet zur Nachrüstung bestehender Straßeneinläufe, Filtersysteme mit Schwermetallrückhalt und Notüberlauf. Kolmation nur durch Warnsystem bzw. intensive Kontrolle detektierbar



- **Kombination Siebung, forcierte Sedimentation (Strömungsteiler, Lamellen, Hydrozyklon) und Filtration (Substratpatrone)** (z.B. 3P, Fränkische...), vorwiegend angewendet bei größeren Anlagen mit größeren Anschlussflächen, Filtersysteme mit Schwermetallrückhalt ohne Notüberlauf, Kolmation durch Rückstau in die Fläche sofort erkennbar

	Siebung durch Siebkorb
	Forcierte Sedimentation (Strömungstrenner, Lamellen...)
	Forcierte Sedimentation (Hydrozyklon...)
	Leichtstoffabscheidung durch Tauchrohr
	Filtration, Ionenaustausch und Sorption in Substratpatrone

In den zur Verfügung stehenden Daten sind häufig Untersuchungen zur betrieblichen Überwachung durchgeführt worden. Zur eindeutigen Zuordnung der Begriffe seien die folgenden Definitionen genannt, die im Kölner Projekt [SEK, 2011] entwickelt wurden und auch in diesem Bericht so verwendet werden:

Kontrolle [SEK, 2011]:

Die Kontrolle einer dezentralen Anlage ist als Sichtprüfung zu verstehen. Hierbei wird die Anlage durch das Betriebspersonal in Augenschein genommen. Je nach Anlagentyp muss die Gitterrostabdeckung angehoben werden. Erfasst werden sollen hierbei die Belegung der Anlage, die Ablaufleistung (ggf. Überwachung bei Niederschlagsereignis) und der allgemeine Bauzustand. Sollte sich bei einer Kontrolle ein Reinigungs- oder Wartungsbedarf zeigen, kann dieser veranlasst oder unmittelbar durchgeführt werden.

Reinigung [SEK, 2011]:

Hierunter ist die Entnahme der gesammelten Feststoffe, Schlamm-/ Wassergemische und Leichtflüssigkeiten zu verstehen. Je nach Bauart der dezentralen Niederschlagswasserbehandlungsanlage werden die zurückgehaltenen Stoffe entnommen, fachgerecht entsorgt oder verwertet. Mit einer Reinigung wird die Filterwirkung der Anlage in den Auslieferungszustand versetzt.

Wartung [SEK, 2011]:

Alle Arbeiten, die bau- oder maschinentechnisch zur Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit der dezentralen Niederschlagswasserbehandlungsanlage durchzuführen sind, sind unter Wartung zu verstehen. Die Anlage wird unter Zuhilfenahme von Ersatzteilen in den ursprünglichen Auslieferungszustand versetzt.

Die drei definierten Tätigkeitsschritte zur Unterhaltung einer dezentralen Niederschlagswasserbehandlungsanlage bauen aufeinander auf und müssen im Umkehrschluss den jeweils vorhergehenden Arbeitsschritt implizieren. Somit enthält eine Wartung eine Reinigung und eine Reinigung schließt eine Kontrolle mit ein.

Nachfolgend werden einige publizierte Projekte sowie Herstellererfahrungen - resultierend aus einer umfänglichen Befragung - zur dezentralen Niederschlagswasserbehandlung beschrieben und ein erstes Fazit aus der Summe der Erfahrungen gezogen. Bei der Auswertung der verfügbaren Daten werden die zuvor festgelegten Begriffe der Behandlungstechnik und der betrieblichen Überwachung verwendet.

4.2.1 NRW-Projekt Köln [SEK, 2011]

In einem vom Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen geförderten Projektes wurden Einsatzmöglichkeiten dezentraler Anlagen exemplarisch untersucht und der Nachweis der vergleichbaren Behandlung des Niederschlagswassers in zentralen und dezentralen Anlagen geführt. An insgesamt sechs dezentralen Anlagen wurde

- die hydraulische und stoffliche Leistungsfähigkeit im Labor geprüft sowie eventuell vorhandener Leistungsgrenzen von dezentralen Regenwasserbehandlungsanlagen bestimmt.
- deren Leistungsfähigkeit unter Praxisbedingungen in-situ getestet,
- der Nachweis der Vergleichbarkeit von zentralen und dezentralen Anlagen hinsichtlich der stofflichen Wirksamkeit und des dauerhaften Betriebs gemäß Trennerlass geführt.

Ein Kernpunkt des Forschungsvorhabens war die

- Auswertung der Betriebserfahrungen der Praxisuntersuchungen dezentraler Behandlungsanlagen und
- Untersuchungen zur hydraulischen und stofflichen Leistungsfähigkeit im Labor. Die Methodik zur Ermittlung des stofflichen Rückhaltes wurde dabei weitgehend analog zum DIBt-Verfahren durchgeführt.

Die wesentlichen Ergebnisse und Erkenntnisse hinsichtlich der Kolmation werden im Folgenden dargestellt.

Der Beobachtungszeitraum für fünf verschiedene Anlagentypen in zwei Untersuchungsgebieten betrug fast ein Jahr vom 24.11.2009 bis 28.10.2010. Vier Anlagentypen (Geotextilfiltersack, Separationsstraßenablauf, Centrifool und Innoletpatrone) wurden in Köln-Porz-Lind in den Linder Mausepfad (Wohnbauflächen, Grünflächen, im Süden ein Gewerbegebiet, bebaute Straßenseite, etwa 5.000 DTV) eingebaut. Ein weiterer Anlagentyp (3P, Hydrosystem) wurde in Königswinter-Niederdollendorf eingebaut. Das Gebiet ist gekennzeichnet durch Ein- und Mehrfamilienhäuser, Parkbuchten, wenige Grünstreifen, Hecken und Baumbestand und einer Verkehrsbelastung von etwa 6.500 DTV.

Nach dem Einbau der Anlagen wurden diese zum Abschluss der Arbeiten gereinigt, um Einflüsse durch den Einbau auszuschließen. Die Überwachung des Betriebs der Anlagen erfolgte durch eine regelmäßige Vor-Ort-Kontrolle, zunächst wöchentlich bzw. monatlich sowie im Nachgang von stärkeren Regenereignissen. Die hydraulische Leistungsfähigkeit wurde durch den Einsatz einer manuell geregelten Prüfeinrichtung ermittelt.

Geotextil Filtersack

Die zwei Geotextil Filtersäcke der Firma Schreck wurden nicht in Standardgrößen¹, sondern in kleineren Größen (s.u.) in die vorhandenen Straßenabläufe (Anschlussflächen 140 m² bzw. 215 m²) eingesetzt. Der Steckbrief der Anlage ist in Tabelle 4-4 dargestellt, eine Prinzipskizze in Abbildung 4-5.

¹ Standardgrößen Schreck-Filtersack: Höhe 100 cm, Durchmesser: 100 cm, 120 cm, 150 cm [Schreck, 2009]

Tabelle 4-4: Steckbrief der in Köln eingebauten Geotextilfiltersäcke

Anlagentyp	Geotextilfiltersack
Firma	Schreck
Ort	Köln-Porz
angeschlossene Fläche	140 m ² /215 m ²
Anzahl der Anlagen	2
Gebietscharakteristik	Wohngebiet, 5.000 DTV, eine Seite belaut
Untersuchung von	2009/2010
Untersuchungstiefe	++
hydraulische Überprüfung in situ	ja
stoffliche Überprüfung in situ	nein
Quelle	SEK, 2011

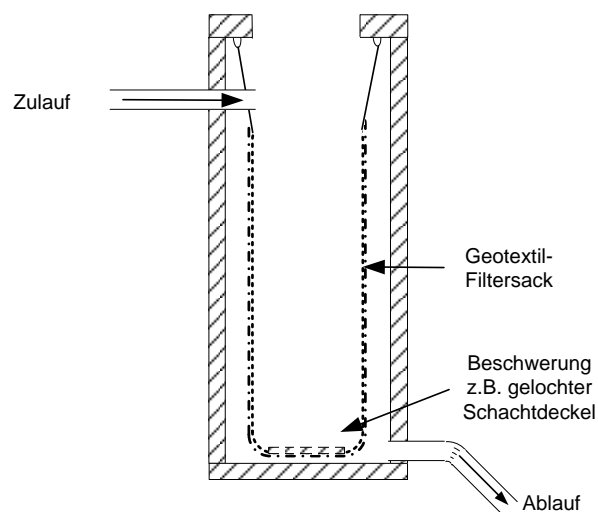


Abbildung 4-5: Prinzipskizze Geotextilfiltersack (unmaßstäblich)

Einmal monatlich wurde der Filter samt Grobschmutzeimer aus dem Straßenablauf gezogen, um eine Überprüfung der Ablagerungen vorzunehmen.

Die Reinigung der Filtersäcke erfolgte vor Ort mittels Hochdruckschlauch, welcher am Saug-Spülwagen angeschlossen ist. Die Filtersäcke wurden hierzu über den Grobschmutzeimer gestülpt und von außen nach innen abgespült.

Der Filtersack 1 arbeitete über den gesamten Zeitraum ohne feststellbare Störung. Es wurden Ablagerungen im unteren Bereich des Filtersacks festgestellt. Ein Belastungstest nach 5 Monaten Betrieb ergab einen möglichen Durchfluss von 0,19 l/s (14 l/s*ha). Ein weiterer Belastungstest am gereinigten Filtersack ergab einen möglichen Durchfluss ohne Überstau von 1,57 l/s (112 l/s*ha). Nach weiteren 3 Monaten Betrieb reduzierte sich der mögliche Durchfluss wieder auf 0,45 l/s (32 l/s*ha).

Beim Filtersack 2 wurde nach ca. 2 Monaten ein Überstau festgestellt. Dieser resultierte daraus, dass der Filtersack zu lang dimensioniert war und so den Straßenablauf verstopft. Dieser wurde durch einen ca. 15 cm kürzeren Filtersack von 40 cm Durchmesser und 60 cm Länge ersetzt. Nach dem Einbau des neuen Filtersacks wurde erneut ein Überstauen des Filters festgestellt. Ein Belastungstest ergab, dass nur ca. 0,13 l/s (5,2 l/s*ha) über den Filter abgeführt werden konnten. Nach der Reinigung erhöhte sich die mögliche Belastung auf 2,2 l/s (86 l/s*ha) Kurze Zeit später wurde ein erneuter Einstau festgestellt. Der Belastungstest nach 3 Monaten Betrieb ergab einen maximalen Durchfluss von 0,32 l/s (12,5 l/s*ha). Im Verlauf der Untersuchungen konnte bei diesem Straßenablauf wiederholt festgestellt werden, dass Öl und Putzwasser in den Ablauf entsorgt wurden, dies bestätigte auch eine Untersuchung des zurück gehaltenen Schlammes im Filter.

Bemerkenswert ist die gute hydraulische Leistung der Filtersäcke im Neuzustand im Labor. Diese bei einem etwas größeren Sack durchgeführte Prüfung ergab 20 l/s ohne Überstau.

Als Vorschlag für eine zukünftige Reinigung der kleinen Geotextil-Filtersäcke wurde ein Intervall von ca. 2 Monaten vorgeschlagen. Damit kann im Normalfall einem Versagen durch Verstopfen vorgebeugt werden.

Die Laborprüfung ergab einen Wirkungsgrad von 62,3 % bezüglich AFS_{fein} . Schwermetalle wurden nicht geprüft, da die Geotextilfiltersäcke nicht zu einer Reduzierung von gelösten Stoffen ausgelegt sind.

Schlussfolgerung:

Das Beispiel zeigt, dass eine ausreichende Wartung und Kontrolle in kurzen Zeiträumen (hier 2 Monate) notwendig ist, um ein Versagen der Anlage zu verhindern. Sind jedoch die Belastungen in einem Einzugsgebiet (wie hier Öl und Reinigungsrückstände) erhöht, so kann ein Versagen nicht ausgeschlossen werden. Eine Kolmation ist also stark abhängig von den Zulaufbelastungen und Randbedingungen im Einzugsgebiet. Da dieser Anlagentyp keinen Notüberlauf hat, wird eine Kolmation direkt durch einen Rückstau in die Fläche sichtbar.

Separationsstraßenablauf SSA mit Nassschlammkammer

Der Steckbrief der Anlage ist in Tabelle 4-5 dargestellt, eine Prinzipskizze in Abbildung 4-6.

Tabelle 4-5: Steckbrief der in Köln eingebauten Separationsstraßenabläufe

Anlagentyp	Separationsstraßenablauf (SSA)
Firma	ACO
Ort	Köln-Porz
angeschlossene Fläche	400 m ² /300 m ²
Anzahl der Anlagen	2
Gebietscharakteristik	Wohngebiet, 5.000 DTV, eine Seite belaut
Untersuchung von	2009/2010
Untersuchungstiefe	++
hydraulische Überprüfung in situ	ja
stoffliche Überprüfung in situ	nein
Quelle	SEK, 2011

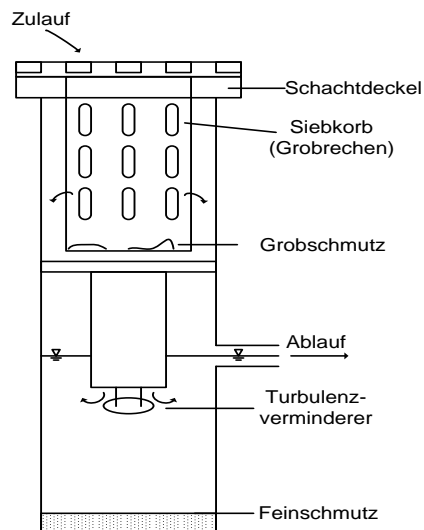


Abbildung 4-6: Prinzipskizze ACO SSA Combipoint (unmaßstäblich)

Der Grobschmutzeimer des SSA wurde im beschriebenen Projekt wie die üblichen Straßenabläufe gereinigt. Die Reinigung des Nassschlammbehälters erfolgte mittels Saugfahrzeug für nasse Stoffe.

Während der Überwachung der zwei Straßenabläufe (Anschlussflächen 400 m² bzw. 300 m²) wurden wöchentlich die Grobschmutzeimer entfernt und der Wasserspiegel im SSA überprüft. Monatlich wurde mittels eines Zollstocks die Höhe der sedimentierten Stoffe ermittelt. Hierbei wurde auch der Prallteller entfernt und überprüft. Während des Betriebs wurden keine Störungen festgestellt. Die Sedimentationsschicht erhöhte sich innerhalb der 9 Monate Überwachung um ca. 2,5 cm. Ein Überstau konnte während der Zeit nicht festgestellt werden. Eine Überprüfung der Leistungsfähigkeit in situ ergab, dass selbst bei einer Beschickung von 4 l/s (100 l/s*ha) kein Überstau des Systems stattfand.

Die hydraulische Leistungsfähigkeit einer Neuanlage im Labor war wesentlich höher und lag bei 22 l/s. Die Laborprüfung bezüglich AFS_{fein} ergab einen Wirkungsgrad von 76,6 %. Ein Schwermetallrückhalt wurde nicht geprüft, da der SSA dazu nicht ausgelegt ist.

Schlussfolgerung:

Grundsätzlich handelt es sich um eine reine Sedimentationsanlage, die keine Wirkung auf gelöste Schwermetalle hat. Eine Kolmationsgefährdung ist gering. Selbst bei einer Verlandung der Feinschmutzanteile im Absetzraum wird dieser Anteil in den Kanal und damit ggf. in ein nachfolgendes Gewässer gespült. Ein Rückstau auf die Fläche findet bei diesem Anlagentyp nicht statt.

CENTRIFOEL®, Baureihe 3

Der Steckbrief der Anlage ist in Tabelle 4-6 dargestellt, eine Prinzipskizze in Abbildung 4-7.

Tabelle 4-6: Steckbrief der in Köln eingebauten Centrifoeel-Systeme

Anlagentyp	Centrifoeel
Firma	Roval GmbH
Ort	Köln-Porz
angeschlossene Fläche	380 m ² /350 m ²
Anzahl der Anlagen	2
Gebietscharakteristik	Wohngebiet, 5.000 DTV, eine Seite belaut
Untersuchung von	2009/2010
Untersuchungstiefe	++
hydraulische Überprüfung in situ	nein
stoffliche Überprüfung in situ	nein
Quelle	SEK, 2011

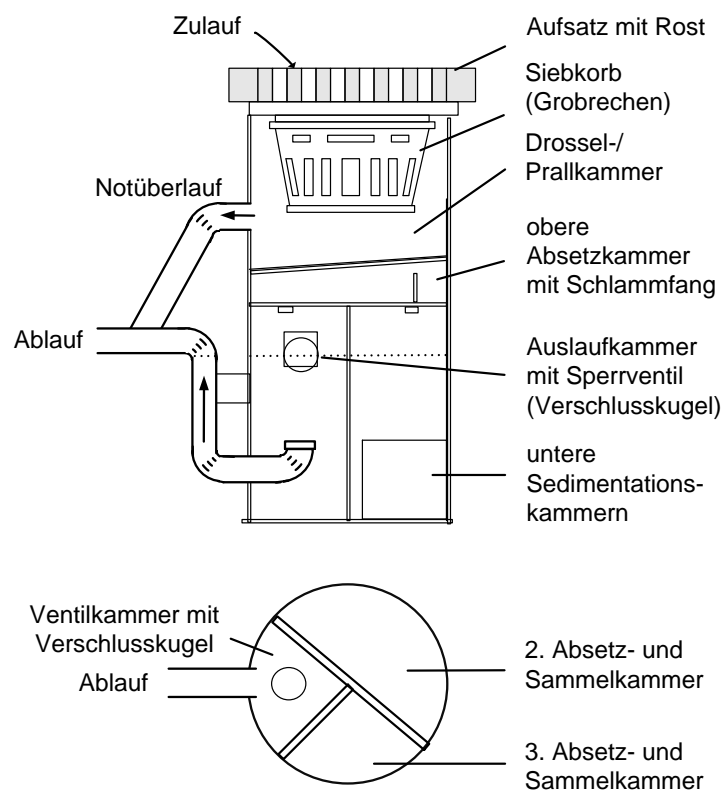


Abbildung 4-7: Prinzipskizze Centrifoeel, Baureihe 3 (unmaßstäblich)

Bei der Überwachung der CENTRIFOEL® -Systeme (Anschlussflächen 380 m² bzw. 350 m²) wurden die Gitterroste und der Laubeimer entfernt, um die darunter liegende Drosselkammer zu begutachten. Weder die Drosselkammer noch der Laubeimer wurden dabei gereinigt. Die unter der Drosselkammer liegende Schlammkammer wurde monatlich überprüft, auch hier wurde keine Reinigung vorgenommen. Innerhalb des Versuchszeitraums hatte sich eine Schicht von ca. 3 – 4 cm Schlamm abgesetzt. Auch bei einem Regenereignis mit verbundendem Tauwetter und dadurch stärkerem Zufluss war kein Rückstau festzustellen.

Bei den Überwachungen konnte festgestellt werden, dass der Ablauf des Drosselschachtes, ein ca. 3,5 cm großer runder Durchlass, mit Blättern belegt war. Es war zu erwarten, dass die mögliche Ablaufmenge im Drosselschacht nicht erreicht wird und eine größere Menge als notwendig über den Notüberlauf entwässert. Dieser Zustand stellte sich bei Praxisversuchen ein, als die Anlage mit einem künstlichen Niederschlagsereignis beschickt wurde. Auch bei einem weiteren Regenereignis war der Ablauf des Drosselschachts verstopft und das zulaufende Wasser wurde komplett über den Notüberlauf abgeschlagen. Nach Projektberichtsangabe hat der Hersteller sein System in diesem Bereich bereits geändert.

Die Laborprüfung ergab an der neuwertigen Anlage einen Wert von 1,13 l/s (entsprechend 28 l/(s*ha)). Ab dieser Belastung springt im Labor der Notüberlauf an. Die Laborprüfung bezüglich AFS_{fein} ergab einen Wirkungsgrad von 60,2 %. Ein Rückhalt von gelösten Schwermetallen wurde nicht geprüft, da die Anlage dazu nicht ausgelegt ist.

Schlussfolgerung:

Bei diesem Anlagentyp handelt es sich um eine Sedimentationsanlage mit Notüberlauf. Ein Belegen oder Verstopfen des Ablaufs, wie hier im Labor und in-situ aufgetreten, wird unter Feldbedingungen i.d.R. nicht erkannt. Bei der betrieblichen Prüfung sollten daher eine Inaugenscheinnahme vor Ort vorgenommen werden oder ein Warnsystemen bzw. Drucksonden installiert werden.

INNOLET®

Der Steckbrief der Innolet-Filterpatronen ist in Tabelle 4-7 dargestellt, eine Prinzipskizze in Abbildung 4-8.

Tabelle 4-7: Steckbrief der in Köln eingebauten Innolet-Filterpatronen

Anlagentyp	Innolet-Filterpatrone
Firma	Funke Kunststoffe GmbH
Ort	Köln-Porz
angeschlossene Fläche	200 m ² /100 bzw. 200 m ²
Anzahl der Anlagen	2
Gebietscharakteristik	Wohngebiet, 5.000 DTV, eine Seite belaut
Untersuchung von	2009/2010
Untersuchungstiefe	++
hydraulische Überprüfung in situ	ja
stoffliche Überprüfung in situ	nein
Quelle	SEK, 2011

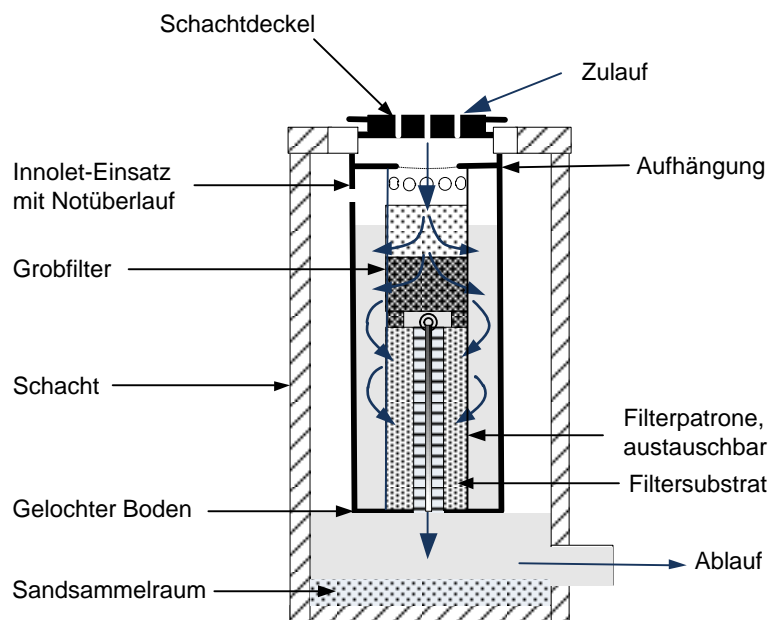


Abbildung 4-8: Prinzipskizze Innolet-Filterpatrone (unmaßstäblich)

Innolet 1 (Anschlussflächen 200 m²)

Während eines Regen- und Tauwetterereignisses wurde ein Überlaufen des Systems festgestellt. Nachdem der Grobfilter demontiert und wieder montiert wurde, staute das Wasser nicht mehr ein. Eine Reinigung von Grobfilter und Filterpatrone fand nicht statt.

Der Belastungstest nach vier Monaten Betrieb ergab, dass die Innolet-Patrone noch mit 0,15 l/s (7,5 l/s*ha) beschickt werden konnte. Nach Reinigung der Anlage konnten 0,78 l/s (36 l/s*ha) ohne Überstau der Anlage zugeführt werden. Die nach ca. 3-monatigem Betrieb erneut durchgeführte Leistungsmessung ergab 0,66 l/s (30 l/s*ha) ohne Überstau.

Innolet 2 (Anschlussfläche 100 bzw. 200 m²)

Der zweite INNOLET® im Straßenablauf arbeitete über den gesamten Zeitraum ohne Überstau. Der Belastungstest nach vier Monaten ergab, dass 0,83 l/s (39 l/s*ha) durch die Anlage gefahren werden konnte. Eine Sichtprüfung der Anlage ergab, dass diese kaum verschmutzt war. Daraufhin wurde festgestellt, dass nur ca. 50% der angenommenen Fläche in den Straßenablauf (etwa 100 m²) entwässerten. Dieser Effekt tritt häufiger beim Einsatz in der Praxis auf. Es kommt damit entweder zu Unterbelastungen - wie in diesem Beispiel - aber auch Überbelastungen durch erhöhte Zuflüsse in gekrümmten Straßen sind möglich. Um im weiteren Verlauf des Forschungsvorhabens realistischere Zulaufbelastungen zu erzielen, wurde der Innolet versetzt (Anschlussfläche von ca. 200 m²). Eine Reinigung wurde nicht durchgeführt. Beim Belastungstest am nach insgesamt 6 Monaten machte sich das Versetzen des Innolet bereits bemerkbar, es konnten nur noch 0,30 l/s (14,1 l/s*ha) abgeführt werden.

Die Laborprüfung bezüglich AFS_{fein} ergab einen Wirkungsgrad von 45,2 %. Der Schwermetallrückhalt wurde zu 78,1 % bezüglich Kupfer und zu 45,3% bezüglich Zink festgestellt.

Schlussfolgerung:

Die Gesamt-Zulaufkraft ist ausschlaggebend für eine Verringerung der Durchlässigkeit. Eine Überprüfung der tatsächlich angeschlossenen Fläche und Wartung mit geringen Intervallen, um die Folgen von nicht vorhersehbaren Zulaufbelastungen detektieren zu können, scheint notwendig zu sein. Das Innoletsystem ist eine Filteranlage mit Notüberlauf. Eine mögliche Kolmation wird daher ohne enge betriebliche Überwachung bzw. ein Warnsystem nicht sichtbar.

3P Hydrosystem 1000

Der Steckbrief der eingesetzten 3P-Anlage ist in Tabelle 4-8 dargestellt, eine Prinzipskizze in Abbildung 4-9.

Tabelle 4-8: Steckbrief der in Königswinter eingebauten 3P-Anlage

Anlagentyp	3P Hydrosystem 1000
Firma	3P Filtersysteme GmbH
Ort	Königswinter
angeschlossene Fläche	615 m ²
Anzahl der Anlagen	1
Gebietscharakteristik	Wohngebiet, 6.500 DTV, Parkbuchten, wenig Grün
Untersuchung von	2009/2010
Untersuchungstiefe	++
hydraulische Überprüfung in situ	ja
stoffliche Überprüfung in situ	nein
Quelle	SEK, 2011

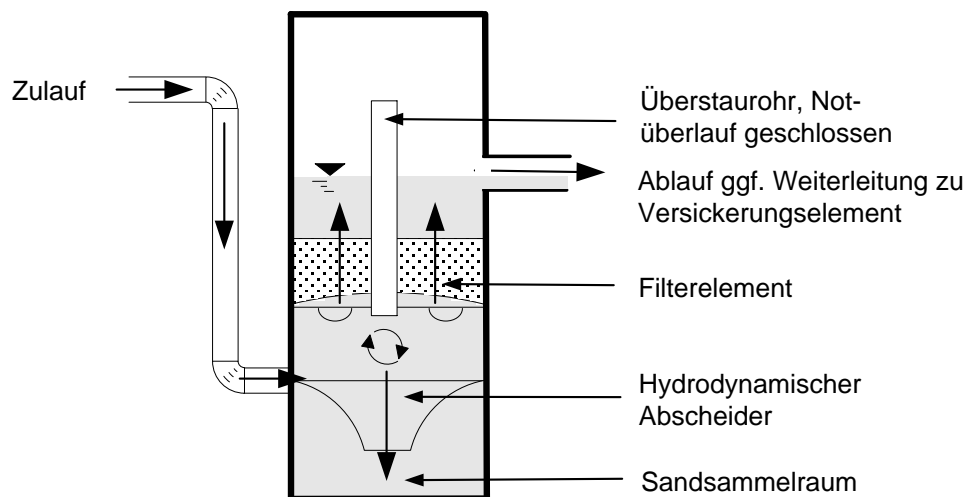


Abbildung 4-9: Prinzipskizze 3 P Hydrosystem (unmaßstäblich)

Der Belastungstest nach 8 Monaten Betrieb ergab, dass die Anlage mit 2,87 l/s (47 l/s*ha) beschickt werden kann, ohne dass der installierte Notablauf anspringt. Es wurden keine betrieblichen Probleme festgestellt. Im Labor wurde an einer neuwertigen Anlage 13,5 l/s (> 250 l/s*ha) an hydraulischer Leistungsfähigkeit festgestellt.

Die Laborprüfung bezüglich AFS_{fein} ergab einen Wirkungsgrad von 94,1 %. Der Schwermetallrückhalt wurde zu 97,2 % bezüglich Kupfer und zu 96,9 % bezüglich Zink festgestellt.

Schlussfolgerung:

Es zeigt sich, dass eine Kolmation nicht zu erwarten ist, wenn die Anlage entsprechend ihrer Kapazität eingesetzt und nicht durch besonders hohe Zulauffrachten belastet wird. Durch das Fehlen eines Notüberlaufs wird bei dieser Anlagentechnik eine Kolmation sofort durch den Rückstau an die angeschlossene Fläche sichtbar.

4.2.2 Vergleichsuntersuchung zentrale/ dezentrale Niederschlagswasserbehandlung in Wuppertal [Pecher AG, 2011]

In einer ebenfalls vom MKULNV NRW finanzierten Untersuchung wurde eine 3-P-heavy-traffic-Anlage vier Monate lang von Juli bis November 2010 mit Niederschlagswasser aus einem Einzugsgebiet in Wuppertal beschickt. Die für 500 m² ausgelegte Anlage wurde dabei hydraulisch um das 2 bis 2,5-fache überlastet und von der Gesamtzulaufmenge her um das Vierfache. Dies entspricht also umgerechnet auf die Bemessungsbelastung einer Betriebsdauer von gesamt 16 Monaten. Gleichzeitig wurde ein parallel betriebenes zentrales Regenklärbecken untersucht.

Der Steckbrief der eingesetzten 3P-Anlage ist in Tabelle 4-9 dargestellt, eine Prinzipskizze kann aus Abbildung 4-9 entnommen werden.

Tabelle 4-9: Steckbrief der in Wuppertal eingebauten 3P-Anlage

Anlagentyp	3P Hydrosystem heavy traffic 1000
Firma	3P Filtersysteme GmbH
Ort	Wuppertal
angeschlossene Fläche	ca. 2.000 m ² (Auslegung 500 m ²)
Anzahl der Anlagen	1
Gebietscharakteristik	Trenngebiet, Teil eines Regenklärbeckenzulaufs
Untersuchung von	2010
Untersuchungstiefe	0
hydraulische Überprüfung in situ	ja, indirekt über Drucksensor
stoffliche Überprüfung in situ	ja, AFS-Sonde
Quelle	Pecher AG, 2011

Nach 3,5 Monaten (entsprechend 14 Monate) war die Durchlässigkeit stark eingeschränkt, ein kompletter Überstau fand nach vier Monaten statt. Nach der Reinigung der Filterkartuschen konnte die Durchlässigkeit wieder wesentlich verbessert werden. In Abbildung 4-10 ist der Betriebszustand der Anlage bei der Kolmation dargestellt.

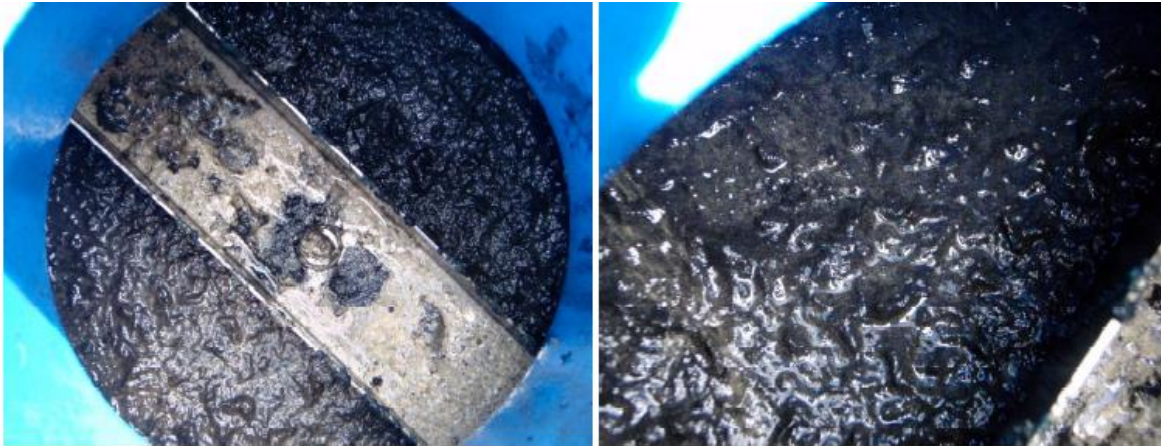


Abbildung 4-10: Kolmation durch Belag auf dem Zulaufsieb einer 3-P-Anlage [Pecher, 2011]

Schlussfolgerung:

Die Zulassung der Anlage schreibt eine jährliche Wartung vor [DIBt, 2010], das heißt, dass die Anlage bei der dargestellten Überlastung nach 3 Monaten hätte gereinigt werden müssen und vermutlich dann kein Überstau stattgefunden hätte.

Andererseits zeigt dies auch, dass eine anschlussbedingte Überlastung ohne eine Anpassung der vorgeschriebenen Wartungsintervalle unweigerlich zur Kolmation führt.

4.2.3 Untersuchungen zur Filterpatrone Innolet in Hagen [SEH und IGS, 2010]

Im Rahmen eines weiteren vom MKULNV NRW geförderten Untersuchungsprogrammes wurden 19 Straßenabläufe mit Innolet-Straßenablauffiltern nachgerüstet, 18 davon in einer Straße mit 5.500 DTV und einer in einer Straße mit 12.800 DTV. In drei Straßenabläufen wurden während des Messzeitraums von Juli 2008 bis Februar 2010 18 Regenereignisse beprobt. Der Steckbrief zu dieser Untersuchung ist in Tabelle 4-10 dargestellt, eine Prinzipskizze in Abbildung 4-8.

Nach Ende der Untersuchung wurden die Filtermaterialien auch hinsichtlich ihrer Sieblinie beprobt, dies sollte Aufschluss über die eingetragenen Feinanteile geben.

Die Behandlung des Straßenabflusses erfolgt zunächst durch den Rückhalt grober Partikel wie Laub und Sand im Grobschmutzfang. In der Filterpatrone lagern sich feine Partikel sowie gelöste Stoffe an dem adsorptivem Filtermaterial an, siehe dazu auch Abbildung 4-8.

Tabelle 4-10: Steckbrief der in Hagen eingebauten Innolet-Filterpatronen

Anlagentyp	Innolet-Filterpatrone
Firma	Funke Kunststoffe GmbH
Ort	Hagen
angeschlossene Fläche	unbekannt, Einbau in Standardstraßenabläufe
Anzahl der Anlagen	19
Gebietscharakteristik	Städtische Wohn- und Geschäftsgebiete, 5.500 bzw. 12.800 DTV
Untersuchung von	2008 bis 2010
Untersuchungstiefe	++
hydraulische Überprüfung in situ	nein
stoffliche Überprüfung in situ	ja
Quelle	SEH und IGS, 2010

In Abbildung 4-11 ist die Probenahme des Innolet-Filtermaterials am Ende des Untersuchungszeitraumes zu sehen. Die Sieblinienanalyse ergab, dass ca. 40% der Feinfraktion < 63 µm im Filter zurückgehalten werden kann.



Abbildung 4-11: Probenahme INNOLET Filtermaterialien [SEH und IGS, 2010]

Neben der Reinigungsleistung wurde auch der Betriebs- und Wartungsaufwand ermittelt.

Die betrieblichen Untersuchungen wurden wöchentlich durchgeführt. Es wurde Folgendes protokolliert:

- Zustand der Straßenabläufe
- Füllung des Grobschmutzbehälters
- Entleerung des Behälters

Detaillierte Messungen zur hydraulischen Leistungsfähigkeit in-situ wurden nicht durchgeführt. Als kritische Zustände für den Betrieb wurde Pollenflug im Frühjahr/Sommer, das Herbstlaub, insbesondere bei Standorten in der Nähe großer Bäume, und der Winterbetrieb identifiziert. In Abbildung 4-12 ist das Zusetzen einer Patrone durch Pollen zu sehen. Abbildung 4-13 zeigt das Belegen eines Straßeneinlaufs mit Herbstlaub. Das Herbstlaub kann dazu führen, dass sich der Filter im Bereich des Gitterrostes leicht zusetzt. Eine komplette Blockade des Filters und des Notüberlaufes wurde allerdings nicht beobachtet.



Abbildung 4-12: Zusetzen der Filtermantelfläche durch feine Pollen im Frühjahr [SEH und IGS, 2010]



Abbildung 4-13: Herbstlaub im Bereich des Straßeneinlaufes [SEH und IGS, 2010]

Im Wintereinsatz wurden die Straßenabläufe und die Filter mit Schnee überdeckt, blieben aber funktionsfähig, siehe Abbildung 4-13. Der nach der Schneeschmelze anfallende Splitt gelangt bei Regenereignissen teilweise in den Filter. Als Empfehlung wurde das Entfernen durch die Stadtreinigung mittels Kehrfahrzeug ausgesprochen.



Abbildung 4-14: Einsatz im Winter [SEH und IGS, 2010]

Insgesamt wurden die Filter im Versuchsbetrieb öfter als im Regelbetrieb gewartet und gereinigt. Für den Regelbetrieb wurden sieben Kontroll- bzw. Wartungsintervalle abgeleitet, wobei drei Betriebszeiten mit höherer Aufmerksamkeit beachtet werden sollten. Diese sind standortabhängig der Pollenflug im Frühling, der Laubfall im Herbst und der Splitt im Winter, je nach Intensität und Dauer.

Schlussfolgerung:

Eine regelmäßige, an den Einsatzort und die kritischen Betriebszeiten angepasste Wartung ist notwendig, damit die Innolet-Anlagen dauerhaft störungsfrei funktionieren. Das Innoletsystem ist eine Filteranlage mit Notüberlauf. Eine mögliche Kolmation wird daher ohne ein Warnsystem nicht sichtbar.

4.2.4 Untersuchungen zur Reinigungswirkung des Separationsstraßenablaufs im Vergleich zu herkömmlichen Straßenabläufen [Stein, 2008]

In den Jahren 2002 bis 2005 wurden unterschiedliche Prototypen des Separationsstraßenablaufs in die Von-Waldthausen-Straße in Herne eingebaut und mit konventionellen Straßenabläufen verglichen. Das Ziel der Untersuchungen war ein verbesserter Feststoffrückhalt insbesondere zur Reduktion der gröberen Partikelfraktion zur Schaffung ablagerungsfreier Kanäle. Es handelt sich also nicht primär um eine dezentrale Behandlungsanlage mit Wirkungen auf weitere Schadstoffe des Niederschlagsabflusses wie MKW und Schwermetalle. Vielmehr sind es Sedimentationsanlagen, die keinerlei Kolmationsneigung aufweisen. Bei erhöhten hydraulischen Belastungen werden abgesetzte Feststofffraktionen in den weiterführenden Kanal und damit ggf. in ein Gewässer eingetragen.

Der Steckbrief der Untersuchung ist in Tabelle 4-11 dargestellt, eine Prinzipskizze in Abbildung 4-6, wobei die Einsatzkonstruktionen der in Herne eingebauten Anlagen während des Untersuchungszeitraumes mehrfach (System 1 bis 3) verändert wurden, siehe Abbildung 4-15. Das im Rahmen der In-situ-Versuche absolvierte Messprogramm beinhaltete das Er-

fassen der Füllstände im Eimer, des Rückstandsgewichtes der Feststoffe im Eimer sowie der Schlammspiegelhöhe im Schlammraum.

Tabelle 4-11: Steckbrief der in Herne eingebauten Separationsstraßenabläufe

Anlagentyp	Separationsstraßenablauf (SSA)
Firma	Prototypen
Ort	Herne
angeschlossene Fläche	230 m ²
Anzahl der Anlagen	5
Gebietscharakteristik	Wohnstraße, 500 bis 15.000 DTV, beidseitiger Baumbestand
Untersuchung von	2002 bis 2005
Untersuchungstiefe	++
hydraulische Überprüfung in situ	nein
stoffliche Überprüfung in situ	Siebanalysen des Feststoffrückstands
Quelle	Stein, 2008

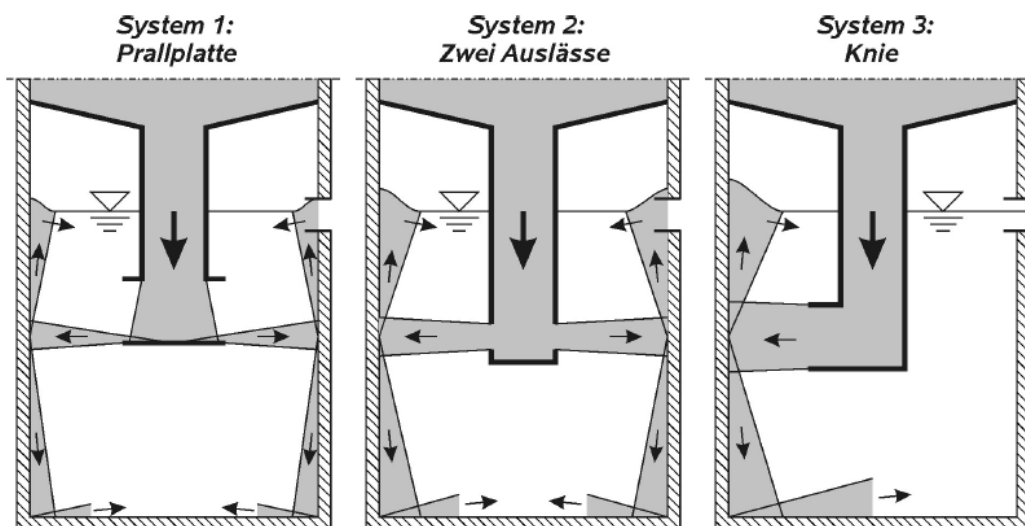


Abbildung 4-15: Angewendete Einsatzkonstruktionen des SSA [Stein, 2008]

Diese Messungen wurden anfangs im Abstand von einer Woche und später in der Regel von zwei Wochen durchgeführt. Nach Starkregenereignissen wurde zusätzlich gemessen, um eine eventuelle Mobilisierung der Feststoffe zu erfassen. Der Füllstand des Eimers diente als Grundlage zur Festlegung und Beurteilung der Reinigungsintervalle unter Berücksichtigung

der örtlichen Randbedingungen. Beispiele der eingesetzten Eimer mit unterschiedlichem Füllstand zeigt Abbildung 4-16.



Eimer (Form A) mit 60 % Füllstand



Eimer (Form B) mit >100 % Füllstand



Eimer (Form A) mit 5 % Füllstand



Eimer (Form B) mit 30 % Füllstand

Abbildung 4-16: Beispiele unterschiedlicher Füllstände im Eimer [Stein, 2008]

Um repräsentative Aussagen über die Zusammensetzung und Eigenschaften der im Schlammraum und Eimer zurückgehaltenen Feststoffe zu erhalten, wurden an einigen Proben Siebanalysen durchgeführt.

Es wurde ein starker saisonaler Einfluss festgestellt, wobei der Einfluss des Laubs auf den Feststoffrückhalt positiv war, da das Belegen der Schlitze mit Laub zu einem Sekundärfiltereffekt führte.

Der Feststoffrückhalt im Schlammraum war zunächst insgesamt gering, da bei stärkeren Niederschlagsereignissen die bereits abgesetzten Feststoffe durch die große Fallhöhe von mehr als einem Meter wieder aufgewirbelt und ausgetragen wurden. Die Verbesserungen mittels Prallplatte ergaben im Vergleich zu herkömmlichen Straßenabläufen bis zu 80% bessere Wirkungsgrade. Für die mittlere und feine Kornfraktion < 1000 µm wurde ein Rückhalt von 20% abgeschätzt.

Positiv wurde bewertet, dass die Reinigung der Straßenabläufe durch die verbesserte Konstruktion von 2 bis 4/Jahr auf einmal jährlich reduziert werden kann, ohne dass eine Remobilisierung der zurückgehaltenen Feststoffe stattfindet.

Schlussfolgerung:

Der untersuchte Straßenablauf diente nicht zum Rückhalt feiner Feststofffraktionen oder gelöster Schwermetalle, sondern zum Rückhalt grober Feststofffraktionen mit dem Ziel, Kanäle zu entlasten und Kanalspülungen sowie die Wartungsintervalle der Straßenabläufe zu minimieren. Aussagen zur Kolmation sind daher nicht zu treffen. Verbesserte Straßenabläufe können den Wirkungsgrad bezüglich eines Gesamtfeststoffrückhalts bis zu 80% steigern. Der Feststoffrückhalt der mittleren/feinen Fraktion < 1.000 µm beträgt bis zu 20%. Somit könnte diese Anlage eventuell als Vorreinigungsstufe bei kolmationsempfindlichen Behandlungsanlagen eingesetzt werden.

4.2.5 Untersuchungen zur Reinigung von Straßenabwasser mit einem Filtersack/Adsorbersystem [Boller et al., 2006]

In einer stark belasteten innerörtlichen Straße in Burgdorf, Schweiz, mit 17.000 DTV wurden mehrere Pilotanlagen in 5 Phasen mit je drei bzw. zwei parallel betriebenen Anlagen getestet. Das Straßenabwasser wurde in einem Pumpenschacht gesammelt und von dort auf die Anlagen gepumpt. Die Anlagen wurden somit höher beaufschlagt als unter realen Zulaufbedingungen.

Ein Steckbrief der Untersuchung ist Tabelle 4-12 zu entnehmen.

Tabelle 4-12: Steckbrief der in Burgdorf eingebauten Pilotanlagen

Anlagentyp	Geotextil-Filtersack/Adsorber
Firma	Pilotanlagen, unterschiedlich
Ort	Burgdorf, Schweiz
angeschlossene Fläche	1.500 m ² Gesamtfläche
Anzahl der Anlagen	4 Phasen mit je drei bzw. zwei parallel betriebenen Anlagen
Gebietscharakteristik	Innerörtliche Straße, 17.000 DTV
Untersuchung von	2005
Untersuchungstiefe	++
hydraulische Überprüfung in situ	nein
stoffliche Überprüfung in situ	ja
Quelle	Boller, 2006

Phase I und II

Die Anordnung mit Filtersack und 30 cm GEH-Adsorbenschicht, Filtersack und 10 cm GEH-Adsorbenschicht sowie Filtersack allein ist in Abbildung 4-17 dargestellt.

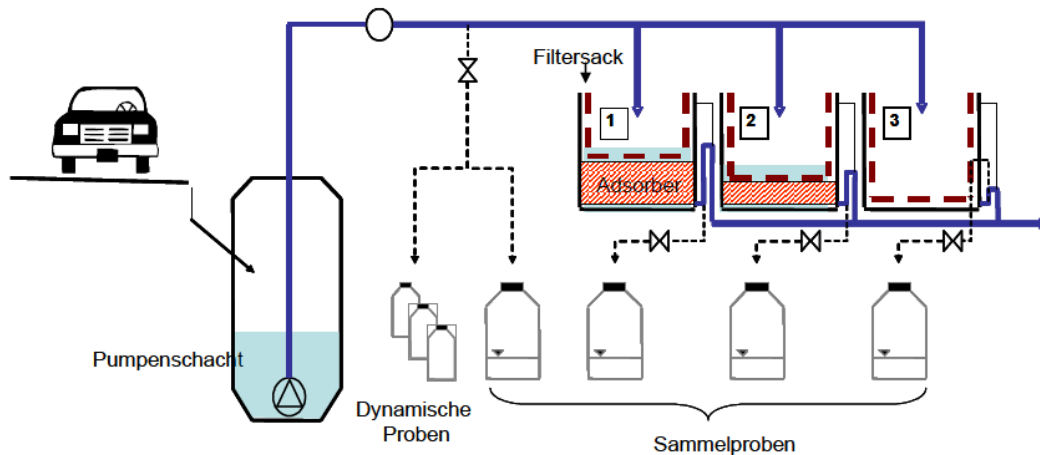


Abbildung 4-17: Versuchsanordnung der Phase I in Burgdorf [Boller et al., 2006]

Die AFS_{ges}-Rückhalteleistung der Filtersäcke war mit ca. 80% relativ hoch. Mit zunehmender Akkumulation der Feststoffe verbesserte sich die Rückhalteleistung noch, der Druckverlust stieg jedoch auch an und führte schließlich nach 55 Tagen zu einem Überlaufen. Die zurückgehaltene Feststoffmenge wurde zu 22 kg TS/m² Querschnittsfläche bei 310 m³ gereinigtem Abwasser ermittelt. Unter der Annahme einer Zulaufbelastung von 90 mg/l AFS und einer Rückhalteleistung von 80% wurde eine realistische Laufzeit von 3 bis 3,5 Jahren berechnet. Während der Phase II wurde der gleichen Anordnung ein Sedimentationsbecken zur Entfernung grober Feststoffe vorangestellt. Die Gesamtleistung blieb etwa gleich, Vorteil war, dass die Laufzeit der Filtersäcke etwa verdoppelt wurde.

Schlussfolgerung:

Die Kombination des Filtersacks mit einem GEH-Adsorber wurde als sehr effizient bezeichnet. Eine regelmäßige Kontrolle der Filtersäcke wurde dringend angeraten, um den geeigneten Zeitpunkt einer erforderlichen Reinigung zu ermitteln. Die Voranstellung eines Sedimentationsbeckens verdoppelte zwar die Standzeit der Filtersäcke, wurde aber als nicht effizient genug und für dezentrale Anlagen als nicht praktikabel bewertet [Boller et al., 2006].

Phase III

In Phase 3 wurden rückspülbare Polstofftrommelfilter den Filtersäcken vorangestellt, mit einer Porengröße von 20 µm (Phase 3a) und 7,5 µm (Phase 3b). Ein dritter Filtersack wurde für das Reinigen des Rückspülwassers verwendet.

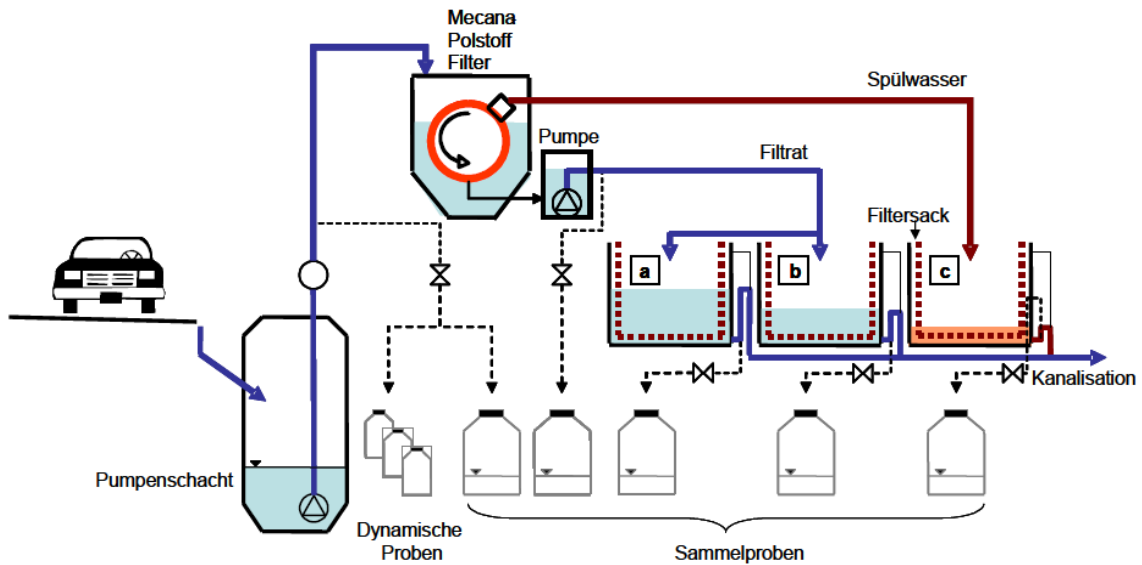


Abbildung 4-18: Versuchsanordnung der Phase III in Burgdorf [Boller et al., 2006]

Die Leistungsfähigkeit des feineren Trommelfilters war besser als die des gröbereren. Die Leistungsfähigkeit der nachgeschalteten Filtersäcke war relativ gering, was auf die nur noch geringe vorhandene Korngrößen der Partikel zurückzuführen war. Die Leistungsfähigkeit (ausgedrückt als Wirkungsgrad) des Rückspülwasserfilters war dagegen besser, vermutlich da die Belegung mit gröbereren Kornfraktionen einen wirksamen Sekundärfilter darstellt. .

Schlussfolgerung:

Die Verfahrenskombination Polstofffilter 7,5 µm/Geotextilfiltersack ist ähnlich effektiv wie die Verfahrenskombination Filtersack/GEH-Adsorber. Grobe Feststoffe bilden im Filtervlies einen wirksamen Sekundärfilter aus, wohingegen die Beschickung mit nur feinen Partikeln den Wirkungsgrad der Filtersäcke herabsetzt. Interessant war die Tatsache, dass die beiden parallel betriebenen und identischen Filtersäcke trotz Beschickung mit dem gleichen Zulaufwasser in Phase 3a unterschiedliche Wirkungsgrade aufwiesen: Hier wurde ein unterschiedlicher Kolmationsgrad der Filtersackmaterialien vermutet [Boller et al., 2006]. Dies macht aber auch deutlich, dass das Kolmatieren von Anlagen von vielen kleinen, auch zufälligen, Randbedingungen abhängen kann, so dass eine Vorhersage des Kolmationszeitpunktes sehr schwierig ist.

4.2.6 Erfahrungen mit einer dreistufigen Anlage zur Behandlung von Straßenablaufwasser [Helmreich, 2011]

Im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Forschungsprojekts wurde ein mehrstufiges Reinigungssystem für Straßen- und Parkplatzabläufe entwickelt und optimiert [Hilliges et al., 2007]. Es besteht aus einer Rinne, einem Hydrozyklon sowie einem Sorptionsfilter mit Vorfilter, siehe Abbildung 4-19 und Abbildung 4-20. Der Notüberlauf war mit einem MID ausgestattet, sprang in dem Untersuchungsjahr jedoch nicht an.

Tabelle 4-13: Steckbrief der in Bayern eingesetzten Kombinationsanlage

Anlagentyp	3-Stufenanlage, Prototyp
Firma	HydroCon, Huber, TU München
Ort	Bayern
angeschlossene Fläche	300 m ²
Anzahl der Anlagen	1
Gebietscharakteristik	verkehrsreiche Straße, 57.000 DTV
Untersuchung von	2006 bis 2007
Untersuchungstiefe	++
hydraulische Überprüfung in situ	nein, aber kein Anspringen des Notüberlaufs
stoffliche Überprüfung in situ	ja
Quelle	Hilliges et al., 2007; Helmreich, 2012

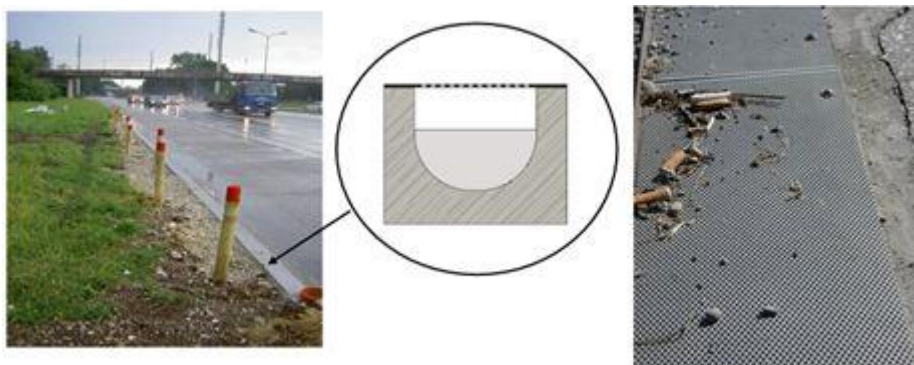


Abbildung 4-19: 1. Stufe: Entwässerungssystem mit Rinne [Helmreich, 2011]

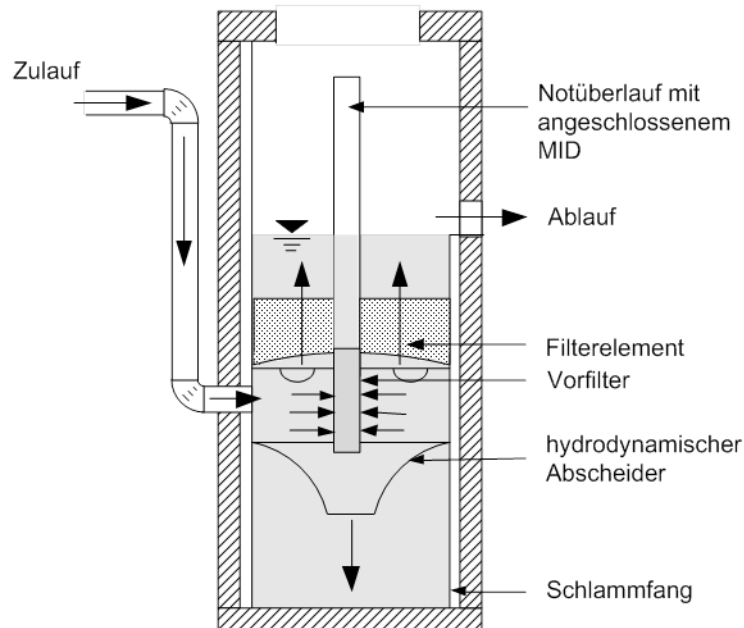


Abbildung 4-20: Prinzipskizze (unmaßstäblich). 2. und 3. Stufe: Hydrozyklon (Abscheider, unten) Sorptionsfilter mit Filterelement und Vorfilter (oben) [Hilliges et al., 2007]

In der Beprobungsphase wurden im Ablauf der Anlage die Prüfwerte der BBodSchV eingehalten. Die Rinne konnte einen großen Teil der Feststoffe, auch der Fraktionen $< 0,125$ mm, zurückhalten. Hier wurde die Empfehlung einer Reinigung zweimal im Jahr, im Frühling nach der Blühphase und Ende des Winters, ausgesprochen um den Filter vor Kolmation zu schützen [Hilliges et al., 2007]. Nach dem Streusalzeinsatz in der Frostperiode war der Ablauf der Rinne wesentlich trüber als sonst, was auf das Vorhandensein feinerer Partikel hinweist. Der Betrieb ohne den Einsatz der Rinne ergab demzufolge auch eine Kolmation des Filters alle 2 bis 5 Monate [Helmreich, 2012].

Schlussfolgerung:

Bei starker Zulaufbelastung sind Sorptionsfilter durch Vorbehandlungsmaßnahmen, z.B. Rinnensysteme, vor Kolmation zu schützen. Nach Streusalzeinsatz ist ein besonderes Augenmerk auf die Anlagen zu lenken.

4.2.7 Betriebliche Erfahrungen mit dezentralen Anlagen zur Straßenentwässerung in NRW [Ellerhorst, 2012a und b]

Weitere betriebliche Erfahrungen mit dezentralen Anlagen zur Straßenentwässerung in NRW sind nachfolgend beschrieben.

Aquafoel-Sicherheitsstraßenablauf

In Winterberg in NRW wurden 12 Anlagen zur Behandlung von Straßenabläufen (DTV: 5.300 bis 6.000) eingebaut. Der Steckbrief der Anlagen ist in Tabelle 4-14 dargestellt, eine Prinzipskizze zeigt Abbildung 4-21. Das Aquafoel-System weist einige Ähnlichkeiten zu dem vorher beschriebenen Cetrifoel-System auf. So handelt es sich auch um eine Sedimentationsanlage, allerdings hier erweitert um einen Filterfunktion. Da auch hier ein Notüberlauf vorhanden ist, würde bei einer Kolmation der Niederschlagsabfluss unbehandelt weitergeleitet werden.

Tabelle 4-14: Steckbrief der in Winterberg eingebauten Aquafoel-Systeme

Anlagentyp	Aquafoel
Firma	Aqua Clean GmbH
Ort	Winterberg, NRW
angeschlossene Fläche	480 m ² je Anlage
Anzahl der Anlagen	12
Gebietscharakteristik	B 236 in der Ortsdurchfahrt Winterberg – Züschen, 5.300 bis 6.000 DTV, angrenzende Wohngebiete, teilweise belaubt und unversiegelte Flächen
Untersuchung von	2010 -2012
Untersuchungstiefe	0
hydraulische Überprüfung in situ	nein
stoffliche Überprüfung in situ	nein
Quelle	Ellerhorst, 2012 a und b

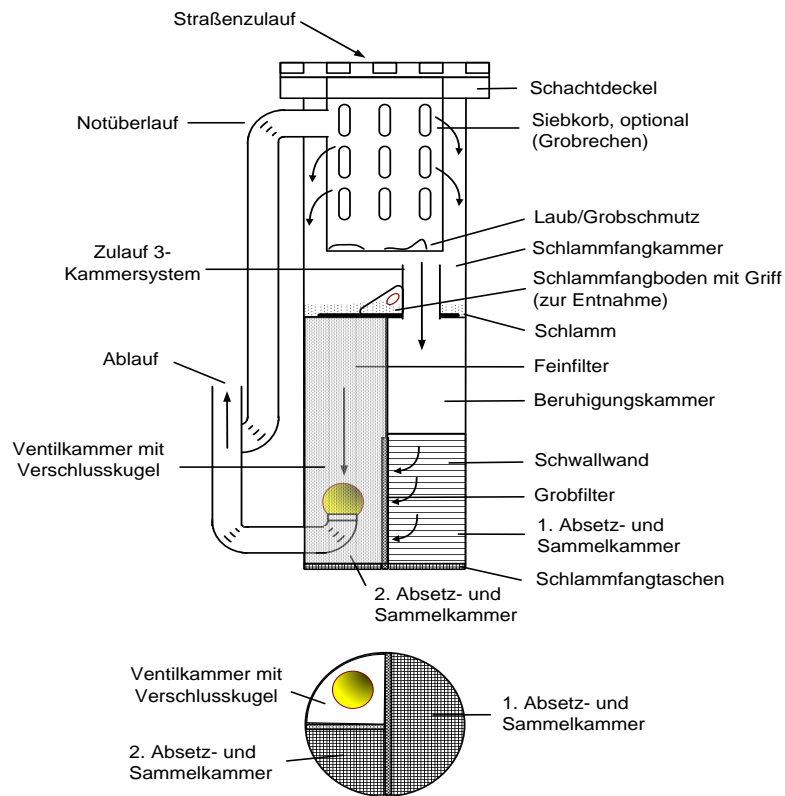


Abbildung 4-21: Prinzipskizze Aquafoel-Sicherheitsstraßenablauf(unmaßstäblich)

Die Anlagen sind seit zwei Jahren in Betrieb und wurden regelmäßig kontrolliert, mussten bisher aber noch nicht gereinigt oder gewartet werden. Der Schlammpegel im Sedimentationsraum betrug 7 cm nach 2 Jahren, siehe Abbildung 4-22. Die Anlagen funktionieren ohne Störungen aufgrund des großen Speichervermögens für Sedimente.



Abbildung 4-22: Aquafoel-Sicherheitsstraßenabläufe bei der Kontrolle [Ellerhorst, 2012a]

Schlussfolgerung:

Unter den Randbedingungen dieses Einzugsgebietes ist der Sedimentationsraum ausreichend dimensioniert zum Feststoffrückhalt. Das Aquafoelsystem ist eine Behandlungsanlage mit Notüberlauf. Eine mögliche Kolmation wird daher ohne enge betriebliche Überwachung bzw. ein Warnsystem nicht sichtbar.

Innolet-Filterpatronen

In Bielefeld-Schildesche, NRW, wurden 120 Anlagen in eine 1,6 km lange Verbindungsstraße eingebaut und über ein Jahr messtechnisch begleitet. Die DTV betrug weniger als 15.000. Die Randbedingungen und Anzahl der Anlagen gehen aus Tabelle 4-15 hervor, eine Prinzipskizze ist in Abbildung 4-8 dargestellt.

Tabelle 4-15: Steckbrief der in Bielefeld eingebauten Innolet-Filterpatronen

Anlagentyp	Innolet-Filterpatrone
Firma	Funke Kunststoffe GmbH
Ort	Bielefeld, Engersche Straße
angeschlossene Fläche	ca. 250 m ² je Filterpatrone
Anzahl der Anlagen	120
Gebietscharakteristik	Verbindungsstraße, < 15.000 DTV, teilweise belaubt, teilweise unversiegelte Flächen
Untersuchung von	2011/2012
Untersuchungstiefe	o
hydraulische Überprüfung in situ	nein
stoffliche Überprüfung in situ	nein
Quelle	Ellerhorst, 2012 a und b

Die Anlagen sind seit einem Jahr in Betrieb. Es hat sich herausgestellt, dass bei der Kontrolle (zweimal im Jahr) eine Reinigung der äußeren Kartusche nach Bedarf durchgeführt werden sollte. Im belaubten Bereich ist eine Reinigung alle 14 Tage notwendig.

Schlussfolgerung:

Ausreichende Kontrolle und Wartung sind ganz wesentlich für das Funktionieren dezentraler Anlagen. Außergewöhnliche Belastungen (hier durch Bäume) erfordern teilweise aufwändige Reinigungen. Das Innoletsystem ist eine Filteranlage mit Notüberlauf. Eine mögliche Kolmation wird daher ohne enge betriebliche Überwachung bzw. ein Warnsystem nicht sichtbar.

Geotextil-Filtersack

Neben dem in Kapitel 4.2.1 beschriebenen Forschungsvorhaben wurde von den Stadtentwässerungsbetrieben Köln auch im Stadtteil Widdersdorf ein Geotextil-Filtersack als dezentrale Regenwasserbehandlungsanlage eingebaut.

Der Steckbrief der Anlage ist in Tabelle 4-16 dargestellt, eine Prinzipskizze in Abbildung 4-5.

Tabelle 4-16: Steckbrief des in Köln-Widdersdorf eingebauten Geotextilfiltersacks

Anlagentyp	Geotextilfiltersack
Firma	Schreck
Ort	Köln-Widdersdorf
angeschlossene Fläche	ca, 400 m ² je Straßeneinlauf
Anzahl der Anlagen	11 Straßeneinläufe
Gebietscharakteristik	Straße, einseitigen Bebauung der Straße und offene einseitige Feldlage
Untersuchung von	2010
Untersuchungstiefe	0
hydraulische Überprüfung in situ	eine
stoffliche Überprüfung in situ	nein
Quelle	Ellerhorst, 2012 a und b

Die Betriebserfahrungen in diesem Gebiet führten aufgrund einer einseitigen Bebauung der Straße und offener einseitiger Feldlage zu sehr hohen Reinigungsintervallen durch Sediimenteintrag bis zu einmal im Monat.

Schlussfolgerungen [Ellerhorst, 2012b]:

Als Fazit wurde gezogen, dass bei sehr häufiger Wartung (z.B. monatlich) der Geotextil-Filtersäcke ein Austausch der Säcke oder auch ein Ersatz der Technik anzuraten ist, da die Filtersäcke nach mehrmaliger Reinigung Schäden aufwiesen.

Ferner wurde geschlossen, dass jedes Gebiet individuell zu beplanen ist, was eine Gebietsbetrachtung mit einschließt. Weiterhin wurde durch die Stadtentwässerung Köln AöR der Hinweis gegeben, dass die Konfektionierung der Filtersäcke sehr sorgfältig zu erfolgen hat, da trotz Aufmaß des einzelnen Straßenablaufs und Einbau des dafür konfektionierten Geotextil-Filtersacks durch den Betrieb Auslängungen oder Verformungen entstehen, die zu berücksichtigen sind.

Mall-Lamellenklärer

In Duisburger Hafengebiet wurde ein Mall-Lamellenklärer als dezentrale Sedimentationsanlage für ein Mischgebiet aus Parkplatz für PKW und LKW, Zufahrten und Fahrwege und einer privaten Gewerbefläche mit einer Fläche von 1.050 m² eingesetzt, der Steckbrief der Anlage ist Tabelle 4-17 zu entnehmen, die Prinzipskizze Abbildung 4-23.

Tabelle 4-17: Steckbrief des in ein Mischgebiet im Duisburger Hafen eingebauten Mall-Lamellenklärers

Anlagentyp	Mall-Lamellenklärer
Firma	Mall GmbH
Ort	Duisburg
angeschlossene Fläche	1.050 m ²
Anzahl der Anlagen	1
Gebietscharakteristik	Mischgebiet aus Parkplatz für PKW und LKW, Zufahrten und Fahrwege und einer privaten Gewerbefläche, keine Belaubung, keine unversiegelten Flächen
Untersuchung von	2010 bis 2012
Untersuchungstiefe	0
hydraulische Überprüfung in situ	nein
stoffliche Überprüfung in situ	nein
Quelle	Ellerhorst, 2012 a und b

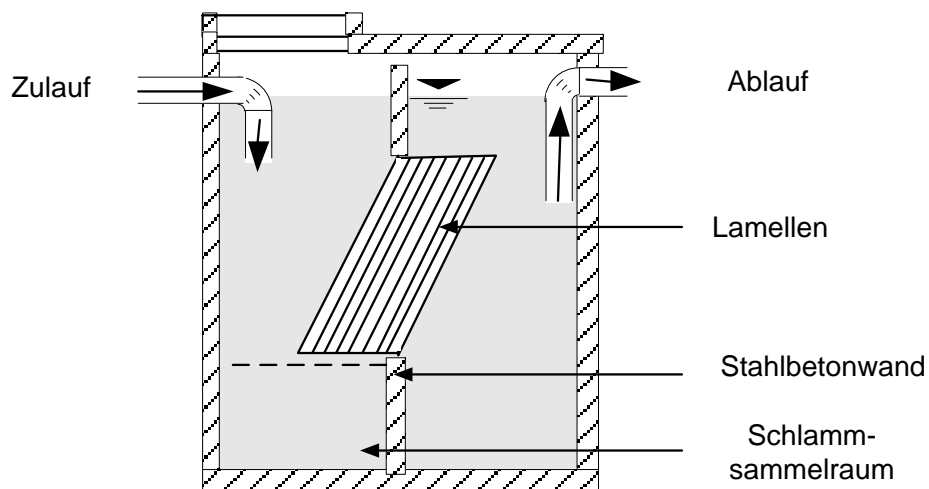


Abbildung 4-23: Prinzipskizze Mall-Lamellenklärer (unmaßstäblich)

Die Betriebsdauer betrug zwei Jahre, in dieser Zeit wurde kein Reinigungsbedarf festgestellt. Die Anlage besitzt eine große Speicherkapazität aufgrund des großen Schlammraums. Allerdings wurde festgestellt, dass im Anfahrbetrieb häufigere Kontrollen nötig sind [Ellerhorst, 2012a und b].

Schlussfolgerungen:

Die Behandlungstechnik des Lamellenklärsers ist vorwiegend dazu ausgelegt, Feststoffe zurückzuhalten, d.h. dass Aussagen zu Kolmationsneigungen nicht sinnvoll sind.

4.2.8 3P-Anlage in verkehrsreicher Bremer Straße, Hamburg [Dierkes, 2010]

2006 wurden in Hamburg zwei parallel betriebene 3P-heavy-traffic in eine stark befahrene Straße mit Ampelanlage eingebaut und 2 Jahre lang beobachtet. Der Steckbrief der Untersuchung ist in Tabelle 4-18 dargestellt. Die Anlage entspricht der Skizze in Abbildung 4-9. Die Anlage wurde mit Vorschächten betrieben, deren Anordnung in Abbildung 4-24 dargestellt ist.

Tabelle 4-18: Steckbrief der in Hamburg eingebauten 3-P-Anlagen

Anlagentyp	3P Hydrosystem heavy-traffic1000
Firma	3P Filtersysteme GmbH
Ort	Hamburg
angeschlossene Fläche	2.300 m ² (an beide Anlagen)
Anzahl der Anlagen	2
Gebietscharakteristik	Straße, 28.000 DTV, viele LKW, Buswendeplatz, Ampelanlage, belaubt, unbefestigte Parkstreifen
Untersuchung von	2007/2008
Untersuchungstiefe	+
hydraulische Überprüfung in situ	ja
stoffliche Überprüfung in situ	ja
Quelle	Dierkes, 2010

Die Anlage wurde mit mehr Fläche belastet, als sie ausgelegt war (2*500 m²), daher wurde der Vordruck durch konstruktive Maßnahmen etwas erhöht. Der Druck in den Anlagen wurde mittels kontinuierlicher Sondierung gemessen. Trotz der Druckerhöhung kam es im ersten Jahr der Untersuchung zu 10 bis 12 Überläufen, die in der Summe etwa 5% der Jahreswassermenge ausmachten.

Nach einem Jahr wurde das Filtermaterial gegen ein durchlässigeres ausgetauscht, so reduzierten sich die Überläufe auf 4 und 2% der Jahreswassersumme. Gleichzeitig wurde der angesammelte Schlamm abgesaugt.

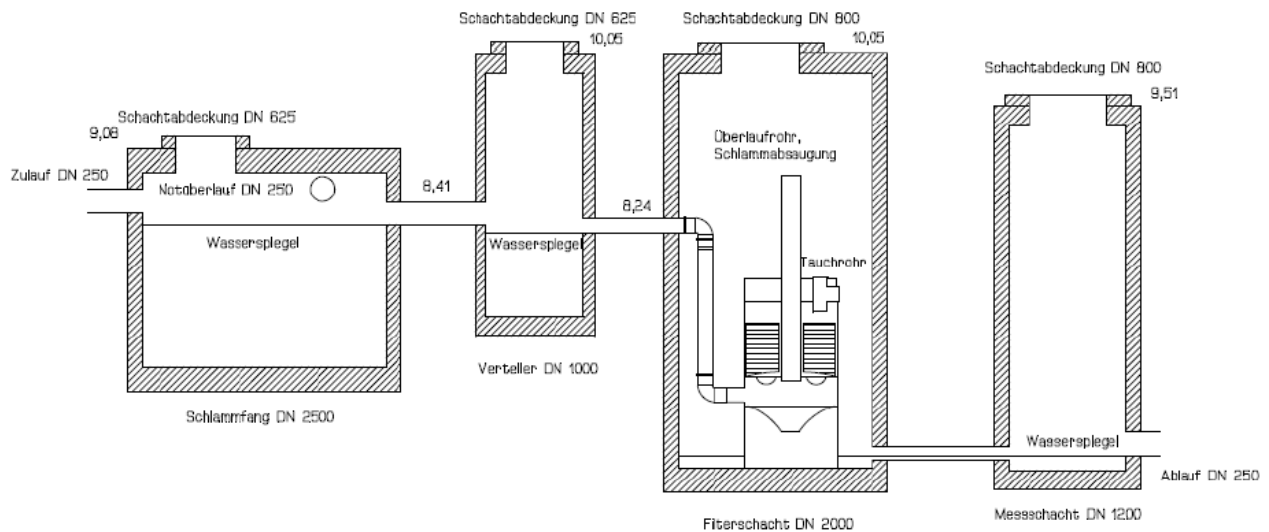


Abbildung 4-24: Prinzipskizze des in Hamburg eingebauten Regenwassersystems [Dierkes, 2010]

Trotz der hohen Belastung der Anlagen war der stoffliche Rückhalt in den Anlagen hoch. Günstig wirken sich hier die Dämpfung der Abfluss- und Frachtspitzen durch das flache Einzugsgebiet und eine Retention in den Vorschächten aus.

Beobachtet wurden weiterhin Zulaufspitzen im Winter, insbesondere nach längeren Trockenperioden und Spitzen aufgrund von Einträgen aus unbefestigten Bereichen. Die Filtermaterialstandzeit wurde mit zwei Jahren abgeschätzt. Als Empfehlung wurde aufgrund der hohen Belastung das Intervall der Kontrolle und Schlammabsaugung von jährlich auf halbjährlich erhöht.

Schlussfolgerungen:

Werden Anlagen höher belastet als es ihrer Auslegung entspricht, sind häufigere Kontrollen und Wartungen erforderlich. Vorteilhaft für den Stoffrückhalt von dezentralen Anlagen ist die Vergleichmäßigung der Zulaufbelastung. Eine Kolmation ist unter diesen Randbedingungen nicht aufgetreten und würde durch das Fehlen eines Notüberlaufes sofort sichtbar (Rückstau in angeschlossene Fläche) werden.

4.2.9 Behandlungsanlage mit Geotextilsystem in landwirtschaftlichem Hofabfluss [Lambert, 2011]

[Lambert, 2011] beobachtete eine mikrobielle Kolmation eines Geotextils, das als erste Stufe in einer Behandlungsanlage für landwirtschaftliche Hofabflüsse eingebaut war.



Abbildung 4-25: Mikrobielle Kolmation eines Geotextils [Lambert, 2011]

Schlussfolgerung:

Das Filtersacksystem ist eine Anlage ohne Notüberlauf. In diesem Projekt führten die außergewöhnlich hohen organischen Belastungen (Landwirtschaft) in Zusammenspiel mit dem Einstau einer Anlage zur mikrobiellen Kolmation der Anlage. Dies macht wiederum deutlich, dass Kenntnisse über die Zulaufbelastung von entscheidender Bedeutung sind.

4.2.10 Herstellerangaben

Ergänzend zu publizierten Untersuchungen wurden im Rahmen des Projektes einige Hersteller nach ihren Erfahrungen mit Anlagen im Betrieb telefonisch und schriftlich befragt. Die Aussagen werden im Folgenden wiedergegeben.

Geotextile/Geotextilfiltersack der Firma Paul Schreck GmbH

Geotextilfiltersäcke der Firma Schreck GmbH wurden bisher mehr als 35.000 eingebaut. Die Erfahrung des Herstellers ist die, dass jeder Standort individuell zu planen ist. Insbesondere landwirtschaftliche Hofflächen oder innerstädtische Straßen können dezentrale Behandlungsanlagen verstärkt belasten. Die vorgegebenen Reinigungsintervalle sind nach Herstellerangaben unbedingt einzuhalten und die Anlagen zu warten und zu überwachen.

Ein weiterer Fehler bei der Planung und Bauausführung kann das falsche Abstimmen von Materialien sein. Bei einer Rigolenversickerung beispielsweise, bei der Filtervliese verwendet werden, können die Feianteile von nicht gewaschenem Rigolenkies das Vlies nach kürzester Zeit verstopfen und zum Überlaufen der gesamten Anlage führen. Auch dies stellt eine besondere Zulaufbelastung dar.

Bei den Betriebsüberwachungen gab es Fälle, bei denen zwei von zwölf Sinkkästen in einer Straße vollkommen verstopft waren, während die anderen zehn frei und kaum belastet waren. Der Grund lag darin, dass das Gefälle der Straße nicht nach Plan ausgeführt wurde und die Straßenabläufe somit sehr unterschiedlich mit Regenwasser beaufschlagt wurden.

Ein Bypass oder Notüberlauf bei dezentralen Anlagen wird vom Hersteller nicht befürwortet, da ansonsten die Gefahr besteht, dass eine Kolmation nicht erkannt wird. Wobei der Grund dafür weniger in einer Absicht als in Unkenntnis der Verantwortlichen und Ausführenden gesehen wird [Schreck, 2012].

Schlussfolgerung:

Jeder Standort ist individuell zu planen und die Wartungs- und Reinigungsintervalle unbedingt einzuhalten. Des Weiteren ist ein besonderes Augenmerk auf korrekte Vorhersage der Zulaufbelastung zu legen. Bei Einplanung eines Bypasses oder Notüberlaufs besteht die Gefahr, dass eine Kolmation nicht erkannt wird und das Niederschlagswasser unbehandelt eingeleitet wird.

D-Rainclean-Filterrinne der Firma Funke GmbH

Filterrinnen werden für einen längeren Zeitraum (z.B. 10 Jahre) ausgelegt und zugelassen als Filterschächte (2 bis 4 Jahre) und haben deshalb ein geringeres Verhältnis von A_u zu $A_{\text{Rinne/Filter}}$ als Filterschächte. Dies bedeutet grundsätzlich eine geringere jährliche Stoffbelastung. Laut Herstellerangabe ist aber selbst bei Bauvorhaben, bei denen das Anschlussverhältnis hoch war, kein Versagen einer Anlage bekannt. Auch werden günstige Faktoren wie die Erhöhung der Durchflussgeschwindigkeit infolge des Einstaus bei der Bemessung nicht berücksichtigt, so dass die Anlagen jeweils noch einen Sicherheitspuffer haben.

In einem Fall führte das unsachgemäße Eintragen einer großen Menge eines Lehm-Sand-Ton-Gemischs in einen kurzen Abschnitt wahrscheinlich in der Bauphase zur Reduzierung der Durchlässigkeit des Substrats. Nach dem diese Schicht entfernt wurde, war die Durchlässigkeit zu 100% wieder hergestellt [Töws, 2012].

Schlussfolgerung:

Bezogen auf die Kolmation ist bei Filterrinnen ein Versagen durch Überflutung des Einstauvolumens äußerlich deutlich erkennbar. Ein weiterer Vorteil dieses Systems ist, dass die Rinne bei Nichtbeschickung trockenfällt. Dies wirkt sich positiv auf die Kolmationsverringering aus. Bei Einhalten der Bemessungsanschlussflächen und Standzeiten funktionieren die

genannten Anlagen bisher nach Herstellerangabe einwandfrei. Bei hohen, stoßartigen außergewöhnlichen Zulaufbelastungen kann es trotz hoher Filterstabilität des Substrats naturgemäß zu einer Reduktion der Substratdurchlässigkeit kommen. Das kann durch Abschälen der oberen Zentimeter korrigiert werden. Die ersten D-Rainclean-Filterrinnen mit DIBt-Zulassung sind vor sechs bis sieben Jahren eingebaut worden. Wie diese Anlagen sich nach zehn Jahren im Betrieb verhalten, wird sich in den nächsten Jahren zeigen.

Centrifoel (Baureihe 3)

Die Centrifoel-Anlagen werden nach dem Einbau von den jeweiligen Betreibern gewartet. Da keine negativen Rückmeldungen zu verzeichnen sind, geht der Hersteller davon aus, dass es keine betrieblichen Probleme gibt. Bei einem Vergleich verschiedener Ausführungen des Centrifoels im Jahr 2009 wurden Remobilisierungseffekte, also ein Austrag bereits abgesetzter Feststoffe bei hoher hydraulischer Belastung, verringert, indem eine Drosselplatte mit geringem Durchmesser eingesetzt wurde. Diese Variante wird mittlerweile als Baureihe 3 vertrieben [Willmes, 2012].

Schlussfolgerung:

Centrifoel ist ein Anlagensystem, das für einen Feststoff- und MKW-Rückhalt ausgelegt ist. Probleme mit Remobilisierungen zurückgehaltener Feststoffe konnten durch Konstruktionsänderungen verbessert werden. Bei diesem Anlagentyp handelt es sich um eine Sedimentationsanlage mit Notüberlauf. Ein Zusetzen des Ablaufs wird unter Feldbedingungen i.d.R. nicht erkannt. Bei der betrieblichen Prüfung sollten daher eine Inaugenscheinnahme vor Ort vorgenommen werden oder ein Warnsystemen bzw. Drucksonden installiert werden.

Zusammenstellung verfügbarer Wartungsdaten der Firma 3P

Für das System der Firma 3P liegen insgesamt die umfänglichsten Betriebserfahrungen vor. Zum einen hat 3P die erste DIBt Zulassung bei diesem Anlagentyp (Jahr 2005) erhalten, zum anderen liegen umfangreiche Wartungsdaten durch die beim Verkauf empfohlene Wartungsfirma Börder GmbH vor. Diese Wartungsprotokolle an insgesamt 29 unterschiedlichen Standorten (Metalldächer, Dächer, Verkehrsflächen) wurden zur Verfügung gestellt [Börder GmbH, 2012] und ausgewertet.

Bei der Wartung wird jeweils eine Durchlässigkeitsprüfung vorgenommen. Ein Abgleich der Soll-Durchlässigkeit mit der Ist-Durchlässigkeit entscheidet über die Notwendigkeit der Filterspülung, wobei ein Austausch der Filterpatrone turnusgemäß je nach Anlage (heavy traffic, alle 3 Jahre [DIBt, 2010], Metalldach jährlich [LfU, 2011]) erfolgt. Von 45 dokumentierten Wartungsaktivitäten wurden Filter 34-mal gespült und fünfmal ausgetauscht, in sechs Fällen war weder eine Spülung noch ein Austausch nötig.

Nicht alle Filter können aus technischen Gründen gespült werden, teilweise wurden auch die Durchlässigkeitswerte nicht dokumentiert. Die Auswertung von 23 Spülvorgängen ist in Abbildung 4-26 dargestellt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Durchlässigkeit unter Be-

triebsbedingungen durch den Einstau im Zulauf (mindestens 60 cm) wesentlich höher ist als bei der Betriebsprüfung.

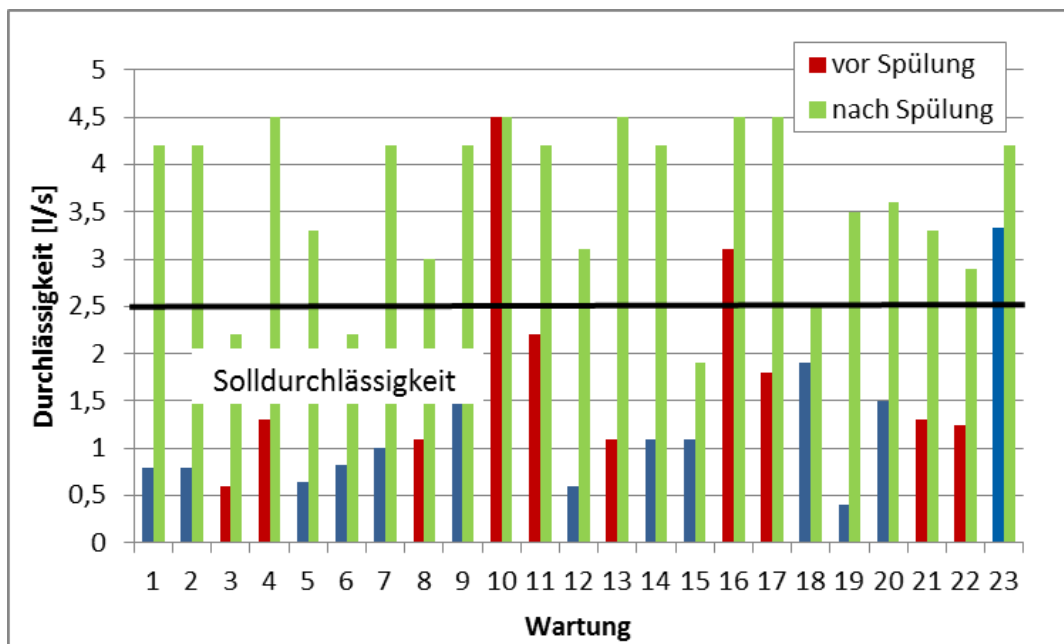


Abbildung 4-26: Filter-Durchlässigkeitswerte, rot: Anlagen in Verkehrsflächen, blau: andere Flächen

Sie ergab, dass die Durchlässigkeit der meisten Anlagen nach einem Jahr Betrieb (übliche Wartungsintervalle) unterhalb der durch den Hersteller festgelegten Solldurchlässigkeit lag, keine Anlage jedoch kolmatiert war. Der Standort der Anlagen 1 und 2 ist ein Hof mit landwirtschaftlichem Betrieb, in dessen Zulauf Maiskörner und Flocken beobachtet wurden. Zu erkennen ist auch, dass das partielle Zusetzen der Filter gerade bei den Anlagen, die in Verkehrsflächen eingebaut sind, sehr unterschiedlich war und somit vom Standort und den Zulaufbedingungen abhängig ist.

Schlussfolgerung:

Abhängig vom Standort der Anlagen und den Zulaufbedingungen (angeschlossene Fläche, Fracht und Art der Inhaltsstoffe) lässt die Durchlässigkeit der Anlagen in unterschiedlichem Maße nach. Die Wartungsintervalle sollten an die Randbedingungen des Standortes angepasst werden, um die Solldurchlässigkeit länger beibehalten zu können. Nach einer Spülung kann die Durchlässigkeit wieder auf einen guten Wert angehoben werden.

Erstmalig konnten Betriebsdaten in dieser Form ausgewertet werden. In Zukunft werden weitere Betriebsdaten zur Verfügung stehen und deren Auswertung zu weiteren Erkenntnissen bezüglich eines Kolmationsverhaltens führen.

4.2.11 Fazit

Bei der Bewertung des Auftretens der Kolmation bei den Betriebsergebnissen muss zunächst eine Unterscheidung in drei Klassen bei den Anlagentypen vorgenommen werden.

- a) Reine **Sedimentationsanlagen** (z.B. SSA) sind in der Regel nicht kolmationsgefährdet. Treten höhere hydraulische und stoffliche Belastungen auf, werden sedimentierte Feststoffe remobilisiert und in den weiterführenden Kanal und ggf. in das Gewässer transportiert. Das erste Ziel dieses Anlagentyps ist häufig eine verbesserte Vorsedimentation, die beim nachfolgenden Kanalsystem den betrieblichen Aufwand reduziert, beispielsweise durch verringerte Kanalspülungen.
- b) Eine zweite Gruppe von Anlagen mit forcierter **Sedimentation plus einer Filterstufe weist einen Notüberlauf** auf. Bei einer im Betrieb auftretenden Kolmation springt dieser an, und das Niederschlagswasser wird ungereinigt in die nachfolgenden Systeme eingeleitet. Aus stofflicher Sicht ist dies ein negativer Effekt, da solche Ereignisse ohne Warnvorrichtung oder eine intensive Betriebskontrolle nicht erkennbar sind. In Bezug auf die Gewährleistung der Straßensicherheit ist bei Kolmation dieser Effekt günstiger zu bewerten, da kein Rückstau auf die Straßenfläche erfolgt. In jedem Fall ist dieser Betriebszustand nicht technisch erwünscht, allerdings wird ein solcher Fall schwieriger zu detektieren sein als in Anlagen, die keinen Notüberlauf haben.
- c) **Anlagen ohne Notüberlauf** reagieren am empfindlichsten und sichtbar auf eine Kolmation. In dieser Gruppe befinden sich sowohl einfache Filtersacksysteme (z.B. Schreck) sowie technisch aufwendige Kombinationsanlagen (z.B. 3P). Da bei Kolmation das Niederschlagswasser direkt auf die angeschlossene Fläche zurückfließt, ist bei der Straßenentwässerung sofort die Verkehrssicherheit minimiert. Betriebliche Überprüfungen müssen also besonders intensiv erfolgen. Aus stofflicher Sicht hat diese Gruppe den Vorteil, dass Notüberläufe überhaupt bemerkt werden und ungereinigte Niederschlagswässer nicht über längere Zeiträume in das Gewässer eingetragen werden.

Weitere Faktoren, die die Kolmationsneigung beeinflussen, sind die realisierten **Betriebszustände** in der Anlage. Im vorangegangenen Projekt [DWA, 2011] wurden bereits ausgehend von Herstellerangaben und Veröffentlichungen herausgearbeitet, dass wechselfeuchte Randbedingungen grundsätzlich günstiger als im Dauerstau betriebene Anlagen bezüglich einer Unempfindlichkeit Kolmation sind. Dies bestätigten [Boller et al., 2006], die unterschiedliche Verfahrenskombinationen zur Behandlung von Straßenabflüssen in Burgdorf in der Schweiz untersuchten. Sie rieten generell davon ab, Adsorber (hier: GEH) im Aufstaubetrieb unter wassergesättigten Bedingungen zu betreiben, da nach ihren Erfahrungen während der Stagnation bei trockenem Wetter die Gefahr des Sauerstoffschwundes und der Anaerobie zur Folge hat.

Unabhängig von der Einordnung der Anlagen in verschiedene Klassen kann eine Kolmation grundsätzlich dann vermehrt auftreten, wenn verstärkt **Feststoffspitzen mit hohen Fein- bzw. Organikanteilen** in die Anlage gespült werden. Größere Feststofffraktionen können in den meisten Anlagentypen - auch den reinen Sedimentationsanlagen - gut entfernt werden. Mit problematischen Feststoffspitzen ist insbesondere zu rechnen

- während der Vegetationsphase durch Polleneintrag von März bis Mai,
- nach dem Winterquartal aufgrund von Salzstreuung und angegriffener Fahrbahndecke,
- bei verstärkter Bodenerosion,
- bei Bautätigkeiten im Einzugsgebiet,
- nach längeren Trockenzeiten und bei intensiven Regenereignissen.

Aus den wenigen Betriebserfahrungen mit dezentralen Niederschlagswasserbehandlungsanlagen lassen sich einige Randbedingungen, die zur Kolmation führen können, ausmachen. Eine Kolmation konnte bei vier verschiedenen Anlagentypen (Geotextilfiltersack mehrfach, D-Rainclean, 3-P heavy traffic, dreistufige Anlage Rinne-Hydrozyklon-Sorptionsfilter) beobachtet werden, aber immer unter besonderen Betriebszuständen (Öl und Putzmittelrückstände im Zulauf, Baustellentätigkeiten, hydraulische und frachtmäßige Überlastung, fehlende Vorsedimentation). Ein Rückgang der Durchlässigkeit wurde bei Innolet nach der Pollenphase und bei Belegung mit Herbstlaub beobachtet. Bei den ausgewerteten 3P-Anlagen ging die Durchlässigkeit bei fast allen Anlagen zurück (einmal in Zusammenhang mit hoher organischer Belastung aus einem landwirtschaftlichem Betrieb), wobei bei beiden Anlagentypen innerhalb des turnusmäßigen Wartungsintervalls keine vollständige Kolmation stattfand.

Ausreichend dimensionierte Anlagen und/oder Anlagen mit großer Vorsedimentation funktionierten ohne Betriebsstörungen.

Zusammenfassend wird eine Kolmation begünstigt bei

- fehlender oder unzureichender Vorsedimentation
- Überschreitung der Bemessungsanschlussflächen
- besonderen Zulaufbelastungen (Pollen, Herbstlaub, hohe sonstige organische Frachten, Baustellentätigkeiten)
- Dauerstau oder sukzessiver Einstau der Anlage

Dies zeigt, dass eine Gebietsbetrachtung bereits bei der Planung sehr wichtig ist. Eingebaute Anlagen müssen gerade zu Beginn beobachtet werden und der Kontroll- bzw. Wartungszyklus evtl. angepasst werden. Eine Aussage darüber, welcher Anlagentyp besonders zur Kolmation neigt, kann aufgrund zu weniger beschriebener Kolmationsfälle nicht getroffen werden. Eine Kolmation wird begünstigt, wenn besondere Betriebszustände mit hohen Zulaufbelastungen insbesondere organischer Natur vorliegen, wenn eine Anlage eingestaut wird und wenn die angeschlossene Fläche die Bemessungsfläche übersteigt.

In Tabelle 4-19 sind abschließend kolmationsbegünstigende bzw. verringernde Randbedingungen zusammengefasst.

Tabelle 4-19: Kolmationsneigung für dezentrale Behandlungsanlage mit Filtereinheit zum Entfernen von gelösten Schwermetallen

Randbedingung	Beschreibung	Kolmationsneigung
spezifische Anschlussfläche je m ² Filter	hoch	+
	mittel	0
	klein	-
Überschreitung der Bemessungsfläche		+
Anlage im Dauerstau	nein	-
	teilweise	+/-0
	ja	+
Vorsedimentation	groß	-
	klein	0
	keine	+
hohe Zulaufbelastungen durch	Pollen	+
	organische Stoffe	+
	Baustellentätigkeit	+
	Herbstlaub	+
	Eintrag von Feinpartikeln nach Salzstreuung	+
	Bodenerosion	+
	nach langer Trockenzeit und/oder hohen Regenintensitäten	+

4.3 Erste theoretische Überlegungen zur Entwicklung einer Prüfmethodik zum Nachweis des Kolmationsverhaltens

Die in Kapitel 4.2 ausgewerteten Betriebsdaten zeigen, dass eine Kolmationsneigung sowohl von den Zulaufbedingungen im Einzugsgebiet als auch vom eingesetzten Anlagentyp abhängt. Ein Vergleich der Daten ist auch deshalb nicht möglich, da jede Anlage den unterschiedlichen Randbedingungen am jeweiligen Standort ausgesetzt war.

Eine Vorab-Prüfung im Labor ist somit nicht geeignet, die Kolmationswahrscheinlichkeit einer Anlage aufzuzeigen.

Besser wäre es, unterschiedliche Anlagen parallel in einem Versuchsfeld zu testen, in dem sie mit den gleichen Zulaufbelastungen beschickt würden. In so einem Feldversuch, der mindestens ein Jahr dauern müsste, um die besonderen Bedingungen u.a. in der Vegetationszeit zu berücksichtigen, könnten die Anlagen dann im Vergleich zu einer Referenzanlage, z.B. einer Substratrinne, die als nicht kolmationsneigend beschrieben wird, beurteilt werden.

Eine absolute Kolmationsneigung könnte damit allerdings nicht festgestellt werden, da die Bedingungen (Regenintensitäten, Vegetationsphasen, Frostperioden mit Streusalzeinsatz etc.) in folgenden Jahren ganz anders sein könnten. Die Erfahrungen könnten jedoch wertvolle Hinweise für Planer und Betreiber zum Einsatz der Anlagen liefern. Dies könnte z.B. so aussehen, dass eine besondere Eignung (oder Nichteignung) bei erhöhten Feststoffbelastungen oder bei starker Vegetation in der Umgebung der einzusetzenden Anlage attestiert würde.

[Hoppe, 2012] schließt aus seinen Erfahrungen mit dezentralen und semizentralen Anlagen, dass der Prüfung eine Betriebsüberwachung von großer Bedeutung ist. Er beschreibt eine Lösung an einer dezentralen Anlage zur kontinuierlichen Überwachung mittels Wasserstandmessung mit Datenfernübertragung (DFÜ-Anbindung), vgl. folgende Abbildungen. Bei Unterschreitung der erforderlichen Durchlässigkeit steigt der Wasserstand im Staurohr an und überträgt ein Alarmsignal, das den Wartungszeitpunkt anzeigt. Weiterhin wird über die Wasserstände das bereits behandelte Wasservolumen angezeigt, über das z.B. die Kontrollintervalle festgelegt werden können.

Dieses Konzept wird bereits in NRW durch die Benennung im Erlass und in der Erläuterung des LANUV NRW umgesetzt. Hier werden für Anlagen mit Notüberlauf Alarm- und Meldeeinrichtungen (z.B. LED Chip) gefordert [LANUV NRW, 2012; MKULNV, 2012].

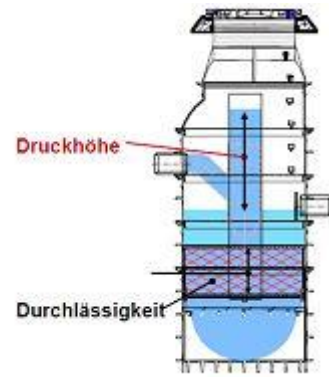
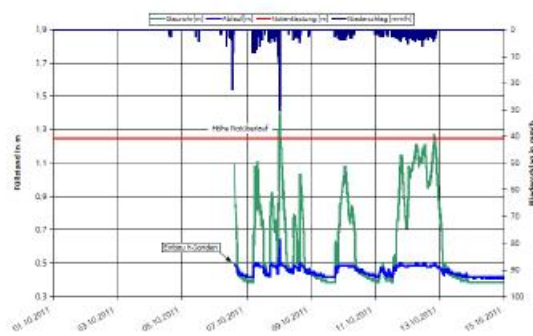


Abbildung 4-27: Autarke Wasserstandmessung zur Überwachung dezentraler Regenwasserbehandlungsanlagen [Hoppe, 2012]



Kennwerte:

Kenngrößen Filter	Kennwert	Kenngrößen	Kennwert
h_{Staurohr}	1,44 m	Niederschlagssumme	76,6 mm
h_{Ablauf}	0,64 m	Standzeit des Filters seit letztem Filterwechsel	11 Monate
Einstauereignisse ($h_{\text{Klarwasser}} > 0,43 \text{ m}$)	8		
Anzahl der Notentlastungen ($h_{\text{Staurohr}} > 1,25 \text{ m}$)	2		

Wartungszeitpunkt



Abbildung 4-28: Auswertung und Betriebsdokumentation einer Betriebsüberwachung [Hoppe, 2012]

Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass eine Kolmationsprüfung im Labor nicht machbar ist. Als Alternative existieren zwei Möglichkeiten:

- Definition eines in-situ Prüffeldes, das möglichst worst-case Bedingungen abbildet, und nach der oben beschriebenen Methode eine relative Kolmationsneigung im Vergleich zu einer wenig kolmatierenden Anlage ermittelt. Der Vorteil liegt hier darin, dass alle Anlagen den weitgehend gleichen ortsspezifischen Einflussfaktoren unterliegen.
- Erzeugung von umfassenden Daten zur Betriebsüberwachung mit einheitlichen Untersuchungsmethodiken an vielen Standorten. Diese Daten werden in den nächsten Jahren durch Vorgaben der DIBt-Zulassungen erzeugt. Sie werden dem Sachverständigenausschuss bei einer Verlängerung der Zulassung (fünf Jahre nach Erstzu-

lassung) vorgelegt und sollten wissenschaftlich ausgewertet und publiziert werden. Weiterhin ist es wünschenswert, Forschungsaktivitäten in diese Richtung zu initiieren, um auch die verwendeten Methodiken zu standardisieren. Aus der Fülle an Daten sollte es möglich sein, Trendergebnisse ableiten, die die Wahrscheinlichkeit einer Kolmationsausbildung in Abhängigkeit von

- Einzugsgebiet,
 - hydraulischer/stofflicher Belastung (NA-Geschehen),
 - verwendeter Technik (kolmationsempfindlich versus unempfindlich)
- abschätzen.

5 Fazit/Zusammenfassung

Die experimentelle Validierung des Prüfverfahrens durch die Versuche an der FH Münster (Kapitel 2) kann im Hinblick auf das Prüfverfahren wie folgt zusammengefasst werden.

Die **AFS-Prüfungen** können mit der vorliegenden Prüfvorschrift reproduzierbar durchgeführt werden. Die Ergebnisse der beiden Prüfkfigurationen (Verkehrsfläche – Grundwasser und Mischfläche – Oberflächengewässer) waren in beiden Versuchsdurchführungen nahezu identisch. Die Ergebnisse liegen in der Gesamtauswertung und im Verlauf der Ablaufkonzentrationen sehr eng beieinander.

Für die **MKW-Prüfungen** hat sich herausgestellt, dass die Lagerungszeit der Proben zwischen der Entnahme und der Analytik das Prüfergebnis maßgeblich beeinflussen kann. In der Nachuntersuchung gelang der Nachweis, dass eine Lagerungszeit von bis zu 48 h noch keine verfälschende Wirkung hat. Die Prüfvorschrift muss daher eine maximale Lagerungszeit von 48 h zwischen Entnahme und Analytik vorschreiben. Die Prüfvorschrift sollte eindeutig festlegen, ob die MKW-Prüfung an neuen Filterelementen oder an den Filterelementen, welche bereits bei der AFS-Untersuchung genutzt worden sind, durchgeführt werden soll.

Bei den **Schwermetall-Prüfungen** haben sich die Präparation der Prüflösung sowie die Lagerungsdichte des Filtermaterials als sensitive Einflussgrößen herausgestellt.

Die Prüfvorschrift muss die sorgfältige, sachgerechte Herstellung der Prüflösung fordern und ggfs. beschreiben. Als Bestandteil der Qualitätssicherung des Prüfverfahrens wird empfohlen, bei der Prüfung auch den Zulauf der Anlage zu beproben. Die verbesserte Zuverlässigkeit des Prüfverfahrens rechtfertigt die höheren Analytikskosten.

Die Lagerungsdichte des zu prüfenden Substrates muss den Verhältnissen in der realen Anlage entsprechen, damit die Prüfung realitätsgerechte Ergebnisse erzielt. Verdichtungen vor und während des Versuches müssen vermieden werden. Die Prüfvorschrift muss um die Bestimmung der Lagerungsdichte des Filtermaterials vor und nach dem Versuch ergänzt werden. Hierzu ist der Proctor-Versuch gemäß DIN 18127 grundsätzlich geeignet. Es wird empfohlen, im Zulassungsverfahren die Lagerungsdichte des Filtermaterials in den Konformitätsnachweis aufzunehmen.

Zwischen den Analyseergebnissen verschiedener Labors können systematische Differenzen auftreten, die durch die Analytische Qualitätssicherung (AQS) aufzudecken und zu klären sind. Die Prüfvorschrift sollte festlegen, dass im Rahmen der Prüfung nur akkreditierte Labors beauftragt werden dürfen, die an einer AQS teilnehmen. Es wird zudem empfohlen, mit den durch die anerkannten Prüfstellen beauftragten Labors Ringversuche durchzuführen.

Die Ergebnisse des gesamten Prüfverfahrens sind wie bei allen Prüfverfahren mit einer Verfahrensstandardabweichung ausgestattet. Es wird empfohlen, mittelfristig die Verfahrensstandardabweichung des Prüfverfahrens durch Parallelversuche an mehreren Prüfinstituten zu bestimmen, um begründete Akzeptanzgrenzen festzulegen.

An der FH Frankfurt wurden Untersuchungen zur **Auswirkungen verschiedener Säulendurchmesser bei den Schwermetallprüfungen** durchgeführt (Kapitel 3). Die Ergebnisse zeigen, dass ein Mindestdurchmesser von 10 cm bei der Schwermetallprüfung sinnvoll ist. In diesem Punkt sind die Inhalte der bestehenden Prüfvorschrift bestätigt worden.

In Kapitel 4 wurden von FH Frankfurt die Randbedingungen für das **Auftreten einer Kolmation** zusammengestellt und bewertet. Grundlage hierfür war eine umfassende Recherche zu publizierten Messprogrammen und eine Auswertung der verfügbaren Betriebsdaten von Herstellern. Deutlich wurde, dass die Ursachen von Kolmationseffekten sehr vielfältig sind und von diversen Einflussfaktoren abhängig sind. Tendenziell werden Kolmationseffekte häufiger beobachtet bei

- fehlender oder unzureichender Vorsedimentation
- Überschreitung der Bemessungsanschlussflächen
- besonderen Zulaufbelastungen (Pollen, Herbstlaub, hohe sonstige organische Frachten, Baustellentätigkeiten)
- Dauerstau oder sukzessiver Einstau der Anlage

Dies zeigt, dass eine Gebietsbetrachtung bereits bei der Planung sehr wichtig ist. Eingebaute Anlagen müssen gerade zu Beginn beobachtet werden und der Kontroll- bzw. Wartungszyklus evtl. angepasst werden. Eine Aussage darüber, welcher Anlagentyp besonders zur Kolmation neigt, kann aufgrund zu weniger beschriebener Kolmationsfälle nicht getroffen werden. Hier sind dringend weitere Untersuchungen im Betrieb notwendig, um zu sicheren Zusammenhängen und mögliche Vorhersagen zu kommen. Erste Vorschläge zur Konzeption dieser Messprogramme werden in Kapitel 4.3 dokumentiert.

6 Literatur

Beer, F.; Surkus, B. und Kocher, B.: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2008/2009. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (bast) (Hrsg.). Verkehrstechnik Heft V 209, November 2011

BfG (Bundesanstalt für Gewässerkunde) (1995): Kolmation von Gewässerbetten – Literaturbericht, 1995

BfVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) (2012): Klima und Umwelt. Global Atmosphere Watch. Aerosole. Aus:

http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=dwdwww_start&_nfls=false

Börder GmbH, Mendig (2012): Wartungsprotokolle dezentrale Behandlungsanlagen 3P/Rausikko

Boller, M., Kaufmann, P. und Ochsenbein, U. (2006): Schadstoffe im Straßenabwasser einer stark befahrenen Straße und deren Retention mit neuartigen Filterpaketen aus Geotextil und Adsorbiermaterial. Schlussbericht Forschungsprojekt in Zusammenarbeit mit eawag, Dübendorf, FH Bern, GSA, Bern, ASTRA, Bern, BUWAL, Bern. Dübendorf 2006

Dierkes, C. (2010): Untersuchungen einer Behandlungsanlage für Straßenabflüsse an der Bremer Straße in Hamburg Harburg über einen Zeitraum von drei Jahren. Im Auftrag von 3P Technik Filtersysteme GmbH, Donzdorf, 2010

DIN 38409-2 (1987). Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H) - Bestimmung des abfiltrierbaren Stoffe und des Glührückstandes (H2). Berlin, Beuth Verlag.

DIN EN 858-1 (2005). Abscheideranlagen für Leichtflüssigkeiten (z.B. Öl und Benzin) - Teil 1: Bau-, Funktions- und prüfgrundsätze, Kennzeichnung und Güteüberwachung. Berlin, Beuth Verlag.

DIN 38406-21 (1980). Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Kationen (Gruppe E), Bestimmung von neun Schwermetallen (Ag, Bi, Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Tl, Zn) nach Anreicherung durch Extraktion (E 21). Berlin, Beuth Verlag.

DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik) (2010): Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für eine Anlage zur Behandlung von mineralöhlhaltigen Niederschlagsabflüssen für die Versickerung – 3P Hydrosystem heavy traffic. Aus: http://www.3ptechnik.de/de/media/user/document/produkte/hydrosystem/dibtzulassung/dibt_zulassung_Z_84_2_4.pdf

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall) (2011): Entwicklung von Prüfverfahren für Anlagen zur dezentralen Niederschlagswasserbehandlung im Trennverfahren. Schlussbericht Ergänzungsauftrag, angefertigt von der TU Kaiserslautern, FG Siedlungswasserwirtschaft und der Fachhochschule Münster; Fachbereich Bauingenieurwesen Im Auftrag der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück, August 2011

Ellerhorst, S. (2012a): Betriebliche Erfahrungen mit dezentralen Anlagen zur Straßenentwässerung. Vortragsfolien an den 11. DWA Regenwassertagen zu Regenwasserversickerung, Regenwassernutzung, Regenwasserbewirtschaftung, Regenwasserbehandlung, Überflutungsschutz. Berlin-Schönefeld, 2012

Ellerhorst, S. (2012b): Betriebliche Erfahrungen mit dezentralen Anlagen zur Straßenentwässerung. Proceedings der 11. DWA Regenwassertage zu Regenwasserversickerung, Regenwassernutzung, Regenwasserbewirtschaftung, Regenwasserbehandlung, Überflutungsschutz. Berlin-Schönefeld, 2012

Eyckmanns-Wolters, R., Kemper, M. und Fuchs, S. (2012): Wirkungen von Regenbecken in Trenn- und Mischsystemen. Wassertage Münster: „Bewirtschaftung und Behandlung von Siedlungsabflüssen in Siedlungsgebieten“, Münster, 28. und 29. August 2012

Fuchs, S. (2010): Eigenschaften und Behandlung von Regenabflüssen aus Trennsystemen; zentrale Behandlung. Vortragsmanuskript Seminar der Fa. Hauraton „Dezentrale Behandlung von schadstoffbelastetem Niederschlagswasser auf Verkehrsflächen“ am 6. Oktober 2010 in Frankfurt a.M.

Gerwig, H. (2005): Korngrößendifferenzierte Feinstaubbelastung in Straßennähe in Ballungsgebieten Sachsens. Eigenforschungsprojekt des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie 1.4.2003 - 31.12.2004

Gruber, P. (1981): Der chemische und mineralogische Aufbau der Stäube im Linzer Raum. Naturk. Jb. D. Stadt Linz: 27, 1981, S. 169 - 281

Helmreich, B. (2011): Dezentrale Behandlung von Straßenabflüssen – Erfahrungen aus Bayern. Seminar: Dezentrale Behandlung von Niederschlagsabflüssen am 12. Mai 2011 an der FH Frankfurt

Hilliges, R.; Helmreich, B.; Horn, H.; Bischof, F.; Dierkes, C. (2007): Entwicklung und Optimierung eines mehrstufigen Reinigungssystems für Straßen- und Parkplatzabläufe in urbanen Gebieten zur Abflusssdämpfung (Hochwasserschutz). Abschlussbericht eines Projektes, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), Az.: 223388

HLUG (Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie) (o.J.): Feinstaub (PM10) - Eigenschaften - Quellen - gesundheitliche Bewertung - Immissionen, Wiesbaden. Aus: http://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/luft/faltblaetter/PM10_Broschuere.pdf

Hoppe, H. (2012): Innovative Konzepte und Messtechniken zur Betriebsüberwachung und –optimierung von zentralen und dezentralen Regenwasserbehandlungsanlagen. Vortrag an den 11. DWA Regenwassertage zu Regenwasserversickerung, Regenwassernutzung, Regenwasserbewirtschaftung, Regenwasserbehandlung, Überflutungsschutz. Berlin-Schönefeld, 2012

Huwe, C. (2011): Niederschlagswasserbehandlungsanlagen im Winterbetrieb. Aus: [http://www.sfslocher.biz/internet/sfsmedien.nsf/7FCAD0B84BF4F53DC12570B20061B517/\\$FILE/Winterstabilit%C3%A4t_Bericht_Sept11.pdf](http://www.sfslocher.biz/internet/sfsmedien.nsf/7FCAD0B84BF4F53DC12570B20061B517/$FILE/Winterstabilit%C3%A4t_Bericht_Sept11.pdf)

Kaufmann, P. (2008 a): Abwasser von Hochleistungsstraßen. Berner Strategie für Reinigung. gwa - Fachzeitschrift des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches SVGW und

des Verbandes Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute VSA., 7/2008, S. 509 – 515

Kaufmann, P. (2008 b): Straßenabwasser – Filterschacht. Schlussbericht des Forschungsauftrags ASTRA 2005/202 der Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau, Biel und Burgdorf, Juli 2008

LANUV (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen) (2012): Nachweis der Vergleichbarkeit von dezentralen Behandlungsanlagen. Aus: http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/2012_09_25_NWdezentral_pruefung.pdf

Lambert, B. (2011): Prüfung von dezentralen Straßenabflussbehandlungsverfahren im Feld. Seminar: Dezentrale Behandlung von Niederschlagsabflüssen am 12. Mai 2011 an der FH Frankfurt

LfU (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (2007): UmweltWissen: Umweltmedium Boden. Aus: http://www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_67_umweltmedium_boden.pdf

LfU (Bayerisches Landesamt für Umwelt) (2011): Vollzug des Bayerischen Wassergesetzes, Bauartzulassung serienmäßig hergestellter abwassertechnischer Einrichtungen: 3P Hydro-system metal für Niederschlagswasser von Metaldachflächen. Aus: http://www.3ptechnik.de/de/media/user/document/produkte/hydrossystem/lfuzulassung/lfu_zulassung.pdf

MKULNV (Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) (2011): Entwicklung und Validierung von Prüfverfahren für dezentrale Niederschlagswasserbehandlungsanlagen, TU Kaiserslautern, FH Frankfurt, DIBt, LGA Würzburg, Vergabe-Nr. 08/058.2 Einzelauftrag 6, unveröffentlichter Schlussbericht

MKULNV (Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) (2012): Erlass zur Niederschlagswasserbeseitigung vom 20.04.2012. Aus: http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/Erlass_NW_dez_sys_20-4-2012%20%282%29.pdf

Nadler, A. und Meißner, E. (2008): Bodenkundliche Untersuchungen im Rahmen des Entwicklungsvorhabens „Versickerung des Niederschlagswassers von befestigten Verkehrsflächen“. Bayerisches Landesamt für Umwelt, Hrsg., Augsburg, 2008

Nielsen, M.; Winther, M.; Illerup J.B. und Mikkelsen, M. H (2003): Danish emission inventory for particulate matter (PM). Research Notes from NERI (National Environmental Research Institute, Ministry of the Environment . Denmark) No. 189, Kopenhagen, 2003

Pecher AG, (2011): Vergleichende Untersuchung zur Wirksamkeit des HydroSystems „heavy traffic“ und eines Regenbeckens. Erkrath, 2011

Schälchli, U. (1993): Die Kolmation von Fließgewässersohlen: Prozesse und Berechnungsgrundlagen. Dissertation Nr. 10293. ETH Zürich.

Schreck (2009): Gigantfilter – Filterelemente für Versickerungsanlagen. Paul Schreck GmbH. Aus: http://www.schreck-filterelemente.de/gigant_filtersack_02.html

Schreck, P., (2012): persönliche Mitteilung (Fa. Paul Schreck GmbH, Kreuzwertheim)

Schütt, P.; Schuck, H. J.; Stimm, B. (2002): Lexikon der Baum- und Straucharten. Nikol, Hamburg 2002, ISBN 3-933203-53-8, S. 390.

SEH (Stadtentwässerung Hagen) und IGS (Ingenieurgesellschaft Sieker) (2010): Untersuchungen Straßenablaufilter INNOLET; Juli 2008 – Februar 2010. Gefördert durch das Ministerium für Umwelt, Natur, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, NRW. August 2010

SEK (Stadtentwässerungsbetriebe Köln) (2011): Dezentrale Niederschlagswasserbehandlung in Trennsystemen - Umsetzung des Trennerlasses. Forschungsvorhaben gefördert vom Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Projektlaufzeit: 10.07.2008 – 30.12.2010, Köln, März 2011

Schwarz, M. (2004): Mikrobielle Kolmation von abwasserdurchsickerten Bodenkörpern: Nucleinsäuren zum Nachweis von Biomasse und Bioaktivität. Dissertation an der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften der Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH) 2003

Töws; R., (2012): persönliche Mitteilung (Fa. Funke Kunststoffe GmbH, Hamm-Uentrop)

Willmes, V. (2012): persönliche Mitteilung (Fa. ROVAL Umwelt Technologien Vertriebsgesellschaft mbH, Gummersbach)

Xanthopoulos, C.; Hahn, H.H. (1993): Anthropogene Schadstoffe auf Straßenoberflächen und ihr Transport mit dem Niederschlagsabfluss. Abschlussbericht zum Niederschlagsbedingte Schmutzbelastung der Gewässer aus städtischen befestigten Flächen, Phase 1, - Teilprojekt 2. Eigenverlag des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe

Anhang 1.1

Ergebnisse der Untersuchungen zum AFS-Rückhalt

Konfiguration	Teilprüfung	Probennr.	Durchfluss	Zeit	Volumenaustausch	Konzentration		Mittelwert	Mittelwert
			Q l/s	t min	ϕ -	C _{AFS,Zu} mg/l	C _{AFS,Ab} mg/l	C _{AFS} mg/l	C _{AFS,n} mg/l
1 Versuch	1	1.1	0,125	125	1,00	3472	59,65	59	66
Ver.-Grundw.		1.2	0,125	125	1,00	3472	58,16		
		2.1	0,125	214	1,71	3472	77,90	77	
		2.2	0,125	214	1,71	3472	75,59		
		3.1	0,125	302	2,42	3472	70,64	69	
		3.2	0,125	302	2,42	3472	68,25		
		4.1	0,125	391	3,13	3472	63,94	64	
		4.2	0,125	391	3,13	3472	63,67		
		5.1	0,125	480	3,84	3472	62,10	62	
		5.2	0,125	480	3,84	3472	62,39		
	2	1.1	0,3	52,06	1,00	2315	68,78	67	73
		1.2	0,3	52,06	1,00	2315	65,60		
		2.1	0,3	89,04	1,71	2315	73,31	73	
		2.2	0,3	89,04	1,71	2315	72,83		
		3.1	0,3	126,03	2,42	2315	75,03	75	
		3.2	0,3	126,03	2,42	2315	74,81		
		4.1	0,3	163,01	3,13	2315	73,94	74	
		4.2	0,3	163,01	3,13	2315	74,07		
		5.1	0,3	200,00	3,84	2315	74,89	74	
		5.2	0,3	200,00	3,84	2315	73,47		
	3	1.1	1,25	12,49	1,00	1157	109,24	111	107
		1.2	1,25	12,49	1,00	1157	111,76		
		2.1	1,25	21,37	1,71	1157	107,03	109	
		2.2	1,25	21,37	1,71	1157	110,36		
		3.1	1,25	30,25	2,42	1157	105,35	105	
		3.2	1,25	30,25	2,42	1157	105,24		
		4.1	1,25	39,12	3,13	1157	104,13	103	
		4.2	1,25	39,12	3,13	1157	101,77		
		5.1	1,25	48,00	3,84	1157	107,75	108	
		5.2	1,25	48,00	3,84	1157	108,89		
	4	1	5	0,50	0,16	0	295	209	
		2	5	1,00	0,32	0	769		
		3	5	1,50	0,48	0	612		
		4	5	2,00	0,64	0	517		
		5	5	3,00	0,96	0	360		
		6	5	4,00	1,28	0	264		
		7	5	5,00	1,60	0	201		
		8	5	6,00	1,92	0	156		
		9	5	7,00	2,24	0	97		
		10	5	8,00	2,56	0	60		
		11	5	9,00	2,88	0	46		
		12	5	10,00	3,21	0	46		
		13	5	11,00	3,53	0	37		
		14	5	12,00	3,85	0	23		
		15	5	13,00	4,17	0	23		
		16	5	14,00	4,49	0	23		
		17	5	15,00	4,81	0	18		

Konfiguration	Teilprüfung	Probennr.	Durchfluss	Zeit	Volumenaustausch	Konzentration		Mittelwert	Mittelwert
			Q l/s	t min	ϕ -	C _{AFS,Zu} mg/l	C _{AFS,Ab} mg/l	C _{AFS} mg/l	C _{AFS,n} mg/l
2 Versuch	1	1.1	0,125	125	1,00	3472	40,23	41	44
Ver.-Grundw.		1.2	0,125	125	1,00	3472	40,81		
		2.1	0,125	214	1,71	3472	45,39	46	
		2.2	0,125	214	1,71	3472	46,04		
		3.1	0,125	302	2,42	3472	45,90	46	
		3.2	0,125	302	2,42	3472	45,84		
		4.1	0,125	391	3,13	3472	45,60	46	
		4.2	0,125	391	3,13	3472	46,30		
		5.1	0,125	480	3,84	3472	42,81	43	
		5.2	0,125	480	3,84	3472	43,50		
	2	1.1	0,3	52,06	1,00	2315	56,60	57	
		1.2	0,3	52,06	1,00	2315	56,57		
		2.1	0,3	89,04	1,71	2315	71,38	71	
		2.2	0,3	89,04	1,71	2315	70,97		
		3.1	0,3	126,03	2,42	2315	77,07	77	
		3.2	0,3	126,03	2,42	2315	76,48		
		4.1	0,3	163,01	3,13	2315	77,16	77	
		4.2	0,3	163,01	3,13	2315	77,10		
		5.1	0,3	200,00	3,84	2315	77,21	77	
		5.2	0,3	200,00	3,84	2315	77,03		
	3	1.1	1,25	12,49	1,00	1157	140,98	142	
		1.2	1,25	12,49	1,00	1157	142,62		
		2.1	1,25	21,37	1,71	1157	125,46	126	
		2.2	1,25	21,37	1,71	1157	126,45		
		3.1	1,25	30,25	2,42	1157	112,70	114	
		3.2	1,25	30,25	2,42	1157	114,52		
		4.1	1,25	39,12	3,13	1157	110,31	112	
		4.2	1,25	39,12	3,13	1157	113,45		
		5.1	1,25	48,00	3,84	1157	104,39	105	
		5.2	1,25	48,00	3,84	1157	105,44		
	4	1	5	0,50	0,16	0	526	269	
		2	5	1,00	0,32	0	792		
		3	5	1,50	0,48	0	865		
		4	5	2,00	0,64	0	646		
		5	5	3,00	0,96	0	406		
		6	5	4,00	1,28	0	311		
		7	5	5,00	1,60	0	207		
		8	5	6,00	1,92	0	213		
		9	5	7,00	2,24	0	144		
		10	5	8,00	2,56	0	119		
		11	5	9,00	2,88	0	112		
		12	5	10,00	3,21	0	75		
		13	5	11,00	3,53	0	49		
		14	5	12,00	3,85	0	36		
		15	5	13,00	4,17	0	29		
		16	5	14,00	4,49	0	22		
		17	5	15,00	4,81	0	15		

Konfiguration	Teilprüfung	Probennr.	Durchfluss	Zeit	Volumenaustausch	Konzentration	
			Q l/s	t min	ϕ -	C _{AFS,Zu} mg/l	C _{AFS,Ab} mg/l
3 Versuch	1	1	0,125	12,4	0,10	3011	26
Mischf.-Oberf.		2	0,125	24,8	0,20	3011	22
		3	0,125	37,2	0,30	3011	23
		4	0,125	49,6	0,40	3011	31
		5	0,125	62	0,50	3011	36
		6	0,125	74,4	0,60	3011	38
		7	0,125	86,8	0,70	3011	44
		8	0,125	99,2	0,80	3011	45
		9	0,125	111,6	0,90	3011	45
		10	0,125	124	1,00	3011	49
		11	0,125	136,4	1,10	3011	52
		12	0,125	148,8	1,20	3011	54
		13	0,125	161,2	1,30	3011	55
		14	0,125	173,6	1,40	3011	58
		15	0,125	186	1,50	3011	57
		16	0,125	213	1,72	3011	60
		17	0,125	217	1,75	3011	63
		18	0,125	302	2,44	3011	64
		19	0,125	391	3,15	3011	64
		20	0,125	480	3,87	3011	62
	2	1	0,3	5,2	0,10	3011	1
		2	0,3	10,4	0,20	3011	2
		3	0,3	15,6	0,30	3011	6
		4	0,3	20,8	0,40	3011	12
		5	0,3	26	0,50	3011	23
		6	0,3	31,2	0,60	3011	38
		7	0,3	36,4	0,70	3011	55
		8	0,3	41,6	0,80	3011	69
		9	0,3	46,8	0,90	3011	75
		10	0,3	52	1,00	3011	82
		11	0,3	57,2	1,10	3011	84
		12	0,3	62,4	1,20	3011	86
		13	0,3	67,6	1,30	3011	94
		14	0,3	72,8	1,40	3011	95
		15	0,3	78	1,50	3011	97
		16	0,3	88,92	1,72	3011	99
		17	0,3	91	1,75	3011	101
		18	0,3	125,84	2,44	3011	104
		19	0,3	163,8	3,15	3011	111
		20	0,3	200,2	3,87	3011	109

Konfiguration	Teilprüfung	Probennr.	Durchfluss	Zeit	Volumenaustausch	Konzentration	
			Q l/s	t min	ϕ -	C _{AFS,Zu} mg/l	C _{AFS,Ab} mg/l
3 Versuch	3	1	1,25	1,2	0,10	1506	43
Mischf.-Oberf.		2	1,25	2,5	0,20	1506	62
		3	1,25	3,7	0,30	1506	71
		4	1,25	5,0	0,40	1506	90
		5	1,25	6,2	0,50	1506	111
		6	1,25	7,5	0,60	1506	123
		7	1,25	8,7	0,70	1506	146
		8	1,25	10,0	0,80	1506	148
		9	1,25	11,2	0,90	1506	153
		10	1,25	12,5	1,00	1506	154
		11	1,25	13,7	1,10	1506	159
		12	1,25	15,0	1,20	1506	161
		13	1,25	16,2	1,30	1506	158
		14	1,25	17,5	1,40	1506	162
		15	1,25	18,7	1,50	1506	161
		16	1,25	21,4	1,72	1506	169
		17	1,25	21,9	1,75	1506	164
		18	1,25	30,2	2,44	1506	163
		19	1,25	39,3	3,15	1506	153
		20	1,25	48,1	3,87	1506	165
	4	1	5	0,5			654
		2	5	1,0			1463
		3	5	1,5			1156
		4	5	2,0			951
		5	5	3,0			639
		6	5	4,0			431
		7	5	5,0			285
		8	5	6,0			169
		9	5	7,0			102
		10	5	8,0			81
		11	5	9,0			54
		12	5	10,0			43
		13	5	11,0			35
		14	5	12,0			33
		15	5	13,0			27
		16	5	14,0			23
		17	5	15,0			23

Konfiguration	Teilprüfung	Probennr.	Durchfluss	Zeit	Volumenaustausch	Konzentration	
			Q l/s	t min	ϕ -	C _{AFS,Zu} mg/l	C _{AFS,Ab} mg/l
4 Versuch	1	1	0,125	12,4	0,10	3011	32
Mischf.-Oberf.		2	0,125	24,8	0,20	3011	40
		3	0,125	37,2	0,30	3011	41
		4	0,125	49,6	0,40	3011	39
		5	0,125	62	0,50	3011	41
		6	0,125	74,4	0,60	3011	42
		7	0,125	86,8	0,70	3011	47
		8	0,125	99,2	0,80	3011	48
		9	0,125	111,6	0,90	3011	49
		10	0,125	124	1,00	3011	49
		11	0,125	136,4	1,10	3011	51
		12	0,125	148,8	1,20	3011	52
		13	0,125	161,2	1,30	3011	51
		14	0,125	173,6	1,40	3011	51
		15	0,125	186	1,50	3011	52
		16	0,125	213	1,72	3011	54
		17	0,125	217	1,75	3011	55
		18	0,125	302	2,44	3011	56
		19	0,125	391	3,15	3011	49
		20	0,125	480	3,87	3011	53
	2	1	0,3	5,2	0,10	3011	9
		2	0,3	10,4	0,20	3011	12
		3	0,3	15,6	0,30	3011	18
		4	0,3	20,8	0,40	3011	29
		5	0,3	26	0,50	3011	39
		6	0,3	31,2	0,60	3011	54
		7	0,3	36,4	0,70	3011	68
		8	0,3	41,6	0,80	3011	78
		9	0,3	46,8	0,90	3011	84
		10	0,3	52	1,00	3011	89
		11	0,3	57,2	1,10	3011	92
		12	0,3	62,4	1,20	3011	94
		13	0,3	67,6	1,30	3011	99
		14	0,3	72,8	1,40	3011	101
		15	0,3	78	1,50	3011	101
		16	0,3	88,92	1,72	3011	103
		17	0,3	91	1,75	3011	105
		18	0,3	125,84	2,44	3011	110
		19	0,3	163,8	3,15	3011	114
		20	0,3	200,2	3,87	3011	116

Konfiguration	Teilprüfung	Probennr.	Durchfluss	Zeit	Volumenaustausch	Konzentration	
			Q l/s	t min	ϕ -	C _{AFS,Zu} mg/l	C _{AFS,Ab} mg/l
4 Versuch	3	1	1,25	1,2	0,10	1506	26
Mischf.-Oberf.		2	1,25	2,5	0,20	1506	41
		3	1,25	3,7	0,30	1506	76
		4	1,25	5,0	0,40	1506	89
		5	1,25	6,2	0,50	1506	108
		6	1,25	7,5	0,60	1506	126
		7	1,25	8,7	0,70	1506	150
		8	1,25	10,0	0,80	1506	-49
		9	1,25	11,2	0,90	1506	163
		10	1,25	12,5	1,00	1506	162
		11	1,25	13,7	1,10	1506	167
		12	1,25	15,0	1,20	1506	166
		13	1,25	16,2	1,30	1506	170
		14	1,25	17,5	1,40	1506	168
		15	1,25	18,7	1,50	1506	167
		16	1,25	21,4	1,72	1506	170
		17	1,25	21,9	1,75	1506	172
		18	1,25	30,2	2,44	1506	169
		19	1,25	39,3	3,15	1506	167
		20	1,25	48,1	3,87	1506	171
	4	1	5	0,5			280
		2	5	1,0			1186
		3	5	1,5			1048
		4	5	2,0			881
		5	5	3,0			686
		6	5	4,0			497
		7	5	5,0			398
		8	5	6,0			223
		9	5	7,0			119
		10	5	8,0			80
		11	5	9,0			62
		12	5	10,0			57
		13	5	11,0			51
		14	5	12,0			38
		15	5	13,0			31
		16	5	14,0			27
		17	5	15,0			28

Anhang 1.2

Ergebnisse der Untersuchung zum MKW-Rückhalt

Versuch	Teilprüfung	Probennr.	Regenspende	Durchfluss	Zeit	Probenmenge	Zugabe MKW g	Ablaufkonzentration	
			l/(s*ha)	l/s	min	ml		Probe 1 mg/l	Probe 2 mg/l
1	1	1.1	2,5	0,125	20	75	113		
1	1	1.2	2,5	0,125	40	75	113		
1	1	1.3	2,5	0,125	60	75	113		
1	1	1.4	2,5	0,125	80	75	113		
1	1	1.5	2,5	0,125	100	75	113		
1	1	1.6	2,5	0,125	120	75	113		
1	1	1.7	2,5	0,125	140	75	113		
1	1	1.8	2,5	0,125	160	75	113		
1	1	1.9	2,5	0,125	180	75	113		
1	1	1.10	2,5	0,125	200	75	113		
1	1	1	2,5	0,125		750	113	0,3	0,4
1	2	2.1	6,0	0,3	20	75	113		
1	2	2.2	6,0	0,3	40	75	113		
1	2	2.3	6,0	0,3	60	75	113		
1	2	2.4	6,0	0,3	80	75	113		
1	2	2.5	6,0	0,3	100	75	113		
1	2	2.6	6,0	0,3	120	75	113		
1	2	2.7	6,0	0,3	140	75	113		
1	2	2.8	6,0	0,3	160	75	113		
1	2	2.9	6,0	0,3	180	75	113		
1	2	2.10	6,0	0,3	200	75	113		
1	2	2	6,0	0,3		750	113	0,2	0,05
1	3	3.1	25	1,25	4,8	75	113		
1	3	3.2	25	1,25	9,6	75	113		
1	3	3.3	25	1,25	14,4	75	113		
1	3	3.4	25	1,25	19,2	75	113		
1	3	3.5	25	1,25	24	75	113		
1	3	3.6	25	1,25	28,8	75	113		
1	3	3.7	25	1,25	33,6	75	113		
1	3	3.8	25	1,25	38,4	75	113		
1	3	3.9	25	1,25	43,2	75	113		
1	3	3.10	25	1,25	48	75	113		
1	3	3	25	1,25		750	113	0,05	0,05
1	4	4.1	100	5,0	1,5	75	0		
1	4	4.2	100	5,0	3	75	0		
1	4	4.3	100	5,0	4,5	75	0		
1	4	4.4	100	5,0	6	75	0		
1	4	4.5	100	5,0	7,5	75	0		
1	4	4.6	100	5,0	9	75	0		
1	4	4.7	100	5,0	10,5	75	0		
1	4	4.8	100	5,0	12	75	0		
1	4	4.9	100	5,0	13,5	75	0		
1	4	4.10	100	5,0	15	75	0		
1	4	4	100	5,0		750	0	0,05	0,05

Versuch	Teilprüfung	Probennr.	Regenspende	Durchfluss	Zeit	Probenmenge	Zugabe	Ablaufkonzentration	
			l/(s*ha)	l/s	min	ml	MKW g	Probe 1 mg/l	Probe 2 mg/l
2	1	1.1	2,5	0,125	20	75	113		
2	1	1.2	2,5	0,125	40	75	113		
2	1	1.3	2,5	0,125	60	75	113		
2	1	1.4	2,5	0,125	80	75	113		
2	1	1.5	2,5	0,125	100	75	113		
2	1	1.6	2,5	0,125	120	75	113		
2	1	1.7	2,5	0,125	140	75	113		
2	1	1.8	2,5	0,125	160	75	113		
2	1	1.9	2,5	0,125	180	75	113		
2	1	1.10	2,5	0,125	200	75	113		
2	1	1	2,5	0,125		750	113	0,05	0,05
2	2	2.1	6,0	0,3	20	75	113		
2	2	2.2	6,0	0,3	40	75	113		
2	2	2.3	6,0	0,3	60	75	113		
2	2	2.4	6,0	0,3	80	75	113		
2	2	2.5	6,0	0,3	100	75	113		
2	2	2.6	6,0	0,3	120	75	113		
2	2	2.7	6,0	0,3	140	75	113		
2	2	2.8	6,0	0,3	160	75	113		
2	2	2.9	6,0	0,3	180	75	113		
2	2	2.10	6,0	0,3	200	75	113		
2	2	2	6,0	0,3		750	113	0,05	0,05
2	3	3.1	25	1,25	4,8	75	113		
2	3	3.2	25	1,25	9,6	75	113		
2	3	3.3	25	1,25	14,4	75	113		
2	3	3.4	25	1,25	19,2	75	113		
2	3	3.5	25	1,25	24	75	113		
2	3	3.6	25	1,25	28,8	75	113		
2	3	3.7	25	1,25	33,6	75	113		
2	3	3.8	25	1,25	38,4	75	113		
2	3	3.9	25	1,25	43,2	75	113		
2	3	3.10	25	1,25	48	75	113		
2	3	3	25	1,25		750	113	0,05	0,05
2	4	4.1	100	5,0	1,5	75	0		
2	4	4.2	100	5,0	3	75	0		
2	4	4.3	100	5,0	4,5	75	0		
2	4	4.4	100	5,0	6	75	0		
2	4	4.5	100	5,0	7,5	75	0		
2	4	4.6	100	5,0	9	75	0		
2	4	4.7	100	5,0	10,5	75	0		
2	4	4.8	100	5,0	12	75	0		
2	4	4.9	100	5,0	13,5	75	0		
2	4	4.10	100	5,0	15	75	0		
2	4	4	100	5,0		750	0	0,05	0,05

Entwicklung von Prüfverfahren für Anlagen zur dezentralen Niederschlagswasserbehandlung im Trennverfahren – Verifikation
DWA/ FH Frankfurt/ FH Münster

Versuch	Teilprüfung	Probennr.	Regenspende	Durchfluss	Zeit	Probenmenge	Zugabe MKW g	Ablaufkonzentration	
			l/(s*ha)	l/s				Probe 1 mg/l	Probe 2 mg/l
3	1	1.1	2,5	0,125	20	75			
3	1	1.2	2,5	0,125	40	75			
3	1	1.3	2,5	0,125	60	75			
3	1	1.4	2,5	0,125	80	75			
3	1	1.5	2,5	0,125	100	75			
3	1	1.6	2,5	0,125	120	75			
3	1	1.7	2,5	0,125	140	75			
3	1	1.8	2,5	0,125	160	75			
3	1	1.9	2,5	0,125	180	75			
3	1	1.10	2,5	0,125	200	75			
3	1	1	2,5	0,125		750	113	0,1	0,1
3	2	2.1	6,0	0,3	20	75			
3	2	2.2	6,0	0,3	40	75			
3	2	2.3	6,0	0,3	60	75			
3	2	2.4	6,0	0,3	80	75			
3	2	2.5	6,0	0,3	100	75			
3	2	2.6	6,0	0,3	120	75			
3	2	2.7	6,0	0,3	140	75			
3	2	2.8	6,0	0,3	160	75			
3	2	2.9	6,0	0,3	180	75			
3	2	2.10	6,0	0,3	200	75			
3	2	2	6,0	0,3		750	113	0,3	0,2
3	3	3.1	25	1,25	4,8	75			
3	3	3.2	25	1,25	9,6	75			
3	3	3.3	25	1,25	14,4	75			
3	3	3.4	25	1,25	19,2	75			
3	3	3.5	25	1,25	24	75			
3	3	3.6	25	1,25	28,8	75			
3	3	3.7	25	1,25	33,6	75			
3	3	3.8	25	1,25	38,4	75			
3	3	3.9	25	1,25	43,2	75			
3	3	3.10	25	1,25	48	75			
3	3	3	25	1,25		750	113	0,5	0,7
3	4	4.1	100	5,0	1,5	75			
3	4	4.2	100	5,0	3	75			
3	4	4.3	100	5,0	4,5	75			
3	4	4.4	100	5,0	6	75			
3	4	4.5	100	5,0	7,5	75			
3	4	4.6	100	5,0	9	75			
3	4	4.7	100	5,0	10,5	75			
3	4	4.8	100	5,0	12	75			
3	4	4.9	100	5,0	13,5	75			
3	4	4.10	100	5,0	15	75			
3	4	4	100	5,0		750	0	1,3	1,8

Anhang 1.3

Ergebnisse der Untersuchungen zum Schwermetallrückhalt
Versuch 1: Verkehrsfläche – Grundwasser

Säule	Versuch	Probenr.	Durchfluss	Zeit	Zulaufkonzentration		Konzentration	
					Cu	Zn	Cu	Zn
-	-	-	l/min	min	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1	1	1.1	0,1	00:27	0,72	6,25	0,13	0,081
1	1	1.2	0,1	00:27	0,72	6,25	0,12	0,62
1	1	1.3	0,1	02:58	0,72	6,25	0,12	0,22
1	1	1.4	0,1	02:58	0,72	6,25	0,048	0,15
1	1	1.5	0,1	05:29	0,72	6,25	0,011	0,098
1	1	1.6	0,1	05:29	0,72	6,25	0,011	0,095
1	1	1.7	0,1	08:00	0,72	6,25	0,009	0,081
1	1	1.8	0,1	08:00	0,72	6,25	0,0092	0,083
1	2	2.1	0,24	00:11	0,72	6,25	0,18	1,8
1	2	2.2	0,24	00:11	0,72	6,25	0,17	1,8
1	2	2.3	0,24	01:14	0,72	6,25	0,02	0,17
1	2	2.4	0,24	01:14	0,72	6,25	0,02	0,18
1	2	2.5	0,24	02:17	0,72	6,25	0,0095	0,86
1	2	2.6	0,24	02:17	0,72	6,25	0,0088	0,08
1	2	2.7	0,24	03:20	0,72	6,25	0,0063	0,057
1	2	2.8	0,24	03:20	0,72	6,25	0,0061	0,057
1	3	3.1	1	00:03	0,72	6,25	0,0082	0,073
1	3	3.2	1	00:03	0,72	6,25	0,0076	0,07
1	3	3.3	1	00:18	0,72	6,25	0,0089	0,088
1	3	3.4	1	00:18	0,72	6,25	0,0089	0,084
1	3	3.5	1	00:33	0,72	6,25	0,0085	0,079
1	3	3.6	1	00:33	0,72	6,25	0,0085	0,08
1	3	3.7	1	00:48	0,72	6,25	0,0077	0,074
1	3	3.8	1	00:48	0,72	6,25	0,0077	0,076
Salzeinfluss								
1	4	4.1	1	00:03	0,00	0,00	0,58	1,6
1	4	4.2	1	00:03	0,00	0,00	0,67	1,6
1	4	4.3	1	00:18	0,00	0,00	0,12	0,054
1	4	4.4	1	00:18	0,00	0,00	0,13	0,057
1	4	4.5	1	00:33	0,00	0,00	0,14	0,056
1	4	4.6	1	00:33	0,00	0,00	0,14	0,056
1	4	4.7	1	00:48	0,00	0,00	0,17	0,065
1	4	4.8	1	00:48	0,00	0,00	0,17	0,067
Konzentration in der Tausalzlösung							0,26	0,45

Versuch 2: Verkehrsfläche – Grundwasser

Säule	Versuch	Probenr.	Durchfluss	Zeit	Zulaufkonzentration		Konzentration	
					Cu mg/l	Zn mg/l	Cu mg/l	Zn mg/l
-	-	-	l/min	min				
2	1	1.1	0,1	00:27	0,72	6,25	0,12	0,17
2	1	1.2	0,1	00:27	0,72	6,25	0,19	0,78
2	1	1.3	0,1	02:58	0,72	6,25	0,023	0,12
2	1	1.4	0,1	02:58	0,72	6,25	0,04	0,14
2	1	1.5	0,1	05:29	0,72	6,25	0,0093	0,083
2	1	1.6	0,1	05:29	0,72	6,25	0,0091	0,081
2	1	1.7	0,1	08:00	0,72	6,25	0,0072	0,065
2	1	1.8	0,1	08:00	0,72	6,25	0,0075	0,068
2	2	2.1	0,24	00:11	0,72	6,25	0,2	1,6
2	2	2.2	0,24	00:11	0,72	6,25	0,17	1,5
2	2	2.3	0,24	01:14	0,72	6,25	0,018	0,15
2	2	2.4	0,24	01:14	0,72	6,25	0,017	0,15
2	2	2.5	0,24	02:17	0,72	6,25	0,0091	0,081
2	2	2.6	0,24	02:17	0,72	6,25	0,0082	0,076
2	2	2.7	0,24	03:20	0,72	6,25	0,0063	0,062
2	2	2.8	0,24	03:20	0,72	6,25	0,0069	0,061
2	3	3.1	1	00:03	0,72	6,25	0,0091	0,082
2	3	3.2	1	00:03	0,72	6,25	0,009	0,082
2	3	3.3	1	00:18	0,72	6,25	0,01	0,094
2	3	3.4	1	00:18	0,72	6,25	0,01	0,093
2	3	3.5	1	00:33	0,72	6,25	0,0094	0,085
2	3	3.6	1	00:33	0,72	6,25	0,0091	0,083
2	3	3.7	1	00:48	0,72	6,25	0,0083	0,078
2	3	3.8	1	00:48	0,72	6,25	0,0083	0,083
Salzeinfluss								
2	4	4.1	1	00:03	0,00	0,00	0,36	1,1
2	4	4.2	1	00:03	0,00	0,00	0,39	1,2
2	4	4.3	1	00:18	0,00	0,00	0,18	0,078
2	4	4.4	1	00:18	0,00	0,00	0,18	0,075
2	4	4.5	1	00:33	0,00	0,00	0,21	0,081
2	4	4.6	1	00:33	0,00	0,00	0,22	0,081
2	4	4.7	1	00:48	0,00	0,00	0,24	0,11
2	4	4.8	1	00:48	0,00	0,00	0,24	0,096
Konzentration in der Tausalzlösung							0,3	0,45

Versuch 3: Mischfläche - Oberflächengewässer

Säule	Versuch	Probenr.	Durchfluss	Zeit	Zulaufkonzentration		Konzentration	
					Cu	Zn	Cu	Zn
-	-	-	l/min	min	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
3	1	1.1	0,1	00:27	0,778	6,20	0,12	0,091
3	1	1.2	0,1	00:27	0,778	6,20	0,13	0,087
3	1	1.3	0,1	02:58	0,778	6,20	0,022	0,18
3	1	1.4	0,1	02:58	0,778	6,20	0,02	0,19
3	1	1.5	0,1	05:29	0,778	6,20	0,01	0,11
3	1	1.6	0,1	05:29	0,778	6,20	0,011	0,13
3	1	1.7	0,1	08:00	0,778	6,20	0,0081	0,082
3	1	1.8	0,1	08:00	0,778	6,20	0,0093	0,089
3	2	2.1	0,24	00:11	0,778	6,20	0,2	1,7
3	2	2.2	0,24	00:11	0,778	6,20	0,21	1,7
3	2	2.3	0,24	01:14	0,778	6,20	0,019	0,19
3	2	2.4	0,24	01:14	0,778	6,20	0,021	0,2
3	2	2.5	0,24	02:17	0,778	6,20	0,01	0,11
3	2	2.6	0,24	02:17	0,778	6,20	0,0098	0,11
3	2	2.7	0,24	03:20	0,778	6,20	0,0084	0,089
3	2	2.8	0,24	03:20	0,778	6,20	0,0076	0,074
3	3	3.1	1	00:03	0,778	6,20	0,012	0,097
3	3	3.2	1	00:03	0,778	6,20	0,012	0,1
3	3	3.3	1	00:18	0,778	6,20	0,011	0,11
3	3	3.4	1	00:18	0,778	6,20	0,013	0,1
3	3	3.5	1	00:33	0,778	6,20	0,01	0,098
3	3	3.6	1	00:33	0,778	6,20	0,012	0,1
3	3	3.7	1	00:48	0,778	6,20	0,011	0,095
3	3	3.8	1	00:48	0,778	6,20	0,011	0,12
Salzeinfluss								
3	4	4.1	1	00:03	0,00	0,00	0,45	1,3
3	4	4.2	1	00:03	0,00	0,00	0,44	1,3
3	4	4.3	1	00:18	0,00	0,00	0,19	0,088
3	4	4.4	1	00:18	0,00	0,00	0,2	0,087
3	4	4.5	1	00:33	0,00	0,00	0,24	0,094
3	4	4.6	1	00:33	0,00	0,00	0,24	0,098
3	4	4.7	1	00:48	0,00	0,00	0,27	0,11
3	4	4.8	1	00:48	0,00	0,00	0,27	0,1
Konzentration in der Tausalzlösung							0,3	0,45

Versuch 4: Mischfläche – Oberflächengewässer

Säule	Versuch	Probenr.	Durchfluss	Zeit	Zulaufkonzentration		Konzentration	
					Cu	Zn	Cu	Zn
-	-	-	l/min	min	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
4	1	1.1	0,1	00:27	0,778	6,20	0,11	0,29
4	1	1.2	0,1	00:27	0,778	6,20	0,11	0,073
4	1	1.3	0,1	02:58	0,778	6,20	0,023	0,19
4	1	1.4	0,1	02:58	0,778	6,20	0,024	0,19
4	1	1.5	0,1	05:29	0,778	6,20	0,012	0,1
4	1	1.6	0,1	05:29	0,778	6,20	0,012	0,1
4	1	1.7	0,1	08:00	0,778	6,20	0,0093	0,084
4	1	1.8	0,1	08:00	0,778	6,20	0,0098	0,082
4	2	2.1	0,24	00:11	0,778	6,20	0,21	1,7
4	2	2.2	0,24	00:11	0,778	6,20	0,25	1,9
4	2	2.3	0,24	01:14	0,778	6,20	0,023	0,19
4	2	2.4	0,24	01:14	0,778	6,20	0,023	0,19
4	2	2.5	0,24	02:17	0,778	6,20	0,011	0,096
4	2	2.6	0,24	02:17	0,778	6,20	0,011	0,096
4	2	2.7	0,24	03:20	0,778	6,20	0,0093	0,082
4	2	2.8	0,24	03:20	0,778	6,20	0,008	0,072
4	3	3.1	1	00:03	0,778	6,20	0,012	0,094
4	3	3.2	1	00:03	0,778	6,20	0,012	0,1
4	3	3.3	1	00:18	0,778	6,20	0,012	0,11
4	3	3.4	1	00:18	0,778	6,20	0,012	0,11
4	3	3.5	1	00:33	0,778	6,20	0,011	0,094
4	3	3.6	1	00:33	0,778	6,20	0,01	0,089
4	3	3.7	1	00:48	0,778	6,20	0,0095	0,084
4	3	3.8	1	00:48	0,778	6,20	0,0092	0,085
Salzeinfluss								
4	4	4.1	1	00:03	0,00	0,00	0,7	1
4	4	4.2	1	00:03	0,00	0,00	0,61	1,1
4	4	4.3	1	00:18	0,00	0,00	0,19	0,075
4	4	4.4	1	00:18	0,00	0,00	0,18	0,077
4	4	4.5	1	00:33	0,00	0,00	0,22	0,083
4	4	4.6	1	00:33	0,00	0,00	0,22	0,082
4	4	4.7	1	00:48	0,00	0,00	0,25	0,1
4	4	4.8	1	00:48	0,00	0,00	0,25	0,094
Konzentration in der Tausalzlösung							0,260	0,470

Säule	Versuch	Probenr.	Durchfluss	Zeit	Zulaufkonzentration		Ablaufkonzentration	
					Cu	Zn	Cu	Zn
-	-	-	l/min	min	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
5	1	1.1	0,1	00:27:00	0,72	6,25	0,03	0,1
5	1	1.2	0,1	00:27:00	0,72	6,25	0,031	0,1
5	1	1.3	0,1	02:58:00	0,72	6,25	0,05	0,15
5	1	1.4	0,1	02:58:00	0,72	6,25	0,05	0,15
5	1	1.5	0,1	05:29:00	0,72	6,25	0,037	0,089
5	1	1.6	0,1	05:29:00	0,72	6,25	0,042	0,094
5	1	1.7	0,1	08:00:00	0,72	6,25	0,032	0,1
5	1	1.8	0,1	08:00:00	0,72	6,25	0,026	0,091
5	2	2.1	0,24	00:11:00	0,72	6,25	0,039	0,2
5	2	2.2	0,24	00:11:00	0,72	6,25	0,041	0,19
5	2	2.3	0,24	01:14:00	0,72	6,25	0,052	0,2
5	2	2.4	0,24	01:14:00	0,72	6,25	0,051	0,21
5	2	2.5	0,24	02:17:00	0,72	6,25	0,055	0,21
5	2	2.6	0,24	02:17:00	0,72	6,25	0,056	0,21
5	2	2.7	0,24	03:20:00	0,72	6,25	0,095	0,22
5	2	2.8	0,24	03:20:00	0,72	6,25	0,091	0,2
5	3	3.1	1	00:03:00	0,72	6,25	0,17	1
5	3	3.2	1	00:03:00	0,72	6,25	0,17	0,99
5	3	3.3	1	00:18:00	0,72	6,25	0,2	2,2
5	3	3.4	1	00:18:00	0,72	6,25	0,2	2,1
5	3	3.5	1	00:33:00	0,72	6,25	0,28	3,6
5	3	3.6	1	00:33:00	0,72	6,25	0,28	3,6
5	3	3.7	1	00:48:00	0,72	6,25	0,36	3,6
5	3	3.8	1	00:48:00	0,72	6,25	0,37	3,7
Zulaufprobe	1	4.1	0,1	05:29:00			0,72	6,4
Zulaufprobe	2	4.2	0,24	2:17:00			0,72	6,3
Zulaufprobe	3	4.3	1	00:33:00			0,73	6,4