

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

**Fakultät für Bau- und
Umweltingenieurwissenschaften**

Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft
und Umwelttechnik

Prof. Dr.-Ing. habil. Marc Wichern



Untersuchungen zur bedarfsorientierten Kanal-
reinigung unter Nutzung betrieblicher Synergien

Kurzbericht

Bochum, August 2015

Im Auftrag von



Ministerium für
Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft,
Natur- und Verbraucherschutz
des Landes NRW

Fördernde Stelle



Ministerium für
Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft,
Natur- und Verbraucherschutz
des Landes NRW

Fachliche Begleitung



Landesamt für Natur, Umwelt
und Verbraucherschutz NRW

Bearbeitung



Ruhr-Universität Bochum
Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft
und Umwelttechnik

Universitätsstr. 150
44801 Bochum

Prof. Dr.-Ing. M. Wichern

Stephan Berzio, M.Sc.

Dipl.-Ing. R.-L. Lange

Projektbeteiligter



IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur

Exterbruch 1
45886 Gelsenkirchen

Prof. Dr.-Ing. Bert Bosseler

Dipl.-Ing. (FH) Serdar Ulutaş, MBA

Dipl.-Ing. Marco Schlüter

Markus Treinen, M.Sc.

Inhalt

Inhalt	1
Verzeichnis der Bilder	1
Verzeichnis der Abkürzungen und der Symbole	2
1 Einleitung	1
2 Vorgehensweise	2
3 Praktische Versuche	2
3.1 Kanalteststrecke	3
3.2 Erosionsversuche	8
3.3 Ergebnisse.....	9
3.4 Schwefelwasserstoffrohr	10
4 Betriebsorientierte Untersuchungen	13
4.1 Kanalreinigungsmanagement wird zum Standard	14
4.2 Organisation	16
4.3 Sachmittel.....	18
4.4 Personal	19
4.5 Arbeitshilfen für den Strategiewechsel.....	21
5 Zusammenfassung	24
Literaturverzeichnis	29

Verzeichnis der Bilder

Bild 1: Schematische Zeichnung der Kanalteststrecke.....	4
Bild 2: Entwicklung der Menge aller Ablagerungen im Testrohr ($Q=2$ L/s, $I_S=1,0$ ‰, $k_S=0,4$ mm).....	5
Bild 3: Entwicklung der Menge aller Ablagerungen im Testrohr (Versuchsreihe 20, $Q=2$ L/s, $I_S=1$ ‰, $k_S=0,4$ mm).....	6
Bild 4: Tägliche Änderung aller Ablagerungen im Testrohr in Abhängigkeit von der Dauer der Trockenperiode (Versuchsreihen 11, 13, 14, 16, 17 und 20, $Q=2$ L/s, $I_S=1$ ‰, $k=0,4$ mm)	6
Bild 5: Entwicklung der Menge aller Ablagerungen in den Testrohren bei unterschiedlichen Anfangsrauheiten und einem angepassten Q (Versuchsreihen 45-47, $I_S=1$ ‰, $Q=2$ L/s als Tagesgang von 0,7 bis 4 L/s).....	7
Bild 6: Ablagerungsmengen über den Versuchszeitraum von 28 Tagen in den drei Versuchsröhrn (Versuchsreihe 49, $I_S=1$ ‰, $Q=2$ L/s). An Tag 17 bzw. 18 wurden die Hindernisse aus den Versuchsröhrn entfernt. Im Anschluss stellten sich ähnliche Ablagerungsmengen wie ohne ein Hindernis ein	8
Bild 7: Drehzahl und TS-Konzentration bei einem Erosionsversuch mit überwiegend organischem Sediment.....	9
Bild 8: Sohlschubspannungen von überwiegend mineralischen Sedimenten in Abhängigkeit von der Sedimentationsdauer (als Grenzwert für die Erosion wurde eine TS-Konzentration von $0,1$ g _{TS} /L angenommen)	10
Bild 9: Prinzipskizze des Versuchsröhrs zur Schwefelwasserstoffbildung	11
Bild 10: Links: Schematische Darstellung eines angeschlossenen Batchversuchs mit kontinuierlicher Druckaufzeichnung nach DIN EN ISO 11734 (Gasvolumenmessung mittels Gasdruckgerät) (VDI 4630, (2012)). Rechts: Kugelhahn mit Adapter für die Probenahme; Drucksonde zur Datenaufzeichnung, Probenflasche (in der Abbildung 250 ml), Schraubverschluss mit Gummidichtung	11
Bild 11: H ₂ S-Konzentration in Abwasser und Abluft in Abhängigkeit zum Durchfluss. Mit zunehmenden Durchfluss steigt die Konzentration des H ₂ S in der Abluft und sinkt im Abwasser	12
Bild 12: Betriebsorientierte Untersuchungen, z.B. Workshops, Interviews, Umfragen, Messungen, Begleitung und Analyse von Reinigungseinsätzen etc.....	13
Bild 13: .Fließschema des integralen Kanalmanagements nach DIN EN 752 zur Anwendung bei der Kanalreinigung nach der neuen DIN EN 14654-1 (08/2014)	14
Bild 14: Prozessmodell „Bedarfsorientierte Kanalreinigung“ unter Berücksichtigung der Anforderungen an ein Kanalreinigungsmanagement gemäß EN 14654-1.	15
Bild 15: Modularer Maßnahmenplan für die Umstellung des Kanalreinigungsmanagements nach den Anforderungen der DIN EN 14654-1, Beispielhafte Umsetzung	17
Bild 16: Ablagerungsbewertung, schematische Risikobetrachtung, grün-Intervalllängerung, blau – Intervallbeibehaltung, rot – Intervallverkürzung	21
Bild 17: Maßnahmen zur Konzeptionierung und Einführung der bedarfsorientierten Kanalreinigung in den Bereichen: Organisation, Sachmittel und Personal.....	23

Verzeichnis der Abkürzungen und der Symbole

Abkürzung	Beschreibung	Einheit
AFS	abfiltrierbare Stoffe	mg/L
CSB	chemischer Sauerstoffbedarf	mg/L
CSB _{fit}	chemischer Sauerstoffbedarf der filtrierten Probe	mg/L
d	Durchmesser	mm
DN	Rohrdurchmesser	mm
EDV	elektronische Datenverarbeitung	
GIS	geografisches Informationssystem	-
H ₂ S	Schwefelwasserstoff	ppm
HS ⁻	Hydrosulfid	mg/L
Is	Sohlgefälle	-
IT	Informationstechnologie	-
KA	Kläranlage	-
k _s	äquivalente Sandrauheit	mm
MID	magnetisch induktiver Durchflussmesser	-
MKULNV	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz	-
MUNLV	Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (jetzt MKULNV)	-
NRW	Nordrhein-Westfalen	-
Q	Abfluss	L/s
SüwV Kan	Selbstüberwachungsverordnung Kanal	-
TS	Feststoffgehalt	g/kg
τ	Schubspannung	N/m ²

1 Einleitung

Die Kommunen in Nordrhein-Westfalen sehen sich einem immensen Kostendruck gegenübergestellt, der in den nächsten Jahren voraussichtlich weiter steigen wird. Deshalb wird versucht, in sämtlichen Aufgabenfeldern Kosten einzusparen. Im Bereich der Kanalreinigung, liegen die Kosten für Netzbetreiber in NRW jedes Jahr bei rund 50 Millionen Euro.

Die Forschungsergebnisse zeigen, dass häufig Kanäle gereinigt werden, die weitestgehend frei von Ablagerungen sind und keiner Reinigung bedürfen. Den Kommunen eröffnen sich folglich durch die Umstellung auf eine bedarfsorientierte Kanalreinigung große Einsparpotentiale. Die Einführung der bedarfsorientierten Kanalreinigung ist allerdings nicht für jeden Netzbetreiber sinnvoll. Berechnungen zeigen, dass gerade für kleine Kommunen mit Kanalnetzlängen deutlich unter 100 Kilometern durch die bedarfsorientierte Kanalreinigung kaum Kostenvorteile entstehen. Im Einzelfall können sich durch die Überwachung der Ablagerungen die Kosten sogar erhöhen. Allerdings sind die Entwicklungen im Bereich der Kanalinspektion durch z.B. LED-Technik und moderne Datenverarbeitung (GIS und Tablet-PCs) deutlich vorangeschritten, was den Verwaltungsaufwand in den nächsten Jahren deutlich reduzieren wird. Durch die Erfassung einzelner Problemstellen im Kanalnetz kann so im Laufe der Zeit ein angepasster Reinigungsplan erstellt werden.

Inwiefern Reinigungsintervalle verlängert werden können und welche Einsparmöglichkeiten die Steigerung der Effizienz, bspw. durch Nutzung innerbetrieblicher Synergien oder den Einsatz moderner Technik (bspw. Schachterkennungssysteme, elektronische Datenerfassung etc.), bietet, ist Gegenstand dieses Berichts.

Sämtliche Ergebnisse sind dem Langbericht „Untersuchungen zur bedarfsorientierten Kanalreinigung unter Nutzung betrieblicher Synergien Phase I& II“ (2015) zu entnehmen.

2 Vorgehensweise

Um den Netzbetreibern den Umstieg auf bedarfsorientierte Reinigungsstrategien mit ihren betrieblichen Abläufen und Potentialen zur Effizienzsteigerung zu erleichtern, wurden eine Vielzahl von Workshops und Arbeitssitzungen mit Kanalnetzbetreibern aus ganz Deutschland durchgeführt. So konnten Probleme, Wünsche und Anforderungen der Kanalnetzbetreiber sowie deren Erfahrungen mit der Umsetzung verschiedener Reinigungsstrategien zusammengestellt und diskutiert werden. Diese Erkenntnisse wurden aufbereitet und sollen anderen Netzbetreibern bei der Optimierung der eigenen Reinigungsstrategie als Hilfestellung dienen.

Anhand wissenschaftlicher Versuche an einer Kanaltteststrecke im Zulauf der Kläranlage Bochum-Ölbachtal (Ruhrverband) wurde untersucht, wie schnell sich Ablagerungen unter weitgehend definierten Randbedingungen aufbauen, wie sie sich verändern und welche Kraft aufgebracht werden muss, um sie zu erodieren. Ergänzende Untersuchungen im Labormaßstab befassten sich mit der Schwefelwasserstoffbildung und dem Erosionswiderstand von Ablagerungen. Aus den Ergebnissen wurden Rückschlüsse auf die Wahl sinnvoller Reinigungsintervalle gezogen. Ziel ist eine Reduzierung des Reinigungsaufwandes, ohne Verstopfungen oder sonstige Beeinträchtigungen der Funktion der Kanalnetze zu riskieren.

3 Praktische Versuche

Messungen in realen Kanalnetzen sind stets mit Problemen verbunden. Gründe dafür liegen in einer Vielzahl nicht zu beeinflussender Randbedingungen. Neben der Variabilität der in der Realität auftretenden Niederschlagsereignisse erschweren insbesondere die Unkenntnis über den tatsächlichen Zustand des Kanalisationsnetzes (Schäden, Ablagerungen, vorhandenes Gefälle) und die Messungenauigkeiten der verfügbaren Messtechnik präzise Auswertungen.

Um Erfahrungen, die im Rahmen eines vom MUNLV-NRW geförderten Projektes bei Frachtbilanzierungen zur Bewertung der Wirksamkeit von Kanalreinigungen gemacht wurden, zu nutzen und die bisher gewonnenen Erkenntnisse zu ergänzen, wurde für dieses Forschungsprojekt die Durchführung von verschiedenen möglichst witterungsunabhängigen Versuchen geplant. Der Fokus der praktischen Versuche lag auf dem Betrieb einer Kanaltteststrecke, die es ermöglichte, die Anzahl der störenden Einflussparameter einzuschränken. Unter definierten Bedingungen wurde die Bildung von Ablagerungen beobachtet. Darüber hinaus wurden ergänzende La-

borversuche hinsichtlich des Erosionswiderstandes von Ablagerungen und der Bildung von Schwefelwasserstoff unter veränderbaren Randbedingungen durchgeführt.

3.1 Kanaltteststrecke

3.1.1 Versuchsaufbau

Als Aufstellungsort wurde der Zulauf der Kläranlage Bochum-Ölbachtal kurz vor dem Rechengebäude gewählt. Das Abwasser wurde mit einer selbstansaugenden Kreiselpumpe (AbwasserStar 6“ der HEIDE-Pumpen GmbH) gefördert. Zum Ende der Versuchsphase wurde diese aufgrund von länger andauernden Wartungsarbeiten durch zwei Börger PL200 Drehkolbenpumpen ersetzt. Hiermit wurde das Abwasser, wie Bild 1 zu entnehmen, in ein Verteilerrohr gepumpt. Von dort gelangte es in die Versuchsrohre. Die Mengenregelung erfolgte über Schieber und magnetisch induktive Durchflussmesser.

Die Versuchsanlage bestand aus drei Plexiglasrohren (Länge=10 m, DN 300) welche mehrere Vorteile (geringes Gewicht, durchsichtig etc.) gegenüber anderen Rohrmaterialien besaßen. Um eine Rauheit zu erhalten, die vergleichbar mit der von Beton oder Steinzeug ist, wurden verschiedene Sandpapiere ($k_s=0,4, 0,635$ mm) eingeklebt (vgl. Banasiak et al., 2005) sowie eine verfugte Natursteinfliese in einem der Plexiglasrohre verlegt. Die Versuchsrohre waren auf höhenverstellbaren Trägern gelagert, so dass das Gefälle variiert werden konnte.

Die wichtigsten Parameter, die im Rahmen der Versuche erfasst wurden, waren Durchfluss und Ablagerungshöhe. Da es kein zuverlässiges Verfahren zur automatisierten Messung der Ablagerungshöhen gibt, wurde auf eine einmal täglich durchgeführte manuelle Messung mittels Messschieber zurückgegriffen.

Die Dauern der Ablagerungsbildung bei den einzelnen Versuchsreihen wurden variiert, um Zusammenhänge zwischen Erosionswiderstand und Alter der Ablagerungen herzustellen. Hierfür wurde nach Ablauf der simulierten Trockenwetterphase, in der sich Ablagerungen bildeten, innerhalb weniger Stunden der Abfluss kontinuierlich gesteigert und beobachtet, wann sich die Ablagerungen lösen.

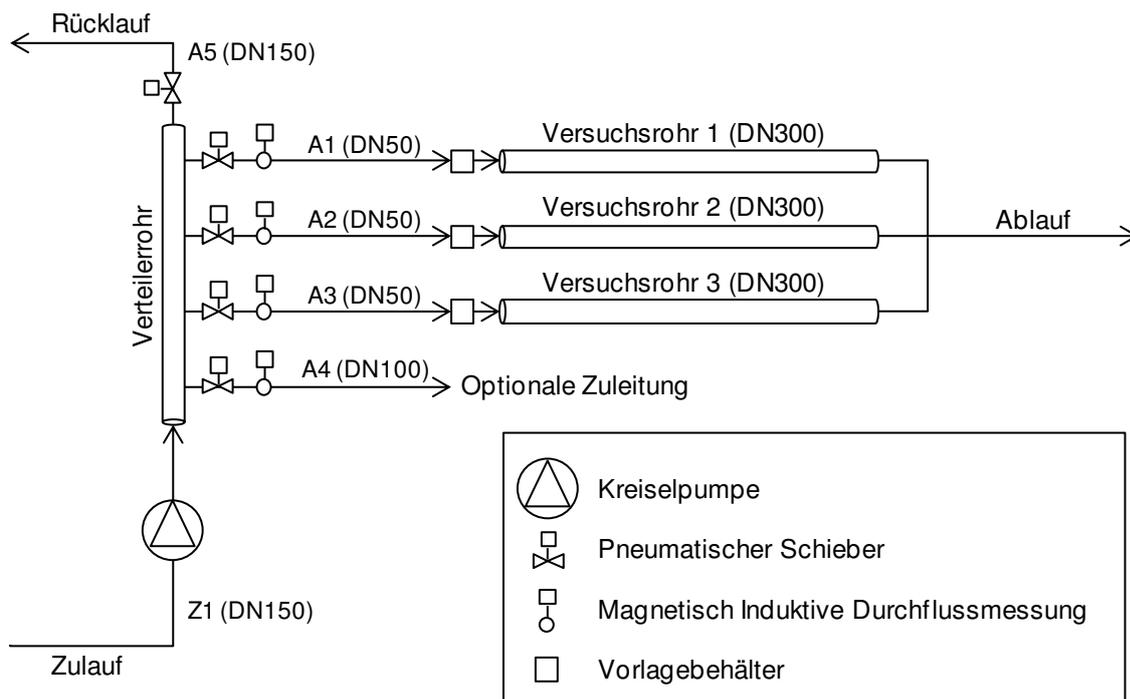


Bild 1: Schematische Zeichnung der Kanalteststrecke

3.1.2 Ergebnisse

Da sich einzelne Ablagerungshöhen nur schwer für die Auswertung der zeitlichen Entwicklung der Ablagerungen verwenden lassen, wurden aus den punktuellen Ablagerungshöhen Ablagerungsmengen für das gesamte Testrohr berechnet.

Der Verlauf der Ablagerungsmengen über die Versuchsdauer von 30 Tagen ist für die Messwerte mehrerer Versuchsreihen mit identischen Randbedingungen ($Q=2 \text{ L/s}$, $l_s=1 \text{ ‰}$, $k_s=0,4 \text{ mm}$) in Bild 2 dargestellt. Es konnten vereinzelt bereits in den ersten Tagen einer Versuchsreihe erhebliche Ablagerungsmengen in den Testrohren gemessen werden.

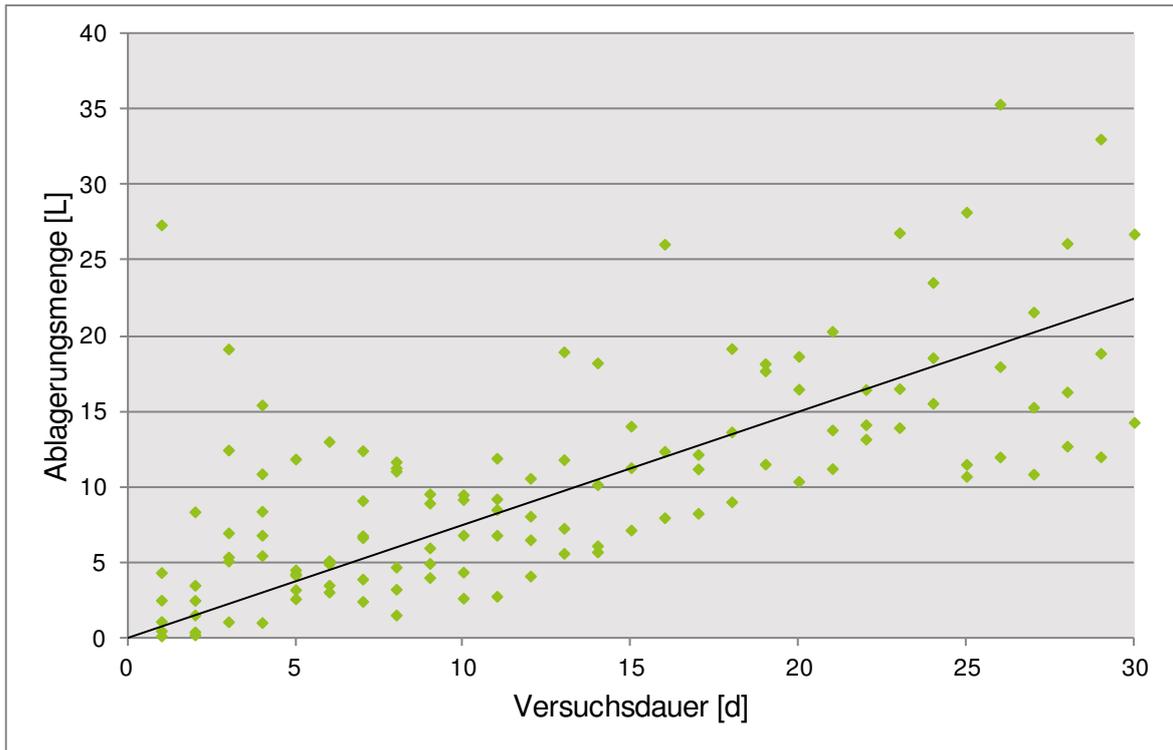


Bild 2: Entwicklung der Menge aller Ablagerungen im Testrohr ($Q=2$ L/s, $I_s=1,0$ ‰, $k_s=0,4$ mm)

Dass die Ablagerungsmengen nicht unbegrenzt anwachsen, ist in Bild 3 zu erkennen, welches die Ablagerungsmengen der längsten durchgeführten Versuchsreihe (Versuchsdauer 150 Tage) zeigt. Nachdem die Ablagerungsmengen rund 60 Tage lang weitgehend kontinuierlich angestiegen sind, nahmen sie anschließend wieder ab und stagnieren in einem Bereich von 40-50 L Sediment verteilt auf die 10 Meter Versuchrohr. Dies beweist, dass es in Kanälen ein stetiges Wechselspiel von Sedimentation und Erosion gibt, welches maßgeblich durch die herrschenden Witterungsverhältnisse beeinflusst wird. In den ersten Tagen nach Niederschlägen treten große Schwankungen in den Ablagerungshöhen auf (Bild 4). Je länger die Trockenperiode dauert, desto geringer werden die Schwankungen der Ablagerungshöhen. Dies spricht dafür, dass sich bei anhaltend unveränderten Zuflussbedingungen ein Gleichgewichtszustand einstellt.

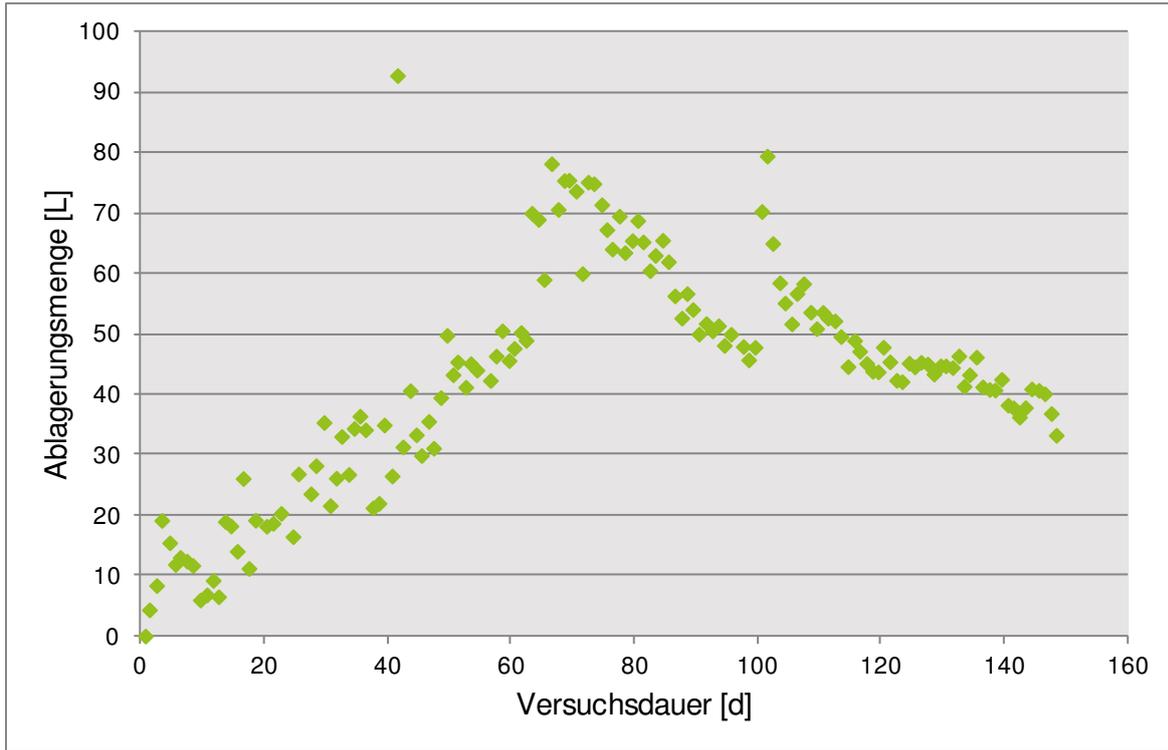


Bild 3: Entwicklung der Menge aller Ablagerungen im Testrohr (Versuchsreihe 20, $Q=2$ L/s, $I_S=1$ ‰, $k_S=0,4$ mm)



Bild 4: Tägliche Änderung aller Ablagerungen im Testrohr in Abhängigkeit von der Dauer der Trockenperiode (Versuchsreihen 11, 13, 14, 16, 17 und 20, $Q=2$ L/s, $I_S=1$ ‰, $k=0,4$ mm)

Um den Einfluss von schwankenden Zuflüssen besser bewerten zu können, wurden Versuchsreihen mit einem Tagesgang von 0,7 bis 4 L/s durchgeführt, was im Tagesmittel einem Durchfluss von 2 L/s entsprach. Gegenübergestellt ist in Bild 5 die Ablagerungsentwicklung für unterschiedliche anfängliche Oberflächenbeschaffenheiten, wie sie bereits in 3.1.1 beschrieben wurden. Eine Tagesganglinie führte im Vergleich zu konstanten Durchflüssen bei den eingesetzten Sandpapieren zu einer Zunahme von 50 % der Ablagerungsmenge im Testrohr. Im Gegensatz zu den Sandpapieren konnten bei der verfügteten Natursteinfliese kaum Ablagerungen festgestellt werden.

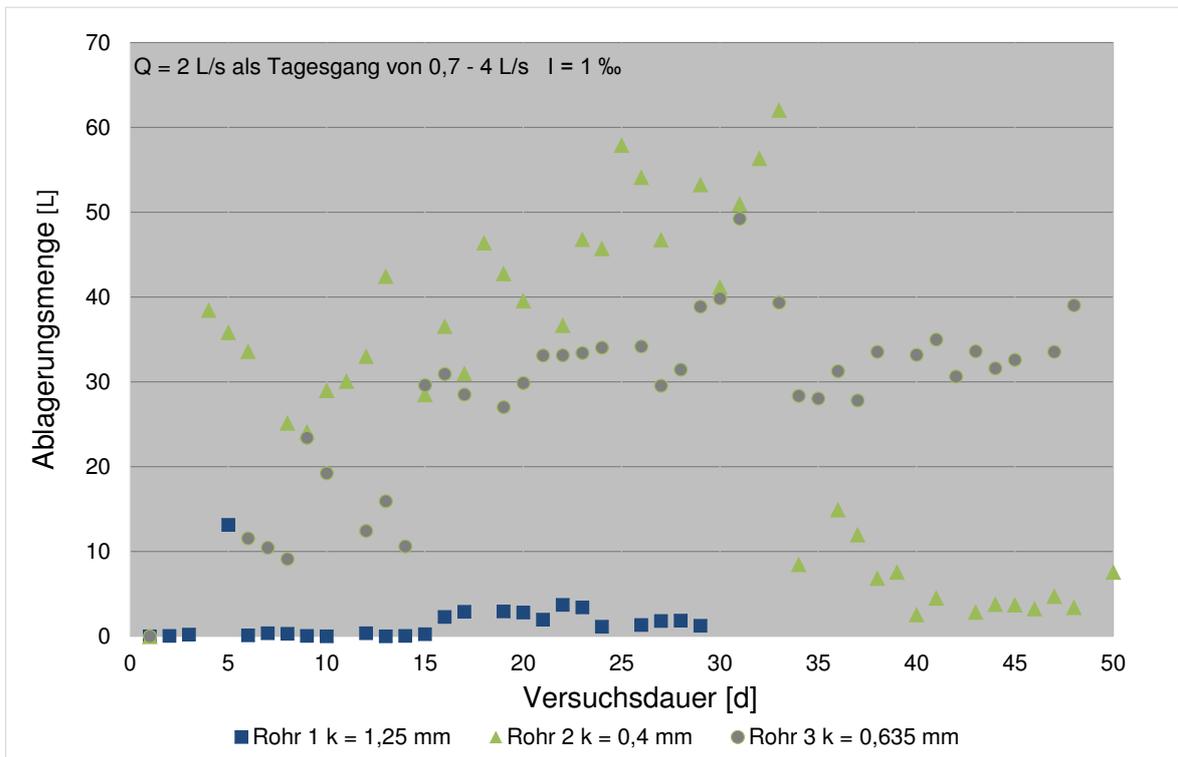


Bild 5: Entwicklung der Menge aller Ablagerungen in den Testrohren bei unterschiedlichen Anfangsrauheiten und einem angepassten Q (Versuchsreihen 45-47, $I_s=1$ ‰, $Q=2$ L/s als Tagesgang von 0,7 bis 4 L/s)

Durch die Verlängerung von Reinigungsintervallen können Betriebsstörungen im Kanal unter Umständen nicht zeitnah erkannt werden. Zur Abschätzung des Einflusses von Hindernissen wurden Versuche mit Steinen durchgeführt, die ein Maß von 11 x 11 x 7 cm hatten. In Bild 6 sind die Ergebnisse für die unterschiedlichen anfänglichen Oberflächenbeschaffenheiten aufgeführt. Durch Verengung des Querschnitts und die daraus resultierenden geringen Fließgeschwindigkeiten ($< 0,10$ m/s) bildeten sich nach bereits einem Tag Ablagerungsmengen von bis zu 40 L. Nach 14 Tagen stellten sich konstante Mengen von 70 L Ablagerungen im Rohr ein. Nach 17 bzw. 18 Tagen wurden die Hindernisse aus den Versuchsrohren

entfernt, um festzustellen, in wieweit eine Verfestigung der Ablagerungen eingetreten war. Nur in Versuchsrohr 1, in dem die Natursteinfliese verlegt wurde, mussten die Ablagerungen vom Rand gelöst werden, bevor diese ausgespült werden konnten. Die Ablagerungsmengen lagen am Ende der Versuchsreihen mit 20 L für Sandpapier ($k_s=0,4$ mm und $k_s=0,635$ mm) und nahezu null Litern bei der Natursteinfliese im gleichen Bereich wie bei vorherigen Versuchen ($I_s=1$ ‰, $Q=2$ L/s) ohne Hindernisse.

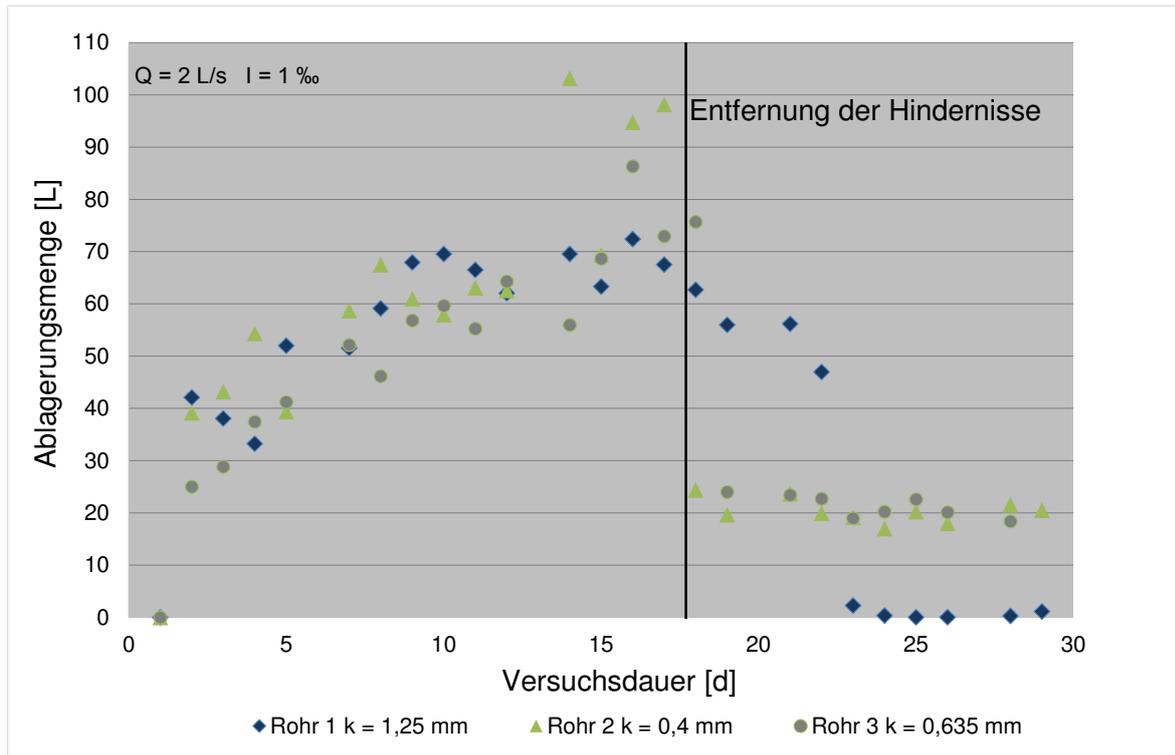


Bild 6: Ablagerungsmengen über den Versuchszeitraum von 28 Tagen in den drei Versuchsrohren (Versuchsreihe 49, $I_s=1$ ‰, $Q=2$ L/s). An Tag 17 bzw. 18 wurden die Hindernisse aus den Versuchsrohren entfernt. Im Anschluss stellten sich ähnliche Ablagerungsmengen wie ohne ein Hindernis ein

3.2 Erosionsversuche

3.2.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau wurde teilweise dem EROSIMESS-Erosionsmessgerät (Liem et al, 1997) nachempfunden. Dazu wurden Plexiglasbehälter mit einem Durchmesser von 12 cm angefertigt, die auf der Innenseite mit vertikalen Strömungsbrechern versehen sind. Diese Strömungsbrecher verhindern eine Strudelbildung und tragen dazu bei, dass die Strömung im Behälter radial sowie parallel zur Sohle verläuft. Über einen seitlichen Stutzen lässt sich eine TS-Sonde einbringen, um den Fest-

stoffgehalt während des Erosionsversuchs aufzeichnen zu können. Über Anschlüsse im oberen Bereich des Behälters ist es möglich, diesen mit Frisch- oder Abwasser zu beschicken. Die Sohlschubspannung wurde mithilfe eines elektronischen Rührwerks der Firma Heidolph (Modell RZR 2051) aufgebracht, dessen Drehzahl über einen PC gesteuert und aufgezeichnet wurde.

Um repräsentative Ablagerungen zu erzeugen, wurde Sediment aus der Kanaltteststrecke auf der Kläranlage Ölbachtal genutzt. Durch eine Kalibration anhand der Shields-Approximation nach Zanke (Schröder und Zanke, 2003) kann von der Drehzahl des Rührers auf die aufgebraachte Sohlschubspannung geschlossen werden.

3.3 Ergebnisse

Die Erosionsversuche wurden so durchgeführt, dass die Drehzahl des Rührwerks stetig gesteigert wurde. Anhand der aufgezeichneten TS-Konzentration konnte anschließend der maßgebliche Zeitpunkt bestimmt werden, an dem die Sedimente erodiert wurden (Bild 7).

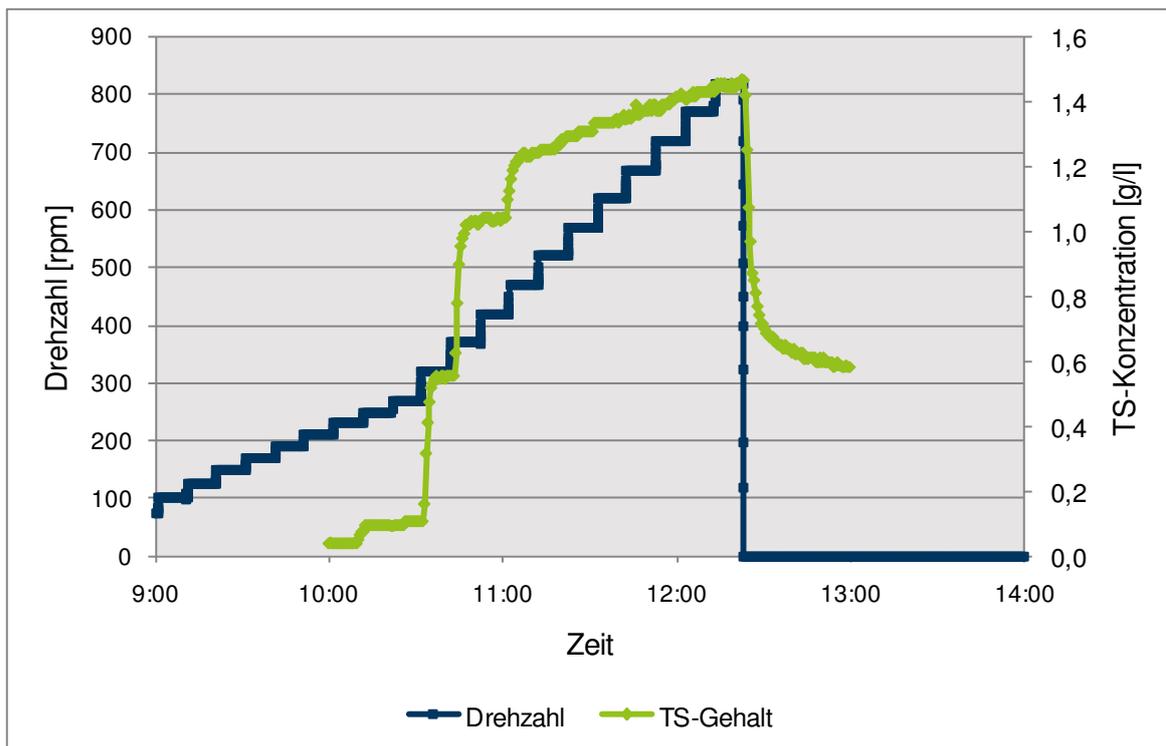


Bild 7: Drehzahl und TS-Konzentration bei einem Erosionsversuch mit überwiegend organischem Sediment

Um die Ergebnisse der einzelnen Versuche vergleichen zu können, wurden die Sohlschubspannungen bestimmt, bei denen die TS-Konzentrationen im Überstandswasser auf 0,1 g_{TS}/L angestiegen sind (Bild 8). Es zeigt sich, dass der Erosionswiderstand tendenziell mit steigender Sedimentationsdauer anwächst, jedoch

können die Sedimente auch schon innerhalb der ersten Tage hohe Festigkeiten aufweisen.

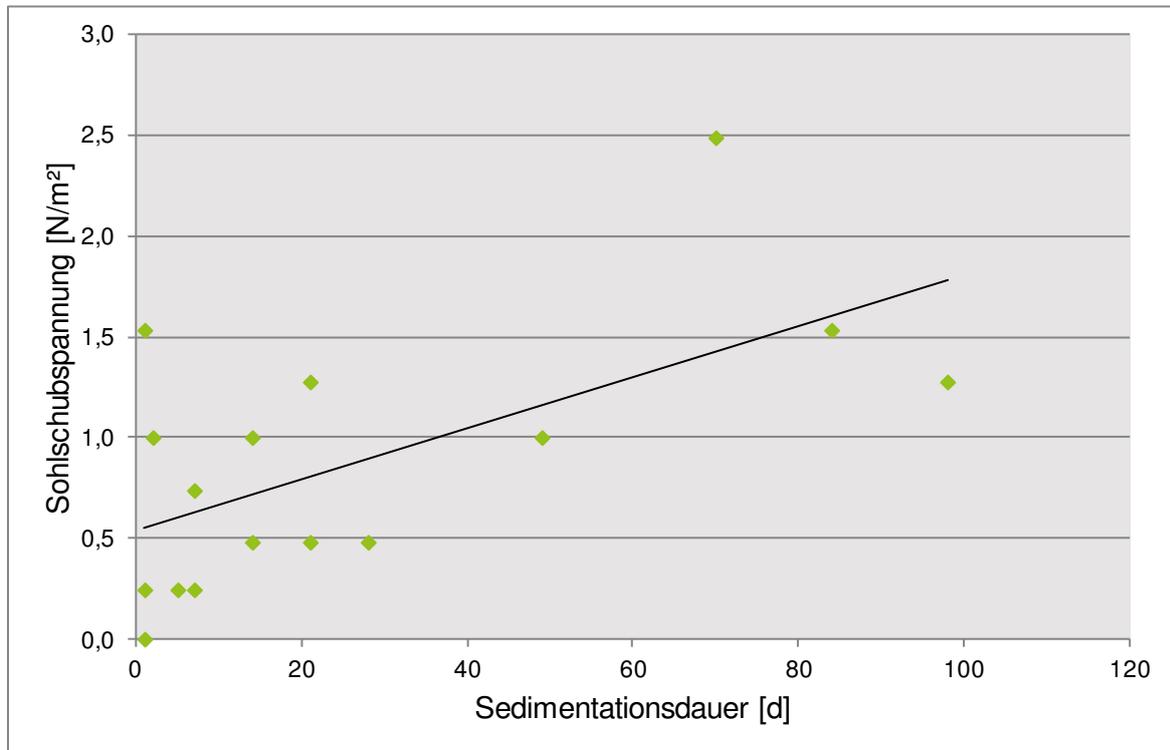


Bild 8: Sohlschubspannungen von überwiegend mineralischen Sedimenten in Abhängigkeit von der Sedimentationsdauer (als Grenzwert für die Erosion wurde eine TS-Konzentration von 0,1 g_{TS}/L angenommen)

3.4 Schwefelwasserstoffrohr

3.4.1 Versuchsaufbau

Es wurden unterschiedliche Laborversuche an einem Versuchsrohr durchgeführt. Neben den Standardparametern Temperatur, Sauerstoff, pH-Wert, AFS, CSB und CSB_{filtr} wurde mittels einer Spektrometersonde auch der HS⁻-Gehalt gemessen, um unter Berücksichtigung des pH-Wertes den Schwefelwasserstoffgehalt in der Wasserphase bestimmen zu können. Ziel der Versuche war es, festzustellen, wie lange es dauert, bis sich in einem von Abwasser durchflossenem Rohr Schwefelwasserstoff bildet. Erweitert wurden die Laborversuche mit Batchtests, mit denen die verantwortliche Biomasse identifiziert werden sollte.

Der Versuchsaufbau bestand im Kern aus einem PVC-Rohr (DN 75, Länge: 5,0 m), durch das Abwasser der Kläranlage Ölbachtal des Ruhrverbands geleitet wurde (Bild 9). Da das Abwasser aus dem Ablauf des Sandfangs der Kläranlage Ölbachtal

entnommen wurde, waren die sedimentierten Feststoffe zum größten Teil organischer Art. Bei der Schwefelwasserstoffsonde zur Messung in der Abluft handelte es sich um ein OdaLog von AppTek, Datenlogger zur kontinuierlichen Langzeitaufzeichnung von Schwefelwasserstoffkonzentrationen.

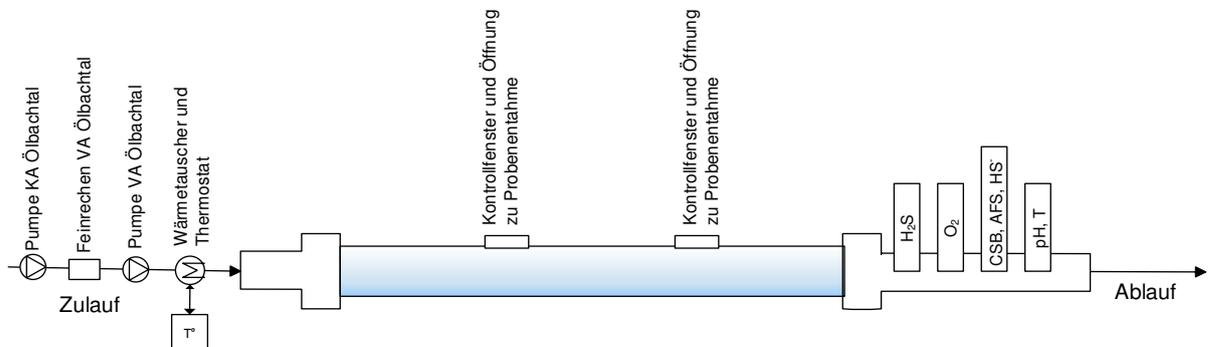


Bild 9: Prinzipskizze des Versuchsrohrs zur Schwefelwasserstoffbildung

Die Batchtests wurden nach VDI-Richtlinie 4630 (2012) durchgeführt. Verwendet wurden 250 mL Probenflaschen, die während des Versuches in einem Wasserbad bei 19 °C gelagert wurden. Es wurden drei verschiedene Sedimente als Impfschlamm verwendet, sowie Blindproben, die nur mit Abwasser aus dem Zulauf des H₂S-Versuchsrohres befüllt wurden. Die Impfschlämme waren Sielhaut sowie Sediment, das am Ende von Versuchsreihe 35 aus der Kanaltteststrecke entnommen wurde und Sediment aus dem H₂S-Versuchsrohr.

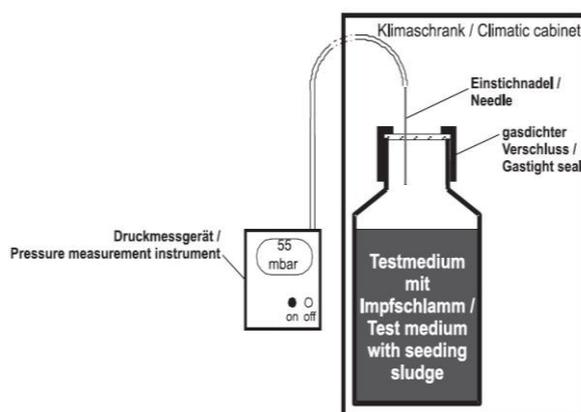


Bild 10: Links: Schematische Darstellung eines angeschlossenen Batchversuchs mit kontinuierlicher Druckaufzeichnung nach DIN EN ISO 11734 (Gasvolumenmessung mittels Gasdruckgerät) (VDI 4630, (2012)). Rechts: Kugelhahn mit Adapter für die Probenahme; Drucksonde zur Datenaufzeichnung, Probenflasche (in der Abbildung 250 ml), Schraubverschluss mit Gummidichtung

3.4.2 Ergebnisse

In der Mehrzahl der durchgeführten Experimente zeigte sich, dass bereits nach zwei bis drei Tagen Konzentrationen von Schwefelwasserstoff in Abluft und Medium zu messen waren, die für eine biogene Schwefelwasserstoffkorrosion ausreichend wären. Nach einem Versuchszeitraum von 50 Tagen und einer Temperatur von über 15 °C konnten im Versuchsrohr fast kontinuierlich H₂S-Konzentrationen gemessen werden. Zum Ende der Versuchsreihe in Bild 11 lagen diese über der maximalen Arbeitsplatzkonzentration von 20 ppm in der Abluft.

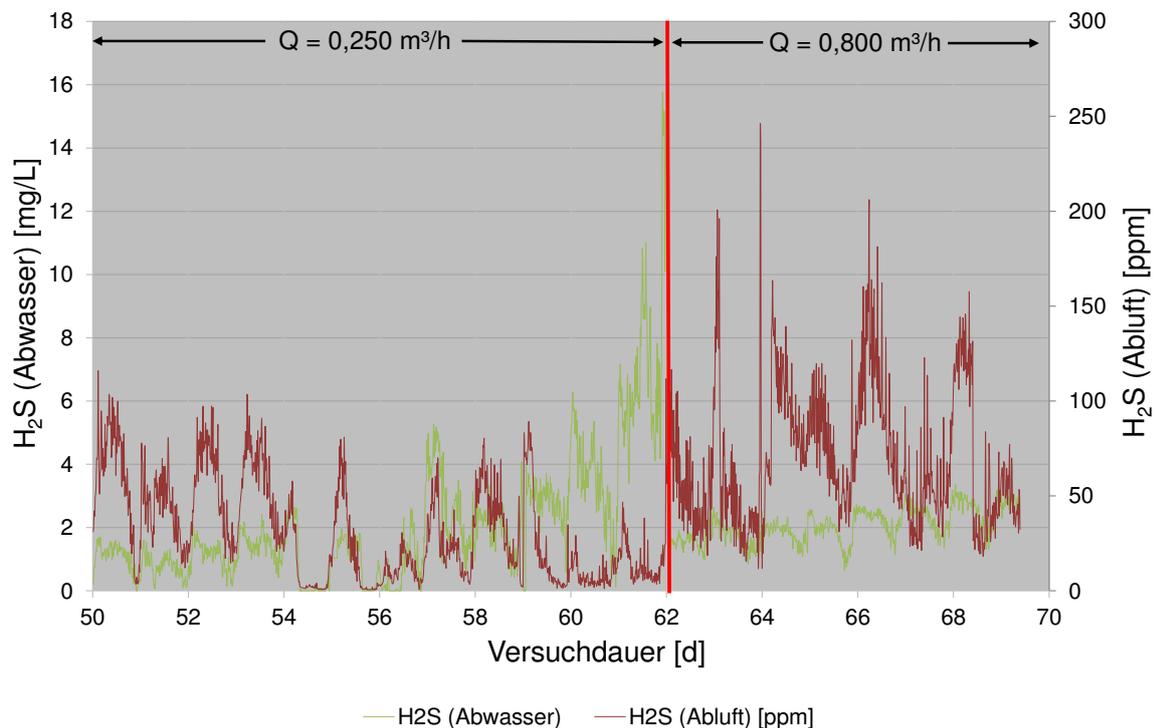


Bild 11: H₂S-Konzentration in Abwasser und Abluft in Abhängigkeit zum Durchfluss. Mit zunehmenden Durchfluss steigt die Konzentration des H₂S in der Abluft und sinkt im Abwasser

Mit den Batchtests konnte festgestellt werden, dass der gemessene Volumenprozentanteil in der Blindprobe doppelt so hoch war wie in den anderen Batchansätzen mit Impfschlamm. Somit sollte nicht nur sessile Biomasse betrachtet werden, sondern auch frei schwebende, da hier das Nährstoffangebot deutlich besser ist. Entgegen der Literatur waren die Produktionsraten aus Versuchen mit Sielhaut nicht höher als bei den Versuchen mit Sediment. Die Erträge sind ähnlich einzuordnen, wobei die mikrobielle Masse im Sediment länger aktiv war.

4 Betriebsorientierte Untersuchungen

Neben den wissenschaftlichen Untersuchungen in Kanalteststrecken zur Ablagerungsbildung und der zeitlichen Veränderung der Ablagerungseigenschaften wurden betriebsorientierte Untersuchungen vom IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur durchgeführt. Der Praxisbezug wurde durch Betreiber-Workshops, begleitete Reinigungseinsätze, Betreiberinterviews und –umfragen sichergestellt. Im Ergebnis liegen Arbeitshilfen für die Einführung und die Umsetzung der bedarfsorientierten Kanalreinigung vor.



Bild 12: Betriebsorientierte Untersuchungen, z.B. Workshops, Interviews, Umfragen, Messungen, Begleitung und Analyse von Reinigungseinsätzen etc.

4.1 Kanalreinigungsmanagement wird zum Standard

Während der Projektbearbeitung ist die neue europäische Norm DIN EN 14654 Teil 1 zu Management und Überwachung von Kanalreinigungsarbeiten erschienen (vgl. Bild 13 DIN EN 14654 (2014)). Nach der europäischen Norm sollen Netzbetreiber ihr strategisches Vorgehen in einem „Reinigungsplan“ beschreiben und in einem „Reinigungsprogramm“ konkrete Reinigungsmaßnahmen daraus ableiten. Den Rahmen dafür bildet das theoretische Fließschema aus der Euro-Norm 752, welches im Sinne eines Prozessmodells anzuwenden ist (vgl. Bild 13). Danach sollen vorausschauende Reinigungseinsätze verstärkt nach den Prinzipien eines Kanalmanagements zu planen sein, das heißt aufgrund von Untersuchungsergebnissen bzw. Soll-Ist-Vergleichen gegenüber den Leistungsanforderungen der DIN EN 752. Durch den iterativen Prozess soll eine Ausrichtung der Reinigungsplanung an den festgestellten Bedarf erreicht werden.

NEU: EN 14654-1

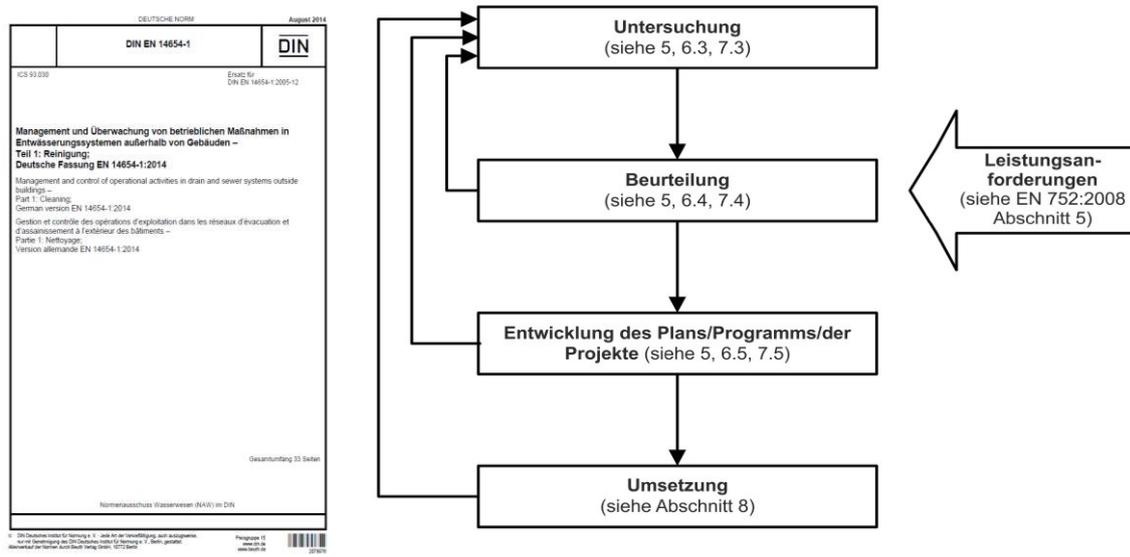


Bild 13: . Fließschema des integralen Kanalmanagements nach DIN EN 752 zur Anwendung bei der Kanalreinigung nach der neuen DIN EN 14654-1 (08/2014)

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurden diese allgemeinen Anforderungen der DIN EN 14654-1 an das Management von Kanalreinigungsarbeiten für die praktische Anwendung in ein anwendungsorientiertes Prozessmodell übersetzt (vgl. Bild 14).

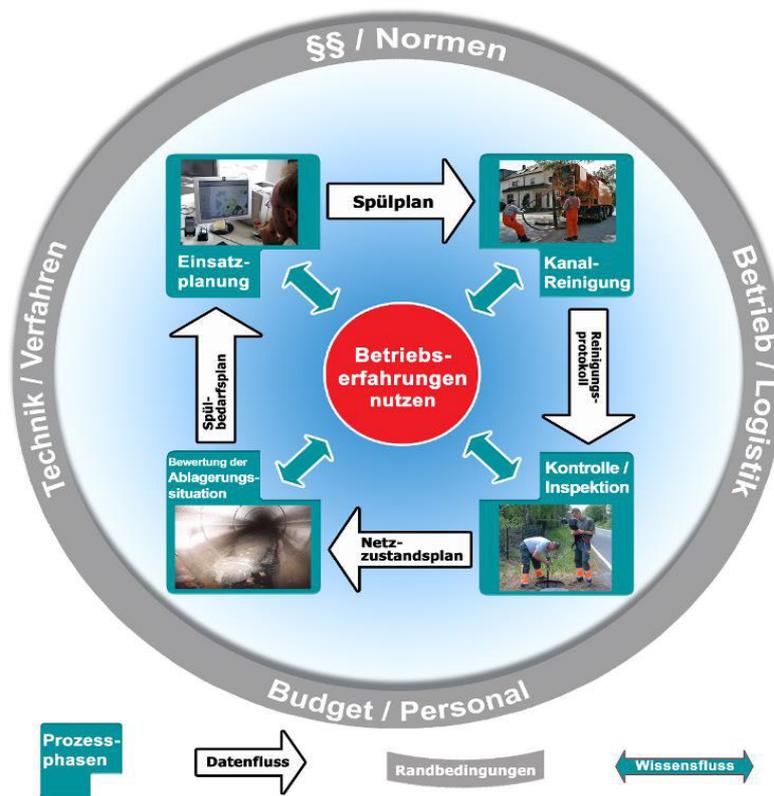


Bild 14: Prozessmodell „Bedarfsorientierte Kanalreinigung“ unter Berücksichtigung der Anforderungen an ein Kanalreinigungsmanagement gemäß EN 14654-1.

Für die Einführung und Umsetzung der zentralen Prozessphasen „Einsatzplanung“, „Kanalreinigung“, „Kontrolle/Inspektion“ sowie „Bewertung der Ablagerungssituation“ wurden im Projekt modulare Maßnahmenpläne und Arbeitshilfen erarbeitet. Die beeinflussbaren Stellschrauben für Kanalbetriebsmanager, die eine Neuausrichtung des Kanalreinigungsmanagements im Hinblick auf die Anforderungen der DIN EN 14654-Teil umsetzen, sind die drei Bereiche:

- Organisation
- Sachmittel
- Personal

Im Projekt wurden die für den Strategiewechsel bei der Reinigung notwendigen Maßnahmen zusammengetragen und beschrieben, bis hin zu Kostenschätzungen für die Umsetzung der Maßnahmen. Nachfolgend wird ein kurzer Überblick zu dem auch modular anwendbaren Maßnahmenplan dargestellt.

4.2 Organisation

Der Maßnahmenbereich **Organisation** bildet die Grundlage für den Strategiewechsel und betrifft Fragen der Aufbau- und Ablauforganisation sowie der Kosten und Kommunikation.

Zu Beginn des Strategiewechsels zur Bedarfsorientierten Kanalreinigung müssen alle im Kanalbetrieb für die Kanalreinigung wichtigen **Prozesse erfasst** und Abhängigkeiten identifiziert werden. Darauf aufbauend können dann gezielt einzelne Prozesse (z.B. Arbeitsabläufe) beschrieben werden. Als Grundlage kann das dargestellte Prozessmodell dienen. So lassen sich mögliche Synergien erkennen und Strukturen anpassen. Es empfiehlt sich zum Ende der Konzeptionierungs- und Einführungsphase nochmals die erfassten Prozesse zu beschreiben, um damit weitere Optimierungspotenziale zu identifizieren.

Ausgehend von der Prozessbeschreibung muss insbesondere eine **Kostenbetrachtung** für den Strategiewechsel durchgeführt werden. Einsparpotenziale sind zu ermitteln und Vorgehensvarianten direkt miteinander zu vergleichen. Als Arbeitshilfe wurde im Projekt ein Excel-Berechnungsschema entwickelt. Die Kostenbetrachtung stellt eine wesentliche Grundlage für die Entscheidungsvorbereitung für Fachgremien und Entscheider dar. Es empfiehlt sich, in definierten Zeitabständen die Kostenbetrachtung zu prüfen und ggf. anzupassen. Hierzu gehört insbesondere die individuelle Ausarbeitung des Maßnahmenplans mit Zuordnung von Verantwortlichkeiten sowie Leistungs- und Terminzielen. Im Projekt wurde hierzu eine Beispielvorlage erstellt (vgl. Bild 15).

Aufgaben und Anforderungen, die durch die neuen Prozesse an die Mitarbeiter gestellt werden, fortlaufend zu prüfen und ggf. anzupassen.

Einen besonderen Stellenwert im Rahmen jeder Umstrukturierungsmaßnahme im Betrieb hat die **Kommunikation bzw. die Einbindung der Mitarbeiter**. Mitarbeiter sollten mit Beginn der Konzeptionierungsphase des Strategiewechsels in alle Überlegungen eingebunden werden. Das Einbringen ihrer spezifischen Erfahrungen (vor allem im Umgang mit dem jeweiligen Kanalnetz und der zur Verfügung stehenden Technik) kann zum Erfolg des Strategiewechsels beitragen. Zusätzlich wird durch die fortlaufende Einbindung der Mitarbeiter (z.B. in Form wöchentlicher Gesprächsrunden) die Akzeptanz für die Umstrukturierung erhöht.

4.3 Sachmittel

Im Bereich „Sachmittel / Dritte – Beschaffung“ wurden Arbeitsmaterialien und Instrumente betrachtet, die bei dem Strategiewechsel helfen können und den möglichen Erfolg der bedarfsorientierten Kanalreinigung unterstützen. Dabei stehen besonders die Datenerfassung und das Datenmanagement sowie die Leistungsfähigkeit der eingesetzten Reinigungstechnik im Vordergrund.

Der Erfolg der Kanalreinigung hängt wesentlich von der Leistungsfähigkeit der eingesetzten Fahrzeuge ab, die im Rahmen eines im Projekt weiter entwickelten **Fahrzeug-Checks** wirkungsvoll überprüft werden kann. Als Zeitpunkt für die erstmalige Überprüfung bietet sich bereits die Konzeptionierungs- und Einführungsphase an, da hier bereits wesentliche Grundlagen für die Planung des Fahrzeugeinsatzes und für die Schulung des Personals erarbeitet werden. Das Prüfprogramm und Fallbeispiele sind im Langbericht zu diesem Projekt dargestellt (Land Nordrhein-Westfalen (2015)).

Als **Instrumente zur Bewertung der Ablagerungssituation** im Kanal können z.B. Schachtkameras und Kanalspiegel eingesetzt werden. Es empfiehlt sich, diese Instrumente bereits zu Beginn der Konzeptionierungsphase anzuschaffen, um frühzeitig die Datengrundlage verbessern zu können. Eine Marktübersicht und Hinweise zur Beschaffung wurden im Projekt erarbeitet (vgl. Land Nordrhein-Westfalen (2015)).

EDV-Systeme können für den Strategiewechsel von besonderer Bedeutung sein. Als Arbeitshilfe wurden im Projekt **Marktübersichten zu „Betriebsführungssystemen“ und „Kanalinformationssystemen“** erstellt. Diese werden durch Herstellerangaben zu den empfohlenen mobilen Datenaufnahmegeräten ergänzt. So können frühzeitig und effizient Daten erhoben und im System hinterlegt werden. Allerdings sind vor Beschaffung bzw. Einführung eines solchen Systems die Anforderungen

detailliert zu spezifizieren. Außerdem sollten Leistungspotenziale und –grenzen der Produkte im Rahmen von Programmtests hinterfragt werden. Die Marktübersichten „Betriebsführungssysteme“ und „Kanalinformationssysteme“ geben Einstiegsinformationen. Darüber hinaus ist ein Ablaufschema für die Anschaffung von EDV-Systemen als Arbeitshilfe verfügbar gemacht worden.

Im Verbund mit Betriebsführungssystemen (EDV-Unterstützung) werden häufig auch **mobile Datenerfassungsgeräte** eingesetzt. Sie erleichtern die Datenaufnahme durch das Betriebspersonal und die Datenübertragung an die Betriebsführung. Auf Papierunterlagen kann so i.d.R. komplett verzichtet werden, dies zeigten auch begleitete Fallbeispiele bei den Abwasserbetrieben (vgl. Land Nordrhein-Westfalen (2015)). Häufig empfehlen Hersteller von Betriebsführungssystemen speziell angepasste mobile Geräte, die an die besonderen Anforderungen des jeweiligen EDV-Systems angepasst sind. Einführung bzw. Beschaffung der mobilen Hilfsmittel sollten mit der Anschaffung des EDV-Systems einhergehen.

Zur **Bearbeitung von Störfällen** und Bürgerbeschwerden sind einerseits geeignete Prozesse und andererseits strukturierte Methoden zur Datenaufnahme zu entwickeln. Hier helfen beispielsweise ein zusätzliches Modul im Betriebsführungssystem sowie eine festgelegte Vorgehensweise für die Aufnahme und Bearbeitung der Störfälle. Zur Strukturierung und Unterstützung der Tätigkeiten können ein Ablaufschema für die Störfallaufnahme und ein Störfallkatalog mit Handlungsempfehlungen als Ergebnis aus dem vorliegenden Projekt herangezogen werden.

4.4 Personal

Gut geschultes Personal ist die wichtigste Voraussetzung für die Einführung einer neuen Reinigungsstrategie. Weiterbildungen und Schulungen betreffen den Umgang mit neuen Arbeitsmitteln, -situationen und -abläufen.

Mit Einführung einer bedarfsorientierten Reinigungsstrategie wird vor allem vom **Betriebspersonal** ein hohes Maß an Aufmerksamkeit und Sorgfalt bei der Datenaufnahme gefordert. Vor der Kanalreinigung sollte die Ablagerungssituation dokumentiert werden, um eine Fortschreibung und Überprüfung der Ablagerungsentwicklung vornehmen zu können. Ebenso sind Störfälle zu betrachten und Haltungsweise in die Historie mit aufzunehmen. Eine standardisierte Datenaufnahme kann hier unterstützen, z.B. über einheitliche Protokollvorlagen sowie (Risiko-) Bewertungen für die Ablagerungssituation. Es empfiehlt sich in der Konzeptionierungsphase möglichst früh mit der Einführung solcher Standards zu beginnen. Diese können dann fortlaufend an die sich ändernde Struktur des Kanalbetriebs angepasst werden und

so weitere Orientierung geben (z.B. Datenaufnahme und Übergabe ins EDV-System). Darüber hinaus sind Schulungen zur Werkzeugauswahl (insbesondere Hochdruckdüsen) für unterschiedliche Ablagerungs- und Einsatzarten empfehlenswert. Neueinsteiger mit wenig Praxiserfahrungen sollten gezielt auf die Fahrzeugbedienung, -pflege und -wartung vorbereitet werden.

Eine Protokollvorlage für die einheitliche Datenaufnahme wurde im Projekt entwickelt. Die Bewertung der Ablagerungssituation erfolgt auf Grundlage von betriebs-spezifischen Randbedingungen, zusätzlich wurde im Projekt ein Störfallkatalog entwickelt. Im Ergebnis liegen damit Arbeitshilfen in Form eines Muster-Protokolls für die Datenaufnahme, einer Risikomatrix für die Bewertung der Ablagerungssituation sowie der Störfallkatalog vor.

Zum Erfolg des Strategiewechsels trägt der zielgerichtete und effektive Einsatz von EDV-Systemen durch den **Sachbearbeiter für die Spülplanung** entscheidend bei. Anforderungen an das System sind festzulegen (vgl. Land Nordrhein-Westfalen (2015) Abschnitt 6.4.3) und Verantwortlichkeiten für die Auswahl einer geeigneten Betriebsführungssoftware festzulegen. Neben der ersten Vorauswahl eines Systems sollten von den verantwortlichen Mitarbeitern auch die Testphasen betreut, Lehrgänge für den Umgang mit der Software besucht und Wissen an andere Kanalbetriebsmitarbeiter weitergegeben werden. Diese anspruchsvolle Aufgabe erfordert ein hohes Maß an Spezialisierung, den ständigen Austausch mit EDV-Herstellern sowie den Abgleich mit den Interessen des Kanalbetriebs. Daher empfiehlt es sich, entsprechende Mitarbeiter über den gesamten Zeitraum der Konzeptionierung und Einführung mit dieser Aufgabe zu betrauen. Im Ergebnis sollte der Spülplan auch bauwerkspezifische Informationen (Neubau, Bestand, sanierter Kanal) berücksichtigen, um eine schonende und effiziente Kanalreinigung planen zu können. So sollten bspw. der Druck und Durchfluss der Reinigungsdüse in Abhängigkeit des baulichen Zustandes begrenzt werden. Ebenso sollten Kenntnisse über frühere Vorkommnisse oder Störfälle, z. B. Ausblasungen von Geruchsverschlüssen, in die Einsatzplanung einfließen. Ggf. sind an kritischen Stellen im Kanalnetz die Betriebsparameter entsprechend anzupassen.

Die Forderung aus der europäischen Norm DIN EN 752 nach einem integralen Kanalmanagement soll durch die neue DIN EN 14654 Teil 1 auch für die Kanalreinigung zur allgemein anerkannten Regel der Technik werden. Für den Strategiewechsel müssen verantwortliche „**Kanalbetriebsmanager**“ jedoch die neuen Ziele, Prozesse und Aufgaben kommunizieren, vermitteln und für alle Mitarbeiter verständlich gestalten. Nur so kann der Strategiewechsel gelingen und von allen Mitarbeitern

mitgetragen werden. Kanalbetriebsmanager überblicken hierzu die Betreiberpflichten, d.h. Überwachen, Dokumentieren, Instandhalten. Sie gestalten zuverlässige Betriebsprozesse mit Blick auf Reinigung, Inspektion und ggf. auch Reparatur. Sie stellen insbesondere die technische Qualität sicher, z.B. hinsichtlich der eingesetzten Geräte und Fahrzeuge. Und sie kommunizieren erfolgreich, mit Politik und Bürger. Schließlich setzen sie die verfügbaren Mittel verantwortungsbewusst ein. Aktuelle Fortbildungsangebote setzen hier an, so z.B. zum „IKT-Zertifizierter Kanalbetriebsmanager“.

4.5 Arbeitshilfen für den Strategiewechsel

Für die oben beschriebenen Maßnahmen im Bereich Organisation, Sachmittel und Personal wurden im Projekt praxisorientierte Arbeitshilfen erarbeitet und auf der Internetplattform des IKT unter dem Link www.ikt.de/kanalreinigung zum Download bereitgestellt (Benutzer: Erfahrungskreis; Passwort: Kanalbetrieb). Für die Ablagerungsbewertung wurden beispielsweise die Risikobetrachtungen zur Verkürzung oder Verlängerungen von Reinigungsintervallen einmal anschaulich in einer Schemaskizze dargestellt (Bild 16).

Auswirkung	Risikobewertung				
	unkritisch	kritisch	überfällig		
groß	grün	blau	blau	rot	rot
	grün	grün	blau	rot	rot
mittel	grün	grün	blau	rot	rot
	grün	grün	blau	rot	rot
gering	grün	grün	blau	blau	rot
	grün	grün	blau	blau	rot

Situation im Kanal

Bild 16: Ablagerungsbewertung, schematische Risikobetrachtung, grün-Intervalllängerung, blau – Intervallbeibehaltung, rot – Intervallverkürzung

Neben Arbeitshilfen und -materialien werden auch Beispiel-Präsentationen von Netzbetreibern zur Verfügung gestellt. Diese können z.B. für Weiterbildungsmaßnahmen des eigenen Personals genutzt werden. Die Protokollvorlagen und Arbeitshilfen helfen insbesondere bei der Konzeptionierung und Einführung und sollten mit dem Betriebspersonal gemeinsam entsprechend den örtlichen Gegebenheiten weiterentwickelt werden.

Die nachfolgende Tabelle 1 fasst die zum Download bereitstehenden Arbeitshilfen zusammen.

Tabelle 1: Überblick Materialsammlung

Arbeitshilfe	Download-Pfad (www.ikt.de/web-site/kanalreinigung/...
Protokoll Kanalreinigung	p_kanalreinigung.pdf p_kanalreinigung.dot
Risikomatrix – Bewertung der Ablagerungssituation	bewertung_der_ablagerung.pdf
Marktübersicht Schachtkamerasysteme	schachtkameras.pdf
Marktübersicht Betriebsführungssysteme	betriebsführungssysteme.pdf
Marktübersicht Kanalinformationssysteme	kanalinformationssysteme.pdf
Ablaufschema-Anschaffung EDV-System	edv_anschaffung.pdf
Datenaufnahme-Formular-Störfall	protokoll_stoerfall.pdf protokoll_stoerfall.dot
Ablaufschema-Störfall- und Beschwerdemanagement	stoerfall_ablauf.pdf
Arbeitshilfe-Störfallkatalog	stoerfallkatalog.pdf
Modularer Maßnahmenplan	mod_maßnahmenplan.pdf mod_maßnahmenplan.xls
Einsparpotenzial-Berechnungshilfe	einsparpotenzial.xls
Einsparpotenzial-Betreiberprofile	beispiele_einsparpotenzial.xls

Ein Argument, um den Strategiewechsel zur bedarfsorientierten Kanalreinigung intern und extern bei verschiedenen Zielgruppen zu rechtfertigen, sind Kostenvergleichsrechnungen. Die Frage in Entscheidungsgremien ist dabei oft: Wie entwickeln sich die Kosten mit der neuen Strategie und wie ist es, wenn man das bisherige Vorgehen beibehält?

Im Projekt wurde daher eine Einsparpotenzial-Berechnungshilfe erarbeitet. Zunächst wurden dafür die wesentlichen kostenverursachenden Umsetzungsmaßnahmen zusammengetragen. Sämtliche Maßnahmen in der Konzeptionierungs- und Einführungsphase einer Bedarfsorientierten Kanalreinigung können dabei in eine der drei folgenden Maßnahmenbereiche gruppiert werden:

1. Organisation / Entwicklung
2. Sachmittel und Dritte / Beschaffung
3. Personal / Weiterbildung

Diese Maßnahmenbereiche sind die entscheidenden Stellschrauben für den Strategiewechsel zur bedarfsorientierten Kanalreinigung. Im Projekt wurden für alle drei Bereiche die wesentlichen kostenverursachenden Umsetzungsmaßnahmen zusammengetragen (vgl. Bild 17).

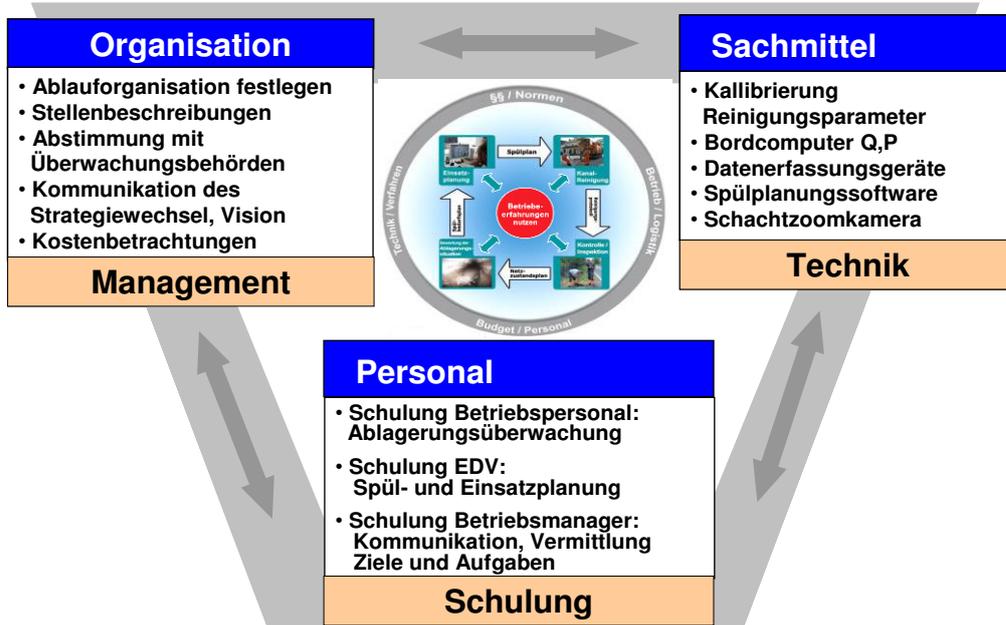


Bild 17: Maßnahmen zur Konzeptionierung und Einführung der bedarfsorientierten Kanalreinigung in den Bereichen: Organisation, Sachmittel und Personal

Zur vergleichenden Ermittlung von Einsparpotenzialen wurde darüber hinaus eine Arbeitshilfe in Form eines Excel-Sheets entwickelt. Darin sind alle wesentlichen Kostenträger in den drei Maßnahmengruppen Organisation, Sachmittel und Personal dargestellt. Netzbetreiber können in die Arbeitshilfe eigene, betriebsinterne Kostewerte eintragen und so einen Überblick über die Kosten der betrachteten Strategie erhalten. Bei Betrachtung mehrere Strategien ist so ein direkter Vergleich möglich. Als Haupt-Betrachtungszeitraum wird eine Periode von 15 Jahren angesetzt (z.B. Wiederholungsinspektion); eine längere Betrachtung ist aber grundsätzlich möglich und auch im Excel-Sheet berücksichtigt. Die Berechnungen weisen nach, dass nennenswerte Einsparungen erwartungsgemäß überwiegend für Betreiber mit größerer Netzlänge zu erwarten sind, da hier der Planungsaufwand und die fixen

Investitionskosten für den Strategiewechsel einem größeren Betriebskostenvolumen gegenüberstehen, welches im Zuge der Intervallverlängerung anteilig reduziert werden kann.

5 Zusammenfassung

Angesichts des steigenden Kostendrucks auf die Kommunen und der hohen Kosten, die Kanalnetzbetreibern durch regelmäßige Reinigungsmaßnahmen entstehen, ist das Interesse an der Einführung bedarfsorientierter Reinigungsstrategien bei den Netzbetreibern groß. Die Vielzahl der verschiedenen Möglichkeiten zur Umsetzung sowie die Sorge um den störungsfreien Funktionserhalt der Kanalisation sind jedoch Gründe dafür, dass bisher nur wenige Kanalnetzbetreiber bedarfsorientierte Reinigungsstrategien umgesetzt haben.

Da bisher nur wenige Erkenntnisse über die Auswirkungen veränderter Reinigungsstrategien auf die Ablagerungssituation im Kanalnetz vorliegen, wurden im Forschungsprojekt verschiedene praktische Versuche durchgeführt. Ziel war es, die Prozesse der Ablagerungsbildung, insbesondere die Geschwindigkeit, mit der Ablagerungen anwachsen, näher zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurde auf der vom Ruhrverband betriebenen Kläranlage Bochum-Ölbachtal eine Kanaltteststrecke (3 Rohre mit je 10 m Länge und 300 mm Durchmesser) errichtet, die es ermöglichte, unter realitätsnahen Bedingungen die Bildung, das Wachstum und die Erosion von Kanalablagerungen zu beobachten. Zusätzlich wurden Versuche im Labormaßstab durchgeführt, in denen die Erosion von Sedimenten sowie Einflüsse auf die Schwefelwasserstoffbildung untersucht wurden.

Im Rahmen der von März bis November 2011 andauernden Untersuchungen während der Phase 1 des Forschungsprojektes wurde im Betrieb der Kanaltteststrecke festgestellt, dass es bereits nach wenigen Tagen in einem Kanalrohr zu erheblichen Ablagerungshöhen kommen kann, die nach SüwVO Abw NRW (2013) eine Reinigung erfordern würden. Da punktuelle Ablagerungshöhen zeitlich auch bei konstanten Durchflüssen stark schwankten, waren derartige Spitzen in der Regel nur von kurzer Dauer. Die absolute Menge an Ablagerungen in den Versuchsrohren stieg bei Versuchen mit einem Gefälle von $I = 1 ‰$, einer äquivalenten Sandrauheit von $k = 0,4 \text{ mm}$ und einem Durchfluss von $Q = 2 \text{ L/s}$ innerhalb der ersten 30 Tage im Mittel langsam auf ca. $2,3 \text{ L/m}$ an. Dabei wurde beobachtet, dass die tägliche Zunahme der Ablagerungsmenge mit zunehmender Versuchsdauer abnahm. Bei der längsten durchgeführten Versuchsreihe mit einer Versuchsdauer von 5 Monaten wurde nach etwa 70 Tagen ein Maximum der Ablagerungsmenge erreicht (Bild 3).

Anschließend wechselten sich Phasen mit Zunahme und Abnahme der Ablagerungsmenge ab, so dass von einem Gleichgewichtszustand gesprochen werden kann. Die Ablagerungsdynamik wird jedoch sehr stark durch Niederschläge beeinflusst. Auch wenn bei Regen bereits gebildete Ablagerungen erodiert und aus dem Kanalnetz ausgetragen werden, kann Niederschlag durch den vermehrten Feststoffeintrag in das Kanalnetz auch zu einer Erhöhung der Ablagerungen im Kanalnetz führen, welche dann bei Trockenwetter (unter Voraussetzung einer ausreichenden Transportkapazität) langsam wieder abgetragen werden.

Zusätzlich wurden im Rahmen der Phase 2 weitere Versuche im Zeitraum von Juli 2014 bis April 2015 durchgeführt. Bei diesen Versuchen wurde neben der bisher untersuchten äquivalenten Sandrauheit $k_s = 0,4$ mm, auch $k_s = 0,635$ mm untersucht. Dies entspricht den Werten eines alternden Betonrohres. Des Weiteren wurde eine verfugte Natursteinfliese ($k_s \approx 1,25$ mm) in einem Testrohr verlegt. Bei Untersuchungen zur Ablagerungsdynamik bei dynamischem Tagesgang des Zulaufs in die Testrohre bei einem Gefälle von 1 ‰ und untersuchten äquivalenten Sandrauheiten von 0,4 – 1,25 mm wurden in allen Testrohren im Mittel bis zu doppelt so hohe Ablagerungsmengen je Meter Rohr (vgl. Bild 5) festgestellt, wie durch eine konstante Beschickung bei gleichen Randbedingungen.

In einem weiteren Versuchsprogramm ($I_s = 1$ ‰, $Q = 2$ L/s, $k_s = 0,4 - 1,25$ mm, Versuchsdauer 30 d) wurde der Einfluss eines Hindernisses auf die Ablagerungsbildung untersucht. Das Hindernis führte innerhalb eines Tages zu Ablagerungsmengen von bis zu 4 L/m. Nach etwa 15 Tagen stellte sich eine konstante Menge von etwa 15 L/m ein. Dies zeigte die starken Auswirkungen eines Hindernisses auf die Entstehung von Ablagerungen und der hydraulischen Einschränkung des Querschnittes. Nach etwa der Hälfte der Versuchsreihe (Versuchstag 17) wurden die Hindernisse aus den Versuchsröhren entfernt, um zu testen, ob es genügt, das Hindernis zu beseitigen oder ob eine Reinigung nötig ist. Bei den Versuchsröhren mit einer Rauheit von 0,4 und 0,635 mm reduzierte sich innerhalb eines Tages die Ablagerungsmenge auf 2,5 L/m. Bei der Natursteinfliese mussten die Ablagerungen zunächst mechanisch aufgelockert werden, bevor diese ausgespült wurden.

Die Versuche an der Kanalteststrecke belegten die These, dass der Erosionswiderstand von Sedimenten mit steigender Sedimentationsdauer steigt. Die aus den Versuchen an der Kanalteststrecke gewonnenen Werte zur Lösung der Verfestigungen waren mit rund 0,2 bis 0,8 N/m² allesamt gering. Um die Datengrundlage durch Laboruntersuchungen weiter auszubauen, wurden Erosionsmessgeräte angefertigt und kalibriert. Versuche mit unterschiedlichen Sedimenten und verschiedenen Se-

dimentationsdauern bestätigten den oben genannten Einfluss der Ablagerungsdauer auf die Verfestigung der untersuchten Kanalschlämme. Das Ausmaß der Verfestigung war in den Versuchen jedoch sehr gering und die Werte unterlagen großen Schwankungen. Eine lineare Approximation der Messwerte ergab einen Anstieg von anfangs $0,5 \text{ N/m}^2$ auf rund 2 N/m^2 nach 100 Tagen. Die meisten Messwerte lagen unterhalb von 1 N/m^2 . Es ist nicht zu erwarten, dass mineralische Sedimente (ohne das Vorhandensein von ungewöhnlich großen Mengen von Fett oder Bindemitteln) sich so verkrusten, dass sie durch eine Hochdruckreinigung nicht entfernt werden könnten.

Anhand eines mit Abwasser durchflossenen Versuchsrohrs konnte zudem gezeigt werden, dass bereits wenige Tage nach einer gründlichen Reinigung Schwefelwasserstoffkonzentrationen sowohl im Abwasser als auch in der Luft gemessen werden konnten. Diese lagen im Bereich von 1 - 10 ppm und waren somit relevant für biogene Schwefelsäurekorrosion. Mit zunehmender Temperatur ($> 15^\circ\text{C}$) konnten stark ansteigende Konzentrationen gemessen werden. Diese lagen nach einer Versuchsdauer von 50 Tagen im Mittel bei 45 ppm ($0,06 \text{ mg}_{\text{H}_2\text{S}}/\text{L}$) in der Abluft und bei $2,0 \text{ mg}_{\text{H}_2\text{S}}/\text{L}$ im Abwasser. Zusätzlich wurden die Untersuchungen durch Batchversuche mit unterschiedlichen Sedimenten erweitert. Hierbei stellte sich heraus, dass bei den untersuchten Proben in etwa gleich viel Schwefelwasserstoff ($0,086 - 0,107 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$) aus Ablagerungen wie aus der Sielhaut entstand. Bei den durchgeführten Batchversuchen, welche mit identischen Abwasser wie im Versuchsrohr angesetzt wurden, wurden H_2S -Konzentrationen von bis zu 17 ppm gemessen.

Die zusammengetragenen Erfahrungen von Abwasserbetrieben, die sich mit der Überwachung von Ablagerungen in der Kanalisation systematisch beschäftigt haben, unterstützen in vielen Fällen den strategischen Ansatz bedarfsorientierter Reinigungskonzepte. Die Abwasserbetriebe berichten, dass für sehr viele Einzugsgebiete einer Verlängerung von Reinigungsintervallen oft nichts im Wege steht, insbesondere wenn dort keine baulichen Besonderheiten vorliegen. Dabei ist der Weg von der präventiven Systemreinigung zu einer bedarfsorientierten Kanalreinigung jedoch als langfristiger Prozess zu planen. Wie kann der Strategiewechsel zur bedarfsorientierten Kanalreinigung jedoch unterstützt werden? Im Projekt wurden die wesentlichen Stellschrauben erkannt, sie liegen im Bereich der Organisation, der Sachmittel und der Schulung des Personals.

Die Schulung des Betriebspersonals ist für Netzbetreiber ein zentrales Handlungsfeld zur Förderung des Strategiewechsels. Hier muss der neue Ansatz vermittelt werden, dass das Unternehmensziel nicht mehr Maximierung der geleisteten Meter Kanalreinigung pro Zeiteinheit ist, sondern viel mehr die vorsorgende Überwachung

des Kanalnetzes mit Blick auf die Schutzziele Gewässerschutz, Betriebssicherheit und Hygiene. Das Sammeln von Betriebswissen kann erleichtert werden, wenn standardisierte Dokumentvorlagen genutzt werden. Im Projekt wurden hierzu Arbeitshilfen erarbeitet, z.B. für Protokollierung der Kanalreinigung und für die Katalogisierung von Störfällen.

Da für die bedarfsorientierte Kanalreinigung viele Überwachungsdaten auch halbtagsbezogen gesammelt werden, müssen in der Regel auch Datenbanken und Betriebsführungssysteme angepasst oder neu eingeführt werden. Daher besteht auch Fortbildungsbedarf im Bereich der EDV-Anwendungen. Von der Leitungsebene müssen neue Ziele, Prozesse und Aufgaben mit Politik, Personal und Bürgern kommuniziert werden. Im Projekt wurde die Struktur für eine Fortbildung zum „Kanalbetriebsmanager“ entwickelt und aktuelle Fortbildungsangebote sind bereits verfügbar.

Die zweite Stellschraube sind Investitionen in geeignete Sachmittel. Im Projekt wurden Arbeitsmaterialien und Instrumente zusammengetragen, die bei einem Strategiewechsel helfen können. Für Kanalreinigungsfahrzeuge wurde ein Fahrzeug-Check entwickelt, der die Leistungsfähigkeit der Pumpe und die Abstimmung auf Schlauch und Düse sichtbar macht. Der Fahrzeug-Check steht Abwasserbetrieben nun zur Verfügung, um die technischen Voraussetzungen für eine schonende und wirksame Kanalreinigung für ihren Betrieb prüfen zu können.

Für die Instrumente zur Ablagerungsbewertung, für mobile Datenerfassungsgeräte und für Spülplanungstools, ggf. mit Störfallmanagement, wurden Marktübersichten als Arbeitshilfe erstellt. Die Übersichten geben wichtige Einstiegsinformationen. Ein Ablaufschema für die Anschaffung von EDV-Systemen ist auf Basis der Erfahrungen von einigen Abwasserbetrieben entstanden, die in diesem Bereich bereits vorgegangen sind und einiges an „Lehrgeld“ zahlen mussten.

Mit Blick auf die Organisation zeigen die Erfahrungen von Abwasserbetrieben, dass bei dem Strategiewechsel alle Beteiligten frühzeitig und wiederholend einzubinden sind. Eine wiederholte Kommunikation über Ziele, Motive und Visionen ist für einen Strategiewechsel unabdingbar. Eine neue Ablauforganisation ist im Dialog mit den Mitarbeitern zu entwickeln und die neue Vorgehensweise ist auch genauso frühzeitig im Austausch mit den Überwachungsbehörden festzulegen. Die Kostenbetrachtungen nehmen im Maßnahmenpaket Organisation einen zentralen Stellenwert ein. Sie sind Grundlage für die Kommunikation des Strategiewechsels sowohl intern als auch extern in politischen Gremien und Presseziikeln.

Die im Projekt erarbeiteten Berechnungsbeispiele für verschiedene Szenarien können als Arbeitshilfe dienen (vgl. Übersicht Arbeitshilfen). Allein mit Blick auf die Kosten lohnt sich die Einführung der bedarfsorientierten Kanalreinigung nicht für jeden Netzbetreiber. Berechnungen zeigten, dass gerade für kleine Kommunen mit Kanalnetzlängen deutlich unter 100 Kilometern, die bedarfsorientierte Kanalreinigung kaum Kostenvorteile bringt und im Einzelfall kann die Überwachung der Ablagerungen sogar die Kosten erhöhen. Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang, dass die Investitionskosten sehr kurzfristig, die Einsparpotenziale aber erst nach einer längeren Betriebsphase (ca. 10 Jahre, wegen Datenerhebung als Basis für Intervallverlängerung) realisiert werden. Organisationsänderungen können damit i.d.R. ohne besonderen Druck allein im Rahmen üblicher Organisationsanpassungen, d.h. altersbedingtes Ausscheiden von Mitarbeitern, Aussetzen von Ersatzbeschaffungen bei Fahrzeugen, umgesetzt werden.

Im Gesamtblick bleibt festzuhalten, dass Netzbetreiber, die eine bedarfsorientierte Kanalreinigung auf Basis von Ergebnissen aus Ablagerungsinspektionen in einem wiederkehrenden Prozess planen und umsetzen, die neue Strategie häufig als betriebssicherer, rechtssicherer und auch wirtschaftlicher bewerten. Jedoch weisen die Untersuchungen darauf hin, dass eine nennenswerte Einsparung überwiegend nur für Betreiber mit größerer Netzlänge zu erwarten ist, da hier der Planungsaufwand und die fixen Investitionskosten einem größeren Betriebskostenvolumen gegenüberstehen, welches im Zuge der Intervallverlängerung anteilig reduziert werden kann. Abschließend kann konstatiert werden: Auch die neue DIN EN 14654 – Teil 1 sieht in der Kanalreinigung einen wichtigen Betriebsprozess im Kanalbetriebsmanagement und fordert inzwischen ein organisatorisches Vorgehen im Sinne der bedarfsorientierten Kanalreinigung.

Die praktischen Versuche lassen darauf schließen, dass die Entscheidung über eine Kanalreinigung nicht aufgrund einer Momentaufnahme des Ablagerungszustandes erfolgen sollte, da die Ablagerungsmengen bedingt durch Niederschläge und andere Einflüsse starken Schwankungen unterliegen. Vielmehr sollten regelmäßige Inspektionen durchgeführt werden, die dabei helfen, den charakteristischen Zustand einer Kanalhaltung und deren Ablagerungen über längere Zeiträume zu bestimmen, so dass angepasste Reinigungsintervalle festgelegt werden können. Reinigungsintervalle dürfen nicht beliebig groß gewählt werden, da (wenn auch langsam) die Festigkeit der Ablagerungen und somit der erforderliche Reinigungsaufwand steigt. Die Bildung von Schwefelwasserstoff spielt für die Planung der Reinigungsintervalle eine untergeordnete Rolle, da der positive Effekt einer Reinigung im Hinblick auf die Schwefelwasserstoffproduktion nur wenige Tage Bestand hat.

Literaturverzeichnis

- Banasiak, R., Verhoeven, R., de Sutter, R. und Tait, S. J. (2005) The erosion behaviour of biologically active sewer sediment deposits: Observations from a laboratory study. In: *Water Research*, Jg. 39, S. 5221–5231.
- Berzio, S., Lange, R.-L., und Wichern, M. (2015) Studies on the influence of slope, roughness and runoff on sedimentation in a test sewer. Wird eingereicht in: *Water Science and Technology*
- Berzio, S., Lange, R.-L., Bosseler, B., Ulutas, S., Schlüter, M., Treinen, M., und Wichern, M. (2015) Untersuchungen zur bedarfsorientierten Kanalreinigung unter Nutzung betrieblicher Synergien Abschlussbericht zum Forschungsprojekt im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein Westfalen (IV-7-042 600 004C) Phase I& II. Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik, Ruhr-Universität Bochum, Bochum.
- DIN EN 14654 Teil 1 Reinigung (2014) „Management und Überwachung von betrieblichen Maßnahmen in Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 1: Reinigung“ (08/2014)
- Lange, R.-L., Orth, H., Bosseler, B., Schlüter, M. und Wichern, M. (2010) Einfluss der Kanalreinigung auf Spülstoßfrachten in Mischwassersystemen. In: *GWF Wasser Abwasser* 151 (1), S 84-91
- Lange, R.-L., Bosseler, B., Ulutas, S. und Wichern, M. (2012) Untersuchungen zur bedarfsorientierten Kanalreinigung unter Nutzung betrieblicher Synergien Abschlussbericht zum Forschungsprojekt im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein Westfalen (IV-7-042 600 004C) Phase I. Lehrstuhl für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik, Ruhr-Universität Bochum, Bochum.
- Lange, R.-L., und Wichern, M. (2013) Sedimentation dynamics in combined sewer systems. In: *Water Science and Technology* 68 (4), S. 756-762.
- Land Nordrhein-Westfalen (1995) Verordnung zur Selbstüberwachung von Kanalisationen und Einleitungen von Abwasser aus Kanalisationen im Mischsystem und im Trennsystem. Selbstüberwachungsverordnung Kanal - SÜwV Kan

- Liem, R., Spork, V. und Köngeter, J. (1997) Investigations on Erosional Processes of Cohesive Sediment using an In-Situ Measuring Device. International Journal of Sediment Research 12, S. 437-445
- Schröder, R. und Zanke, U. (2003) Technische Hydraulik - Kompendium für den Wasserbau. 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg
- Verein Deutscher Ingenieure (VDI) 4630 (2012): Vergärung organischer Stoffe-Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. Beuth Verlag GmbH, Berlin