

Abwasserdruckleitungen *-Möglichkeiten und Verfahren zur Reinigung-*



Harting, K.
Gelsenkirchen, Dezember 2006

Fördernde Stelle



Ministerium für
Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes NRW

Bearbeitung



IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur
Exterbruch 1
45886 Gelsenkirchen

Wissenschaftliche Leitung

Dr.-Ing. Bert Bosseler

Projektleitung und Bearbeitung

Dipl.-Ing. (FH) Kathrin Harting

Dipl.-Ing. Andreas Downar

Dipl. Biol. Heiko Schmiedener

Wir danken allen projektbeteiligten Netzbetreibern für die zahlreichen Anregungen und die fachlichen Diskussionen sowie die weitreichende Unterstützung bei der inhaltlichen Bearbeitung des Forschungsprojektes:

Herr Dipl.-Ing. (FH) Michael Böke-Hasselmeier

Herr Dipl.-Ing. (FH) Axel Borges

Herr Dipl.-Ing. (FH) Klaus-Eckhard Brinkmann

Herr Jürgen Frick

Herr Dipl.-Ing. Thomas Günther

Herr Bernd Hellweg

Herr Dipl.-Ing. (FH) Peter Jungblut

Herr Dipl.-Ing. (FH) Guido Jüssen

Herr Michael Lanz-Eckstein

Herr Anton Nemeth

Herr Dipl.-Ing. Matthias Neumann

Herr Dipl.-Ing. Gerhard Odenthal

Herr Dipl.-Ing. (FH) Jens Plöger

Herr Dipl.-Ing. (FH) Tobias Rasche

Herr Dipl.-Ing. Norbert Schindler

Herr Dipl.-Ing. (FH) Hubertus Schmidt

Herr Uwe Schmitz-Habben

Herr Dipl.-Ing. (FH) Elmar Schneider

Herr Oliver Zimmermann

Abwasserbetrieb der Stadt Porta Westfalica

Stadtentwässerungsbetrieb der Stadt Düsseldorf

LINEG

Technische Betriebe Leverkusen

Stadtentwässerung Hannoversch Münden

Gemeinde Holzwickede

Abwasserbetrieb Erkelenz

Abwasserwerk des Stadt Bad Honnef

Stadtentwässerung Neuss

Amt für Stadtentwässerung Hemer

Gemeinde Möhnese

Städtischer Abwasserbetrieb Wermelskirchen

Gemeinde Extertal

Stadt Detmold

Gemeinde Reichshof

Stadt Rietberg

LINEG

ehemals Stadt Rietberg

Stadt Rietberg

Inhaltsverzeichnis

1	VERANLASSUNG, ZIELSTELLUNG UND VORGEHENSWEISE	7
2	TECHNISCHER HINTERGRUND	9
2.1	Anforderungen mit Blick auf Wartung und Reinigung	9
2.2	Geruchsproblematik Schwefelwasserstoff	10
3	REINIGUNGSVERFAHREN	16
3.1	Spülen mit Luft und Wasser	16
3.2	Impuls-Spül-Verfahren	18
3.3	Molchen	19
3.4	Biologische Verfahren	20
3.5	Chemische Verfahren	24
4	BETRIEBSERFAHRUNGEN UND FESTLEGUNG DES UNTERSUCHUNGSUMFANGS	25
5	PRAXISEINSÄTZE	28
5.1	Übersicht	28
5.2	Impuls-Spül-Verfahren	29
5.2.1	Hannoversch Münden	29
5.2.2	Bad Honnef	34
5.2.3	Extertal (mit Einsatz einer Hochdruckspüldüse)	38
5.3	Molchen	43
5.3.1	Möhnesee	43
5.3.2	Leverkusen	52
5.4	Biologie	56
5.4.1	Wermelskirchen	57
5.4.2	Bad Honnef	62
5.4.3	Erkelenz	64
5.4.4	Lindlar	69
6	VERSUCHSPROGRAMME	72
6.1	Ablagerungssituation in Abwasserdruckleitungen	72
6.2	IKT-Teststrecke	74
6.2.1	Aufbau	74
6.2.2	Versuchsprogramm	77
6.2.3	Ergebnisse	82
6.3	Teststrecke Porta Westfalica	112

7	BEWERTUNG DER VERFAHREN.....	116
8	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	135
9	AUSBLICK	140
10	LITERATURVERZEICHNIS	141

Vertrauen ist gut – Kontrolle und Reinigung ist manchmal besser

Viele Netzbetreiber haben Abwasserdruckleitungen gebaut, weil sie kostengünstig und leicht zu verlegen sind. Gleichzeitig hat man dabei inständig gehofft, dass diese Systeme nie gereinigt oder inspiziert werden müssen. Denn Druckleitungen weisen so gut wie keine Wartungs- und Kontrollöffnungen auf. Jede Reinigungsarbeit wird dazu durch Gefällewechsel, Bögen und ständige Vollfüllung erschwert.

Erfahrungen mit abfallenden Förderleistungen der Pumpwerke und verstopften Leitungen zeigen inzwischen, dass auch bei Abwasserdruckleitungen Reinigungsarbeiten notwendig werden können. Hier bestehen jedoch große Unsicherheiten darüber, welche Verfahren überhaupt geeignet sind. Schließlich steht immer das Risiko im Raum, dass das Reinigungsbemühen am Ende zu einer Totalverstopfung führt.

Das IKT hat dieses Thema aufgegriffen und in Zusammenarbeit mit den Netzbetreibern ein Forschungsprojekt zum Thema Reinigung von Abwasserdruckleitungen durchgeführt. Im Forschungsvorhaben sind die am Markt erhältlichen Verfahren hinsichtlich ihrer Reinigungsleistung und Einsatzmöglichkeiten getestet worden. Unter dem gestiegenen Kostendruck gibt der Leitfaden den Netzbetreibern die Möglichkeit für den eigenen Betrieb die geeigneten Verfahren zur Unterhaltung seiner Druckleitungsnetze auszuwählen.

Dipl.-Ing. (FH) Michael Böke-Hasselmeier
Sprecher des IKT-Projektbeirats „Abwasserdruckleitungen“

1 Veranlassung, Zielstellung und Vorgehensweise

Pumpstationen und Abwasserdruckleitungen sind vielfach Bestandteil der Kanalisation. Insbesondere in Gebieten mit geringer Siedlungsdichte oder unzureichender Gefällesituation spielen sie oft eine wichtige Rolle. In Nordrhein-Westfalen betreiben rund 90 % der Kanalnetzbetreiber (357 von insgesamt 396) Druckrohre [1]. Die Gesamtlänge der Druckrohrleitungen in NRW beläuft sich auf 3.491 km und entspricht damit einem Anteil von 3,8 % des gesamten öffentlichen Abwassernetzes [1].

Die Unterhaltung dieser Leitungen zur Aufrechterhaltung der hydraulischen Leistungsfähigkeit, somit auch die Reinigung, stellt eine wesentliche Aufgabe des Kanalnetzbetreibers dar. Im Bereich der Freigefälleleitungen ist die Reinigung bereits seit Jahrzehnten erprobt und wird spätestens seit der Einführung der Selbstüberwachungsverordnung Kanal [2] in NRW bzw. der Eigenkontrollverordnungen der Länder flächendeckend umgesetzt. Das Reinigungsergebnis lässt sich durch eine Kamerabefahrung überprüfen.

Anders stellt sich dies bei den Druckrohrleitungen dar. Sie verfügen in der Regel nicht über Wartungs- und Kontrollöffnungen, sind mit Bögen verlegt und fast immer voll gefüllt, wodurch Wartungs- und Reinigungsarbeiten erschwert werden. Auf dem Markt werden verschiedene Verfahren zur Reinigung angeboten, jedoch ist über ihre Reinigungsleistung bisher wenig bekannt.

Da bei vielen Netzbetreibern Unsicherheiten bestehen, wann eine Reinigung der Leitungen erforderlich ist und welche Verfahren eingesetzt werden können, beschränkt sich die Reinigung und Wartung der Anlagen meist auf die Pumpstationen und die Be- und Entlüftungsventile. In diesem Zusammenhang klagen viele Netzbetreiber über Probleme und Störungen beim Betrieb ihrer Druckleitungen. So werden beispielsweise verstopfte Leitungen, Fettablagerungen, Querschnittsreduktionen, Verfettungen der Be- und Entlüftungsventile sowie verminderte Pumpenförderleistungen genannt. Darüber hinaus können Ausgasungen von Schwefelwasserstoff, insbesondere an den Übergabeschächten zur Freispiegelkanalisation, zu Geruchsbelästigungen und Korrosionsproblemen führen.

Vor diesem Hintergrund wurden im vorliegenden Forschungsvorhaben in Zusammenarbeit mit 16 Netzbetreibern verschiedene Verfahren zur Reinigung von Abwasserdruckleitungen untersucht. Ziel war es, praxisorientiert die Einsatzmöglichkeiten und -grenzen zu erfassen, die Reinigungsleistung der Verfahren abzuschätzen und Anhaltswerte für die entstehenden Kosten zu ermitteln. Auf dieser Basis sollten wesentliche Vor- und Nachteile der Verfahren sowie Empfehlungen für die Reinigung von Druckleitungen abgeleitet werden. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag in der Beobachtung und Auswertung von Testeinsätzen der einzelnen Verfahren, um die generelle Funktionsweise, die Reinigungswirkung sowie die Handhabbarkeit aufzunehmen.

Testeinsätze wurden an bestehenden Leitungen der Netzbetreiber und an einer Teststrecke auf dem IKT-Außengelände durchgeführt. Die Praxiseinsätze dienten in erster Linie dazu, Hinweise zur Handhabung sowie den Einsatzgrenzen und notwendigen Voraussetzungen für den Einsatz der Verfahren aufzunehmen. In der Teststrecke konnten die Praxisbedingungen simuliert und Reinigungsversuche unter reproduzierbaren Randbedingungen durchgeführt werden, um vergleichende Aussagen, z.B. zur Reinigungsleistung und zum Stofftransport, treffen zu können. Darüber hinaus konnten verbliebene Fragestel-

lungen, die im Rahmen der Praxiseinsätze nicht geklärt werden konnten, hier nachgestellt und untersucht werden.

Im Ergebnis wurden die gewonnenen Erfahrungen zusammengefasst, gemeinsam mit den 16 beteiligten Netzbetreibern bewertet und erste Empfehlungen für den praxisgerechten Einsatz der Verfahren abgeleitet.

2 Technischer Hintergrund

Abwasserdruckleitungen werden in Netzbereichen eingesetzt, in denen eine Entwässerung über Freispiegelkanäle technisch schwierig umgesetzt werden kann bzw. mit hohen Kosten verbunden ist. Dies kann beispielsweise der Fall sein bei

- mangelndem Geländegefälle bzw. Förderung von Abwasser zu einem höher gelegenen Punkt,
- geringem oder nur zeitweisem Abwasseranfall (z.B. aufgrund geringer Siedlungsdichte, Trennverfahren, Campingplatz oder Gastronomiebetrieb),
- zu querenden Hindernissen,
- ungünstigen Untergrundverhältnissen oder
- hohen Grundwasserständen.

Durch hohe Freiheitsgrade in der Trassenführung können Druckentwässerungen flexibel bezüglich Topographie und Linienführung geplant und somit schwierigem Gelände angepasst werden. Dies wird erreicht durch eine beliebige Kurvenführung, eine einfache Umgehung von Hindernissen, eine freie Gradientenwahl, die Verlegung im Straßenseitenraum oder im freien Gelände sowie eine verminderte Tiefenlage der Leitungen. [3]

Druckentwässerungssysteme können aus einem einzelnen Leitungsstrang bestehen oder ein verästelttes bzw. ringförmig, vermaschtes Netz bilden. Bei einzelnen Strängen fließt das Abwasser eines Gebäudes oder eines Gebietes einem Sammelschacht zu und wird von dort mit Hilfe einer Pumpe zu einer Übergabestelle, z.B. in die Freispiegelkanalisation, gefördert. Bei Drucknetzen entwässern mehrere einzelne Gebäude bzw. Gebäudeeinheiten jeweils über kleine Pumpen und Druckleitungen, die einer Sammeldruckleitung angeschlossen sind. Hauptbestandteile eines Druckentwässerungssystems sind der Sammelraum, eine Pumpe, die Druckleitung sowie entsprechende Rohrverbindungen und Armaturen. Gegebenenfalls sind des Weiteren Druckluftspülstationen integriert. [4]

Als Rohrwerkstoffe werden gegen Abwasser und Abwassergase korrosionsbeständige Materialien wie PVC, PE, duktiles Gusseisen mit Innenauskleidung und Faserzement verwendet.

Im Folgenden werden die aus Normen und Regelwerken hervorgehenden Anforderungen bezüglich Wartungs- und Reinigungsmaßnahmen an Abwasserdruckleitungen dargestellt. Darüber hinaus wird auf Hintergründe zur Entstehung von Gerüchen durch Schwefelwasserstoff (als häufig genanntes Problem bei Abwasserdruckleitungen) eingegangen und es werden Lösungsansätze der Geruchsvermeidung aus gängigen Arbeitsblättern aufgezeigt.

2.1 Anforderungen mit Blick auf Wartung und Reinigung

Anforderungen der geltenden Regelwerke bezüglich der Wartung und Reinigung von Abwasserdruckleitungen bzw. -netzen beziehen sich hauptsächlich auf Pumpwerke und Armaturen. Detaillierte Hinweise bezüglich der Reinigung der Abwasserdruckleitungen selbst werden nicht gegeben.

Spülungen von Abwasserdruckleitungen sind nach **DIN EN 1671** „Druckentwässerung außerhalb von Gebäuden“ [4] im Regelfall nicht erforderlich. Grundsätzlich sollten jedoch zu Beginn jedes Stranges Spülstutzen angeordnet werden, um bei Bedarf eine Spülung

durchführen zu können. Als mögliche Reinigungsverfahren wird das Spülen mit Luft oder Wasser genannt. Details zur Handhabung der Reinigungsverfahren sowie weitere Information zu Betrieb und Wartung von Druckentwässerungssystemen sind nicht enthalten. Allerdings wird darauf hingewiesen, dass keine Verbindungen zwischen Trink- und Abwassersystem installiert werden dürfen.

Ein Reinigungsbedarf kann nach DIN EN 1671 bei Unterschreitung der Mindestfließgeschwindigkeiten für die Selbstreinigung, bei unregelmäßigem Abwasseranfall oder bei Überschreitung der maximalen Aufenthaltszeiten des Abwassers entstehen. Um ein Absetzen und Anbacken von Ablagerungen zu vermeiden, sollte mindestens einmal täglich eine Fließgeschwindigkeit von mindestens 0,7 m/s erreicht werden. Um die Bildung von Schwefelwasserstoff zu vermeiden, empfiehlt die DIN EN 1671 Aufenthaltszeiten des Abwassers im Drucksystem von unter acht Stunden.

Ein weiterer Punkt, der in DIN EN 1671 zur Vermeidung von Ablagerungen und Verstopfungen genannt wird, ist die Vermeidung von scharfen Richtungsänderungen. Ebenfalls müssen Rohrverbindungen glatt und ohne Verengungen ausgeführt werden. Nennweitenminderungen in Fließrichtung sind nicht erlaubt.

Auch der Entwurf des Arbeitsblatts **DWA-A 116-2** „Besondere Entwässerungsverfahren, Teil 2: Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden“ [3] enthält keine zusätzlichen Informationen zu Spülungen einer Druckleitung.

Die „**Selbstüberwachungsverordnung Kanal**“ des Landes Nordrhein-Westfalen (SüwV Kan, [2]) sieht für Abwasserdruckleitungen ohne Drucknetz eine halbjährliche bzw. den vorgeschriebenen Intervallen der Hersteller entsprechende „Inaugenscheinnahme des Bereiches der Kontroll- und Reinigungsöffnungen“ vor, um sichtbare Schäden, z.B. durch Korrosion, zu erfassen. Darüber hinaus sind monatlich (bzw. entsprechend der Herstellerangaben) die „Armaturen für Belüftung, Entleerung, Druckstoßsicherung und von Kontrolleinrichtungen“ auf ihre Funktion zu prüfen. Für Drucknetze wird darüber hinaus eine jährliche Kontrolle der Funktionsfähigkeit und Dichtigkeit der „Pump- und Druckleitungen“ gefordert. Detaillierte Angaben zur Art der Prüfung werden nicht gemacht, lediglich der Hinweis „nach den Angaben des Herstellers“ ist enthalten.

2.2 Geruchsproblematik Schwefelwasserstoff

Speziell die Geruchsproblematik ist ein von den Netzbetreibern häufig genanntes Problem beim Betrieb von Abwasserdruckleitungen. Lange Aufenthaltszeiten des Abwassers in den Pumpenschächten oder in der Druckleitung selbst können zu einer Faulung des Wassers mit unangenehmen Geruchsentwicklungen führen. Insbesondere am Übergabeschacht der Druckleitung in die Freispiegelkanalisation treten oft Gerüche auf, die in vielen Fällen Beschwerden der Bürger nach sich ziehen. Viele Bürger verbinden mit Gerüchen aus der Kanalisation eine mangelnde Reinigung der Leitungen und Kanäle. Inwieweit jedoch Geruchsprobleme durch Schwefelwasserstoffbildung mit Reinigungsmaßnahmen zu bekämpfen sind, ist unklar. Daher werden die im Rahmen dieses Projektes untersuchten Reinigungsverfahren mit Blick auf eine mögliche Geruchsverminderung betrachtet.

Entstehung

Über Industrie, Gewerbe und private Haushalte gelangen Schwefelverbindungen in Form von Schwefeloxiden (wie Sulfate z.B. aus Haushalten, Industrie oder Trinkwasser) und organischen Schwefelverbindungen (z.B. über Eiweiße aus Nahrungsmitteln) ins Abwasser (s. Abb. 1). Führen lange Standzeiten des Abwassers mit mangelndem Luft-/Sauerstoffkontakt zu anaeroben Bedingungen, d.h. durch Abbauprozesse der Mikroorganismen wurde der gelöste Sauerstoff und der chemisch gebundene Sauerstoff des Nitrats (NO_3^-) aufgezehrt, werden sulfidentwickelnde Bakterien aktiv. Diese Bakterien leben im Abwasser, in den Sinkstoffen und insbesondere in der Sielhaut. Sie produzieren, vorwiegend durch Sulfatreduktion und Proteinabbau, Sulfide. Ebenfalls können Sulfide auch direkt über industrielle Einleitungen ins Abwasser gelangen. [5, 6, 7]

Der Gesamt-Sulfidgehalt des Abwassers setzt sich aus ungelösten Sulfiden, wie z.B. Eisensulfid (FeS) und Zinksulfid (ZnS), sowie aus gelösten Sulfiden zusammen, wobei nur über letztere Geruch entstehen kann. Die gelösten Sulfide liegen i.d.R. zum Teil als molekularer Schwefelwasserstoff (H_2S) und zum Teil in ionisierter Form als Sulfid-Ion (S^{2-}) oder Hydrogen-Sulfid (HS^-) vor. Davon kann wiederum ausschließlich der molekulare Schwefelwasserstoff unangenehme Gerüche erzeugen, wenn er aus dem Abwasser in die Luft entweicht. Welcher Anteil des gelösten Sulfids nun in Form von geruchsverursachenden H_2S -Molekülen vorliegt, hängt letztendlich von Temperatur und pH-Wert des Abwassers ab. Wichtig ist, dass Geruch erst entsteht, wenn der Schwefelwasserstoff ausgast, z.B. verursacht durch Turbulenzen am Übergabeschacht der Druckleitung in die Freispiegelkanalisation. Er ist bereits bei sehr geringen Konzentrationen wahrnehmbar (s. Tab. 1) und wird mit dem Geruch nach „faulen Eiern“ beschrieben.

Der Austritt von Gasen aus Abwasserschächten in die Umgebungsluft kann darüber hinaus durch die Wetterlage, insbesondere durch Temperatur und Luftdruckverhältnisse, beeinflusst werden. Luftdruckunterschiede über den Schächten einer Kanalhaltung können dazu führen, dass Gase aus dem Schacht mit niedrigerem Luftdruck aufsteigen, während sie am Schacht mit hohem Luftdruck absinken [8].

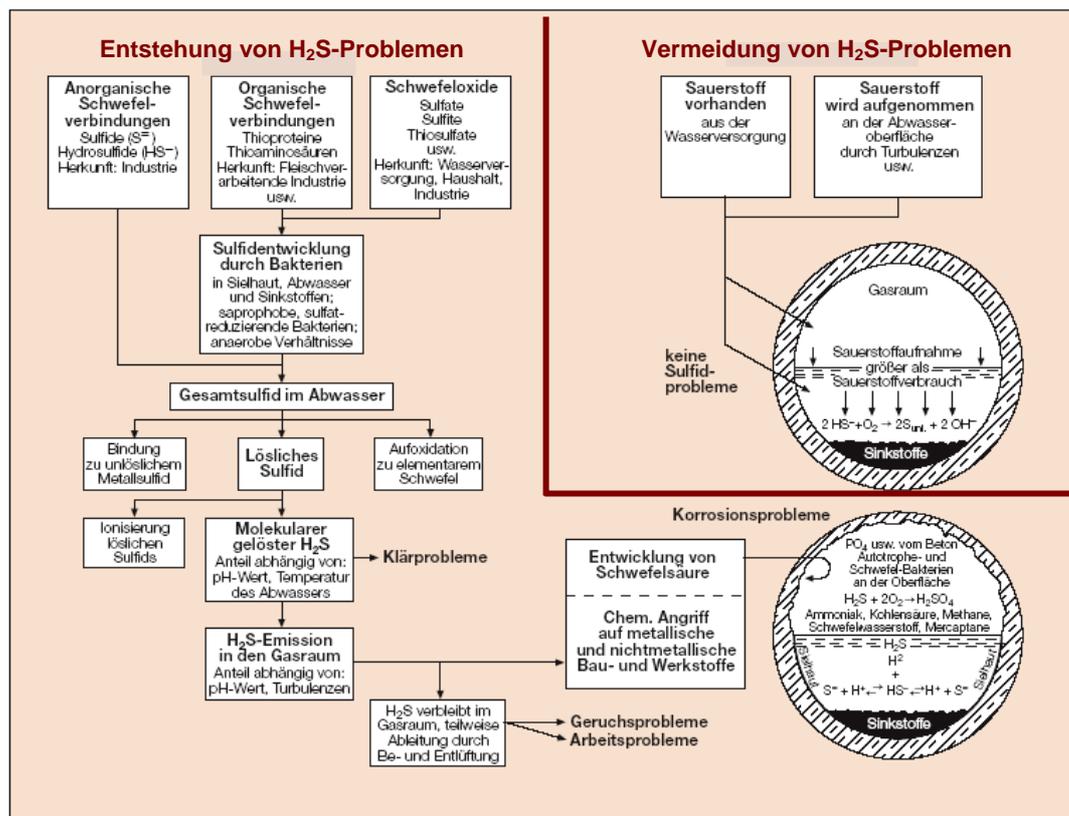


Abb. 1: Sulfidprobleme und deren Vermeidung [nach 5, 9]

Weitere Probleme, die im Zusammenhang mit Schwefelwasserstoff auftreten, sind neben Geruchsbelästigungen die Gesundheitsrisiken bei Arbeiten in belasteten Bereichen (s. Tab. 2) und die biogene Schwefelsäure-Korrosion (BSK) durch Bildung von Schwefelsäure. Oft tritt die BSK an Bauteilen des Freispiegelkanals hinter der Einmündung der Druckleitung auf. Der in die Kanalatmosphäre freigesetzte Schwefelwasserstoff löst sich an der feuchten Kanalwand erneut. In der Sielhaut vorkommende Thiobacillen oxidieren den Schwefelwasserstoff mit Hilfe des in der Kanalatmosphäre vorkommenden Sauerstoffs zu Schwefelsäure (H_2SO_4) auf [7].

Tab. 1: Anhaltswerte für die Wahrnehmung von H_2S in Abhängigkeit von der Konzentration (in Anlehnung an [6], [7], [10])

Konzentration [ppm]	Wahrnehmung
zw. 0,002-0,15	Geruchsschwelle
zw. 0,1-1,0	deutlich wahrnehmbar
zw. 1,0 – 10	unangenehm, lästig
10	MAK
um 20	unerträglich
ab 100	abgeschwächtes Geruchsempfinden, das sich nach einigen Minuten verliert
um 200	unangenehmer Geschmack
> 500	Verlust des Geruchsempfindens

Tab. 2: Anhaltswerte für Wirkung und Toxikologie von H₂S auf den menschlichen Körper (in Anlehnung an [6], [7], [10])

Konzentration [ppm]	Wirkung	Toxikologie
ab 20	Hornhautschäden bei längerer Einwirkung	Konzentrationen < 100 ppm: Vergiftung nach mehreren Stunden Einwirkung
um 100	Reizung der Schleimhäute: Brennen der Augen, Husten, Speichelfluss	Konzentrationen > 100 ppm: Vergiftung innerhalb einer Stunde
> 200	Kopfschmerz, Atembeschwerden	
> 300	Brechreiz	
um 500	Kraftlosigkeit, Benommenheit, Schwindel	Lebensgefährlich innerhalb 30 Minuten
> 500	Krämpfe, Bewusstlosigkeit	Lebensgefährlich innerhalb weniger als 30 Minuten
um 1000		tödlich innerhalb weniger Minuten
um 5.000		tödlich innerhalb weniger Sekunden

Abwasserparameter, die eine Entstehung von molekularem Schwefelwasserstoff und damit Geruch begünstigen, sind [5], [7]:

- Hoher Sulfatgehalt → Potenziell höhere Sulfidbildung durch Sulfatreduktion im anaeroben Milieu (Einleitung z.B. aus Industrie, Haushalten, Grundwasser, Wasserversorgung),
- Hoher Anteil organischer Schwefelverbindungen → Potenziell höhere Sulfidbildung durch Proteinabbau im anaeroben Milieu (Einleitung v.a. aus Lebensmittelindustrie)
- Hoher Sulfidgehalt → Potenziell höhere H₂S-Einwicklung (Bildung aus Sulfat und Proteinen und Direkteinleitung durch z.B. chemische, metallverarbeitende, Papier-, Holzverarbeitende Industrie),
- Geringer Sauerstoffgehalt bzw. hoher Sauerstoffbedarf durch leicht abbaubare organische Verbindungen und Abwesenheit von Nitrat → schnellere Ausbildung eines anaeroben Milieus → Sulfidentstehung,
- Hohe Abwassertemperaturen → Höhere Stoffwechselaktivität der Bakterien → schnellere Sauerstoffaufzehrung und erhöhte Aktivität sulfidproduzierender Bakterien,
- Niedriger pH-Wert → Höherer Anteil molekularen Schwefelwasserstoffs
- Große Sielhautflächen → Potenziell höhere Sulfidentwicklung (sulfidproduzierende Bakterien überwiegend in Sielhaut angesiedelt)

Vermeidung und Bekämpfung

Um die Bildung von Schwefelwasserstoff und mögliche Geruchsprobleme zu vermeiden oder einzudämmen, können planerische bzw. bauliche sowie betriebliche Maßnahmen in Betracht gezogen werden. Lässt sich jedoch die Schwefelwasserstoffbildung beim Betrieb einer bestehenden Leitung nicht vermeiden, bleibt oft nur die Bekämpfung der Symptome (der Gerüche). Das ATV-DVWK-M 154 „Geruchsemissionen aus Entwässerungssystemen – Vermeidung oder Verminderung“ [7] nennt zahlreiche Möglichkeiten zur Geruchsvermeidung und –bekämpfung. Einen kurzen Einblick in mögliche Maßnahmen, in Anlehnung an ATV-DVWK-M 154, geben die folgenden Auflistungen.

Planerische, bauliche und betriebliche Maßnahmen:

- Kurze Aufenthaltszeiten des Abwassers und Vermeidung von Sauerstoffzehrungen
 - Errechnung des Abwasseranfalls und der Abflussbedingungen bei der Neuplanung von Entsorgungsgebieten auch für die ersten Betriebsjahre
 - Möglichst kurze Aufenthaltszeiten des Abwasser in der Druckleitung (ggf. durch Nachblasstationen)
 - Möglichst kurze Druckleitungslänge und Verlegung mit stetiger Steigung
 - Ggf. zwei Druckleitungen kleineren Durchmessers statt einer Druckleitung größeren Durchmessers, Betrieb nach Bedarf
 - Möglichkeit des Entleerens einer Druckleitung bei langen Standzeiten (Leerlaufen lassen, Spülen mit Frischwasser, Ausblasen)
 - Erreichend der Mindestfließgeschwindigkeiten ggf. durch Spülungen oder zuschaltbare Pumpenaggregate (Ablagerungen und Sielhaut gering halten)
 - Abstimmung von Saugraumvolumen, Pumpenleistung und Pumpenspiel auf Zulaufmenge, Druckleitungsvolumen, Sulfidentwicklung
 - Minimierung der untergetauchten Wandbereiche im Pumpensaugraum (Sielhautfläche gering halten)
 - Verfüllung bzw. Begrenzung des Stauraums von Sammelgruben und Kleinkläranlagen bei Neuerschließung von Gebieten
- Sauerstoffeinträge in (noch) aerobes Abwasser
 - Große Wasseroberfläche im Pumpensaugraum
 - Be- und Entlüftung des Gasraums des Sammelbehälters
 - Turbulenzen z.B. durch Abstürze vor Pumpstation / in zufließenden Leitungen
- Vermeidung des Ausgasens von H₂S bzw. Belästigungen durch H₂S bei anaeroben Abwässern
 - Vermeidung von Turbulenzen und Einleiten des sulfidhaltigen Abwasser unterhalb des Ausschaltpegels der Pumpen im Pumpwerk
 - Vermeidung von Turbulenzen und Einleiten des sulfidhaltigen Abwasser unterhalb des Wasserspiegels am Übergabeschacht
 - Abstand des Übergabeschachtes zur Wohnbebauung
- Vorbehandlung von Abwasser mit hohem Geruchspotenzial (bzw. vielen Schwefelquellen) bzw. Bau von Ausgleichbehältern

Symptombekämpfung:

- Anhebung des pH-Wertes durch Zugabe von z.B. Kalkmilch, Natronlauge oder Natriumaluminat
 - Anhebung des pH-Wertes und Senken des Anteils an molekularem, ausstripbarem Schwefelwasserstoffs
 - Unterbindung der Sulfidbildung ab ca. pH-Wert > 9,5
- Fällung des gelösten Sulfids mit z.B. Eisen-II-Sulfat, Eisen-II-Chlorid-Lösung, Eisen-II-Chloridsulfat-Lösung oder Eisenhydroxid
 - Bildung und Ausfällung von Eisensulfiden
- Vermeidung eines anaeroben Milieus durch Zugabe von Nitratlösung
 - Bereitstellung von Nitrat-Sauerstoff („anoxisches“ Milieu) und Vermeidung anaerober Abbauprozesse mit Sulfidbildung
 - Biologische Oxidation von Sulfiden
- Vermeidung eines anaeroben Milieus durch Zugabe von Luft oder Reinsauerstoff
 - Zugabe von Sauerstoff zur Aufrechterhaltung des aeroben Milieus und Vermeidung von anaeroben Abbauprozessen mit Sulfidbildung
 - Oxidation von Sulfiden
- Oxidation von Sulfiden und anderen Geruchsstoffen durch Zugabe von Wasserstoffperoxid
- Verdünnung des Abwassers durch Zugabe von Trink-, Grund- oder Brauchwasser
 - Herabsetzen der Sulfidkonzentrationen
 - Verkürzen der Aufenthaltszeiten
 - Eintrag von Sauerstoff
- Neutralisation, Kompensation und Maskierung von Gerüchen
 - Herabsetzen
- Abluftbehandlung mit z.B. Biofiltern, Aktivkohle, Luftwäsche und Verdünnung

Nähere Informationen zur Wirkungsweise, der Handhabung sowie den technischen Voraussetzungen der zuvor beschriebenen Maßnahmen zur Geruchsbekämpfung können dem ATV-DVWK-M 154 entnommen werden.

3 Reinigungsverfahren

Im Folgenden werden verschiedene Reinigungsmethoden für Druckleitungen vorgestellt, die im Rahmen einer Markt- und Literaturrecherche sowie durch Umfragen bei Netzbetreibern ermittelt und zusammengestellt wurden.

3.1 Spülen mit Luft und Wasser

Spülungen mit Wasser bzw. Luft und Wasser werden mit dem Ziel eingesetzt, in der Leitung erhöhte Fließgeschwindigkeiten zu erzeugen. Nachfolgend werden fünf Möglichkeiten aufgezeigt, um die Fließgeschwindigkeiten für Reinigungszwecke zu erhöhen.

Erhöhte Wasserzugaben

In der Wasserversorgung ist das Spülen einer Leitung mit Trinkwasser ein gängiges Verfahren, um Druckleitungen zu reinigen. Grundsätzlich ist das Verfahren nur bis zu begrenzten Leitungsdurchmessern geeignet, bei denen genug Wasser bereitgestellt und eine ausreichende Fließgeschwindigkeit erzeugt werden kann. Für den Trinkwasserbereich werden im DVGW Arbeitsblatt W 291 [11] als Einsatzgrenze maximale Leitungsdurchmesser von DN 150 genannt. Die empfohlenen Fließgeschwindigkeiten liegen bei 2 m/s bis 3 m/s. Derartige Vorgaben sind für den Abwasserbereich nicht bekannt.

Ein Erfahrungsaustausch mit Netzbetreibern [A12] zeigte, dass teilweise auch im Abwasserbereich Spülungen durch gesteigerte Wasserzugaben vorgenommen werden. Kenntnisse über den Reinigungseffekt liegen jedoch i.d.R. nicht vor. Beispielsweise können Spülfahrzeuge, Ejektoren oder Hydranten (unter Einhaltung hygienetechnischer Vorschriften) an die Druckleitung angeschlossen werden. Möglich ist es auch, mittels einer separaten Pumpe (z.B. einer Tragkraftspritze) Spülwasser aus einem Vorfluter in die Leitung zu fördern.

Die Spülschläuche können z.B. direkt an der Pumpstation angeschlossen werden. Im Idealfall sind im Leitungsverlauf weitere Zugänge über Schächte mit entsprechenden Spülstutzen und Schieber vorhanden (s. Abb. 2), sodass die Leitung einseitig abgesperrt und von mehreren Stationen aus gespült werden kann. Schieber und Spülstutzen können auch dazu dienen, die Leitung bei Erwartung großer Spülgutmengen in Segmente abzusperrern, um einseitig zu spülen und von der anderen Seite her das Spülgut/Spülwasser abzusaugen.

Auch berichteten Netzbetreiber davon [A12], den Pumpstationen zeitweise größere Wassermengen zuzuleiten (z.B. aus Vorflutern oder dem Trinkwassernetz), um einen länger andauernden Durchfluss in der Druckleitung zu erzeugen und das Wasser in der Druckleitung auszutauschen.



Abb. 2: Revisionszugang einer Druckleitung mit Spülstutzen und Schiebern

Einsatz einer Hochdruck-Spüldüse

Druckleitungen können auch mit Hilfe einer herkömmlichen Hochdruckspüldüse gereinigt werden. Die Leitung wird dabei außer Betrieb genommen und in einem Schacht geöffnet, beispielsweise indem ein Pastsstück ausgebaut wird. Über die Öffnung wird der Spülschlauch in die Leitung eingebracht. Das dabei in den Schacht strömende Abwasser bzw. Spülwasser muss mit einem Saugfahrzeug entfernt werden.

Aufgrund der begrenzten Reichweite der Spülschläuche sind Wartungs- und Kontrollschächte in kurzen, regelmäßigen Abständen notwendig. Übliche Schlauchlängen von Kanalspülfahrzeugen liegen i.d.R. zwischen 80 m und 120 m [A13, A14, A15, A16]. Sonderfahrzeuge werden teilweise auch mit Schläuchen um 500 m ausgerüstet [A15, A16].

Die tatsächliche Reichweite ist aufgrund von Reibungswiderständen durch Spülstutzen, Rohrwandung und Ablagerungen meist erheblich geringer. Die notwendigen Schachtabstände liegen daher abhängig vom Leitungsverlauf deutlich unterhalb der maximalen Schlauchlängen.

Die Abstände von Kontrollschächten in Druckleitungen reichen in der Praxis meist von mehreren hundert Metern bis hin zu wenigen Kilometern [A12]. Dies ist unter anderem ein Grund dafür, dass das im Bereich der Freispiegelkanalisation übliche Reinigungsverfahren nur selten bei Druckleitungen eingesetzt wird.

Druckluftzugaben

Druckleitungen können mit so genannten „Nachblasstationen“ ausgerüstet werden. Über Kompressoren (ggf. in Kombination mit Druckkesseln), die im Bereich der Pumpstation an die Druckleitung angeschlossen werden, wird das Abwasser mehrmals täglich zwischen den Pumpzyklen aus der Leitung „ausgeblasen“. Auf diese Art erzeugte Turbulenzen im Abwasserstrom können zu Aufwirblungen von Ablagerungen und somit zu einem Reinigungseffekt führen. Nachblasstationen werden nicht nur zur Vermeidung von Ablagerungen, sondern auch von Gerüchen eingesetzt, wenn lange Aufenthaltszeiten des Abwassers in der Druckleitung zu erwarten sind. Ob eine Leitung durch eine Nachblasstation vollständig geleert werden kann, hängt vom Verlauf der Leitung und der enthaltenen Hoch- und Tiefpunkte ab. [A17, A18]

Druckleitungen mit Nachblasstationen sind frei von Be- und Entlüftungsventilen. Im Verlauf der Druckleitung angeschlossene Hebeanlagen (z.B. privater Anschlussnehmer) werden durch entsprechende Rückschlagventile gesichert. Direkt mit dem Bau der Druckleitung errichtete Nachblasstationen werden i.d.R. in die Pumpstation integriert, um Lärmbe-

lästigungen zu vermeiden. Die Übergabepunkte zur Freispiegelkanalisation werden i.d.R. mit speziellen Entlüftungsschächten und Beruhigungsstrecken ausgebildet. [A17, A18]

Für sporadische Reinigungsmaßnahmen oder bei Verstopfungen werden auch mobile Kompressoren im Bereich der Pumpstation oder, bei vorhandenen Schächten mit Spülstutzen und Schiebern, auch im Verlauf der Druckleitung angeschlossen, um das Abwasser auszublasen bzw. die Verstopfung zu lösen. [A12]

Spülen mit Luft-Wasser-Gemischen

In der Wasserversorgung ist die Spülung mit Wasser unter gleichzeitiger Zugabe von Druckluft ein gängiges Verfahren zur Reinigung. Die Verringerung des Fließquerschnitts, durch Luftansammlungen am Rohrscheitel, soll die Spülwirkung des Wassers durch höhere Fließgeschwindigkeiten verbessern. In eine abgeschieberte Strecke wird unter gleichzeitigem geringen Öffnen des Absperrorgans am Anfang der Leitungsstrecke Druckluft durch einen Hydranten eingeblasen, während das mit Ablagerungspartikeln angereicherte Luft/Wasser-Gemisch über einen geöffneten Hydranten am Ende der Strecke frei ausfließen kann. [11, 19]

Auch im Abwasserbereich kann dieses Verfahren angewendet werden, indem einem über das Pumpwerk erzeugten Wasserstrom über Spülstutzen Druckluft zugegeben wird. Die Druckluft kann über einen mobilen Kompressor erzeugt werden. Da es sich um Abwasserleitungen handelt, muss das Spülgut nicht zwangsläufig entnommen werden. Die Leitung kann, entsprechend den vorhandenen Schiebern und Spülanschlüssen, in einem oder in mehreren Abschnitten gereinigt werden. [A12, 19]

Nach Erfahrungen der Netzbetreiber ist der Einsatz auf kleine Leitungsdurchmesser bis maximal DN 100 begrenzt [A12].

Eine spezielle Weiterentwicklung des Spülens mit Luft-/Wassergemischen ist das patentierte „Impuls-Spül-Verfahren“ (s. Kapitel 3.2).

Zugabe von Polymeren

Nach [20] ist eine Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten des Wassers auch durch Zugabe von Polymeren möglich. Demnach führen die Polymere, durch Abminderung der Reibungswiderstände rauer Rohrwände, zu einer Verminderung der Energieverluste turbulenter Strömungszustände. Aus wirtschaftlichen Gründen und ungeklärter Reaktionen der Polymere mit dem Abwasser sei der Einsatzbereich nur auf Düker beschränkt.

3.2 Impuls-Spül-Verfahren

Beim ursprünglich aus der Wasserversorgung stammenden Impuls-Spül-Verfahren handelt es sich um eine patentierte Weiterentwicklung des klassischen Luft-Wasser-Spülverfahrens zur Reinigung von Trinkwasserleitungen (s. Kapitel 3.1) der Fa. Hammann Wasser-Kommunal GmbH, Annweiler am Trifels. Besonderheit des Verfahrens ist, dass über Druckkessel impulsartig große Luftvolumina in die Leitung gegeben werden.

Zunächst wird, i.d.R. über die Pumpstation, ein Grundabfluss in der Leitung erzeugt, der nach Angaben des Anbieters Mindestfließgeschwindigkeiten zwischen 0,2 m/s und 0,3 m/s erreichen sollte. Über T-Stücke, Spülstutzen, Entlüftungsventile oder Anbohrschellen wird ein Kompressorfahrzeug mit entsprechenden Druckkesseln an die Leitung

angeschlossen, über das die Druckluftimpulse in die Leitung gegeben werden. Druck, Luftvolumen und zeitlicher Abstand der Impulse werden dabei abhängig von Randfaktoren wie Leitungsdurchmesser und –verlauf, Länge des Spülabschnitts und Betriebsdruck gewählt.

In der Regel wird das Fahrzeug zunächst am Ende der Leitung angeschlossen und später in mehreren Stationen weiter in Richtung Pumpwerk positioniert. Dabei liegen die Abstände der Stationen zwischen 500 m und 1000 m. Bei mangelnden Anschlussmöglichkeiten werden z.T. auch Strecken bis ca. 2,5-3 km gespült. Das Spülwasser tritt i.d.R. am Übergabepunkt in den Freispiegelkanal über. Sind Wartungsschächte mit Schiebern vorhanden, ist es auch möglich, die Leitung zu öffnen und das ankommende Spülwasser/Spülgut abzusaugen (beispielsweise wenn starke Ablagerungen vorliegen). [19, A21]

Nach Angaben des Anbieters werden bei diesem Verfahren Luftblasen in der Leitung erzeugt, die den gesamten Rohrquerschnitt ausfüllen und mehrere Meter lang sind. Turbulenzen an den Grenzflächen zwischen Luft und Wasser sollen die Ablagerungen lösen, der Wechsel zwischen Wasser und Luftblasen soll den Transport der gelösten Stoffe gewährleisten. Verstopfungen sowie feste Inkrustationen zählen nach Angaben des Anbieters nicht zum Anwendungsbereich des Verfahrens.

Auf dem Markt sind offensichtlich weitere Kanalreinigungsfirmen vertreten, die ebenfalls mit Druckluftimpulsen über Kompressoren in Kombination mit Druckkesseln arbeiten. Seitens der Firmen werden jedoch keine genauen Auskünfte hinsichtlich Kesselvolumen, Impulsdrücken und –abständen gemacht [A22, A23]. Ein Vergleich der Methoden ist daher nicht möglich.

3.3 Molchen

Beim ursprünglich aus dem Gas- und Wassersektor bzw. aus dem Pipelinebereich stammenden Molchen wird ein „Reinigungsmolch“ über eine spezielle Aufgabestation („Molchschleuse“) in die Druckleitung eingesetzt. Ist diese nicht vorhanden, werden üblicherweise die Flanschverbindungen in der Pumpstation getrennt und der Molch wird über die Öffnung, ggf. mit Hilfe eines konischen Rohrstücks, in die Leitung eingesetzt. Mit Hilfe eines Transportmediums, i.d.R. Wasser, wird der Molch durch die Leitung gedrückt. Dabei werden Ablagerungen von der Rohrwandung gelöst und aus der Leitung transportiert. Je nach Verschmutzungssituation werden mehrere Reinigungsdurchgänge mit unterschiedlichen Molchtypen gefahren. Dabei können die Molche hinsichtlich Durchmesser, Härtegrad sowie Form und Material variiert werden.

Vielfach werden im Abwasserbereich, insbesondere zur Reinigung von Kunststoffleitungen, Schaumstoff-Molche eingesetzt. Sie bestehen aus einem Schaumstoffkörper (z.B. aus Polyethylen oder Polyurethan), der je nach Ausführung kreuzweise oder vollständig mit härteren Kunststoffen (z.B. aus Polyurethan) beschichtet ist (s. Abb. 3). Nach Angaben der Hersteller sollen die kreuzweise angeordneten Streifen die Molche in eine rotierende Bewegung versetzen [24, 25]. Schaumstoffmolche sind auch mit Nylonbürsten und Drahtbürsten-Besatz für starke Inkrustierungen erhältlich, wobei letztere nach Angaben der Hersteller weniger für Kunststoffleitungen oder Leitungen mit Innenbeschichtungen geeignet sind. Des Weiteren sind so genannt Scheiben- oder Manschettenmolche

(s. Abb. 3) aus Kunststoff (z.B. Polyurethan), Stahl oder mit Stahlbürsten erhältlich, wobei für weiche Leitungsmaterialien meist Kunststoffausfertigungen empfohlen werden.



Abb. 3: Beispiele für Molchschutzhüllen (v.l.: reiner Schaumstoff, kreuzweise sowie vollbeschichteter Schaumstoff, mit Nylonbesatz, mit Drahtbesatz, Scheibenmolche)

3.4 Biologische Verfahren

Auf dem Markt werden unterschiedliche biologische Produkte angeboten, die den Abbau organischer Stoffe, z.B. von Fetten, bewirken und/oder einer Geruchsbildung entgegenwirken sollen. Da der biologische Stoffabbau i.d.R. eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt, liegt der Einsatzbereich biologischer Reinigungsprodukte grundsätzlich eher in der langfristigen Verminderung und Vermeidung organischer Ablagerungen. Als Sofortmaßnahme bei verstopften Leitungen oder zur Beseitigung mineralischer Ablagerungen sind sie nicht geeignet.

Wirkungsweise und Anwendung unterscheiden sich von Produkt zu Produkt (s. Tab. 3). Teilweise wird der Pumpenschacht zunächst mit dem Präparat geimpft, worauf sich Mikroorganismen an den Wänden von Pumpenschacht und Leitung ansiedeln sollen. In der Folgezeit werden in bestimmten Intervallen, z.B. viertel- oder halbjährlich, geringere Mengen nachdosiert. Auch Produkte, die dem Schacht regelmäßig, z.B. ein- bis zweimal wöchentlich, oder kontinuierlich zum Abwasserstrom hinzudosiert werden, sind verfügbar. Zur Wirkungsweise geben die Anbieter meist an, dass die zugegebenen Mikroorganismen die vorhandenen geruchsbildenden oder fäulnisbildenden Bakterien verdrängen und somit die Entstehung von H_2S bzw. Sulfid unterbunden wird.

Des Weiteren werden Produkte angeboten, die dem Abwasserstrom erst an der Übergabestelle der Druckleitung in die Freispiegelkanalisation zugegeben werden, wenn bereits Sulfid bzw. H_2S entstanden ist. Die Inhaltsstoffe sollen vorhandene, geruchsabbauende Mikroorganismen aktivieren.

In der Regel geben die Anbieter die Rezeptur der Produkte nicht preis und erteilen keine genauen Auskünfte zu den hervorgerufenen Reaktionen oder Abbauvorgängen. Eine Abschätzung der Wirkungsweise, z.B. über Stoffwechselfähigkeiten und Lebensbedingungen der Mikroorganismen, fällt daher schwer.

Vorwiegende Einsatzbereiche der Produkte liegen im Bereich von Fettabscheidern, Abläufen von Großküchen, Toiletten oder bei der Müllbeseitigung. Referenzen im Bereich der Reinigung und Geruchsvermeidung bei Abwasserdruckleitungen lagen nur bei wenigen Produkten vor (s. Tab. 3).

Tab. 3: Ergebnisse einer Marktrecherche zu biologischen Produkten zur Geruchsbekämpfung und Reinigung

Anbieter	Produkt	Zusammensetzung lt. Anbieter	Anwendung	Wirkungsweise lt. Anbieter	Vorliegende Referenzen
Adler Bio- und Wassertechnik	Lipolyt 2000 (Komponente II)	7 Bakterienarten, Enzyme, Trägermaterial (Semmelmehl)	Impfung der Pumpstationen und Leitung (halbjährliches Nachdosieren geringerer Mengen empfohlen); Einsatz am Entstehungsort des Sulfids notwendig (nicht möglich, wenn bereits Sulfid-haltiges Abwasser zugeleitet wird)	<i>Geruchsreduktion:</i> Verdrängen der Sulfid-produzierenden Bakterien durch zugesetzte Mikroorganismen (Entzug der Nahrungsquellen) <i>Reinigungswirkung:</i> Aufspalten organischer Stoffe durch Enzyme und Abbau der Restprodukte durch Bakterien	Reinigung: Entwässerungsleitungen im Bereich von Großküchen, Kliniken und Gaststätten; Verminderung von Ablagerungen in Abwasserpumpstationen (4 Netzbetreiber) Geruchsbekämpfung: 2 Netzbetreiber (Druckleitung)
Aqua-Terra GmbH	RenoSan 111	Alginderivate, Polysaccharide, Pflanzenextrakte (keine Mikroorganismen)	Zugabe am Auslauf der Druckleitung (Kopplung mit Pumpvorgang) oder auch in Pumpstationen über Dosierstation (bei begrenzter Leitungslänge)	<i>Geruchsreduktion:</i> Aktivierung vorhandener geruchsabbauender (aerob arbeitender) Mikroorganismen	keine
Aqua-Terra GmbH	RenoSan 222	Alginderivate, Polysaccharide, Pflanzenextrakte, Enzyme (keine Mikroorganismen)	Zugabe am Auslauf der Druckleitung (Kopplung mit Pumpvorgang) oder auch in Pumpstationen über Dosierstation (bei begrenzter Leitungslänge)	<i>Geruchsreduktion:</i> Aktivierung vorhandener geruchsabbauender (aerob arbeitender) Mikroorganismen <i>Reinigungswirkung:</i> Aktivierung fettabbauender Mikroorganismen	keine

Tab. 3 (Forts.): Ergebnisse einer Marktrecherche zu biologischen Produkten zur Geruchsbekämpfung und Reinigung

Anbieter	Produkt	Zusammensetzung lt. Anbieter	Anwendung	Wirkungsweise lt. Anbieter	Vorliegende Referenzen
CEBE Reinigungschemie GmbH	BioSeptic	Mikroorganismen, nichtionische Tenside, Gerüststoff, Duftstoff, Farbe, Wasser	Zugabe zum Schacht über Bypass entsprechend dem Abwasseranfall	<i>Geruchsreduktion: Verdrängen Schwefelwasserstoff verursachenden Bakterien (Entzug der Nahrungsquellen)</i>	keine (genannte Haupt-Einsatzbereiche: Abwassertanks, mobile WC, Mülltonnen)
Ecolab	Freshdrain	Komponente I: Fettsäuren, Fettsäureester u. -amide, Triglyceride, native Öle, Wasser Komponente II: Mikroorganismen (Bazillus pabuli), Enzyme, Trägermaterial (Semmelmehl)	Vierteljährliche Impfung des Schachtes	<i>Geruchsreduktion: Verdrängen der Sulfid-produzierenden Bakterien durch zugesetzte Mikroorganismen</i> <i>Reinigungswirkung: Anlösen und Abbau von Fetten und Inkrustierungen</i>	Im Bereich Großküchen, Fettabscheidern, Müllanlagen, Toilettenanlagen etc. Nicht im Bereich Druckleitung
Ecolab	Ne-O-dor	Parfum (Orangenterpene), Lösevermittler, Konservierungsvermittler	Zugabe in Ablauf, Schacht	<i>Geruchsreduktion: Geruchsbindung und bakterio-statische Wirkung</i>	Im Bereich Großküchen, Fettabscheidern, Müllanlagen, Toilettenanlagen etc. Nicht im Bereich Druckleitung

Tab. 3 (Forts.): Ergebnisse einer Marktrecherche zu biologischen Produkten zur Geruchsbekämpfung und Reinigung

Anbieter	Produkt	Zusammensetzung lt. Anbieter	Anwendung	Wirkungsweise lt. Anbieter	Vorliegende Referenzen
Link Chemie AG	MicroBac Enzym - FET	Bakterienkulturen (aerob arbeitend), Enzyme, Polyalkohole, Hilf- und Stellmittel, Duftstoffe	Zugabe zum Schacht über Bypass entsprechend dem Abwasseranfall	<i>Geruchsreduktion:</i> Abbau geruchsbildender Stoffe im noch aeroben Bereich <i>Reinigungswirkung:</i> Abbau von Fetten und organischen Substanzen	keine (genannte Haupt-Einsatzbereiche: Fettabscheider)
OPTO-CLEAN-SERVICE GmbH	„Systemprodukt“ (ggf. in Kombination mit Belüftung der Pumpstation)	Trägermaterial (Zeolite), Bakterien (im <u>aeroben</u> Bereich aktiv), Eisenhydroxid, Verflockungshilfsmittel	Zugabe in Pumpensumpf unter Belüftung; Einsatz auch in Pumpensämpfen, denen bereits Sulfidhaltiges Abwasser zugeleitet wird	<i>Geruchsreduktion:</i> Beschleunigter Abbau von Schwefelverbindungen im noch aeroben Bereich <i>Reinigungswirkung:</i> Abbau von Fetten und Schwimmdecken	3 Kläranlagen: Geruchsverminderung/ Behebung am Auslauf der DL, Beseitigung/Verminderung von Ablagerungen (v.a. Fett) in Pumpstationen
Wieds Ecochem AG	Bioliquid	Mikroorganismen (vorwiegend <u>aerob</u> arbeitende Bakterien)	Zudosierung im Schacht, tägliche Zugabe über 3-4 Wochen, anschließend wöchentlich	<i>Reinigungswirkung/ Geruchsreduktion:</i> Abbau organischer Stoffe mit Geruchsvermeidung	Eine Referenz im Bereich Reinigung/ Intervallverlängerung eines Fettabscheiders
Wieds Ecochem AG	Bio-Neutral	Mikroorganismen (aerob und anaerob arbeitende Bakterien)	Zudosierung in Schacht über Bypass	<i>Geruchsreduktion:</i> Verdrängen fäulnisbildender Bakterien	keine (genannte Haupt-Einsatzgebiete: Toiletten, Sickergruben, Müllcontainer, Brauchwasser- und Waschanlagen etc.)

3.5 Chemische Verfahren

Insbesondere im Öl- und Gaspipelinebereich sowie in der Industrie werden zur Beseitigung von Inkrustationen auch chemische Substanzen in Form von Säuren, Laugen und Lösungsmitteln eingesetzt. Dabei wird die Leitung für eine gewisse Einwirkzeit mit einer Lösung gefüllt oder die Flüssigkeit wird zwischen zwei Molchen durch die Leitung gedrückt. Dabei ist darauf zu achten, dass Rohrmaterialien, Dichtungen und Armaturen lösungsmittelbeständig sind. In der Regel dürfen die Substanzen nicht in die weiterführende Kanalisation oder das umliegende Erdreich gelangen, sodass zum einen die Dichtheit der Leitung garantiert werden muss und zum anderen die Lösung abgesaugt und entsorgt werden muss. Für den Abwasserbereich werden chemische Substanzen zur Reinigung i.d.R. nicht eingesetzt, da Aufwand und Kosten gegenüber anderen Verfahren zu hoch sind. [20, A26]

4 Betriebserfahrungen und Festlegung des Untersuchungsumfangs

Im Folgenden werden die Ergebnisse von Umfragen bei Netzbetreibern bezüglich ihrer Erfahrungen mit dem Betrieb von Abwasserdruckleitungen zusammengestellt. Darüber hinaus wird das im Rahmen dieses Vorhabens festgelegte Untersuchungsprogramm vorgestellt.

Betriebserfahrungen

Zu Beginn des Projektes wurden die Erfahrungen mit dem Betrieb und der Reinigung von Abwasserdruckleitungen von 20 Netzbetreibern aufgenommen. Übereinstimmend ergab sich, dass regelmäßige Wartungs- und Reinigungsarbeiten an der Pumpstation und den Armaturen, wie z.B. an den Be- und Entlüftungsventilen, durchgeführt werden, mit der Reinigung der Druckleitung selbst jedoch keine oder nur sehr wenige Erfahrungen vorliegen. Nur in Einzelfällen, in denen Leitungen verstopft waren oder sich die Förderleistung der Pumpen deutlich vermindert hatte, waren auch Druckleitungen gereinigt worden. Als Reinigungsverfahren waren Druckluftzugaben über Kompressoren, das Impuls-Spül-Verfahren oder Molche eingesetzt worden. Durch die Maßnahmen konnte die Abflusssituationen in den Leitungen meist verbessert werden.

Deutlich wurde, dass insgesamt große Unsicherheiten bezüglich der Eignung der unterschiedlichen Reinigungsverfahren vorlagen. Zudem wurde befürchtet, dass ein Molch stecken bleiben und zu aufwändigen Aufgrabungen führen könnte, sodass auf die Molchreinigung oft grundsätzlich verzichtet wurde.

Abb. 4 gibt eine Übersicht der von den 20 befragten Netzbetreibern genannten Probleme, die beim Betrieb von Abwasserdruckleitungen auftreten. Elf der Betreiber erwähnten Ablagerungen, fünf Betreiber gaben Verstopfungen und zwei Verfettungen der Be- und Entlüftungsventile an. Abnehmende Pumpenförderleistungen wurden bei acht Netzbetreibern beobachtet. Die Geruchsentwicklung durch Schwefelwasserstoff, z.T. in Verbindungen mit Betonkorrosion von Bauteilen, wurde oft als schwerwiegendes Problem angegeben. Sie wurde von 19 der 20 Befragten als Problem aufgeführt. Lediglich ein Netzbetreiber berichtete von einem störungsfreien Betrieb der Druckleitungen.

Viele der befragten Netzbetreiber gaben an, auch Druckleitungen mit einwandfreier Funktion in ihrem Bestand zu haben, die seit Inbetriebnahme nicht gereinigt wurden. Das Bedenken, eine Druckleitung könne bei mangelnder Reinigung verstopfen und zu Ausfällen der Pumpstation führen, bestand dennoch in den meisten Fällen.



Abb. 4: Probleme beim Betrieb von Abwasserdruckleitungen
(Befragung von 20 Netzbetreibern, August 2005)

Festlegung des Untersuchungsumfangs

In Abstimmung mit dem Lenkungskreis wurden folgende **Verfahren** in das Untersuchungsprogramm aufgenommen:

1. Impuls-Spül-Verfahren,
2. Molchen,
3. Hochdruckreinigung mittels Kanalspüldüse,
4. Erzeugung erhöhter Fließgeschwindigkeiten mittels Hydrant und Ejektor,
5. Biologisches Verfahren „Lipolyt 2000“.

Schwerpunktmäßig wurden das *Impuls-Spül-Verfahren* sowie die *Molchtechnik* als speziell für die Reinigung von Trinkwasserdruckleitungen bzw. von Pipelines und Industrielösungen konzipierte Verfahren getestet und die im Bereich der Freispiegelkanalisation übliche Reinigung mittels *Hochdruck-Spüldüse* in die Untersuchungen einbezogen. Darüber hinaus wurden ergänzende Spülversuche unter *Hydranten-Einsatz* und mit einem *Ejektor* durchgeführt (s. auch Kapitel 6).

Da Geruchsprobleme durch Schwefelwasserstoffbildung in Zusammenhang mit Abwasserdruckleitungen ein häufig genanntes Problem darstellen, wurde zusätzlich ein biologisches Verfahren („Lipolyt 2000“) in das Untersuchungsprogramm aufgenommen, dessen Anwendungsgebiet neben der Vermeidung und Verminderung organischer Ablagerungen auch in der Geruchsbekämpfung durch Unterdrückung der Schwefelwasserstoffbildung liegt. Das „Lipolyt 2000“ wurde ausgewählt, da bereits positive Erfahrungen von Netzbetreibern vorlagen (vgl. Kapitel Tab. 17, S. 131).

Die vorwiegend in der Pipelinetechnik und in der Industrie eingesetzten *chemischen Verfahren* wurden von den Untersuchungen ausgenommen, da sie bereits im Vorfeld als zu aufwendig und kostspielig für den Abwasserbereich eingestuft werden konnten. Ebenfalls fanden einfache *Druckluftzugaben über Kompressoren* (als Vorläufer des Impuls-Spül-Verfahrens) keine Anwendung, da sie nach Erfahrungen der Netzbetreiber [A12] nur bis zu Leitungsdurchmessern von ca. DN 80 / DN 100 ausreichend hohe Fließgeschwindigkeiten erzielen können.

Das **Untersuchungsprogramm** umfasste folgende Punkte:

1. Praxiseinsätze bei Netzbetreibern,
2. Reinigungsversuche an einer Teststrecke auf dem IKT-Gelände und
3. Reinigungsversuche an einer Teststrecke auf einer Kläranlage in Porta Westfalica.

Einen ersten Schwerpunkt des Untersuchungsprogramms bildeten *Praxiseinsätze*, bei denen die Handhabung sowie die technischen Voraussetzungen für den Einsatz des Impuls-Spül-Verfahrens, des Molchens, der Hochdruckreinigung und des biologischen Produktes erfasst wurden. Durch TV-Inspektionen von Teilstrecken und ggf. Überprüfungen der Pumpenförderleistungen vor und nach den Reinigungsmaßnahmen wurden Informationen zur Reinigungsleistung der Verfahren aufgenommen.

Ein weiterer Schwerpunkt der Untersuchungen wurde auf Versuche an einer rund 60 Meter langen *Teststrecke* aus PVC-Glas auf dem IKT-Außengelände gelegt. Unter reproduzierbaren Randbedingungen wurden hier die verschiedenen Verfahren einem Versuchsprogramm mit unterschiedlichen Ablagerungssituationen unterzogen. Der Streckenaufbau und die Ablagerungssituationen wurden so gewählt, dass zum einen ein breites Feld an in der Praxis möglichen Situationen nachgebildet wurde und zum anderen extreme Situationen geschaffen wurden, um die Einsatzgrenzen der Verfahren erfassen zu können (nähere Informationen können Kapitel 6.1 und 6.2 entnommen werden).

Das biologische Produkt wurde nicht an der Teststrecke eingesetzt, da der Versuchsaufbau (z.B. Betrieb der Leitung mit Frischwasser, Versuche mit mineralischen Ablagerungssituationen) nicht den Einsatzgebieten entsprach. Stattdessen wurde die Zahl der begleiteten Praxiseinsätze erhöht.

In Zusammenarbeit mit dem Abwasserbetrieb der Stadt Porta Westfalica wurde auf der Kläranlage „Möllbergen“ eine weitere Teststrecke errichtet, die mit Abwasser aus dem Zulauf der Kläranlage betrieben wurde. Sie diente sowohl als Anschauungsobjekt zur Sielhautbildung als auch für ergänzende Reinigungsversuche zur Sielhautentfernung.

Einzelheiten zu den Praxiseinsätzen werden im folgenden Kapitel geschildert. Details zu Aufbau und Ergebnissen der Versuche an der IKT-Teststrecke, der Teststrecke in Porta Westfalica sowie den ergänzenden Laborversuchen können Kapitel 6 entnommen werden.

5 Praxiseinsätze

5.1 Übersicht

In insgesamt zehn Testeinsätzen bei verschiedenen Netzbetreibern wurden das Molchen, das Impuls-Spül-Verfahren, der Einsatz einer Hochdruckspüldüse sowie ein biologisches Produkt unter Praxisbedingungen getestet.

Beim Molchen und Impuls-Spülen dienten je zwei bzw. drei Praxiseinsätze dazu, die Handhabung des Verfahrens und die notwendigen Voraussetzungen für den Einsatz sowie Fragestellungen für die Versuche an der Teststrecke aufzunehmen. An einer Druckleitung wurde eine Hochdruckspüldüse in direktem Vergleich zum Impuls-Spül-Verfahren eingesetzt. Der Biologie-Einsatz wurde an insgesamt vier Objekten begleitet, da die Wirkungsweise unter realistischen Abwasserbedingungen getestet werden sollte und daher auf Versuche an der Teststrecke verzichtet wurde. Eine Übersicht zu den Praxiseinsätzen gibt die *Tab. 4*.

Tab. 4: Übersicht der Praxiseinsätze

Verfahren/ Einsatzort	Druckleitung			Anlass
	Material	DN [mm]	Länge [km]	
Impuls-Spül-Verfahren/ Hannoversch Münden	PE	225	8,0	Fettablagerungen, reduzierte Pumpenförderleistung
Impuls-Spül-Verfahren/ Bad Honnef	PVC	150	0,5	Reduzierte Pumpenförderleistung
Impuls-Spül-Verfahren/ Gemeinde Extertal	PE	185	2,8	Beseitigung von Ablagerungen
Molchen/ Gemeinde Möhnesee	PVC	125	2,0	Erstmalige Reinigung, Geruch
Molchen/Leverkusen	PE	100/150	0,8	Beseitigung von Ablagerungen
Hochdruckspüldüse/ Gemeinde Extertal	PE	185	Leitungsteilstück	Beseitigung von Ablagerungen/Vergleich zur Impuls-Spülung
Biologie/Wermelskirchen	PE	90/115	1,1	Geruch, Ablagerungen in Pumpenschacht
Biologie/Bad Honnef	PE	125	0,2	Fettablagerungen in Pumpenschacht und an Armaturen
Biologie/Erkelenz	PE	90	0,7	Geruch, Ablagerungen in Pumpenschacht
Biologie/Lindlar	PE	100	0,5	Geruch

Im Folgenden werden Details zu den örtlichen Randbedingungen, dem Untersuchungsablauf und Zeitaufwand sowie den Ergebnissen der Praxiseinsätze beschrieben.

5.2 Impuls-Spül-Verfahren

Impuls-Spülungen wurden an Druckleitungen der Stadtentwässerung Hannoversch Münden, im Extertal und in Bad Honnef eingesetzt. Einzelheiten können den folgenden Kapiteln 5.2.1 bis Kapitel 5.2.2 entnommen werden.

5.2.1 Hannoversch Münden

5.2.1.1 Örtliche Randbedingungen

Seit ca. sechs Jahren betreibt die Stadtentwässerung Hannoversch Münden zwischen den Ortsteilen Hemeln und Gimte eine Druckleitung PE-HD DN 225 mit ca. 8 km Länge. Sie fördert das stark fetthaltige Abwasser des ländlichen Ortsteils Hemeln (ca. 1000 EW, Abwasseranfall ca. 5 l/sec). Das Wasser wird über einen Freispiegelkanal einem Pumpenschacht zugeführt und von dort aus rund 8 m Tiefe über zwei im Wechsel geschaltete Pumpen in die Druckleitung gefördert (s. Abb. 5 und Abb. 6).



Abb. 5: Pumpwerk

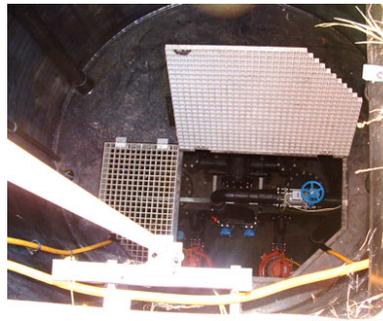


Abb. 6: Pumpenschacht



Abb. 7: Biofilter am Auslauf der Druckleitung

Die Druckleitung verläuft entlang der Bundesstraße B 80 und weist 8 Hochpunkte sowie 15 Tiefpunkte auf, wobei die Hochpunkte jeweils mit Schacht und Be-/Entlüftungsventilen (BEV) ausgestattet sind (s. Abb. 8 und Abb. 9). An den Tiefpunkten ist die Druckleitung über ein T-Stück mit beidseitig angeordneten Schiebern zugänglich (s. Abb. 10).



Abb. 8: Hochpunkt mit Schacht und Be-/Entlüftungsleitung



Abb. 9: Druckleitung mit Be-/Entlüftungsventil



Abb. 10: Druckleitung mit zwei Schiebern und T-Flansch

Beim Bau der Leitung wurde eine parallele Druckluftleitung verlegt. Über Anschlüsse an die Abwasserleitung kann Luft in die Abwasserdruckleitung eingeblasen werden. Ziel ist es, über einen Sauerstoffeintrag anaerobe Bedingungen und somit die Bildung von Sulfiden und H_2S zu vermeiden. Beim Betrieb zeigte sich jedoch, dass sich durch die Lufteinperlung vermehrt Fett in den Be- und Entlüftungsventilen (BEV) sammelte und somit ihre Funktion störte. Durch Luft einschlüsse in der Leitung liefen die Pumpen außerhalb ihrer Kennlinien. Daher wurde die Druckluftleitung außer Betrieb genommen.

Nach Stilllegung der Druckluftleitung entwickelten sich Geruchs- und Korrosionsprobleme am Auslauf der Druckleitung. Nach Angaben der Stadtentwässerung liegen die Aufenthaltszeiten des Abwassers bei bis zu 48 h. Im Übergabeschacht der Druckleitung in die Freispiegelkanalisation wurden infolgedessen H_2S -Konzentrationen bis über 100 ppm gemessen, sodass in der Umgebungsluft deutliche Geruchsbelästigungen entstanden. Mit einem Biofilter am Übergabeschacht (s. Abb. 7) konnten die H_2S -Konzentrationen in der Umgebungsluft auf < 2 ppm gesenkt und somit die Geruchsbelästigungen vermindert, jedoch nicht vollständig behoben werden.

Grund für eine Reinigung der Druckleitung waren stark schwankende Förderleistungen der Pumpen. Funktionsschäden der Pumpen sowie der BEV konnten aufgrund von Wartungsarbeiten als Ursache ausgeschlossen werden.

5.2.1.2 Praxiseinsatz

Die Druckleitung von Hemeln nach Gimte wurde auf ihrer gesamten Länge mittels Impuls-Spül-Verfahren gereinigt. Vor und nach der Reinigung wurde die Leitung in mehreren Teilstücken inspiziert.

Impuls-Spül-Verfahren:

Über das Pumpwerk wurde überwiegend ein Grundabfluss von 30-40 m^3/h erzeugt, sodass die vom Verfahrensanbieter gewünschten Fließgeschwindigkeiten von $v \approx 0,2-0,3$ m/s erreicht wurden. Aufgrund des schwankenden Leistungsverhaltens der Pumpen konnten jedoch zeitweise nur ca. 18 m^3/h (entspricht $v \approx 0,13$ m/s) gefördert werden, sodass der Idealwert z.T. unterschritten wurde. Die Wasserversorgung des Pumpwerks wurde dabei über Entnahmen aus der Weser mit Hilfe einer Tragkraftspritze sichergestellt (Abb. 11 und Abb. 12).



Abb. 11: Entnahme von Wasser aus der Weser



Abb. 12: Zuleitung des Flusswassers zum Pumpenschacht

Die rund 8 km lange Leitung wurde über acht Spülstationen gereinigt, wobei das Kompressorfahrzeug (s. Abb. 13) an Schächten zwischen 7.640 m und 650 m vor dem Auslauf positioniert wurde. Der größte Abstand zwischen den Spülstationen betrug dabei 1.390 m und der kürzeste 750 m. Die Spüldauer an der jeweiligen Station wurde anhand der Trübung des Spülschwalls (s. Abb. 15) am Ende der Druckleitung angepasst. Ein neuer Spülabschnitt wurde bei überwiegend klarem Wasser gewählt.

An den Tiefpunkten wurden die T-Stücke für den Anschluss des Druckluftschlauches verwendet (s. Abb. 14). An den Hochpunkten wurden die BEV entfernt.

Am Auslauf der Druckleitung konnten Spülstöße beobachtet werden, da zeitweise sehr wenig (oder kein) Wasser und zeitweise große Wassermengen in den Schacht strömten. Das Spülwasser wies z.T. deutliche Trübungen auf.

Der Zeitaufwand für die gesamte Reinigungsmaßnahme inklusive der Baustelleneinrichtungen betrug drei Tage.



Abb. 13: Spezial-Reinigungsfahrzeug



Abb. 14: Anschluss des Druckluftschlauches



Abb. 15: Spülschwall am Auslauf der Druckleitung

TV-Inspektion:

Vor der Reinigung wurden rund 860 m der Leitung über drei Schächte (Tiefpunkte) jeweils zwischen 90 m und 300 m in und gegen die Fließrichtung inspiziert. Die Schächte befanden sich an 3 Tiefpunkten (ca. 1,2 km, 3,8 km und 5,3 km hinter der Pumpstation). Die Inspektion zeigte in allen Leitungsabschnitten deutliche Fettablagerungen im Scheitel- und Kämpferbereich, während der Sohlbereich überwiegend frei von Ablagerungen war (s. Abb. 16 und Abb. 21).

Die Inspektion nach der Reinigung (insgesamt 1.450 m) zeigte, dass die Ablagerungen im Scheitelbereich stark verringert werden konnten, in den Kämpferbereichen jedoch deutliche Restbestände erkennbar waren (s. Abb. 16 bis Abb. 21). Steine, die im Rahmen der der Inspektion vor der Reinigung aufgenommen worden waren, wurden offensichtlich weitertransportiert worden.

Der Inspektionsaufwand vor und nach der Reinigung betrug insgesamt drei Tage. Aufgrund der Außerbetriebnahme der Leitung während der Inspektion mussten zusätzlich mehrere Spülfahrzeuge für die Wasserhaltung eingesetzt werden.



Abb. 16: Beispiel 1 – Inspektion vor der Reinigung



Abb. 17: Beispiel 1 – Inspektion nach der Reinigung



Abb. 18: Beispiel 2 – Inspektion vor der Reinigung



Abb. 19: Beispiel 2 – Inspektion nach der Reinigung



Abb. 20: Beispiel 3 – Inspektion vor der Reinigung



Abb. 21: Beispiel 3 – Inspektion nach der Reinigung

5.2.1.3 Ergebnis

Hinsichtlich des Praxiseinsatzes des Impuls-Spül-Verfahrens lassen sich folgende Punkte zusammenfassen:

- Vor der Reinigung wies die Leitung in den inspizierten Teilbereichen deutliche Fettablagerungen im Scheitel- und Kämpferbereich auf.
- Durch die Impuls-Spülung wurden die Fettablagerungen, vorwiegend im Scheitelbereich, deutlich vermindert. Sie konnten jedoch, insbesondere in den Kämpferbereichen, nicht vollständig entfernt werden.
- Die im Rahmen der Inspektion gesichteten Steine wurden weitertransportiert.
- Der vom Verfahrensanbieter gewünschte Grundabfluss von 30-40 m³/h ($v \approx 0,2-0,3$ m/s) wurde zeitweise unterschritten. Inwieweit dies einen Einfluss auf die Reinigungsleistung hat, ist unklar.
- Eine Außerbetriebnahme der Druckleitung während der Spülung war nicht erforderlich.
- Die Pumpenförderleistungen lagen nach der Reinigung wieder im optimalen Bereich.
- Die TV-Inspektionen von 860 m vor und 1.450 m nach der Reinigung waren mit sehr hohem Aufwand verbunden.

5.2.2 Bad Honnef

5.2.2.1 Örtliche Randbedingungen

Seit 1983 wird im Ortsteil Aegidienberg der Stadt Bad Honnef eine rund 0,5 km lange Druckleitung PVC-hart DN 150 betrieben. Von der Pumpstation in der Straße „Im Schlickerfeld“ (s. Abb. 22) fördert sie das Abwasser einer Siedlung mit 900 Einwohnern und eines fleischverarbeitenden Betriebes (200 EGW) zu einem ca. 440 m entfernt liegenden Freispiegelkanal der Straße „In den Kircherlen“ (s. Abb. 23).

Die Leitung verläuft von der Pumpstation aus zunächst ca. 150 m geradlinig, ändert dann über zwei 45°-Bögen ihre Richtung um 90° und läuft anschließend wiederum geradlinig auf den Freispiegelkanal zu, an den sie über ein Bogenstück mittels eines Flansches angeschlossen ist. Sie enthält weder Hoch- noch Tiefpunkte und somit keine Be- und Entlüftungsventile.

Sowohl unmittelbar hinter der Pumpstation als auch direkt über der 90°-Richtungsänderung liegt jeweils ein Schacht. In beiden Schächten bestehen Zugänge über T-Stücke mit Blindflanschen.

An der Leitung waren keine betrieblichen Störungen erkannt worden, bis im Rahmen einer Drosselkalibrierung eine verminderte Pumpenförderleistung festgestellt wurde. Da die Pumpen kurz zuvor gewartet hinsichtlich ihrer Leistung überprüft worden waren, wurden Ablagerungen in der Leitung vermutet und gaben Anlass zur Reinigung.



Abb. 22: Pumpenschacht



Abb. 23: Schacht „Leonard-Kraus-Straße“: Freispiegelkanal (geschlossene Rohrdurchführung) unmittelbar hinter der Anschlussstelle der Druckleitung

5.2.2.2 Praxiseinsatz

Zur Reinigung der Druckleitung „Im Schlickerfeld/Leonhard-Kraus-Straße“ wurde das Impuls-Spül-Verfahren eingesetzt. Zur Kontrolle der Reinigungsleistung wurde die Leitung vor und nach der Reinigung mittels Kanalkamera inspiziert.

Reinigung mittels Impuls-Spül-Verfahren:

In einem ersten Schritt wurde das Pumpwerk mit Hilfe eines Saugfahrzeugs geleert (s. Abb. 24) und im Anschluss daran über einen nahe gelegenen Hydranten mit Frischwasser gefüllt. Der Grundabfluss während des Reinigungsvorgangs wurde über die vorhandenen zwei Pumpen erzeugt, wobei das Abflussvolumen bei ca. 35 m³/h lag.



Abb. 24: Entleerung des Pumpenschachtes vor der Reinigung



Abb. 25: Spezial-Kompressorfahrzeug

Das Kompressorfahrzeug (Abb. 25) wurde im Pumpenschacht über eine C-Kupplung an die Druckleitung angeschlossen. Im ersten Reinigungszyklus wurden die Luftimpulse mit einem Druck von 4 bar in die Leitung gegeben (der Gegendruck im Anschlussbereich betrug 1 bar).

Am Schacht unmittelbar hinter dem Anschluss der Druckleitung an den Freispiegelkanal, konnten die Spülschwalle beobachtet werden (s. Abb. 26 und Abb. 27). Dazu wurde am geschlossen durch den Schacht geführten Freispiegelkanal ein Revisionsstück geöffnet. Zu Beginn der Reinigung war das Spülwasser deutlich braun gefärbt, nach einer Spülzeit von 20 Minuten wurde es klar (Abb. 27). Daraufhin wurde der Luftimpuls-Druck in einem zweiten Reinigungszyklus auf 5 bar erhöht und die Spülstöße neu reguliert, um längere Luftblasen zu erzeugen. Da das Wasser weiterhin klar blieb, wurde der Spülvorgang beendet.

Der Gesamtaufwand für die Reinigung lag bei ca. zwei Stunden inklusive der Aufbau- und Anschlussarbeiten.



Abb. 26: Freispiegelkanal unmittelbar nach Anschlussstelle der Druckleitung - Grundabfluss während der Reinigung



Abb. 27: Freispiegelkanal unmittelbar nach Anschlussstelle der Druckleitung – Spülschwallaustritt

Bei der Reinigungsmaßnahme wurde die Druckleitung bzw. ihre Aufhängung im Anschlussbereich innerhalb des Pumpwerks beschädigt. Während des Drucklufteintrags hatte sich eine nicht ausreichend längskraftschlüssig gesicherte Überschiebemuffe gelöst, sodass die Leitung aus der Halterung rutschen konnte.

TV-Inspektion:

Sowohl vor als auch nach der Reinigung wurde ein Teil der Druckleitung mit einer Schiebekamera (Abb. 28) inspiziert, die über den ca. 150 m hinter der Pumpstation gelegenen Schacht (Abb. 29) eingeschoben wurde. Eine Öffnung zur Leitung bestand in Form eines T-Stückes mit Blindflansch. Die Schiebekamera konnte vom Schacht aus jeweils ca. 60 m in und gegen die Fließrichtung in die Leitung eingeschoben werden.



Abb. 28: Schiebekamera mit starrem Kopf



Abb. 29: Inspektionsschacht ca. 150 m hinter der Pumpstation

Die Inspektion vor der Reinigung zeigte deutliche Ablagerungen fast über den gesamten Rohrquerschnitt (s. Abb. 30). Lediglich im Sohlbereich schienen die Ablagerungen geringer zu sein. Die Struktur und helle Farbe der Ablagerungen lässt auf Sielhaut und evtl. Fett schließen. Auch die Tatsache, dass ein fleischverarbeitender Betrieb angeschlossen ist, lässt vermuten, dass es sich teilweise um Fettablagerungen handeln könnte.

Die Inspektion nach der Reinigung zeigte eine verminderte Schichtdicke der Ablagerungen, jedoch keine vollständige Entfernung.



Abb. 30: Ablagerungssituation vor der Reinigung



Abb. 31: Ablagerungssituation nach der Reinigung

Ein weiterer Inspektionsversuch über den zweiten Schacht (Abb. 32) unmittelbar hinter der Pumpstation scheiterte daran, dass die Schiebekamera den 90°-Bogen vom T-Stück in die Druckleitung nicht überwinden konnte. Im Gegensatz zum ersten Schacht ist das T-Stück hier mit einem Schieber kombiniert.

Der Aufwand für die TV-Inspektionen vor und nach der Reinigung betrug insgesamt ca. zwei Stunden.



Abb. 32: Schacht mit Zugang über ein T-Stück mit Schieber

5.2.2.3 Ergebnis

Der Praxiseinsatz des Impuls-Spülens an einer Druckleitung „Aegidienberg“ der Stadt Bad Honnef lieferte folgende Ergebnisse:

- Die Ablagerungen in der Leitung konnten durch das Impuls-Spülen verringert, jedoch nicht vollständig beseitigt werden.
- Durch die Druckluftstöße können dynamische Belastungen der Leitung auftreten, insbesondere dann, wenn der Druckluftschlauch in der Pumpstation angeschlossen wird. Daher ist im Vorfeld zu prüfen, ob die Bauelemente und Armaturen sicher befestigt sind. Insbesondere sollten die Bauteile längskraftschlüssig verbunden sein.
- Durch Beobachten des Spülschwall am Ende der Druckleitung können Spüldauer und –druck so eingestellt werden, dass ein für das Verfahren optimaler Reinigungserfolg erzielt wird.

5.2.3 Extertal (mit Einsatz einer Hochdruckspüldüse)

5.2.3.1 Örtliche Randbedingungen

Das Schmutzwasser der ca. 3000 Einwohner der Ortsteile „Silixen“, „Kükenbruch“ und „Lassbruch“ wird im Trennverfahren der Pumpstation „Silixen“ zugeführt und von dort aus über eine ca. 2,8 km lange Druckleitung PE-HD 225x20,5 bis zur Zwischenpumpstation „Bremke“ (s. Abb. 49) gefördert. Von „Bremke“ aus wird das Abwasser über eine weitere Druckleitung bis zur Zentralkläranlage im Ortsteil „Almena“ geleitet.

Die Pumpstation „Silixen“ wurde Anfang 2001 auf der ehemaligen Kläranlage „Silixen“ errichtet. Besonderheit der Pumpstation ist, dass der Unterbau der alten Tropfkörperanlage zu einem Pufferbecken mit 575 m³ umgestaltet wurde (s. Abb. 51). Die Druckleitung wurde 2001 in Betrieb genommen.

Zugangsmöglichkeiten zur Leitung bestehen über vier Spül- und Entleerungsschächte (s. Abb. 36), die in Abständen zwischen ca. 450 m und 850 m angeordnet sind. Zusätzlich befinden sich an den zwei Hochpunkten der Leitung Be- und Entlüftungsschächte.

Neben hohen Schwefelwasserstoffkonzentrationen in der Zwischenpumpstation „Bremke“, die zu starken Korrosionen des Betonschachtes geführt haben, sind bislang keine Probleme beim Betrieb der Druckleitung aufgetreten.

Im Herbst 2003 ließen die Wirtschaftsbetriebe Extertal erstmals Leitungen, an denen wiederkehrend Ablagerungen und Verstopfungen auftraten, mit dem Impuls-Spül-Verfahren reinigen. Aufgrund guter Erfahrungen wurde nun auch die Druckleitung „Silixen-Bremke“ vorbeugend mit dem Impuls-Spül-Verfahren gereinigt.

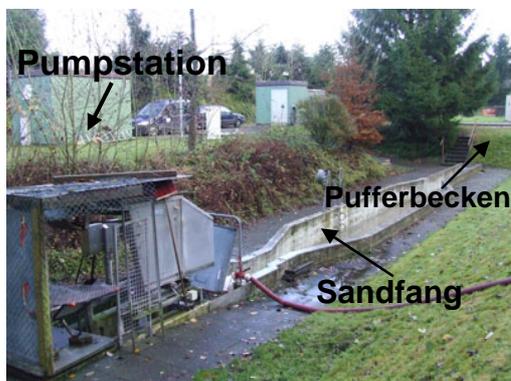


Abb. 33: Pumpstation „Silixen“ mit vorge-schaltetem Sandfang und Puffer-becken



Abb. 34: Pufferbecken (Unterbau der ehemaligen Tropfkörperanlage)



Abb. 35: Pumpenschacht



Abb. 36: Spül- und Entleerungsschacht

5.2.3.2 Praxiseinsatz

In einem ersten Schritt wurde die Leitung über einen Spül- und Entleerungsschacht in und gegen die Fließrichtung inspiziert. Im Anschluss daran wurde ein Leitungsstück *gegen* die Fließrichtung mit einer herkömmlichen Kanalspüldüse gereinigt und erneut mit der Kamera befahren, um die Reinigungsleistung zu überprüfen. Die Ablagerungen im Leitungsteilstück *in* Fließrichtung blieben unbehandelt. So war nach der später folgenden Impuls-Spülung der gesamten Druckleitung und erneuter Inspektion ein direkter Vergleich zwischen Impuls-Spülung und Kanalspüldüse möglich.

Reinigung mittels Hochdruckspüldüse:

Der Spülschlauch wurde über den zuvor zur TV-Inspektion genutzten Schacht eingesetzt. Bereits für die Inspektion war ein Pass-/Einbaustück (s. Abb. 82) entfernt und die Leitung entleert worden. Über die vorhandene Öffnung wurde der Spülschlauch eingebracht.

Mit der Hochdruckspüldüse wurden ca. 40 m der Leitung gereinigt. Die Handhabung entsprach dabei einer Reinigung im Bereich der Freispiegelkanalisation.

Der Aufwand für das Entleeren der Leitung und die Reinigung betrug ca. 3,5 Stunden.

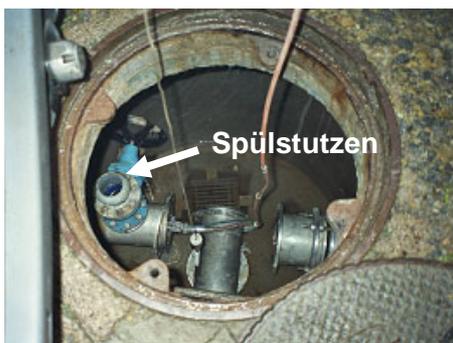


Abb. 37: Leitung mit demontiertem Pass-/Einbaustück sowie Spülstutzen mit Schieber

Spülung mit dem Impuls-Spül-Verfahren:

Im Vorfeld wurde das Pufferbecken an der Pumpstation mit Abwasser gefüllt, um Wasser für den Grundabfluss bereit zu halten. Zusätzlich wurde die Pumpstation während des Impuls-Spülens mit Wasser aus einem nahe gelegenen Bach gespeist, das mit Hilfe einer Tragkraftspritze entnommen wurde (s. Abb. 38 und Abb. 39). (Später stellte sich heraus, das ausreichend Wasser mit der Tragkraftspritze gefördert werden konnte und auf eine Füllung des Pufferbeckens hätte verzichtet werden können).

Vor Beginn der Reinigung wurden sämtliche Entlüftungsventile an den Hochpunkten geschlossen, um ein Entweichen der Luftblasen zu vermeiden. Anschließend wurde die 2,8 km lange Leitung innerhalb von 22 Stunden (2,5 Tage) von drei Stationen aus gespült, wobei am Schacht nahe des Auslaufs begonnen wurde. Die Abstände der Spülstationen lagen dabei zwischen 800 und 1000 m. Der Druckluftschlauch wurde an Spülstutzen in den Schächten angeschlossen (s. Abb. 40 und Abb. 41).



Abb. 38: Feuerwehrpumpe mit Bach im Hintergrund



Abb. 39: Zuleitung des Bachwassers in den Sandfang



Abb. 40: Spülfahrzeug am Spül- und Entleerungsschacht



Abb. 41: Anschluss des Druckluftschlauches an die Druckleitung (ohne (li) und mit (re) Druckluftzugabe)

Über das Pumpwerk konnte ein Grundabfluss von ca. 30 m³/h aufgebracht und damit eine Fließgeschwindigkeit von ca. 0,3 m/s erreicht werden. Somit waren die Anforderungen des Anbieters an die Mindestfließgeschwindigkeit von $v_{\min}=0,2-0,3$ m/s erfüllt. Insgesamt wurden während des 2,5-tägigen (22 Stunden) Spülens zusätzlich zum üblichen Wasseraufkommen ca. 500 m³ gefördert [27].

Als nachteilig erwies sich, dass der Spülschwall in der Zwischenpumpstation unterhalb des Wasserspiegels eingeleitet wird (s. Abb. 6). Andernfalls wird die Trübung/Beschaffenheit des Spülwassers zur Orientierung bei der Festlegung von Spüldauer und Impulsdrücken genutzt.

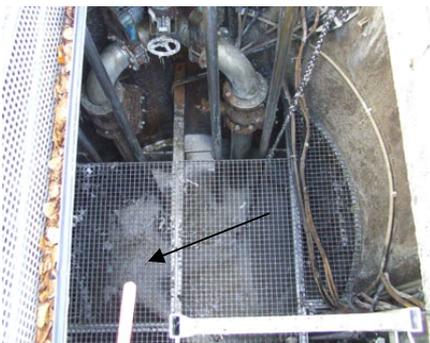


Abb. 42: Pumpstation mit Einleitung des Wassers der Druckleitung unterhalb des Wasserspiegels

TV-Inspektion:

Zur Inspektion der Druckleitung im Vorfeld der Reinigung wurde zunächst die Pumpstation „Silixen“ außer Betrieb genommen. Dabei konnte das Pufferbecken als Stauraum für das anfallende Schmutzwasser genutzt werden.

Anschließend wurde die Leitung über den Spül- und Entleerungsschacht IV bei der Station 1.953,5 m geleert, indem der im Schacht befindliche Spülstutzen geöffnet wurde und das Wasser mit einem Spülfahrzeug aus dem Schacht entfernt wurde. Auf die Möglichkeit, das Spülfahrzeug direkt an den Spülstutzen anzuschließen, wurde bewusst verzichtet, um hohe Fließgeschwindigkeiten in der Leitung und damit eine mögliche Vorreinigung der Leitung zu vermeiden.

Nach der Entleerung wurde das Pass- und Einbaustück (s. Abb. 43) demontiert und die Fahrwagenkamera (s. Abb. 44) eingesetzt. In Fließrichtung konnten nur ca. 5 m inspiziert werden, da die Kamera an einer Spiegelschweißnaht hängen blieb. Gegen Fließrichtung konnten rund 15 m aufgenommen werden. Auch hier musste die Inspektion aufgrund einer Schweißnaht abgebrochen werden. Eine Inspektion über einen weiteren Schacht war nicht möglich, weil sich ein Streckenschieber als defekt herausstellte.

Die Inspektion vor der Reinigung zeigte eine ca. 5 mm bis 8 mm dicke Sielhautschicht auf der Rohrwandung.

Die nochmaligen Inspektionen nach der Reinigung zeigten, dass die Sielhaut mit der Spüldüse fast vollständig entfernt worden war. Mit dem Impuls-Spül-Verfahren war die Sielhaut deutlich vermindert worden, im Vergleich zur Spüldüse waren jedoch erheblich mehr Rückstände vorhanden (s. Abb. 45 bis Abb. 48).

Der Aufwand für die TV-Inspektionen vor und nach der Reinigung betrug jeweils zwischen 3 und 4,5 Stunden, wovon der überwiegende Teil der Zeit für die Entleerung der Leitung benötigt wurde.



Abb. 43: Leitung mit demontiertem Pass-/Einbaustück



Abb. 44: Inspektionskamera



Abb. 45: Ablagerungen vor der Impuls-Spülung



Abb. 46: Ablagerungen nach der Impuls-Spülung



Abb. 47: Ablagerungen vor der Reinigung mittels Kanaldüse

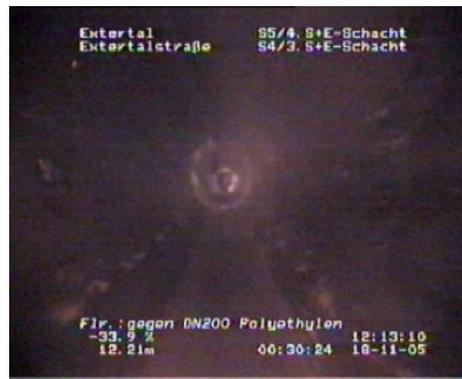


Abb. 48: Ablagerungen nach der Reinigung mittels Kanaldüse

5.2.3.3 Ergebnis

Zusammenfassend lassen sich folgende Schlussfolgerungen aus den Praxiseinsätzen ziehen:

- Durch die Impuls-Spülung konnte die Sielhaut in den inspizierten Teilstücken deutlich reduziert werden. Eine höhere Reinigungsleistung wurde jedoch mit der konventionellen Hochdruckspüldüse erzielt. Hier konnte die Sielhaut nahezu vollständig entfernt werden.
- Als nachteilig bei der Reinigung mittels Spüldüse erwies sich die notwendige Außerbetriebnahme der Leitung und der hohe Aufwand für den Einsatz. Am Zugangsschacht für den Spülschlauch mussten sowohl das Abwasser aus der Leitung als auch das Spülwasser abtransportiert werden. Aufgrund der begrenzten Reichweite eines Spülschlauches sind Schächte in geringen Abständen erforderlich und die Reinigung muss in mehreren Abschnitten erfolgen.
- Die TV-Inspektion war aufgrund der Entleerung der Leitung (Dauer ca. 3 h) mit einem hohen Aufwand verbunden.
- Aufgrund des Pufferbeckens konnte bei der Außerbetriebnahme der Leitung während der TV-Inspektion und des Einsatzes der Spüldüse auf eine Wasserhaltung verzichtet werden.
- Im Vorfeld von Reinigungs- oder Inspektionsmaßnahmen ist es sinnvoll, alle relevanten Armaturen auf ihre Funktion zu überprüfen.

5.3 Molchen

Molchreinigungen wurden an je einer Druckleitung der Gemeinde Möhneseesee und der Stadt Leverkusen begleitet. Anlass zur Reinigung bei der Gemeinde Möhneseesee waren Geruchsbelästigungen durch H_2S , in Leverkusen sollten Ablagerungen aus der Leitung entfernt werden.

5.3.1 Möhneseesee

5.3.1.1 Örtliche Randbedingungen

Die Gemeinde Möhneseesee betreibt am Südufer des Möhneseesee eine ca. 2 km lange PVC-Druckleitung DN 125, die das Abwasser des Campingplatzes „Südufer“, einer Chemietoiletten-Aufnahme-Station und eines weiteren Außenbereiches (Entwässerung über eigene, private Druckleitung bis zum Campingplatz) zum ca. 2 km entfernten Freispiegelkanal führt.

Entsprechend dem Lageplan enthält die Druckleitung auf den ersten 500 m im Bereich des Campingplatzes neun Richtungsänderungen zwischen 60° und 90° (nach Angaben der Gemeinde als Langbögen ausgeführt), bevor sie dem kurvigen Verlauf der Landstraße L 857 entlang des Möhneseeseeufers folgt. Der vorliegende Längsschnitt zeigt einen Hoch- und einen Tiefpunkt.

Insgesamt sind drei Schächte an der Leitung vorhanden: Ein Entleerungsschacht auf dem Campingplatzgelände (mit T-Stück mit Schieber), ein seitlich an einen Hochpunkt angeschlossener Schacht auf ca. der Hälfte der Strecke und ein seitlicher Entleerungsschacht ca. 100 m vor dem Ende der Leitung.

Im Bereich der Wohnbebauung, am Übergabepunkt zwischen Druckleitung und Freispiegelkanal, klagen die Anwohner, insbesondere in den Sommermonaten, über starke Geruchsbelästigungen. Darüber hinaus lassen Korrosionserscheinungen an den Schachtbauwerken des angrenzenden Freispiegelkanals auf H_2S -Bildung schließen.

Durch eine automatische Wasserstoffperoxid-Einperlung in den Pumpenkessel sowie durch tägliches 15-minütiges Spülen der Leitung mit Wasser des Möhneseesee konnte bisher keine Verbesserung der Situation erzielt werden. Auch konnten Geruchsfilter (s. Abb. 51) in den Schächten das Geruchsproblem nicht beheben. Eine gezielte Reinigung der Leitung fand bisher nicht statt.



Abb. 49: Pumpstation



Abb. 50: Übergabeschacht



Abb. 51: Geruchsfilter am Freispiegelkanal

5.3.1.2 Praxiseinsatz

Der Praxiseinsatz an der Druckleitung am Südufer des Möhnesees umfasste die Molchreinigung, eine TV-Inspektion vor und nach der Reinigung sowie Messungen der H₂S-Konzentration im angrenzenden Freispiegelkanal.

Molchreinigung:

Um einen kurzfristigen Zugang zur Druckleitung zu schaffen, wurde in der Pumpstation ein geflanshtes Rohrstück entfernt (vgl. Abb. 49 und Abb. 53) und der Molch mit Hilfe eines Hammers in die Leitung eingeschlagen (s. Abb. 52). Anschließend wurde eine Tragkraftspritze angeschlossen, mit der Wasser des Möhnesees zum Vortrieb des Molches gefördert wurde (s. Abb. 54). Der Druck an der Pumpe betrug ca. 4,5 bar.

Das Pumpwerk wurde während der gesamten Maßnahme außer Betrieb genommen und der Zulauf zum Pumpwerk gesperrt. Für das anfallende Abwasser wurde ein Saugfahrzeug bereitgehalten.



Abb. 52: Einbringen des Molches in die Druckleitung



Abb. 53: Anschluss des Pumpaggregats



Abb. 54: Feuerwehpumpe

Am Ende der Druckleitung wurde ein Sicherungsnetz angebracht, um die austretenden Molche aufzufangen. Um den Problempunkt des Freispiegelkanals nicht zusätzlich mit Ablagerungen aus der Druckleitung zu belasten, wurde das Spülwasser mit einem Saugfahrzeug entfernt.



Abb. 55: Sicherungsnetz am Ende der Druckleitung



Abb. 56: Saugfahrzeug hinter dem Auslauf der Druckleitung

Insgesamt wurden drei Reinigungsdurchgänge mit unterschiedlichen Molchtypen gefahren. Beim ersten Durchgang wurde ein vergleichsweise weicher Molch aus PE-Schaumstoff eingesetzt (s. Abb. 57), um die Durchgängigkeit der Leitung zu prüfen. Da der Molch keine besonderen Abnutzungen oder Schäden aufwies, wurde für den nächsten Durchgang ein härterer Molch aus PE-Schaumstoff mit aufgesetzten PUR-Streifen

verwendet (s. Abb. 58). Beim dritten Durchgang wurde ein härterer Molch mit kompletter PUR-Ummantelung verwendet (s. Abb. 59).



Abb. 57: Molchtyp I aus PE-Schaum

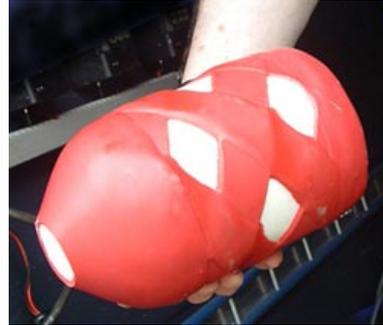


Abb. 58: Molchtyp II aus PE-Schaum mit PUR-Streifen



Abb. 59: Molchtyp III aus PE-Schaum mit PUR-Ummantelung

Bei dem ersten Reinigungsdurchgang wies das am Auslauf der Leitung austretende Wasser eine deutliche, dunkle gräulich/schwarze Färbung auf. Bei den weiteren Spüldurchgängen wurde das Wasser zunehmend heller.

Der Zeitaufwand für das Molchen inklusive Vorbereitungsarbeiten (Öffnen der Leitung, Anschluss der Pumpe etc.) und Pausen, die durch den Abtransport des Spülwassers verursacht wurden, betrug rund 5 Stunden. Der Gesamtaufwand mit Unterbrechungen durch die Inspektionsarbeiten lag bei rund 8 Stunden.



Abb. 60: Auslauf während des ersten Spüldurchgangs



Abb. 61: Auslauf während des zweiten Spüldurchgangs



Abb. 62: Auslauf während des üblichen Abwasser-Pumpbetriebs

Probennahme und H₂S-Messung:

Bei einer Ortsbegehung im Vorfeld der Reinigungsmaßnahme wurden Abwasserproben am Zulauf des Pumpwerkes (Abwasser des Campingplatzes inkl. Chemietoiletten-Annahme) und am Auslauf der Druckleitung entnommen (s. Abb. 63 bis Abb. 65). Diese wurden anschließend am Hygiene-Institut, Gelsenkirchen, auf ihren BSB₅- und CSB-Gehalt analysiert.



Abb. 63: Abwasserprobe am Zulauf zur Pumpstation



Abb. 64: Probennahme am Auslauf der Druckleitung



Abb. 65: H₂S-Messung mit Gaswarngerät an der Schachtschle

Die Abwasserprobe am Zulauf zur Pumpstation enthielt keine Feststoffe und wies eine grün/blau Färbung auf (s. Abb. 63). Offensichtlich handelte es sich bei der punktuellen Aufnahme vorwiegend um Abwasser aus der Annahmestation für Chemietoiletten. Proben am Auslauf der Druckleitung wurden sowohl aus dem Abwasserstrom des normalen Pumpbetriebs als auch während des Spülens mit Seewasser genommen. Dabei zeigte sich nach 15-minütiger Spülung (bislang gewählte Spüldauer zum Austausch des Wasservolumens der Leitung) noch keine abnehmende Trübung des Wassers. Entsprechend wies auch die Abwasserprobe nach 15-minütiger Spüldauer einen vergleichsweise hohen BSB₅ bzw. CSB auf (s. Tab. 5). Mit weiterer Spüldauer wurde der Abwasserstrom zunehmend dunkler und es konnte ein deutlicher Geruch wahrgenommen werden.

Während des gesamten Spülbetriebs war in Schachtnähe ein deutlicher H₂S-Geruch wahrnehmbar. Messungen mittels Gaswarngerät ergaben während des Spülbetriebes H₂S-Konzentrationen im Gasraum der Schachtschle bis zu 100 ppm (Geruchsschwelle: 0,02 ppm, MAK-Wert: 10 ppm, Reizung der Schleimhäute: um 100 ppm). Wenige Minuten nach dem Pumpbetrieb wurden Spitzenwerte bis 14 ppm gemessen (s. Tab. 5).

Tab. 5: BSB₅- und CSB-Gehalt der Abwasserproben und H₂S-Konzentration im Schacht

Ort der Probennahme	BSB ₅ [mg/l]	CSB [mg/l]	H ₂ S-Konzentration Schachtschle [ppm]
Zulauf Pumpwerk	345	759	0
Auslauf Druckleitung vor Pumpbetrieb	—	—	0 - 1
Abwasser-Pumpbetrieb	600	1270	bis 100
Beginn Seewasser-Pumpbetrieb	846	1740	
ca. 15 min Seewasser-Pumpbetrieb	1100	2230	
ca. 30 min Seewasser-Pumpbetrieb	841	1670	bis 14
nach Pumpbetrieb	—	—	

BSB₅ nach EN 1899-1:1998; CSB nach DIN 3740 - H 41

Darüber hinaus wurde an vier hinter dem Auslauf der Druckleitung gelegenen Schächten des Freispiegelkanals, an denen Geruchsprobleme auftreten, die H₂S-Konzentrationen der Luft gemessen. Bei allen Schächten, meist auch im Bereich zwischen den Schächten, war für alle beteiligten Personen ein deutlicher H₂S-Geruch in der Umgebungsluft wahrnehmbar (H₂S-Messungen ergaben 0-2 ppm). Innerhalb der Schächte wurden bis zu 15 ppm gemessen (s. Tab. 6).

Tab. 6: H₂S-Konzentrationen an Schächten des weiterführenden Freispiegelkanals

Schacht	H ₂ S-Konzentration GOK* [ppm]	H ₂ S-Konzentration Schachtsohle* [ppm]
Nr. 7	bis 7	bis 12
Nr. 9	bis 2	bis 4
Nr. 12	bis 15 [nach Entfernen d. Geruchsfilters]	bis 3
Nr. 14	bis 2	bis 6

*Außenluft-Temperatur: ca. 25 °C, sonnig, 14.06.05 ca. 12.00 Uhr, Schachtnummern s. Abb. 66

Nach dem Molchen der Leitung wurden weitere H₂S-Kontrollmessungen von der Gemeinde Möhnesee durchgeführt. Bei einer Kontrolle acht Tage nach dem Molchen war bereits ein deutlicher H₂S-Geruch am Freispiegelkanal hinter dem Auslauf der Druckleitung zu verzeichnen. Regelmäßige Messungen über einen Zeitraum von fünf Wochen lieferten an 6 von 15 Tagen wahrnehmbare H₂S-Konzentrationen an der Geländeoberfläche (s. Tab. 7 und Abb. 66). Messungen während bzw. kurz nach dem Abwasserpumpbetrieb lieferten jeweils Spitzen-Werte von bis zu 57 ppm an der Schachtsohle und 12 ppm an der Geländeoberkante.

Tab. 7: Messreihe zu H₂S-Konzentrationen der Kanalluft, Gemeinde Möhnesee

Datum	Zeit	Außen-temperatur [°C]	Schacht 1 Übergabeschacht		Schacht 12		Schacht 13		Schacht 14		Wetter
			H ₂ S Sohle [ppm]	H ₂ S GOK [ppm]	H ₂ S Sohle [ppm]	H ₂ S GOK [ppm]	H ₂ S Sohle [ppm]	H ₂ S GOK [ppm]	H ₂ S Sohle [ppm]	H ₂ S GOK [ppm]	
29.06.05	10.30	ca. 20	15-57	—	6	—	44*	8*	0	0	Trocken
15.08.05	10.30	19	3	0	39	20	36	9	6	0	Nass
17.08.05	10.30	19	0	0	4	1	4	2	1	0	Trocken
22.08.05	11.00	19	0	0	0	0	0	0	0	0	Nebel, Nieselregen
24.08.05	11.00	17	0	0	0	0	0	0	0	0	Trocken
26.08.05	10.00	15	0	0	2	1	4	2	2	1	Trocken
29.08.05	9.45	16	0	0	23	12	10	3	7	1	Trocken
31.08.05	10.45	26	0	0	0	0	0	0	0	0	Trocken
05.09.05	10.00	24	0	0	4	3	2	0	2	0	Trocken
07.09.05	10.45	24	0	0	0	0	0	0	0	0	Trocken
09.09.05	10.30	23	0	0	0	0	0	0	0	0	k.A.
12.09.05	10.00	15	0	0	0	0	0	0	0	0	Regen
14.09.05	10.00	16	0	0	2	0	2	0	0	0	Trocken
16.09.05	10.30	18	0	0	4	1	2	0	1	0	Regen
19.09.05	10.45	12	0	0	0	0	0	0	0	0	Trocken
21.09.05	11.00	15	0	0	0	0	0	0	0	0	Trocken

Gelbe Markierung: 29.06.05: Messung am Übergabeschacht während des Pumpbetriebs und an übrigen Schächten kurz nach dem Pumpbetrieb
 29.08.05: Messung ca. 30 Minuten nach Pumpbetrieb

* Geruchsfilter war in den Schacht gefallen und könnte zu Lufrückstau und somit zu hohen H₂S-Werten geführt haben

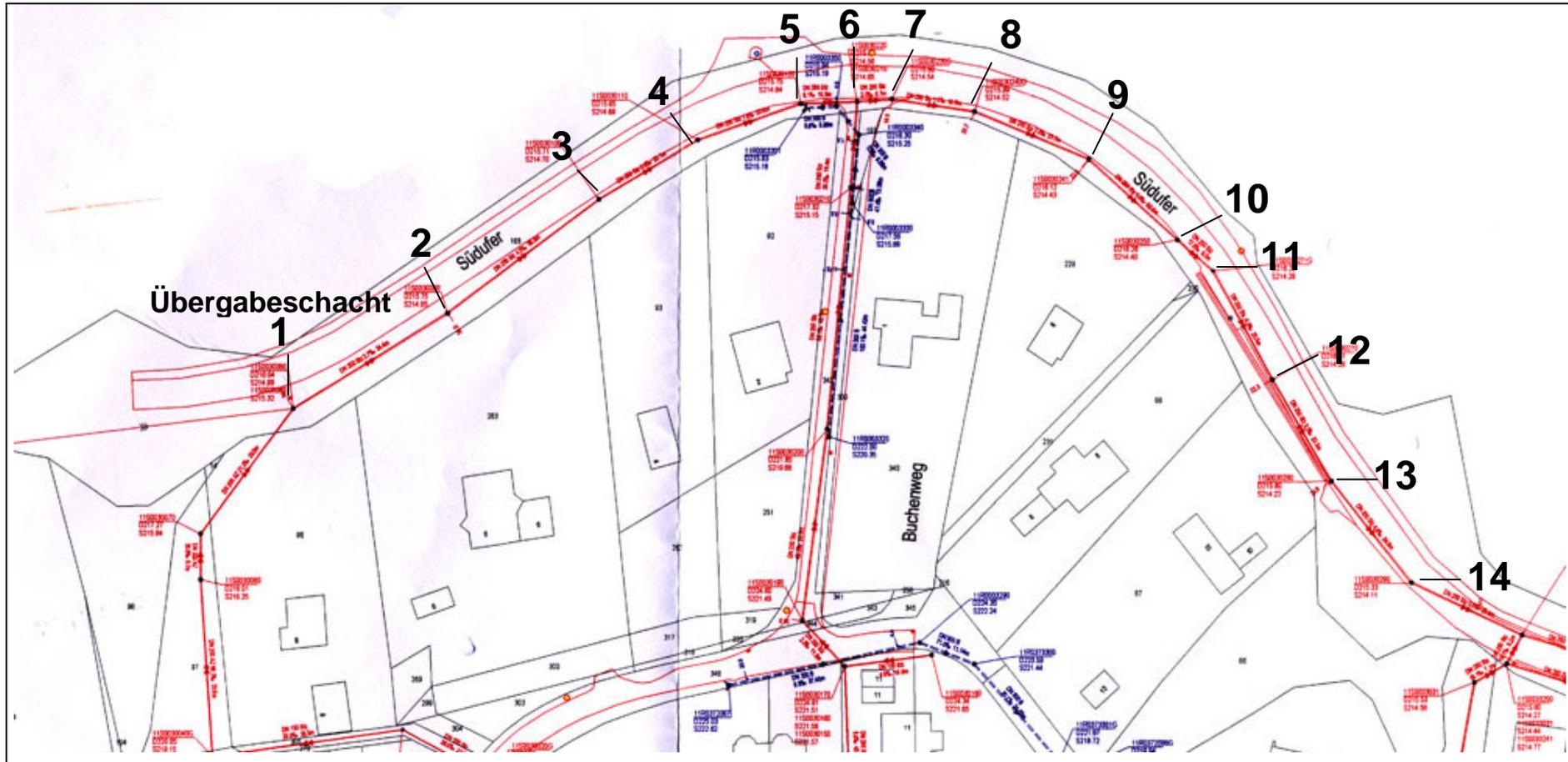


Abb. 66: Leitungsverlauf und Schächte des Freispiegelkanals vor und nach Auslauf der Druckleitung

TV-Inspektion:

Als Zugang für eine Inspektionskamera standen der Auslauf der Druckleitung und die Pumpstation (Öffnen von Flanschverbindungen) zur Verfügung. Da die Pumpstation aufgrund des Campingplatzbetriebs nicht länger als einen Tag außer Betrieb genommen werden sollte, eine Inspektion von dort aus aber mit einem zeitaufwendigen Entleeren eines langen Leitungsabschnitts verbunden ist, konnte nur der Auslauf als Inspektionszugang genutzt werden.

Auch hier musste vor der Inspektion Wasser über einen Entleerungsschacht rund 50 m vor dem Auslauf der Druckleitung (über Stutzen und Schieber mit der Druckleitung verbunden) abgelassen und anschließend mit einem Saugfahrzeug abtransportiert werden (s. Abb. 68 und Abb. 69).

Die Inspektion von rund 40 m Leitung zeigte geringe Ablagerungen. Die ursprünglich grauen Wandungen des PVC-Rohres waren fast vollständig mit einer dünnen Schicht dunkel gefärbter Sielhaut bedeckt. Darüber hinaus waren im Sohlbereich einige unverfestigte Ablagerungen zu sehen und in den Kämpfer- und Scheitelbereichen waren Teilbereiche mit Fettablagerungen- und/oder Sielhaut von mehreren Millimetern bedeckt (Abb. 70).



Abb. 67: Eingesetzte Fahrwagenkamera



Abb. 68: Entleerungsschacht vor dem Auslauf der Druckleitung (Verbindung zur Druckleitung über Stutzen und Schieber)



Abb. 69: Saugfahrzeug am Entleerungsschacht (o), Position Entleerungsschacht und Auslauf der Druckleitung (u)

Durch die Molchreinigung wurden die Ablagerungen bis auf Reste der Sielhaut entfernt. In Teilbereichen war die ursprünglich helle Farbe des PVC-Rohres wieder sichtbar. An wenigen Stellen waren auf der Sohle unverfestigte Ablagerungen zurückgeblieben, die sich offensichtlich aus dem Spülwasser für den Molchvortrieb abgesetzt hatten.

Der Zeitaufwand für beide Inspektionen inklusive Leerpumpen der Leitung betrug insgesamt 4,5 Stunden. Der Zeitaufwand mit Wartezeiten durch die Molcharbeiten betrug ca. 8 Stunden.



Abb. 70: Leitung vor der Reinigung

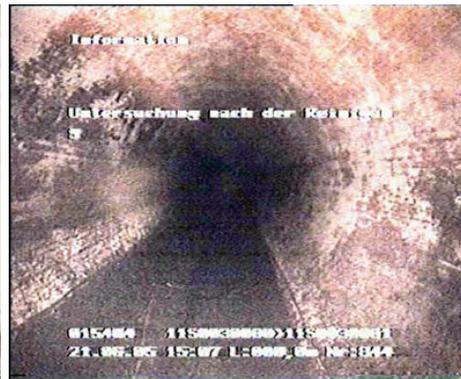


Abb. 71: Leitung nach der Reinigung

5.3.1.3 Ergebnis

Zusammenfassend lieferte der Praxiseinsatz des Molchens an der Druckleitung am Südufer des Möhnesees folgende Ergebnisse.

- Sowohl während der TV-Inspektion als auch bei der Molchreinigung war eine Außerbetriebnahme der Leitung erforderlich.
- Vor der Reinigung wies das inspizierte Leitungsteilstück im Bereich des Auslaufes geringe Ablagerungen auf, überwiegend in Form von dunkel gefärbter Sielhaut in Kombination mit Fett im Scheitel- und Kämpferbereich.
- Während des Molchens wurde grau/schwarz gefärbtes Abwasser ausgetragen. Die Trübung des Wassers nahm dabei vom ersten bis zum dritten Reinigungsdurchgang ab.
- Durch das Molchen war der überwiegende Teil der Ablagerungen im inspizierten Teilstück entfernt worden. Zum Teil war ein dünner Film auf der Rohwand verblieben, in Teilbereichen war die hellgraue Wand des PVC-Rohres wieder sichtbar.
- Die vorhandenen Langbögen (bis 90°) wurden überwunden.
- Zukünftige Molchreinigungen sind auch in Eigenregie der Gemeinde möglich.
- Das Geruchsproblem konnte nicht dauerhaft gelöst werden. Nach ca. einer Woche wurde am Auslauf der Druckleitung erneut Geruch durch H₂S wahrgenommen.

Folgende Maßnahmen zur Geruchsbekämpfung wurden von der Gemeinde Möhnensee vorgenommen bzw. werden in Betracht gezogen:

- Im Juli 2006 wurden die Schächte des Freispiegelkanals im Problembereich mit speziellen Gelmatten¹ zur H₂S-Absorption ausgestattet, wodurch das Geruchsproblem teilweise verringert werden konnte. Inwieweit das H₂S adsorbiert wird oder nur durch Düfte der Matte überdeckt wird, ist nicht klar.
- Zusätzlich wurden die Seewasserpumpzeiten von täglich 15 Minuten auf täglich 30 Minuten erhöht.

¹ Gelmatte „GELACTIV SHK 1/6 Typ II“ der Fa. Biothys GmbH, Willstätt-Eckartsweier

- Der Übergabeschacht soll umgestaltet werden, sodass Turbulenzen und ein Ausströmen des H₂S vermieden wird.
- Die Wasserstoffperoxid-Dosierstation soll testweise vom Anfang der Druckleitung kurz vor den Auslauf der Druckleitung verlegt werden.

5.3.2 Leverkusen

5.3.2.1 Örtliche Randbedingungen

Im Ortsteil Atzlenbach der Stadt Leverkusen wird eine ca. 750 m lange Abwasserdruckleitung PE-HD DN 100 / DN 150 betrieben. Sie fördert rein häusliches Abwasser der Straßen „Atzlenbacher Straße“, „Im Rosengarten“ und „In den Schafsdellen“ (454 EW), das zunächst über einen Freispiegelkanal der Pumpstation zufließt und von dort aus in entgegengesetzter Richtung zu einem weiteren Freispiegelkanal am Anfang der „Atzlenbacher Straße“ gepumpt wird.

Die Druckleitung verläuft ohne Hoch- und Tiefpunkte unterhalb der Atzlenbacher Straße und ist mit einigen Bögen dem kurvigen Verlauf der Straße angepasst. Im Bereich der Pumpstation liegt der Durchmesser der Leitung zunächst bei DN 100, ca. 3 m hinter der Pumpstation liegt ein Dimensionswechsel auf DN 150.

Zugangsmöglichkeiten zur Leitung bestehen über die Pumpstation, den Übergabeschacht sowie über drei Schächte (Ausbau von Schieberstücken erforderlich). Einer der drei Schächte, ca. 170 m hinter der Pumpstation, ist zusätzlich mit einer Inspektionsöffnung ausgestattet. Im Bereich der Nennweitenveränderung ist kein Schacht vorhanden.

5.3.2.2 Praxiseinsatz

Im Rahmen des Praxiseinsatzes wurde zunächst ein Teil der Druckleitung „Leverkusen-Atzlenbach“ inspiziert. Beim anschließenden Molcheinsatz konnte aufgrund fehlender Zugangsmöglichkeiten nur ein Teil der Leitung gereinigt werden. Einzelheiten werden im Folgenden beschrieben.

Molchreinigung:

Aufgrund der Nennweitenveränderung von DN 100 auf DN 150 kann die Leitung nicht in einem Stück über einen einzigen Zugangspunkt gereinigt werden. Daher sollte der Leitungsabschnitt DN 100 von der Pumpstation aus gereinigt werden und der Leitungsabschnitt DN 150 über den ersten Schacht nach der Leitungsaufweitung. Da dieser Schacht erst ca. 170 m hinter der Aufweitung liegt, sollte der Molch zunächst gegen die Fließrichtung vom Schacht aus bis zur Nennweitenveränderung auf DN 100 vorgetrieben werden und anschließend wieder (über Wasserzugaben von der Pumpstation aus) in Fließrichtung bis zum Übergabeschacht zum Freispiegelkanal (s. Abb. 72).

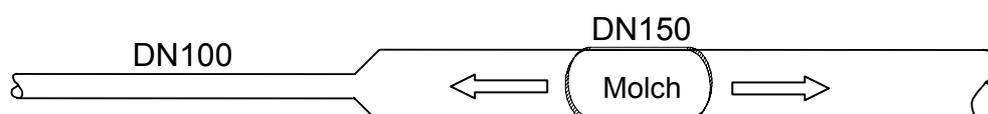


Abb. 72: Skizze – Bidirektionaler Molcheinsatz in der Leitung DN 150

Für den ersten Reinigungsschritt (Pumpstation Richtung Nennweitenänderung) wurde zunächst mittels eines Saug-/Spülfahrzeugs Wasser für den Molchvortrieb aus dem „Atzlenbach“ in einen Container neben der Pumpstation gefördert (s. Abb. 73 und Abb. 74). Für den Molchvortrieb wurde das Wasser dann mit Hilfe einer Feuerweerpumpe in die Druckleitung gepumpt.

Diese Methode erwies sich später allerdings als nachteilig, da das Sieb im Ansaugbereich der Pumpe immer wieder durch Blätter verstopfte und der Reinigungsvorgang unterbrochen werden musste.



Abb. 73: Feuerweerpumpe und Container als Wasservorratsbehälter



Abb. 74: Wasservorrat aus dem „Atzlenbach“ im Container

Um eine Einschuböffnung für den Molch zu schaffen, wurde in der Pumpstation ein geflansches Rohrstück entfernt (Abb. 75 und Abb. 76). Der Versuch, eine einragende Dichtung ca. 1,5 m bis 2 m hinter der Öffnung mit einem Messer zu entfernen, misslang. Der Molch wurde trotz des Hindernisses eingeschoben.



Abb. 75: Zugang zur Druckleitung in der Pumpstation



Abb. 76: Druckleitungsanfang mit einragender Dichtung

Für den ersten Reinigungsdurchgang wurde ein weicher Molch aus PE-Schaumstoff verwendet (s. Abb. 77 bis Abb. 79), um die Gefahr des Steckenbleibens gering zu halten und später anhand von Schäden und Abnutzung des Molches beurteilen zu können, ob ein härterer Molch eingesetzt werden kann.



Abb. 77: Eingeschobener Schaumstoff-Molch



Abb. 78: Einschieben des Molches



Abb. 79: Eingeschobener Molch vor Anschluss der Pumpe

Anschließend wurde die Pumpe angeschlossen (s. Abb. 80) und der Molch mit einem Druck von 2-3 bar von der Pumpstation bis zum dritten Schacht, ca. 600 m hinter der Pumpstation, vorgetrieben (s. Abb. 81 und Abb. 82).



Abb. 80: Anschluss der Pumpe



Abb. 81: Austrittsstelle des Molches



Abb. 82: Schaumstoffmolch nach Reinigung

Um die Leitung für den zweiten Reinigungsschritt (Vortrieb des Molches vom ersten Schacht ca. 170 m hinter der Pumpstation in Richtung Pumpstation) vorzubereiten, wurde die Leitung vollständig entleert. Das Wasser wurde in den Pumpensumpf abgelassen und mit Hilfe eines Saug/Spülfahrzeugs in die benachbarte Freispiegelkanalisation gepumpt.

Der zweite Reinigungsschritt scheiterte jedoch daran, dass sich die Flanschverbindungen im Schacht nicht lösen ließen und sich der Molch nicht in die Leitung einbringen ließ. Auch über den nächsten Schacht war eine Molchreinigung nicht möglich, da keine Wasserversorgung für den Molchvortrieb bereitgestellt werden konnte.

Die Reinigung wurde abgebrochen. Der Aufwand bis zu dem Zeitpunkt betrug ca. 6,5 Stunden (inklusive aller Vorarbeiten).

TV-Inspektion:

Am 03.11.05 wurde die Leitung vor der Molchreinigung ca. 50 m in und 50 m gegen die Fließrichtung inspiziert. Die Fahrwagenkamera wurde dabei über eine Revisionsöffnung im ca. 170 m hinter der Pumpstation gelegenen Schacht eingesetzt.

Die TV-Inspektion zeigte Sielhaut über den gesamten Rohrumfang, z.T. vermutlich in Kombination mit Fett, sowie punktuell verfestigte Ablagerungen. Einen 45°-Bogen bei Inspektion in Fließrichtung konnte die Kamera nicht überwinden.

Der Aufwand für die Inspektion inklusive aller Vorarbeiten, wie Außerbetriebnahme, Leeren der Leitung und Öffnen der Revisionsöffnung, betrug ca. 4 Stunden.



Abb. 83: TV-Inspektion vor der Reinigung, Bildausschnitt 1



Abb. 84: TV-Inspektion vor der Reinigung, Bildausschnitt 2

5.3.2.3 Ergebnis

Nach dem Molcheinsatz an der Druckleitung „Leverkusen-Atzlenbach“ können folgende Punkte zusammengefasst werden:

- Nennweitenänderungen erfordern i.d.R. eine mehrstufige Reinigung mit Molchen unterschiedlicher Größe. Hierzu sind im Bereich der Nennweitenänderung Schächte mit Öffnungen zum Einbringen des Molches notwendig.
- Bei der Planung von Druckleitungen sollten an Positionen mit Nennweitenänderungen Schächte vorgesehen werden.
- Eine einragende Dichtung konnte mit einem Molch aus PE-Schaumstoff problemfrei überwunden werden.
- Im Vorfeld von Reinigungsmaßnahmen sind Funktionstests der für den Einsatz relevanten Einbauteile und Armaturen sinnvoll.

5.4 Biologie

Im Rahmen des Projektes wurde der Einsatz des biologischen Produktes Lipolyt 2000 Komponente II¹ an insgesamt vier Objekten in Wermelskirchen, Bad Honnef, Erkelenz und Lindlar begleitet. Das Produkt „Lipolyt 2000“ (s. Abb. 85) wurde ausgewählt, da bereits Referenzen im Bereich von Abwasserdruckleitungen vorlagen (Tab. 17, S. 12) und zudem auf Anfrage genauere Angaben zu den enthaltenen Gattungen und Arten der Bakterien gemacht wurden. Anlässe für den Einsatz waren Geruchsprobleme durch H₂S sowie Ablagerungen im Pumpenschacht und an den Aggregaten.

Das Produkt enthält nach Angaben des Anbieters Mikroorganismen, Enzyme und Trägermaterial. Die enthaltenen Bakterien sollen die sulfidproduzierenden Bakterien durch Lebensvorteile verdrängen. Ihre Stoffwechselaktivitäten sollen einen Abbau organischer Verbindungen ohne Sulfid- bzw. H₂S-Bildung bewirken. Hierbei sollen folgende Effekte entstehen:

1. Abbau von Ablagerungen und Schwimmdecken in Schächten und Hebeanlagen,
2. Abbau organischer Bestandteile in Ablagerungen und somit auch Lösen bindiger Ablagerungen aus z.B. Sand und Fett,
3. Abbau von Sielhaut,
4. Vermeidung einer H₂S-Bildung.

Voraussetzung für eine Wirkung des Produktes ist nach Angaben des Anbieters, dass sämtliche Sulfid-Entstehungspunkte, d.h. alle Pumpenschächte und Hebeanlagen, mit dem Präparat geimpft werden. Das Impfen von bereits sulfidhaltigem Abwasser sei nicht zielführend. Darüber hinaus ist das Präparat nur für häusliche Abwässer, nicht für industrielles Abwasser geeignet (z.T. mit Ausnahme der Nahrungsmittel verarbeitenden Industrie).

Die Substratmenge für die Impfung richtet sich nach dem Leitungsvolumen. Bei der erstmaligen Impfung wird i.d.R. das gesamte Leitungsvolumen durch „geimpftes“ Wasser ausgetauscht. Dabei wird dem Schacht Frischwasser und Substrat (ca. 6 kg/m³ Leitungsvolumen) zugegeben und über die Pumpen in die Leitung gefördert (ggf. in mehreren Schritten). Nachdem die komplette Substratmenge eingebracht ist, wird die Leitung für eine Einwirkzeit von mindestens 4 Stunden außer Betrieb genommen. Anschließend kann die Druckleitung wie üblich betrieben werden.

Die Bakterien sollen sich an den Wandungen von Schacht und Leitung ansiedeln. Eine Nachimpfung in geringerer Dosis wird vom Anbieter halbjährlich empfohlen. Bei Reinigungsmaßnahmen im Pumpenschacht ist darauf zu achten, dass ein Biofilm bzw. Belebtschlamm auf der Schachtsohle verbleibt.

Im Rahmen der Praxiseinsätze wurde der Zustand der Pumpenschächte vor und nach Einsatz des Präparates aufgenommen. Zusätzlich wurden Teilinspektionen durchgeführt und es standen zeitweise H₂S/Temperatur-Datenlogger (OdaLog) zur Verfügung, mit denen Kontrollmessungen zur H₂S-Konzentrationen in den Schächten durchgeführt werden konnten.

¹ Biologisches Präparat „Lipolyt 2000 Komponente II“, Vertrieb Fa. Adler Bio- und Wassertechnik GmbH, Castrop-Rauxel

Ergänzend wurden Luftdruckdaten des Deutschen Wetterdienstes angefordert, da die Wetterlage (v.a. Temperatur und Luftdruck) einen Einfluss auf den Austritt von Kanalgasen haben in die Umgebungsluft haben kann. Einzelheiten zu den Einsätzen werden im Folgenden beschrieben.



Abb. 85: Biologisches Präparat „Lipolyt 2000“

5.4.1 Wermelskirchen

5.4.1.1 Örtliche Randbedingungen

Der Städtische Abwasserbetrieb Wermelskirchen betreibt zwischen den Ortsteilen „Vorderhufe“ und „Hoffnung“ bis zum Übergabeschacht an der „Hilfringhauser Straße“ eine ca. 1.100 m lange Druckleitung. Im Ortsteil „Vorderhufe“ fließt das Abwasser der Ortschaften „Vorderhufe“ (ca. 240 EW) und „Hinterhufe“ über zwei Freispiegelkanäle einem Sammelschacht zu (s. Abb. 86). Dabei wird das Abwasser aus „Hinterhufe“ bereits über eine vorgeschaltete Druckleitung in einen der Freispiegelkanäle in „Vorderhufe“ geleitet.

Vom Sammelschacht aus wird das Wasser über eine Druckleitung PE-HD 110x10,0 mm in einen rund 400 m entfernten Sammelschacht einer zweiten Pumpstation gefördert, an den wiederum ein Freispiegelkanal einer Siedlung (25 bis 30 Wohnhäuser) angeschlossen ist (s. Abb. 87 und Abb. 88). Über eine rund 700 m lange Druckleitung PE-HD 140x12,8 mm wird das Abwasser zum Freispiegelkanal in der „Hilfringhauser Straße“ geleitet. Befördert wird ausschließlich häusliches Abwasser.



Abb. 86: Pumpenschacht Station 1 Abb. 87: Pumpenschächte Station 2 Abb. 88: Steuerung Pumpstation 2

Im Bereich der ersten Pumpstation, insbesondere jedoch am Auslauf der Druckleitung (s. Abb. 89), der an einer bewohnten Straße liegt, treten Geruchsprobleme auf.

Bereits im Mai 2005 hatte die Stadt Wermelskirchen an einer 1 km langen Druckleitung DA 63 im Ortsteil „Altenhof“, an der ebenfalls starke Geruchsprobleme aufgetreten waren, das biologische Produkt „Lipolyt 2000“ eingesetzt. Die Wirkung wurde durch kontinuierliche H₂S-Messungen überprüft. Nach mehrmonatiger Einwirkzeit sind bislang keine Beschwerden

über Geruchsbelästigungen mehr eingegangen und nur mit wenigen Ausnahmen wurde kein H_2S mehr gemessen. Die Ausnahme bildet der Freitagmittag, an dem regelmäßig H_2S gemessen wird. Es wird vermutet, dass zu diesem Zeitpunkt ein Anlieger bereits H_2S -belastetes Wasser dem System zuleitet.

Aufgrund dieser zufrieden stellenden Ergebnisse wurde beschlossen, das biologische Produkt ebenfalls an der zuvor beschriebenen Druckleitung einzusetzen.



Abb. 89: Übergabeschacht „Hilfringhauser Straße“

5.4.1.2 Praxiseinsatz

Der Druckleitung wurde im Oktober 2005 das biologische Präparat „Lipolyt 2000“ hinzu gegeben. Vor und nach der Impfung wurden H_2S -Messungen am Auslauf der Druckleitung und in der ersten Pumpstation durchgeführt. Die Berechnung der Substratmenge sowie die Impfung wurden vom Anbieter ausgeführt.

Impfung der Druckleitung:

Der ersten Pumpstation wurden insgesamt 12 m^3 Frischwasser sowie 48 kg Substrat zugegeben, die mit vier Pumpvorgängen (je 3 m^3 Wasser und 12 kg Substrat) in die Leitung gefördert wurden (s. Abb. 90 bis Abb. 92). Das Substrat war zuvor mit Wasser in Eimern angerührt worden. Vor der rund 4-stündigen Einwirkzeit wurden der ersten Pumpstation nochmals 11 kg Substrat und der zweiten Pumpstation 3 kg Substrat zugegeben, um Mikroorganismen in den Schächten anzusiedeln. Insgesamt wurden der Leitung somit 62 kg Substrat zugegeben. Der Zeitaufwand für das Impfen der Leitung lag bei rund 4 Stunden (ohne Einwirkzeit).

Wasserhaltungen waren während der Maßnahmen nicht notwendig, da die Pumpstationen und Kanäle genügend Stauraum boten.



Abb. 90: Anrühren des Substrats



Abb. 91: Substrat (Träger material, Mikroorganismen) und Wasser



Abb. 92: Zugabe des Substrates-Wasser-Gemisches in den Pumpenschacht 1

Für die halbjährliche Nachimpfung wurde vom Anbieter eine Substratmenge von 3 kg empfohlen, die der ersten Pumpstation zugegeben würde.

H₂S-Messungen:

Unmittelbar nach der Impfung der Leitung wurde ein H₂S-Messgerät am Auslauf der Druckleitung installiert. Da die geruchsmindernde Wirkung von „Lipolyt 2000“ nach Angaben des Anbieters erst nach vier- bis achtwöchiger Einwirkzeit des Präparates eintritt, konnten so H₂S-Belastungen der Kanalluft vor Wirkung des Präparates aufgenommen werden. Die dreiwöchigen Messungen zeigten, dass die meisten H₂S-Spitzen morgens zwischen 7:00 Uhr und 8:00 Uhr sowie abends zwischen 22:00 Uhr und 23:00 Uhr auftreten (s. Abb. 93 bis Abb. 95). Die in diesem Zeitraum gemessenen Spitzenwerte reichten bis zu 23 ppm.

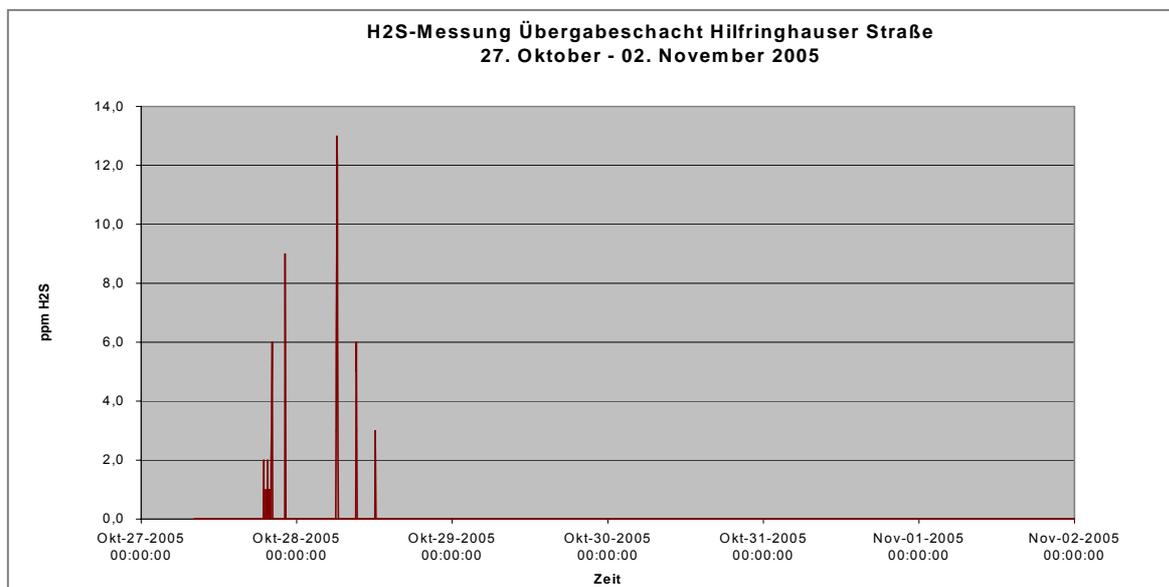


Abb. 93: H₂S-Messungen Übergabeschacht Hilfringhauser Straße, 27. Oktober – 02. November 2005

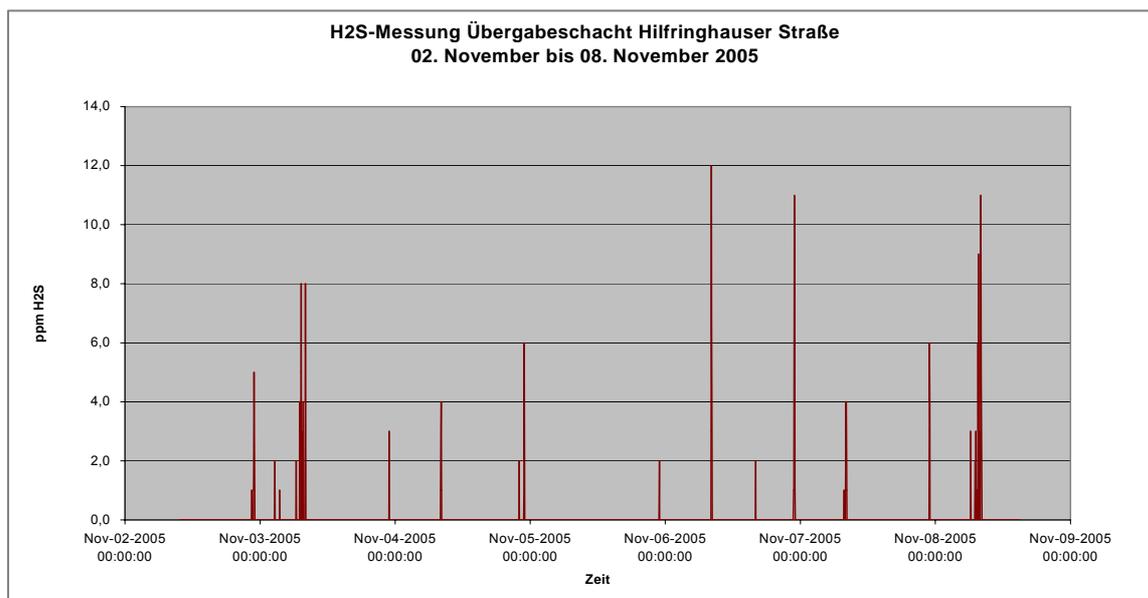


Abb. 94: H₂S-Messungen Übergabeschacht Hilfringhauser Straße, 02. November – 08. November 2005

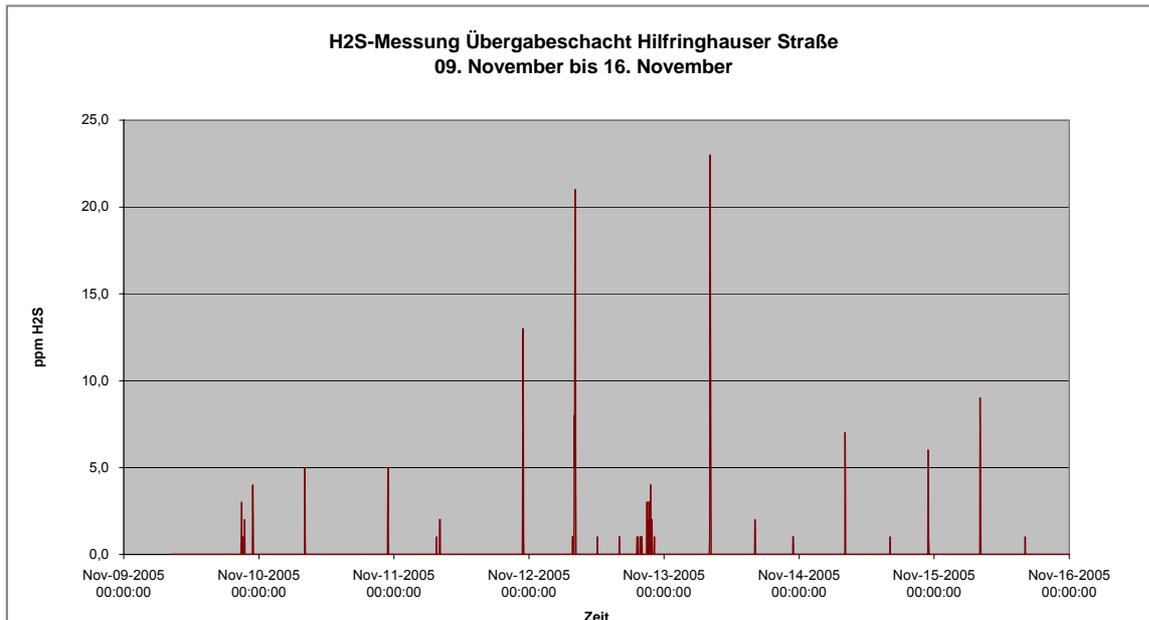


Abb. 95 : H₂S-Messungen Übergabeschacht Hilfringhauser Straße, 09. November – 16. November 2005

Rund zwei Monate nach Zugabe des „Lipolyt 2000“ wurde im Schacht der ersten Pumpstation in „Vorderhufe“ eine siebentägige Messung durchgeführt. Die Messungen ergaben, dass in unregelmäßigen Abständen von ca. 16 bis 49 Stunden nach wie vor H₂S-Spitzen aufgetreten waren. In den sieben Tagen wurden insgesamt vier Spitzen zwischen 32 ppm und 37 ppm gemessen (s. Abb. 96).

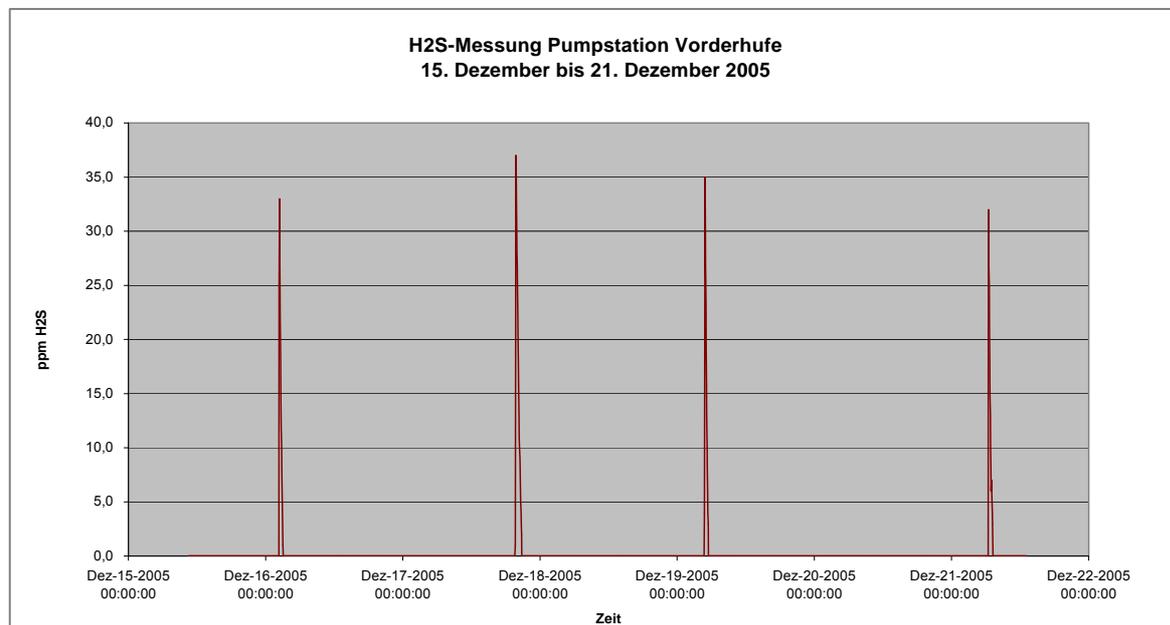


Abb. 96: H₂S-Messungen Pumpstation Vorderhufe, 15. Dezember bis 21. Dezember 2005

Auch in der Folgezeit wurden sowohl an den Pumpstationen als auch am Übergabeschacht zur Freispiegelkanalisation immer wieder H₂S-Belastungen der Umgebungsluft wahrgenommen.

Seitens des Anbieters wird der Grund für die fehlende Wirkung des Produktes in privaten Hebeanlagen gesehen, die über einen Freispiegelkanal in die erste Pumpstation entwässern. Zur Zeit der Impfung lagen dem Anbieter noch keine Informationen über die vorgeschalteten Hebeanlagen vor. Ebenfalls war der Stadt Wermelskirchen und dem IKT nicht bekannt, dass auch sämtliche vorgeschalteten Pumpwerke hätten geimpft werden müssen.

Dass bereits in Bereichen vor der Pumpstation Sulfide entstehen, kann nicht ausgeschlossen werden. In einer Änderung der Entwässerungssatzung vom 01.01.06 wurde das zulässige Stauvolumen für private Hebeanlagen auf 50 l/EW begrenzt, um extrem lange Standzeiten des Abwassers zu vermeiden. Auch durch diese Maßnahme konnte das Geruchsproblem nicht behoben werden. Im Jahr 2006 wurde noch eine weitere Druckleitung an die bestehende angeschlossen, woraufhin sich die Probleme weiter verschärften.

5.4.1.3 Ergebnis

Aus dem Einsatz des biologischen Produktes „Lipolyt 2000“ können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Durch die Zugabe des biologischen Produktes „Lipolyt 2000“ konnten die Geruchsprobleme durch Schwefelwasserstoff nicht behoben werden. Da dem geimpften Pumpenschacht Abwasser aus vorgeschalteten Pumpstationen zugeleitet wird bleibt unklar, ob dem Pumpenschacht bereits sulfidbelastetes Abwasser zugeleitet wird oder ob eine mangelnde Wirkung des Produktes vorliegt.
- Das Animpfen der Leitung ist eine technisch einfache Methode, die unter bekannten Parametern, wie notwendige Substratmenge pro m³ Leitungsvolumen und Mindesteinwirkzeiten, leicht vom technischen Personal der Gemeinde/Stadtentwässerung übernommen werden kann.
- Ist nicht genügend Stauraum für eine Einwirkzeit von mindestens 4 Stunden vorhanden, wird eine Wasserhaltung notwendig.

5.4.2 Bad Honnef

5.4.2.1 Örtliche Randbedingungen

Das Abwasserwerk der Stadt Bad Honnef betreibt am Fuße des „Drachenfels“ eine Druckleitung (PE, DN 125), die das Abwasser zweier Weingute sowie des Wohngebiets „Röndorf“ in einen ca. 200 m entfernten Freispiegelkanal leitet (s. Abb. 97 und Abb. 98). Das stark fett- und hefehaltige Abwasser wird dem Sammelschacht der Pumpstation über drei Freispiegelkanäle zugeleitet.

Fettablagerungen an den Armaturen der Pumpstation, insbesondere an Schwimmschaltern und Rückschlagklappen, erfordern eine häufige Reinigung. Nach Angaben des Abwasserwerks wird ca. alle drei Monate zunächst das Pumpwerk mit einem Saugwagen entleert und anschließend werden die Armaturen und die in den Schacht mündenden Freispiegelleitungen gereinigt. Rund vier Wochen nach der Grundreinigung müssen die Schwimmer erneut gereinigt werden. In der Folgezeit verkürzen sich dann die Reinigungsintervalle für die Schwimmer auf zwei Wochen bis zur nächsten Grundreinigung.

Durch die fettabbauende Wirkung des biologischen Produktes „Lipolyt 2000“ sollte nach Angaben des Anbieters auf die regelmäßigen Reinigungen verzichtet werden können.



Abb. 97: Pumpenschacht



Abb. 98: Pumpstation

5.4.2.2 Praxiseinsatz

Mit einem Aufwand von rund einer Stunde wurden im Juli 2006 die Leitung und der Pumpenschacht geimpft (s. Abb. 99). Zunächst wurden 6 kg Substrat mit ca. 2,5 m³ Frischwasser in die Leitung gefördert, anschließend wurden dem Schacht nochmals 6 kg Substrat hinzugefügt und die Pumpen für eine Einwirkzeit von ca. sechs Stunden außer Betrieb genommen.

Die Ablagerungssituation im Schacht wurde nach Impfung des Schachtes und der Leitung seitens des Abwasserbetriebs regelmäßig kontrolliert. Zunächst entstand der Eindruck, die Fettablagerungen würden langsamer anwachsen. Nach zwei bis drei Monaten jedoch waren die Ablagerungen wiederum stark angewachsen, sodass eine erneute Grundreinigung des Schachtes unumgänglich wurde. Es ist davon auszugehen, dass bei der Grundreinigung auch die (noch) vorhandenen Mikroorganismen entfernt wurden.



Abb. 99: Zugabe des Substrates

5.4.2.3 Ergebnis

Mit dem Praxiseinsatz des biologischen Produktes „Lipolyt 2000“ wurden im Rahmen des Praxiseinsatzes beim Abwasserwerk des Stadt Bad Honnef folgende Erfahrungen gesammelt:

- Die Fettablagerungen im Pumpenschacht und an den Armaturen schienen nach Einsatz des Produktes zunächst langsamer anzuwachsen. Jedoch war nach 3 Monaten eine erneute Grundreinigung des Schachtes erforderlich, die zu einem Abbruch des Versuches führte.
- Die versprochene Wirkung, Fettablagerungen zu vermeiden, trat demnach nicht ein. Inwieweit die hohen Fettanteile des Abwassers die Einsatzgrenzen des Produktes überschreiten oder spezielle Inhaltsstoffe des Abwassers (z.B. Hefen und Fruchtsäuren durch die Weingüter) die Stoffwechselaktivität der Mikroorganismen beeinflussen, kann nicht abschließend geklärt werden.

5.4.3 Erkelenz

5.4.3.1 Örtliche Randbedingungen

Der Abwasserbetrieb Erkelenz betreibt ein umfangreiches Druckleitungsnetz, an dem häufig Geruchsprobleme auftreten. Für den Praxiseinsatz des biologischen Produktes „Lipolyt 2000“ wurde eine ca. 700 m lange PE-Druckleitung DA 110 ausgewählt. Sie ist seit ca. vier Jahren in Betrieb und fördert Abwasser des Ortsteils „Mennekrath“ (160-180 EW, rein häusliches Abwasser) zu einem Freispiegelkanal einer nächstgelegenen Ortschaft.

Eine Revisionsöffnung im Verlauf der Druckleitung besteht ca. 50 m vor dem Übergabeschacht zur Freispiegelkanalisation. Die Leitung im Revisionschacht ist mit einem Spülstutzen sowie zwei Schiebern versehen (s. Abb. 101 bis Abb. 102).



Abb. 100: Pumpenschacht



Abb. 101: Situation Leitungsentleerung



Abb. 102: Revisionschacht mit Schiebern und Spülstutzen

5.4.3.2 Praxiseinsatz

Vor und nach Zugabe des biologischen Präparates im August 2006 wurden H₂S-Messungen am Freispiegelkanal hinter der Übergabestelle sowie eine Inspektion der Druckleitung durchgeführt. Einzelheiten werden im folgenden Text beschrieben.

Impfung der Leitung:

Dem Pumpenschacht wurden in einem ersten Schritt 4,5 m³ Wasser sowie 16 kg des Substrates (aufgelöst in Wasser) zugegeben, das anschließend über die Pumpen in die Druckleitung gefördert wurde. In einem zweiten Schritt wurden der Pumpstation weitere 11 kg Substrat zugefügt, die während der Einwirkzeit im Schacht verblieben. Aufgrund des ausreichenden Schachtvolumens konnte die Pumpstation über Nacht außer Betrieb genommen werden und eine ca. 20-stündige Einwirkzeit erreicht werden.

Der Aufwand für die Impfung betrug 1,5 Stunden.

Inspektion:

Als vorbereitende Maßnahme für die TV-Inspektion wurde ein Spül/Saugfahrzeug an den Spülstutzen im Revisionschacht angeschlossen und Wasser aus der Leitung entnommen. Anschließend wurde zusätzlich noch ein Schlauch (s. Abb. 103) in das abfallende Leitungstück eingeschoben, um weiteres Wasser zu entfernen.

Über die Öffnung des Spülstutzens wurde eine Schiebekamera (s. Abb. 104) eingesetzt, mit der in Fließrichtung ca. 40 m und gegen die Fließrichtung ca. 50 m inspiziert werden konnten. Der Aufwand für die Inspektion und die vorherige Entleerung der Leitung betrug rund 1,5 Stunden.



Abb. 103: Saugschlauch über Spülstutzen eingesetzt



Abb. 104: Inspektionskamera

Die Inspektion vor der Reinigung zeigte, dass die Rohrwand beider Leitungsstücke vollständig mit einer mehrere Millimeter dicken Schicht aus Sielhaut bedeckt war. Die Inspektion nach knapp 12-wöchiger Einwirkzeit ergab ein nahezu unverändertes Bild der Sielhaut (vgl. Abb. 105 bis Abb. 108). Eine Reduzierung der Sielhaut durch Zugabe des biologischen Produktes konnte nicht festgestellt werden.



Abb. 105: Bildausschnitt – Inspektion in Fließrichtung vor Zugabe von „Lipolyt 2000“



Abb. 106: Bildausschnitt – Inspektion in Fließrichtung nach Zugabe von „Lipolyt 2000“



Abb. 107: Bildausschnitt – Inspektion gegen die Fließrichtung vor Zugabe von „Lipolyt 2000“



Abb. 108: Bildausschnitt – Inspektion gegen die Fließrichtung nach Zugabe von „Lipolyt 2000“

Wie Abb. 109 und Abb. 110 verdeutlichen, zeigt ein Vergleich der Ablagerungen im Pumpenschacht vor der Impfung sowie nach 12-wöchiger Einwirkzeit ebenfalls keine erkennbaren Unterschiede.



Abb. 109: Pumpenschacht vor der Impfung (Beispiel 1)



Abb. 110: Pumpenschacht nach der Impfung (Beispiel 1)



Abb. 111: Pumpenschacht vor der Impfung (Beispiel 2)



Abb. 112: Pumpenschacht nach der Impfung (Beispiel 2)

H₂S-Messungen:

Vor Zugabe des biologischen Präparates wurden über 2,5 Wochen H₂S-Kontrollmessungen am Schacht unmittelbar hinter der Übergabestelle durchgeführt. Die Sonde zeichnete einige Stunden nach ihrer Installation schnell ansteigende H₂S-Konzentrationen auf. Innerhalb von ca. fünf Stunden wurden Werte von 0 ppm bis 900 ppm gemessen. Da in der Folgezeit permanent Werte zwischen 890 ppm und 1000 ppm aufgenommen wurden und die Sonde nach Entnahme aus dem Schacht weiterhin Werte um 800 ppm anzeigte, ist von einem Messfehler auszugehen. Da die Sonde im Vorfeld und auch bei späteren Messungen eine einwandfreie Funktion zeigte, ist nach Angaben des Herstellers zu vermuten, dass der Sensor „vergiftet“ wurde, d.h. die Empfindlichkeit des Sensors gegenüber H₂S wurde herabgesetzt. Dies kann auftreten, wenn über einen längeren Zeitraum höhere H₂S-Konzentrationen auftreten. Es ist daher anzunehmen, dass während des Messintervalls H₂S-Spitzen aufgetreten sind. Stichpunktartige Geruchstests von Mitarbeitern des Abwasserbetriebs bestätigen dies.

Eine erneute 19-tägige Messreihe (ein bis vier Wochen nach der Impfung) zeigte innerhalb der ersten 12 Tage (25.08.06 bis 05.09.) wenige unregelmäßige H₂S-Spitzen bis zu ca. 50 ppm (vgl. Tab. 13). An den darauf folgenden Tagen nahmen die Häufigkeit und Intensität der Spitzen zu. Insbesondere zwischen dem 09.09.06 und 12.09.06 traten extrem häufige Spitzenwerte bis hin zu 100 ppm auf. Auffällig ist, dass die Häufung an H₂S-Spitzen mit einem Temperaturbereich zusammenfällt, in die relativ konstante Temperaturen um 20°C ohne

deutliche Nachtabsenkungen gemessen wurden. Da das „Lipolyt 2000“ nach Angaben des Anbieters erst nach vier bis acht Wochen seine Wirkung entfaltet, dürfte die 19-tägige Messreihe in einen Zeitraum fallen, in dem das Präparat noch nicht wirkt bzw. erst beginnt, zu wirken.

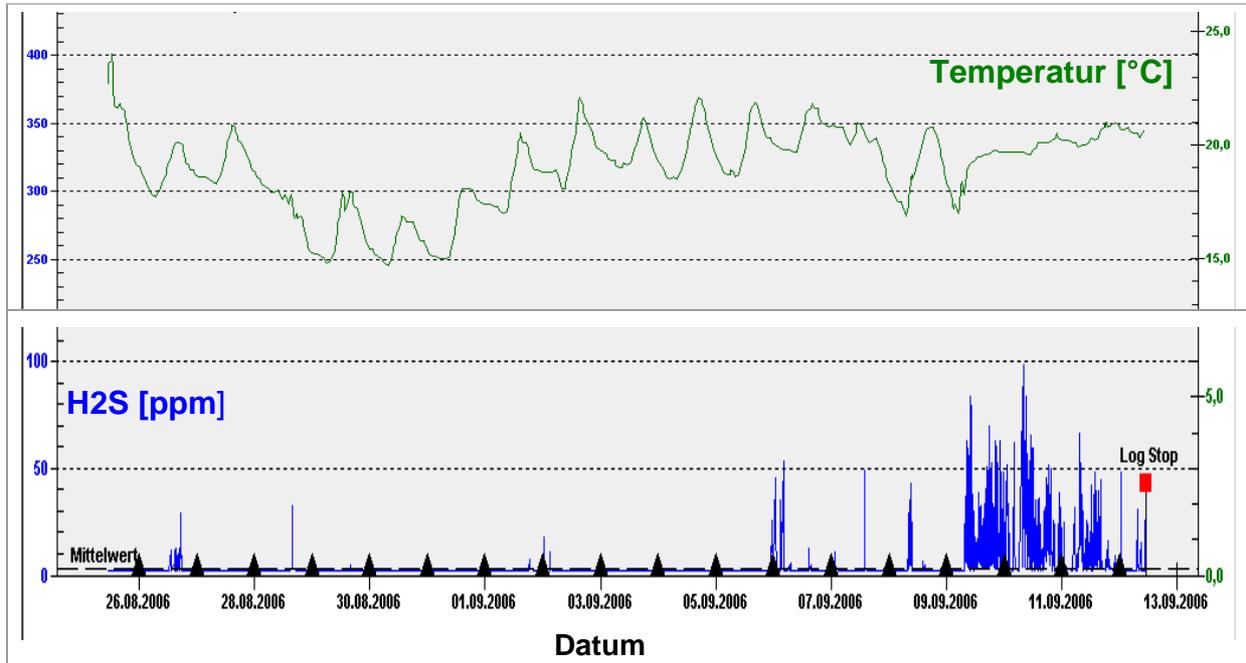


Abb. 113: H₂S-Messungen Übergabeschacht vor der Impfung – 25.08.06 bis 12.09.06, 9-27d nach Impfung (Bildausschnitte aus Software der Sonde)

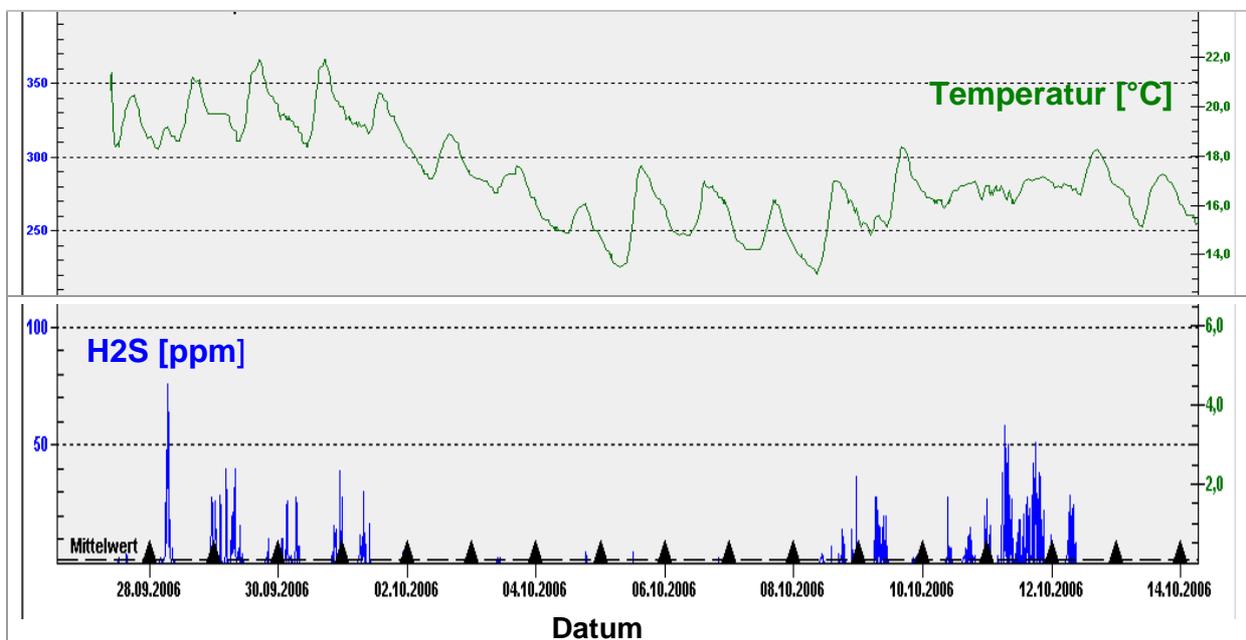


Abb. 114: H₂S-Messungen Übergabeschacht vor der Impfung – 27.09.06 bis 14.10.06, 6-8,5 Wochen nach Impfung (Bildausschnitte aus Software der Sonde)

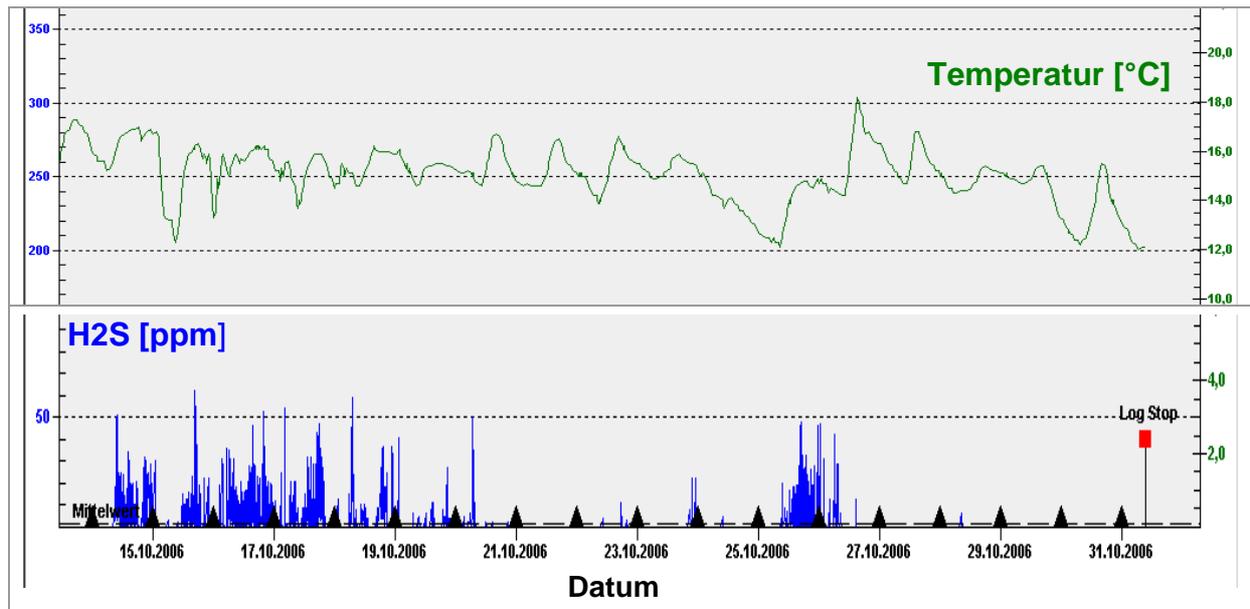


Abb. 115: H₂S-Messungen Übergabeschacht vor der Impfung – 15.10.06 bis 31.10.06, 8,5-11 Wochen nach Impfung (Bildausschnitte aus Software der Sonde)

5.4.3.3 Ergebnis

Der Praxiseinsatz des biologischen Produktes „Lipolyt 2000“ an der Druckleitung in Erkelenz lieferte folgende Ergebnisse:

- Die Ablagerungen im Pumpenschacht waren nach 12-monatiger Einwirkzeit augenscheinlich nahezu unverändert. Ebenso zeigte die Sielhaut in der Druckleitung keine deutlichen Unterschiede.
- Das Geruchsproblem konnte nicht gelöst werden. H₂S-Messungen am Übergabeschacht zwischen der ersten und der vierten sowie der sechsten und der elften Woche nach Impfung der Leitung lieferten zwar sinkende H₂S-Spitzenwerte von ca. 100 ppm auf 50 ppm. Inwieweit dies mit den zugegebenen Mikroorganismen oder mit der in dem Messzeitraum sinkenden Temperatur zusammenhängt, kann nicht abschließend beurteilt werden.

5.4.4 Lindlar

5.4.4.1 Örtliche Randbedingungen

Die Gemeinde Lindlar betreibt zwischen der Siedlung „Scheurenhof“ (rund 60 EW) und der „Wilhelm-Müller-Straße“ im Ortsteil Linde eine rund 500 m lange Druckleitung PE-HD DN 100. Die vor ca. sechs Jahren in Betrieb genommene Leitung fördert häusliches Abwasser aus „Scheurenhof“ in einen höher gelegenen Freispiegelkanal. Meldungen der Anwohner am Übergabeschacht zufolge kam es, insbesondere in den Sommermonaten, zu Geruchsbelästigungen.

Vor diesem Hintergrund wurde beschlossen, das biologische Produkt „Lipolyt 2000“ einzusetzen. Das „Lipolyt 2000“ kann der geschlossenen Pumpstation (s. Abb. 116 und Abb. 117) über einen unmittelbar in der Nähe liegenden Schacht mit Zulauf zur Pumpstation (s. Abb. 118) zugeführt werden.



Abb. 116: Pumpenschacht



Abb. 117: Pumpstation



Abb. 118: Schacht mit Zulauf zur Pumpstation

5.4.4.2 Praxiseinsatz

Im Rahmen des Praxiseinsatzes wurde die Leitung in der ersten Septemberwoche 2006 mit „Lipolyt 2000“ geimpft. Zu punktuellen Kontrollen der H₂S-Entwicklungen wurden vor und nach der Impfung Messungen am Übergabeschacht durchgeführt.

Impfung der Leitung:

Dem vor der Pumpstation liegenden Schacht wurden zum Austausch des Leitungsvolumens rund zunächst 3,5 m³ Frischwasser sowie 9 kg des Substrates hinzu gegeben. Anschließend wurden der Pumpstation weitere 7 kg Substrat hinzugefügt, die während der vierstündigen Einwirkzeit in der Leitung verblieben.

Der Aufwand für die Impfung betrug ca. 1,5 Stunden.

H₂S-Messungen:

Die zweiwöchigen H₂S-Messungen vor Impfung der Druckleitung zeigten unregelmäßig, meist mehrfach täglich auftretende H₂S-Spitzen bis zu einem Maximalwert von rund 75 ppm (s. Abb. 119).

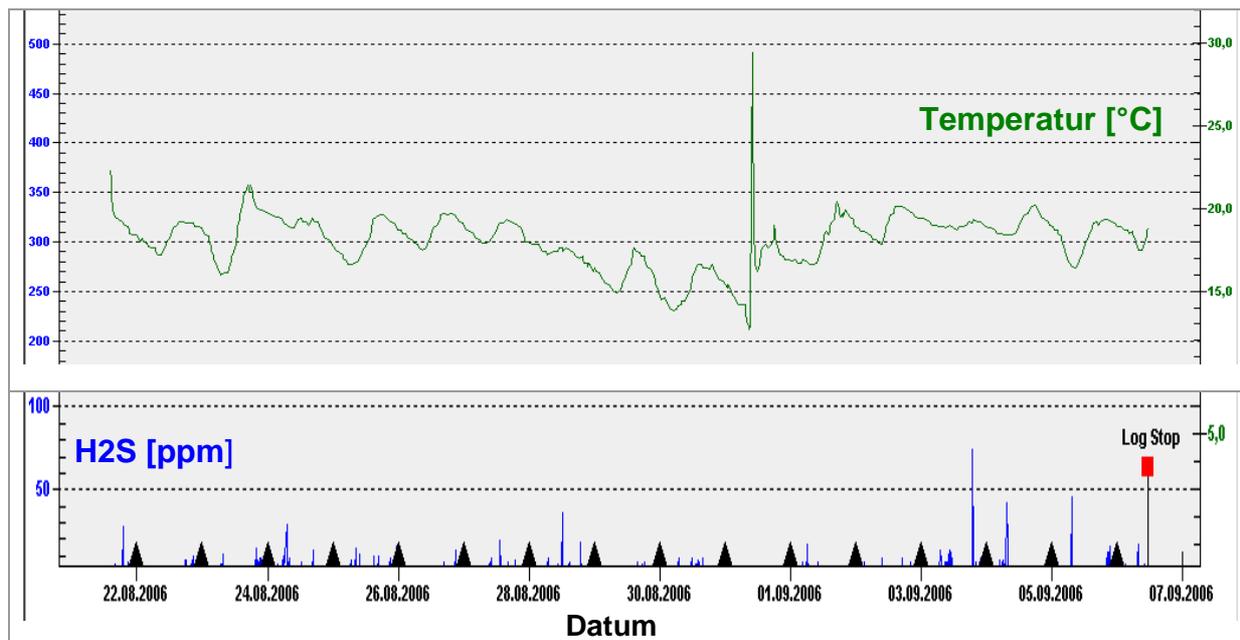


Abb. 119: H₂S-Messungen Übergabeschacht vor der Impfung – 21.08.06 bis 06.09.06
zwei Wochen vor der Impfung (Bildausschnitte aus Software zur Sonde)

Des Weiteren konnte ein Messgerät zwischen der zweiten und der fünften Woche nach der Impfung eingesetzt werden. Die Aufzeichnungen ergaben ebenfalls unregelmäßige H₂S-Spitzen. Ein Maximalwert reicht zum Anfang des Messzeitraums bis 135 ppm (s. Abb. 130), während die darauf folgenden Spitzen bis ca. 50 ppm reichen (s. Abb. 130 und Abb. 121).

Seit Impfung der Druckleitung sind nach Auskunft der Gemeinde Lindlar keine Beschwerden über Geruchsbelästigungen mehr eingegangen. Inwieweit die H₂S-Konzentrationen nachweislich zurückgegangen sind, ist durch erneute H₂S-Messungen im Jahr 2007 bei zunehmenden Außentemperaturen zu überprüfen.

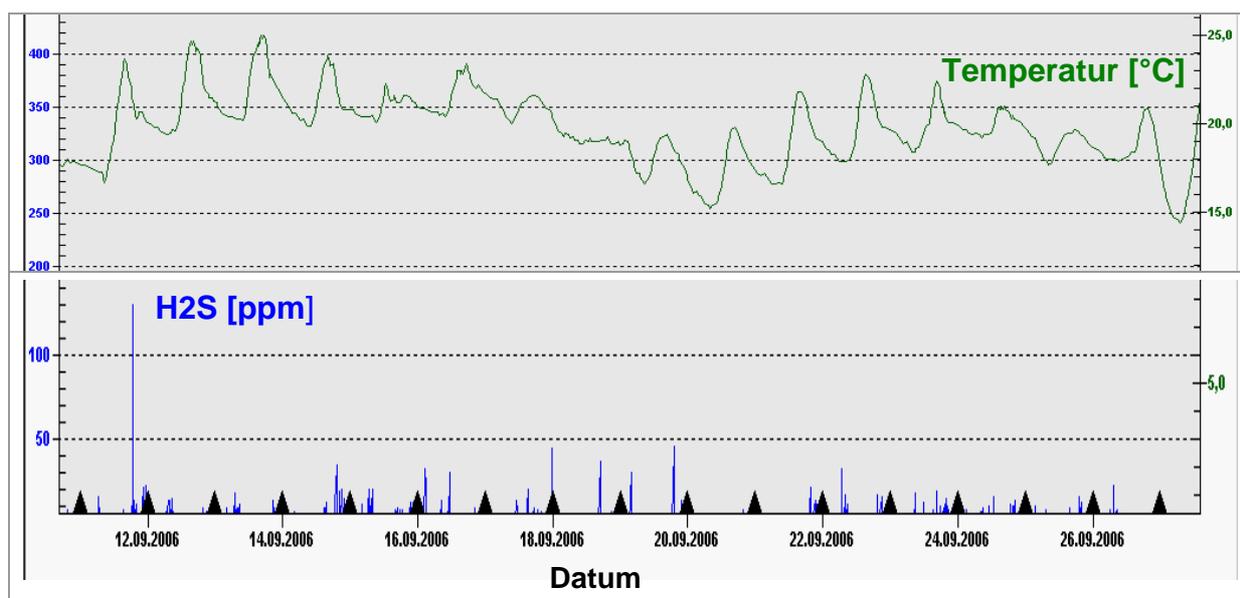


Abb. 120: H₂S-Messungen Übergabeschacht vier Wochen nach der Impfung – 11.09.06 bis 27.09.06
(ca. zweite bis dritte Woche nach der Impfung)

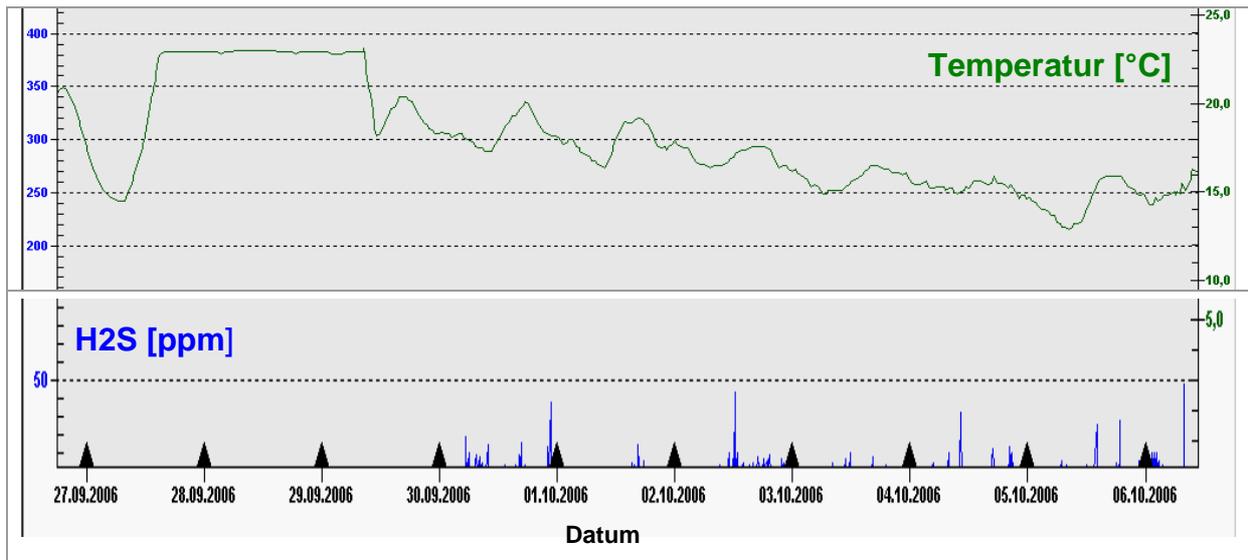


Abb. 121: H₂S-Messungen Übergabeschacht vier Wochen nach der Impfung – 27.09.06 bis 06.10.06, ca. vierte bis fünfte Woche nach der Impfung (Bildausschnitte aus Software zur Sonde)

5.4.4.3 Ergebnisse

Seit Impfung der Druckleitung sind bei der Gemeinde Lindlar keine Beschwerden mehr über Geruchsbelästigungen eingegangen. Inwieweit jedoch die sinkenden Außentemperaturen oder die Zugabe des Produktes „Lipolyt 2000“ zu weniger H₂S-Emissionen führten, kann nicht abschließend geklärt werden. Die H₂S-Messungen müssten zu einer wärmeren Jahreszeit wiederholt werden.

6 Versuchsprogramme

Den zweiten Untersuchungsschwerpunkt neben den Praxiseinsätzen bildeten Versuche an einer Teststrecke auf dem IKT-Gelände. Hier wurden ausgewählte Verfahren unter vergleichbaren Randbedingungen getestet, um Aussagen zur Reinigungsleistung und zum Stofftransport treffen zu können. Zusätzlich konnten die im Rahmen der Praxiseinsätze gesammelten Erfahrungen zu Handhabung und Anwendungsmöglichkeiten der Verfahren erweitert und verbliebene Fragestellungen untersucht werden.

Ergänzend zur IKT-Teststrecke, die mit Reinwasser betrieben wird, konnte in Zusammenarbeit mit dem Abwasserbetrieb der Stadt Porta Westfalica eine Teststrecke auf der Kläranlage „Möllbergen“ errichtet werden, die mit Abwasser aus dem Zulauf der Kläranlage beschickt wird. Sie diente als Anschauungsobjekt zur Sielhautbildung und für Reinigungsversuche zur Sielhautentfernung.

Einzelheiten zu den Laborversuchen sowie den Untersuchungen an den Teststrecken werden in den folgenden Kapiteln 6.2 bis 6.3 beschrieben. Kapitel 6.1 beschreibt zunächst Erfahrungen zur Ablagerungssituation in Abwasserdruckleitungen, auf deren Grundlage die Ablagerungen für die Reinigungsversuche ausgewählt wurden.

6.1 Ablagerungssituation in Abwasserdruckleitungen

Während Ablagerungen im Bereich der Freispiegelkanalisation durch Inspektionen, Begehungen sowie Probenahmen verhältnismäßig leicht erfasst und analysiert werden können und daher auch entsprechende Auswertungen über die Beschaffenheit vorliegen (vgl. [28, 29]), liegen zu den Ablagerungssituationen in Abwasserdruckleitungen weniger Informationen vor. Inspektionen der Leitungen sind selten, da diese schwierig, zeitaufwendig und mit den herkömmlichen Kameratechniken meist nur in Teilbereichen möglich sind. Darüber hinaus wird im Vorfeld einer optischen Inspektion ein Entleeren bzw. Leersaugen der Leitung notwendig, das bereits zu einer Veränderung der Ablagerungen führen kann. Dementsprechend liegen keine umfassenden Analysen zur Ablagerungsbeschaffenheit in Abwasserdruckleitungen vor.

Inspektionen im Rahmen der Praxiseinsätze zeigten vorwiegend Sielhaut, z.T. in Kombination mit Fettablagerungen (s. Abb. 122). In einem Fall wurde ein größerer Stein in der Leitung gesichtet (s. Abb. 123). Das Bergen einer Verstopfung [A30] brachte in einem anderen Fall einen Molch-ähnlichen festen Stopfen hervor, der augenscheinlich aus einer Mischung aus Laub, Sand, Faserstoffen, Toilettenpapier, Steinen und vermutlich organischen Stoffen bestand (s. Abb. 123).



Abb. 122: Beispiele für Ablagerungen in Druckleitungen: (li) Sielhaut u. evt. Fett; (mi) vorwiegend Fett; (re) Sielhaut mit Fasern und evt. Fett



Abb. 123: Beispiele für Ablagerungen in Druckleitungen: (li) geborgene Verstopfung aus Laub, Sand, Faserstoffen, Toilettenpapier, Steinen etc [31].; (mi) verfestigtes Hindernis (evt. einragender Gegenstand); (re) Stein

In Druckleitungen können sich neben „abwasserüblichen“ Stoffen, wie organischen Bestandteilen und Papier, alle Materialien befinden, die über die Pumpen gefördert werden oder beim Bau in die Leitung gelangt sind. Berichtet wurde z.B. von Holzstücken, Dachlatten, Flatterband, Stofflappen und Schotter [A12, A21, A32]. Theoretisch können neben Stoffen, die an der Rohrwand haften bleiben (z.B. Fett), alle Stoffe zu Ablagerungen führen, die nicht mit dem Abwasserstrom weitertransportiert werden, entweder weil die Schleppspannung nicht ausreicht oder weil sie sich zwischen/hinter vorhandenen Ablagerungen absetzen bzw. sich gegeneinander verkeilen. Nach Meinung der Netzbetreiber [A12] und Diskussionen sind Ablagerungen insbesondere in den Tiefpunkten als sandige, kiesige, evtl. mit Faserstoffen und organischem Material verbundene Stoffe zu erwarten. Werden diese durch den Wasserstrom zusammen geschoben und verdichtet, könnten ähnliche Verstopfungen wie in Abb. 123 entstehen.

Auch in Freispiegelnetzen setzen sich Ablagerungen in der Mehrheit aus Gemischen von mineralischen und organischen Bestandteilen, Papier, Haaren, Fasern, Nahrungsresten und kleineren Steinen zusammen [33, 28]. Spinn- und Faserstoffe können zu einer Armierung der Sedimente führen und so die Lösbarkeit deutlich verschlechtern [28]. Untersuchungen über die Beschaffenheit von Ablagerungen [29] zeigen, dass der organische Anteil des Sediments zwischen 10-20 % liegt. Die mit organischen Stoffen durchsetzten Ablagerungen weisen eine gesteigerte Bakterientätigkeit auf. Zusammen mit den mineralischen Bestandteilen verbinden sich die organischen Anteile, die eine pastenartige Konsistenz aufweisen, zu einem kohäsiven Ablagerungsgemisch.

Ablagerungen, die nur aus relativ gleichkörnigem Sand bestehen, lassen sich in der Regel leicht ausspülen, da ihnen organische Stoffe fehlen, die den Zusammenhalt bewirken. Umgekehrt kann sich eine Ablagerung aus rein organischem Material, nicht verfestigen, da die schweren mineralischen Partikel, die für eine Verdichtung sorgen, fehlen [34].

6.2 IKT-Teststrecke

Im Folgenden wird zunächst der Aufbau der Teststrecke auf dem Außengelände des IKT beschrieben und anschließend werden das Versuchsprogramm sowie die Ergebnisse vorgestellt.

6.2.1 Aufbau

Auf dem IKT-Außengelände wurde eine 60 m lange Leitung aus PVC-Glas DN 100 errichtet (s. Abb. 124). Es wurden eine „Standardsituation“ und eine „Extremsituation“ kombiniert (s. Abb. 124). Die Standardsituation soll dabei den einfachsten Verlauf einer Druckleitung nachbilden. Die Extremsituation enthält schwierige geometrische Verhältnisse. In den Bereich der Standardsituation sollten verschiedene Ablagerungen eingebracht werden, um das Lösen und Mobilisieren der Ablagerungen zu beobachten. Im Bereich der Extremsituation wurde der Weitertransport gelöster Ablagerungen aufgenommen.

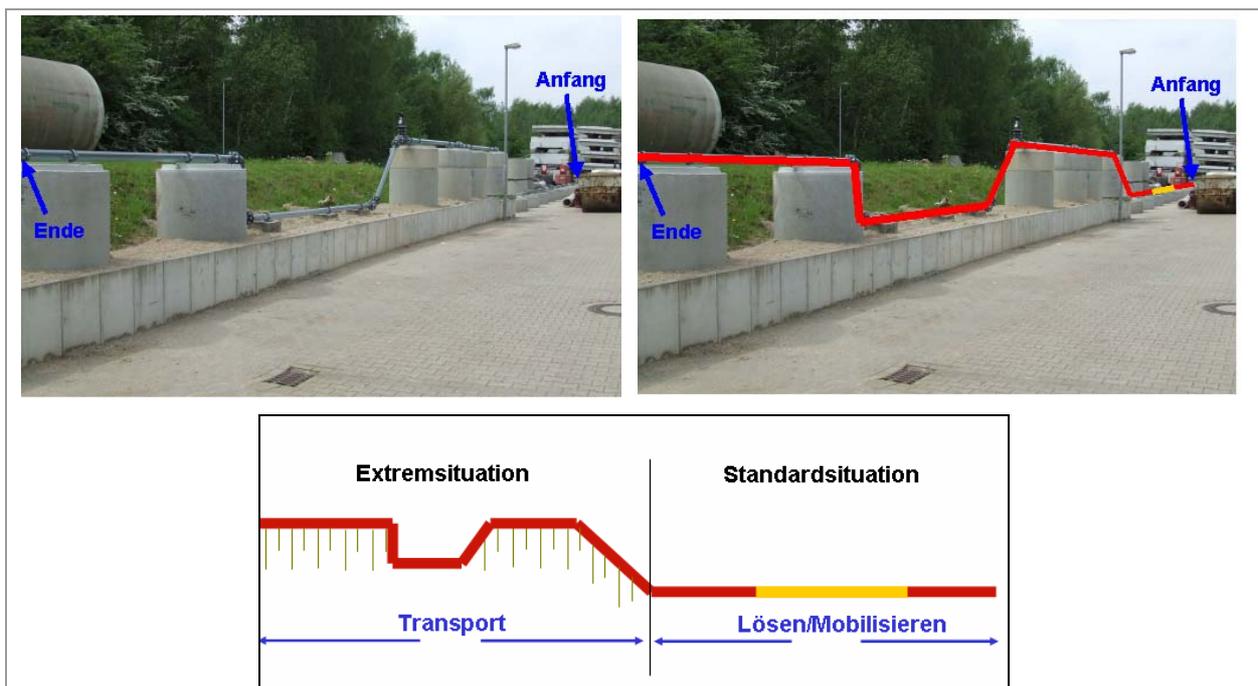


Abb. 124: Verlauf der Teststrecke auf dem IKT-Außengelände

Das erste Leitungsteilstück im Bereich der Standardsituation umfasst einen knapp 30 m langen Streckenabschnitt (s. Abb. 125). Am Anfang der Leitung wurde ein Flachschieber (s. Abb. 126) zur Regelung des Zuflusses angebracht. Ein T-Stück mit Storz-Kupplungen dient als „Spülstutzen“ zum Anschluss eines Luftdruckschlauches oder als „Passstück“ zum Einbringen z.B. eines Spülschlauches (s. Abb. 126). Über ein weiteres T-Stück wurde ein 5 m

langes Rohrstück als Abzweig angebracht, das am Ende mittels eines Absperrhahns verschlossen wird (s. Abb. 126).



Abb. 125: Leitungsabschnitt „Standardsituation“



Abb. 126: Leitungsanfang mit Schieber und Kupplungen (li), T-Stück mit Kupplungen als „Spülstutzen“ (mi), T-Stück mit Abzweig (re)

Den Anfangsbereich der ebenfalls ca. 30 m langen „Extremsituation“ (s. Abb. 128) bildet eine Steigung, angeschlossen über zwei 45°-Bögen (als PVC Winkelformstück), auf die ein Hochpunkt folgt. Im Anschluss daran geht die Leitung mit einer weiteren Gefällestrecke in einen Tiefpunkt über. Auf den Tiefpunkt folgt über zwei 90°-Bögen (PVC Winkelformstück) ein weiterer Hochpunkt der Leitung. Das Endstück der PVC-Glas-Leitung kann über einen Flachschieber verschlossen werden.

In die Leitung wurden somit zum einen extreme Gefällesituationen und Steigungen eingebunden, die z.B. bei unterführten Druckleitungen bzw. bei Dükern in Freispiegelnetzen oder auch bei industriellen Druckleitungen auftreten können. Zum anderen wurden extreme Bögen verbaut. Nach DIN EN 1671 sind zwar „scharfe Richtungsänderungen möglichst zu vermeiden, um die Bildung von Verstopfungen zu verhindern“ und sollten aufgrund hydraulischer Verluste möglichst nicht eingesetzt werden, jedoch kann in der Praxis z.B. bei Platzmangel nicht immer auf Bogenformstücke verzichtet werden. So sind in der Praxis, vor allem bei Querungen von Flüssen und Straßentrassen, auch Bogenstücke in Abwasserdruckleitungen bis hin zu 90° zu finden [1, 2, A35, A36]. Auch im Bereich der Pumpwerke werden Bogenstücke bis 90° verwendet, die vom jeweiligen Verfahren überwunden werden müssen, wenn sie nicht auszubauen bzw. unzugänglich sind. Dennoch stellen die verwendeten Bögen

¹ Erfahrung aus Praxiseinsatz in Bad Honnef, September 2005 (Druckleitung PVC DN 150 mit Bogenstück 90°)

² Erfahrungen aus Praxiseinsatz in Leverkusen, November 2005 (Druckleitung PE DN 150 mit Bogenstück 45°)

in der Teststrecke schwierigere Randbedingungen gegenüber der Praxis dar. Sie enthalten aufgrund geklebter Werkstoffkombinationen aus PVC-Winkelformstücken und PVC-Glas-Rohren Kanten (s. Abb. 128).



Abb. 127: 90°-Bogen einer Druckleitung PVC DN 150 (li), 45°-Bogen einer Druckleitung PE DN 150 (mi) und PVC-Winkelformstück der Teststrecke (re)

Mit der Kombination aus scharfen Richtungsänderungen, Steigungen und Gefällestrrecken des zweiten Streckenabschnitts sollten erschwerte Bedingungen für die Reinigungsverfahren geschaffen werden, um mit der begrenzt zur Verfügung stehende Leitungslänge auch Einsatzgrenzen der Verfahren feststellen zu können.

Die Teststrecke wurde darüber hinaus mit einem Entlüftungsventil (s. Abb. 128) versehen, dessen Position mit dem Programm „ROHRBER“ [37] berechnet wurde.



Abb. 128: Leitungsabschnitt „Extremsituation“ (li) und Detail Entlüftungsventil (re)

Die Wasserzufuhr zur Leitung wird über eine Tauchpumpe geregelt, die in einem Vorlagebehälter angebracht ist. Über Stahl-Schnellkupplungsrohre wird das Wasser nach Durchlaufen der PVC-Glas-Strecke in einen zweiten Behälter geführt (s. Abb. 129), aus dem es in den Vorlagebehälter zurückgeführt werden kann.



Abb. 129: Teil der Rückführung (s. Pfeile) und Wasserbehälter

6.2.2 Versuchsprogramm

Das Testprogramm diente dazu, zunächst die generelle Funktionsweise der einzelnen Verfahren aufzunehmen, wie z.B. das Ausbreiten der Druckluftimpulse beim Impuls-Spülen oder den Vortrieb des Molches in der Leitung. In anschließenden Reinigungsversuchen wurde die Reinigungswirkung der Verfahren an unterschiedlichen Ablagerungssituationen getestet.

Die folgenden Reinigungsverfahren wurden in das Testprogramm einbezogen:

- „Impuls-Spül-Verfahren“,
- Molchen,
- Spülungen mit Hochdruckdüse,
- Ejektortechnik,
- Spülungen über einen Hydranten.

Das Impuls-Spül-Verfahren sowie das Molchen wurden einem umfangreichen Versuchsprogramm mit acht unterschiedlichen Ablagerungssituationen unterzogen. Die Hochdruckspüldüse sowie Schwallspülungen mittels Ejektor und Hydrant wurden zu Vergleichszwecken bei sechs ausgewählten Ablagerungssituationen getestet. Eine Übersicht zeigt Tab. 8. Einzelheiten zu den eingebrachten Ablagerungen können den nachfolgenden Erläuterungen entnommen werden.

Tab. 8: Übersicht der Einzelversuche zur Reinigungsleistung der Verfahren

Ablagerung	Impuls-Spül-Verfahren	Molchen	HD-Düse	Hydrant/Ejektor
Kiessand	X	X	X	X
Kies	X	X	X	X
Steine	X	X	–	–
Fett	X	X	X	X
Sand/Fett-Gemisch	X	X	X	X
Flüssigboden	X	X	–	–
Estrichbeton	X	X	X	X
Verstopfung aus Abschnitten mit: a) Kies b) Sand/Faser c) Sand/Kies/Laub/Bentonit/Fasern	X	X	X	X
Sielhaut	X (s. Kapitel 6.3)	X (s. Kapitel 6.3)	–	–

Vor dem Hintergrund geringer Erfahrungen zur Beschaffenheit von Ablagerungen in Abwasserdruckleitungen sollte bei den Versuchen ein breites Spektrum an möglichen Ablagerungssituationen abgedeckt werden. Die Ablagerungen wurden wie folgt hergestellt:

Kiessand

Ein Kiessand der Körnung 0/8 wurde als unverfestigte, rein mineralische Ablagerung ohne bindige Bestandteile eingebracht. Die locker gelagerten Körner lassen sich leicht lösen.

Der Sand wurde in die Leitung gefüllt und über mehrere Stunden mit einer Fließgeschwindigkeit von 0,25 m/s vorgetrieben bzw. ausgespült, bis sich ein nahezu stabiler Zustand im Korngefüge einstellte. Ähnlich einem Flussbett lagerten an der Grenzfläche zum Wasserstrom gröbere Körnungen und darunter eine Mischung mit feinen Bestandteilen (s. Abb. 130). Mit diesem Vorgehen konnte bereits ein Teil der kleineren Kornfraktionen ausgetragen werden, die auch in der Praxis mit dem Abwasserstrom gefördert würden.



Abb. 130: Beispiele für Ablagerungen aus Kiessand

Kies

Als weitere unverfestigte, mineralische Ablagerung wurde ein Kies der Körnung 20/40 eingebracht (s. Abb. 131). Wie beim Kiessand ist die Ablagerung leicht zu lösen, der Weitertransport des einzelnen Kornes mit dem Wasserstrom erfordert jedoch aufgrund des geringeren Verhältnisses von der Oberfläche zur Masse des Kornes mehr Energie.



Abb. 131: Beispiele für eingebrachte Ablagerungen aus Kies

Fett

Fettablagerungen können sich in ständig oder zeitweise vollgefüllten Kanälen verstärkt im Scheitelpunkt bilden. Sie haften stark an der Rohrwand und zählen im Bereich der Freispiegelkanalisation zu den schwer löslichen Ablagerungen. Grund dafür ist neben der Haftung, dass die üblichen, auf der Sohle geführten Reinigungsdüsen diese Bereiche weniger wirksam erreichen. [28]

Im Rahmen der Versuche wurde das Fett zunächst erwärmt und dann in mehreren Schichten von wenigen Millimetern durch Drehen der Leitung verteilt und zum Erkalten gebracht (s. Abb. 132).

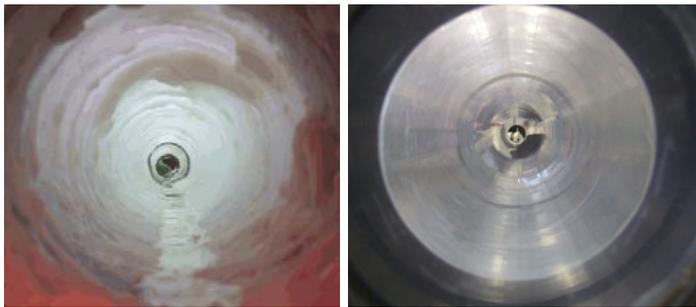


Abb. 132: Beispiel für eingebrachte Fettablagerung (li) und sauberes Rohr zum Vergleich (re)

Sand-Fett-Gemisch

Mit einem Gemisch aus ca. 85 Gew.-% Sand und 15 Gew.-% Fett wurde eine bindige Ablagerung erzeugt (s. Abb. 133), die sowohl an der Rohrwand als auch in sich haftet. Verwendet wurde ein herkömmliches pflanzliches Frittierfett, das in erwärmten Zustand mit Sand gemischt und dann mit einem stabähnlichen Hilfsmittel auf der Rohrsohle verteilt und verdichtet wurde.



Abb. 133: Beispiel für eingebrachte Ablagerung eines Fett-Sand-Gemisches

Flüssigboden

Mit dem „RSS® - Flüssigboden“, einem mit Kalkzusätzen aufbereiteten tonigen Boden, wurde eine verfestigte Ablagerung simuliert (s. Abb. 134). Das Materialgemisch bildet in sich ein festes Gefüge, lässt sich an der Oberfläche jedoch von Hand zerreiben (28d-Druckfestigkeit nach DIN EN 12390: 0,3-0,8 N/mm², Lösbarkeit nach DIN EN 18300: entspricht Bodenklasse 3-5 [38]). Die Wandhaftung an der glatten PVC-Oberfläche des Rohres ist gering.



Abb. 134: Beispiel für eingebrachte Ablagerung aus Flüssigboden

Estrichbeton

Eine weitere verfestigte Ablagerung bzw. ein Abflusshindernis wurde mit einem Estrichbeton C 20/25 hergestellt (s. Abb. 135). Durch Fehleinleitungen z.B. als Baustellenrückstände können feste bzw. sich verfestigende Stoffe wie Beton ins Kanalnetz eingetragen werden [28].

Die Oberfläche des Rohres wurde angeraut, um die Wandhaftung zu erhöhen.



Abb. 135: Beispiel für eingebrachte Ablagerung aus Estrichbeton (li, mi); angerautes Rohr (re)

Verstopfungs-Gemisch aus Kiessand (0/8), Faserstoffen, Bentonit und Laub

In Anlehnung an die geborgenen Ablagerungen aus einer Druckleitung (s. Abb. 123) wurde ein Gemisch aus Kiessand, Laub, Faserstoffen (Bast, Hanf, Toilettenpapier, Flatterband), Bentonit-Körner und Wasser hergestellt. Die Mischung bildete eine schwere, faserige Masse. Eine Haftung an der Rohrwand bestand kaum.

Dieses Gemisch wurde in Fließrichtung vor einem mit Kies sowie einem mit einer Sand/Faser-Mixtur (s. Beschreibung nächster Punkt) gefüllten Leitungsstück eingebracht und anschließend über die Pumpe auf das Kiesbett bzw. das Sand/Faser-Gemisch aufgespült. So entstand bei einer Förderhöhe der Pumpe von rd. 15 m (1,5 bar) eine Verstopfung.



Abb. 136: Beispiel für eingebrachtes Gemisch aus Kies, Sand, Faserstoffen, Bentonit und Laub

Gemisch aus Sand und Faserstoffen

Ein Gemisch aus Sand und Faserstoffen (Hanf und Bast) wurde in Kombination mit dem zuvor beschriebenen Gemisch aus Kies, Sand, Faserstoffen, Bentonit und Laub genutzt, um eine Verstopfung zu produzieren. Beide Gemische wurden auf ein Kiesbett gespült (s.o.).



Abb. 137: Beispiel für eingebrachtes Gemisch aus Sand und Faserstoffen

Steine

Als weitere Abflusshindernisse wurden in separaten Versuchen Steine (\varnothing zwischen ca. 5 cm und 8 cm) in die Leitung gelegt, um das Transportverhalten des Reinigungsverfahrens aufzunehmen.



Abb. 138: Beispiel für eingebrachte Steine als Abflusshindernis

Sielhaut

Versuche zur Entfernung der Sielhaut wurden an der Teststrecke auf der Kläranlage „Möllbergen“ durchgeführt (s. Kapitel 6.3). Aufgrund des Betriebs der Leitung mit Abwasser war es dort möglich, eine echte Sielhaut zu züchten. Auf eine Nachbildung in Versuchen an der IKT-Teststrecke wurde daher verzichtet.

6.2.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Reinigungsversuche an der Teststrecke werden im Folgenden für jedes Verfahren separat vorgestellt. Eine abschließende Bewertung der Verfahren mit Einsatzmöglichkeiten und –Grenzen sowie Vor- und Nachteilen wird in Kapitel 7 vorgestellt.

6.2.3.1 Impuls-Spül-Verfahren

Das Impuls-Spülverfahren wurde an insgesamt drei Tagen durch die Firma Hammann Wasser-Kommunal GmbH, Annweiler am Trifels, an der Teststrecke eingesetzt.

Zur Vorbereitung der Impuls-Spülung wurden seitens der Fa. Hammann am T-Stück der Teststrecke ein Luftdruckschlauch (C-Schlauch) angeschlossen (s. Abb. 139), über den die Luftimpulse in die Leitung gegeben wurden.

Gemäß des Vorgehens in der Praxis wurde über die Pumpe ein Grundabfluss erzeugt. Mittels eines Ultraschall-Durchflussmessgerätes (s. Abb. 139) wurde ein Grundabfluss von ca. 1,9 l/s mit einer Fließgeschwindigkeit $v = 0,25$ m/s eingestellt. Diese liegt im dem vom Verfahrensanbieter geforderten Bereich von mindestens 0,2-0,3 m/s.



Abb. 139: Anschluss des Luftdruckschlauches (li); Durchflussmessgerät (re)

Die Impulse wurden entsprechend dem Vorgehen in der Praxis abhängig von Leitungslänge, Durchmesser und Verlauf sowie den Ablagerungen und dem anstehenden Gegendruck aus der Leitung reguliert. Variiert wurden dabei der Impulsdruck, das Impulsvolumen über Öffnungszeit des Magnetventils und Anzahl der Druckkessel sowie die zeitlichen Abstände der einzelnen Impulse.

Der anstehende Gegendruck in der Leitung und der Impulsdruck wurden durch die Firma Hammann am Kompressorfahrzeug kontrolliert. Zusätzlich wurden seitens des IKT zwei Drucksensoren in der Teststrecke installiert, um die Druckstöße in der Leitung aufzunehmen. Vom Fahrzeug aus wurden an der Teststrecke Impulsdrücke bis 2 bar aufgebracht. Abb. 140 zeigt ein Beispiel von in der Leitung erzeugten Druckwellen bei Impulsen zwischen 1 bar und 1,5 bar. Ein Vergleich der Kurven des Drucksensors 1 (direkt an der Anschlussstelle des Druckschlauches, blaue Kurve) und des Drucksensors 2 (nach 30 m Leitungstück, rote Kurve) zeigt, dass die Impulse im weiter entfernten Leitungsabschnitt langsamer ansteigen und die Druckspitzen ca. 10-20% niedriger lagen.

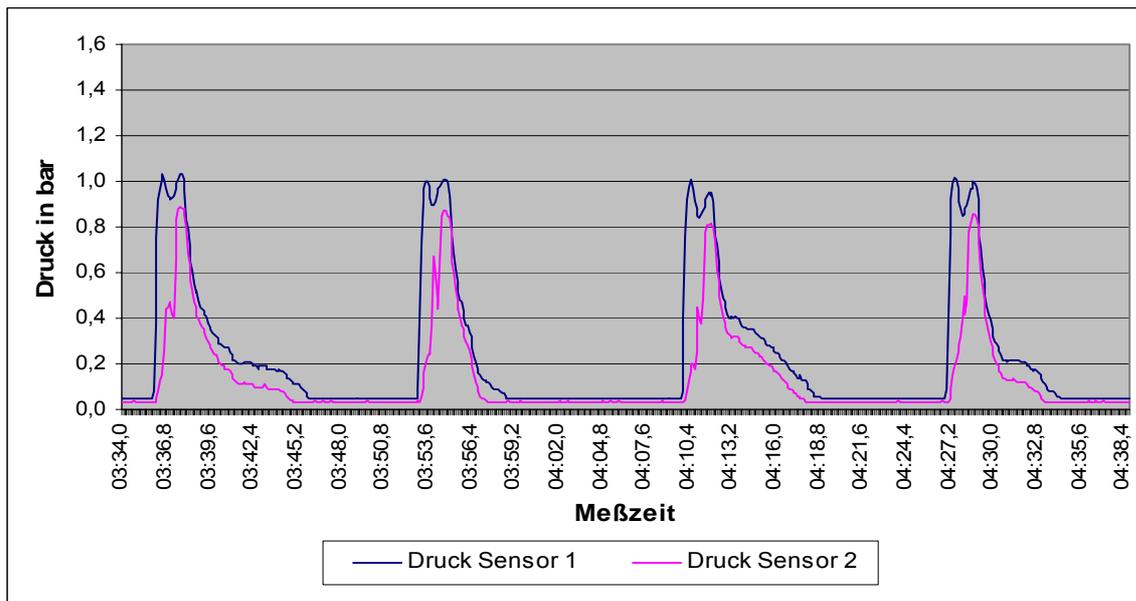


Abb. 140: Beispiel für die gemessenen Druckimpulse in der Leitung

Nach Angaben des Verfahrensanbieters wird nach Möglichkeit mit Drücken gearbeitet, die möglichst geringfügig über dem normalen Betriebsdruck der Leitung liegen. Das erforderliche Δp ist abhängig von Leitungsdimension und Streckenverlauf und liegt i.d.R. zwischen 0,5 bar und 2 bar. So sollen übermäßige Druckstöße in der Leitung vermieden werden. Bei Leitungen größerer Nennweiten würde der Druck in Absprache mit dem Auftraggeber weiter erhöht. Mit den derzeitigen Geräten kann ein Druck von bis zu 10,5 bar aufgebracht werden. So ergeben sich nach Angaben des Anbieters Einsatzgrenzen an Leitungen, bei denen hohe Gegendrücke anstehen (als Beispiel wurde eine Leitung DN 300/400 mit 7 bar Gegendruck genannt).



Abb. 141: Druckschlauch und Manometer unter Luftzugabe (li) und druckfrei (re)

Der vom Anbieter beschriebene Effekt, dass eine Luftblase von mehreren Metern Länge mit der Fließgeschwindigkeit durch die Leitung gefördert wird, konnte an der Teststrecke nicht beobachtet werden. Das sich jeweils zwischen den Spülimpulsen im geraden Anfangsbereich der Leitung sammelnde Wasser wurde von den Luftimpulsen aufgenommen und in einem mehrere Meter langen, den gesamten Rohrquerschnitt ausfüllenden, turbulenten Luft-Wasser-Gemisch durch die Leitung gefördert (s. Abb. 142). Dieses Luft-Wasser-Gemisch erreichte dabei Fließgeschwindigkeiten von über 30 m/s.

Mit jedem Impuls wurde Wasser aus der Leitung getrieben, das am Ende der Rückleitung mit erhöhter Geschwindigkeit in den Speicherbehälter traf. Mit den einzelnen Impulsen wurde die

Leitung größtenteils entleert. Über die durchgängig betriebene Pumpe wurden während der gesamten Spüldauer rund zwei Liter Wasser je Sekunde in die Leitung nachgefördert.

Die Vortriebsgeschwindigkeit und Länge des Luft-Wasser-Gemisches variierte dabei mit dem Impulsdruck und –Volumen sowie den Impulsabständen. Impulsdrücke, -volumina, -dauer und –abstände wurden während der Reinigungsversuche aufgezeichnet, können aus Gründen des Patentschutzes jedoch nicht veröffentlicht werden.

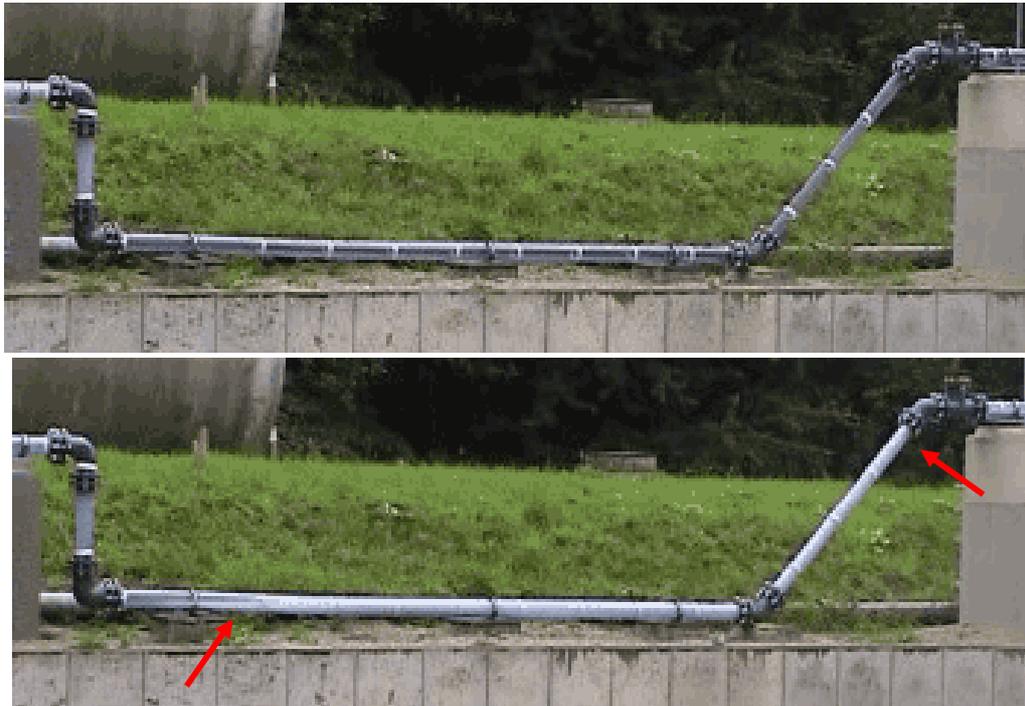


Abb. 142: Momentaufnahmen a) ungefüllte Leitung zwischen den Impulsen (oben) und b) Luftblase bzw. Luft/Wasser-Gemisch des Impulses (s. Bild unten, zwischen den Pfeilen)

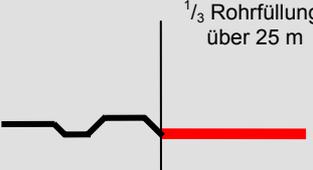
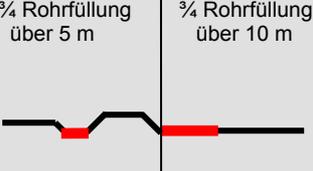
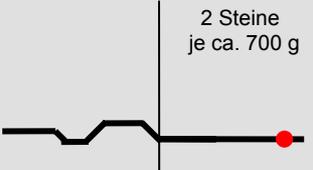
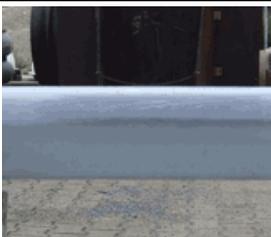
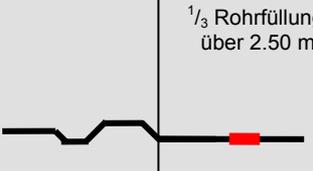
Die Fließgeschwindigkeit bzw. die Durchflussmenge des zugeleiteten Wassers schien bei diesem Streckenaufbau keinen Einfluss auf die Anwendbarkeit des Verfahrens zu haben. Durch längere Impulsabstände konnte zwischen den Impulsen eine ausreichende Wassermenge in das waagerechte Anfangsstück (mit anschließender Steigung) geleitet werden. Bei anderen Leitungsverläufen, insbesondere bei Gefällestrrecken, könnten sich jedoch andere Verhältnisse einstellen.

Eindeutiger Vorteil der durchsichtigen Teststrecke gegenüber einer erdverlegten Leitung war, dass Ablagerungen gesichtet, die Wirkung der Luftimpulse beobachtet und die Einstellungen am Spülfahrzeug entsprechend gewählt werden konnten. In der Praxis werden, soweit möglich, am Auslauf der Druckleitung die Abstände der Spülschwalle sowie mitgeführtes Spülgut beobachtet, um per Funk die Impuls-Parameter zu steuern.

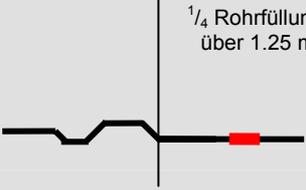
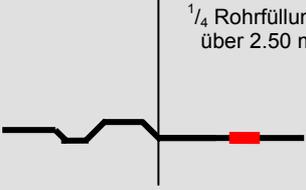
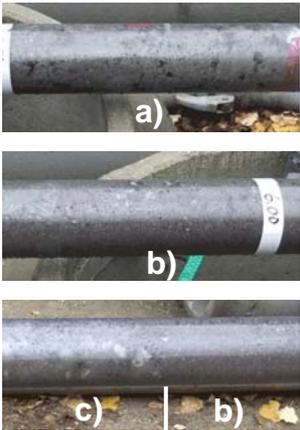
Schäden bzw. Kratzer an der Rohrwand durch die Spülungen wurden nicht festgestellt. Die Druckimpulse führten zu einem Schwingen der Leitungsabschnitte an Bogen-/Schrägstrrecken von mehreren Zentimetern.

In Tab. 9 sind die Reinigungsergebnisse des Impuls-Spül-Verfahrens abhängig von den im Rahmen des Versuches eingebrachten Ablagerungen zusammenfassend dargestellt. Ergänzende Erläuterungen können dem nachfolgenden Text entnommen werden.

Tab. 9: Ablagerungssituationen und Reinigungsleistung des Impuls-Spül-Verfahrens

Ablagerung (Position rot gekennzeichnet)	Leitungszustand vor der Reinigung	Leitungszustand nach der Reinigung	Erläuterung
<p>Kiessand 0/8</p> <p>$\frac{1}{3}$ Rohrfüllung über 25 m</p> 			<p>Vollständige Entfernung des Sandes aus gesamter Leitung mit drei Impulsen (Spüldauer rd. 1 min)</p>
<p>Kies 20/40</p> <p>$\frac{3}{4}$ Rohrfüllung über 5 m $\frac{3}{4}$ Rohrfüllung über 10 m</p> 			<p>Vollständige Entfernung des Kieses aus gesamter Leitung (Spüldauer ca. 20 Minuten, rd. 60 Impulse)</p>
<p>Steine</p> <p>2 Steine je ca. 700 g</p> 			<p>Transport von Steinen möglich: Entfernen eines Steins aus der Leitung, Verklemmen eines Steins im Bogenstück aufgrund der Abmessungen (Spüldauer < 1 min, 1-2 Impulse)</p>
<p>Fett</p> <p>Beschichtete Rohrwand über 2.50 m</p> 			<p>Nur partielles Lösen des Fettes (Spüldauer ca. 20 min, rd. 60 Impulse)</p>
<p>Sand/Fett-Gemisch</p> <p>$\frac{1}{3}$ Rohrfüllung über 2.50 m</p> 			<p>Entfernung des Großteils mit sechs Impulsen (nach ca. 2 min Spülung); Verbleib eines dünnen Fettfilms sowie von Sand/Fett-Resten auch nach 5 min (ca. 15 Impulsen)</p>

Tab. 9 (Forts.): Ablagerungssituationen und Reinigungsleistung des Impuls-Spül-Verfahrens

Ablagerung (Position rot gekennzeichnet)	Leitungszustand vor der Reinigung	Leitungszustand nach der Reinigung	Erläuterung
<p>Flüssigboden</p> <p>$\frac{1}{4}$ Rohrfüllung über 1.25 m</p> 			<p>Entfernung des Großteils in zwei Spülstößen (nach < 1 min Spülung); Verbleib von Resten an der Rohrwand auch nach 5 min Spülung (ca. 15 Impulse)</p>
<p>Estrichbeton</p> <p>$\frac{1}{4}$ Rohrfüllung über 2.50 m</p> 			<p>Fast vollständige Entfernung mit sechs Spülstößen; Verbleib von dünnen Resten der Betonschlämme an der Rohrwand (Spüldauer ca. 4 min)</p>
<p>Verstopfung aus einer Abfolge von:</p> <p>a) Sand/Kies/Laub/Fasern Bentonit b) Sand/Faser c) Kies</p> <p>Details s. Seite 89</p> 			<p>Ablagerungssituation: Verstopfung, erzeugt durch aufeinander gespülte Ablagerungen aus Sand-Faser-Gemischen und Kies (bei 1,5 bar).</p> <p>Kein Reinigungserfolg Die Ablagerungen wurden durch Druckluft weiter verdichtet. (Drucksteigerung bis 7 bar).</p>
<p>Sielhaut</p>	<p>s. Kapitel 6.3</p>	<p>s. Kapitel 6.3</p>	<p>s. Kapitel 6.3</p>

Die verfestigten bzw. haftenden Ablagerungen aus **Flüssigboden, Estrichbeton, Sand/Fett-Gemisch und Fett** wurden in kurze Rohrabschnitte von 1,25 m bis 2,50 m in den Standardbereich eingebracht (s. Abb. 143). Vorrangig sollte hierbei untersucht werden, inwieweit die Ablagerungen gelöst werden können.

Der **Flüssigboden** und der **Estrichbeton** (aufgrund der geringen Rauigkeit der Rohrwand nur gering haftend) wurden mit wenigen Impulsen jeweils in größeren Schollen gelöst. Die Schollen wurden in einem Zug mit dem Spülimpuls über die Bodenstücke weitertransportiert, wobei sie in kleinere Stücke zerbrachen. Dünne Restbestände an der Rohrwand (s. Abb. 144 und Abb. 145), die nicht ausreichend Angriffsfläche für den Spülschwall boten, verblieben an der Rohrwand, sodass die Versuche nach rund fünf Minuten abgebrochen wurden.

Das **Sand/Fett-Gemisch** wurde ebenfalls in Blöcken von den Spülschwallen mitgerissen. Auch hier verblieben Sand/Fett-Reste auf der Rohrwand, die sich auch bei andauerndem Spülen nicht lösen ließen (s. auch Abb. 146). Darüber hinaus verblieb auf der Rohrwand ein fühlbarer, geringer Fettfilm. Insgesamt wurde ebenfalls rund fünf Minuten gespült.

Die **Beschichtung aus Fett** konnte nur in Teilen gelöst werden (geschätzt: weniger als 20 %). Innerhalb von 20 Minuten konnten auch bei Steigerung der Impulsvolumen nur einige Stellen gelöst werden (s. auch Abb. 147).



Abb. 143: Bereich der eingebrachten Ablagerungen Fett, Fett/Sand, Flüssigboden, Estrich (s. Pfeile)



Abb. 144: Außenansicht der Flüssigboden-Ablagerungen vor (oben) und nach (unten) der Reinigung



Abb. 145: Außenansicht des Estrich-Ablagerungen vor (oben) und nach (unten) der Reinigung

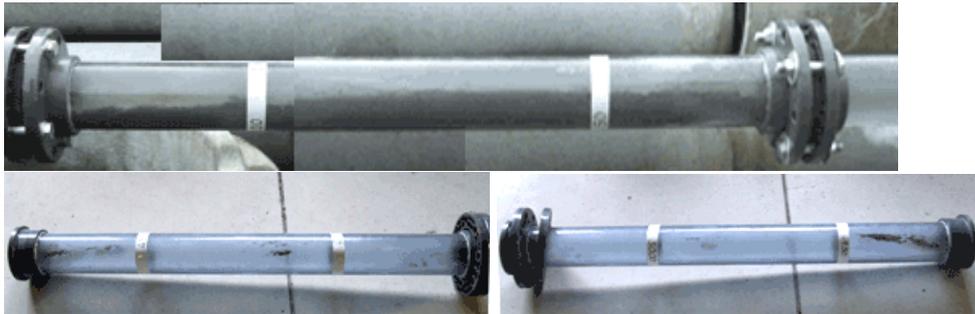


Abb. 146: Außenansicht der Fett/Sandablagerungen vor (oben) und nach (unten) der Reinigung

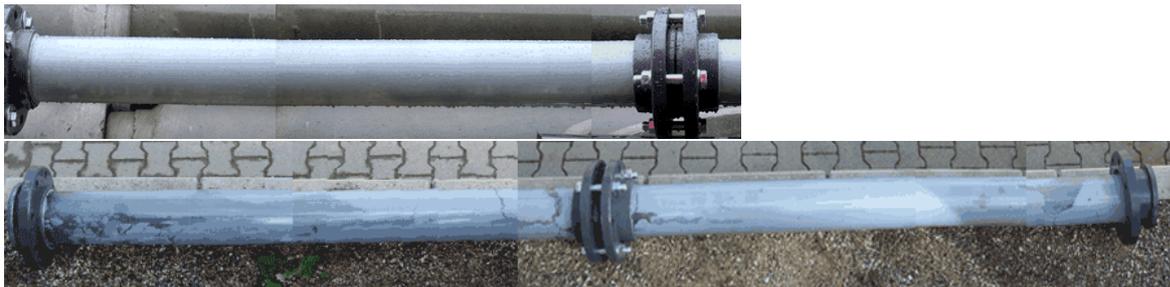


Abb. 147: Außenansicht der Fettablagerungen vor (oben) und nach (unten) der Reinigung

Vorrangiges Ziel der Versuche mit unverfestigten Ablagerungen aus **Kiessand** und **Kies** war, das Transportvermögen der Impuls-Spülung aufzunehmen. Daher wurden die Materialien im Vergleich zu den haftenden/verfestigten Ablagerungen über längere Strecken und in größeren Mengen eingebracht.

In einem ersten Schritt wurde über 25 m des Standardbereiches ein **Kiessand** (Körnung 0/8) auf ca. $\frac{1}{3}$ des Rohrquerschnitts eingespült (Vorgehen s. S. 78). Aufgrund der Bedenken des Technikers, die Spülimpulse könnten möglicherweise den Sand aufschieben und die Leitung „zuschießen“, wurde die Spülung mit einem geringen Impulsvolumen gestartet. Der Sand konnte jedoch mit drei Impulsen innerhalb einer Minute vollständig ausgespült werden. Ein Aufstau des Sandes an Steigungen oder Tiefpunkten wurde nicht beobachtet.

In einem weiteren Versuch wurden 10 m des Standardbereiches sowie der Tiefpunkt (5 m) zu ca. $\frac{3}{4}$ des Rohrquerschnitts mit **Kies** (Körnung 20/40) befüllt. Auch hier wurde die Spülung zunächst mit geringem Impulsvolumen begonnen. Sowohl im Standardbereich als auch im Tiefpunkt des Extrembereichs wurde der Kies in wenigen Spülstößen vor dem aufwärtsgerichteten 45°- bzw. 90°-Bögen zusammengespült (s. Abb. 148). Von hier aus wurden mit jedem Spülstoß nur noch kleine Kiesmengen weitergefördert, jedoch konnte die Leitung innerhalb von 20 min vollständig entleert werden.

Des Weiteren wurden zwei **Steine** (à ca. 700 g, \varnothing ca. 8-9 cm) in den Leitungsanfang eingebracht. Die Abmessungen der Steine waren somit nur geringfügig kleiner als der Leitungsdurchmesser (s. Abb. 149). Beide Steine wurden weitertransportiert, wobei einer der Steine mit zwei Impulsen bis zum Leitungsende befördert wurde und sich der andere aufgrund der großen Abmessungen im Bogen verkantete (s. Abb. 149).



Abb. 148: Zustandsaufnahmen zum Kiestransport am Tiefpunkt



Abb. 149: Aufgrund zu großer Abmessungen verkannteter Stein

Eine extreme **Verstopfungssituation** wurde geschaffen, indem aufeinander folgende Rohrstücke mit a) einem Gemisch aus Sand, Kies, Fasern, Papier, Laub, Bentonit und Wasser, b) einem Sand-Faser-Gemisch sowie c) Kies gefüllt wurden (vgl. Abb. 149) und die Materialien mit Hilfe der Pumpe aufeinander gespült wurden (s. Abb. 151 und Kapitel 6.2.2).

Bei Start des Versuches stand ein Gegendruck von ca. 1,7 bar in der Leitung an. Unter langsamer Drucksteigerung wurde ein Probeimpuls in die Leitung gegeben. Allerdings konnte das Luftvolumen auch bei 7 bar nicht vollständig zugegeben werden, sodass der Versuch aus sicherheitstechnischen Gründen abgebrochen werden musste (Nenndruck der Leitung: 10 bar). Die Ablagerungen wurden durch die Luftzugabe weiter verdichtet.

Anschließend wurden die verdichteten Sand-Faser-Gemische, die sich vor dem Kiesbett aufgestaut hatten, bei geöffneter Leitung händisch entfernt. Anschließend konnte der Kies problemlos ausgespült werden.



Abb. 150: Bereiche, in die unterschiedliche Materialien zur Produktion einer Verstopfung eingebracht wurden: 10 m Kies - $\frac{3}{4}$ Füllung, 5 m Sand-Fasergemisch - $\frac{1}{2}$ Füllung, 2.50 m Mixtur - $\frac{3}{4}$ Füllung



Abb. 151: Mit Wasser aufeinander gespülte Ablagerungen: Übergang von Kies auf Sand/Faser (li) und „Verstopfungsmixtur“ aus Fasern, Sand, Laub, Bentonit, Wasser etc.

Zusammenfassend lässt sich aus den Einsätzen des Impuls-Spül-Verfahrens an der IKT-Teststrecke Folgendes feststellen:

- **Unverfestigte, feinkörnige Ablagerungen** wie Kiessand konnten schnell und problemlos abtransportiert werden.
- **Grobkörnige, massige Ablagerungen** wie Kies wurden in Leitungsstrecken ohne Steigung gleichmäßig mit dem Impuls mitgeführt. Vor extremen Steigungen stauten sich die Ablagerungen auf und wurde von dort in kleinen Mengen weitertransportiert. Nicht auszuschließen ist, dass sich in solchen Situationen Verstopfungen ergeben können.
- **Steine** konnten weitertransportiert werden (Masse der Steine ca. 700 g).
- **Leicht haftende Ablagerungen** wie Fett/Sand-Gemische konnten mit geringen Rückständen gelöst werden.
- **Stark haftende Fettablagerungen** wurden nur zu geringen Teilen gelöst. Auch entsprechend den Angaben des Anbieters ist daher davon auszugehen, dass feste **Inkrustierungen** nicht bzw. nur in geringen Teilen entfernt werden können.
- **Verfestigte Ablagerungen** in Form von Estrich und Flüssigboden (wenig auf dem Rohrmaterial haftend) konnten bis auf leichte Rückstände gelöst und aus der Leitung transportiert werden.
- **Verstopfungen** können mit dem Impuls-Spül-Verfahren nicht beseitigt werden, da für die Anwendung des Verfahrens in der Leitung ein geringer Durchfluss existieren muss. Zwar kann über die Kompressoren ein Druck in der Leitung aufgebaut werden, mit dem die Verstopfung möglicherweise gelöst wird, jedoch kann die eigentliche Impuls-Spülung erst anschließend erfolgen.

Verstopfungsrisiken wurden in der Teststrecke beobachtet, wenn massige Ablagerungen in Verbindung mit Steigungen auftreten, oder verdichtungsfähige Ablagerungen auf massige Ablagerungen (z.B. in einem Tiefpunkt) gespült werden.

6.2.3.2 Molchen

An insgesamt drei Einsatztagen wurden Reinigungsversuche mit Molchen an der Teststrecke auf dem IKT-Gelände durchgeführt (eingesetzt durch Fa. Stocksiefen GmbH, Asbach; Hersteller und Dienstleister).

Als vorbereitende Maßnahme wurde zunächst ein konisches Formstück als Aufgabestelle für den Molch installiert (s. Abb. 152). An dieses wurde eine Tragkraftspritze mit zwischengeschaltetem Manometer angeschlossen, da die Förderhöhe der vorhandenen Pumpen (ca. 15 m, 1,5 bar) nicht ausreicht, um die Molche vorzutreiben. Auch in der Praxis wird meist eine separate Pumpe angeschlossen.



Abb. 152: Konus (li), Einsetzen eines Molche (mi), Anschluss von Manometer und Schlauch zur Tragkraftspritze (re)

Im Rahmen der Versuche wurden insgesamt neun unterschiedliche Molche verwendet (Tab. 10). Wie auch beim Impuls-Spül-Verfahren bestand an der PVC-Glas-Strecke der Vorteil, dass Ablagerungen sichtbar waren und die Molche entsprechend der Ablagerungssituation ausgewählt werden konnten. In der Praxis werden in der Regel mehrere Reinigungsdurchgänge mit Molchen zunehmender Härte und Durchmessers gefahren. Dabei wird von den Bestandteilen des Spülwassers sowie vom Zustand der Molche auf die Ablagerungssituation geschlossen. Entsprechend dem Vorgehen in der Praxis wurden auch bei den Reinigungsversuchen zunächst weiche Schaumstoffmolche und bei weiteren Durchgängen härtere, beschichtete Molche mit zunehmenden Durchmessern verwendet.

Für die Reinigungsversuche kamen ausschließlich Molche zum Einsatz, die nach Herstellerangaben für Kunststoffleitungen geeignet sind. Molche aus Metall bzw. mit Drahtbürstenbesatz, die z.B. bei Inkrustierungen in Stahlleitung eingesetzt werden, wurden nicht verwendet, um die Rohrwand nicht zu beschädigen.

Mit der Tragkraftspritze können bis ca. 20 bar aufgebracht werden, wobei dem Dienstleister ein Druck bis maximal 10 bar gestattet wurde (Nenndruck der PVC-Glas-Leitung: 10 bar). Während der Versuche zeigte sich, dass, je nach Molchtyp, zum „Anfahren“ des Molches und in den Bögen Drücke um 3-6 bar und bei „freier Fahrt“ in der geraden Leitungsstrecke zwischen 0,2 und 2 bar notwendig waren. Die Vortriebsgeschwindigkeiten lagen bei den Versuchen zwischen ca. 0,1 m/s und 2 m/s, abhängig vom Molchtyp, der Pumpeneinstellung, dem Leitungsverlauf, und der Ablagerungssituation.

Tab. 10: Im Rahmen der Reinigungsversuche verwendete Molche

Molch	Beschreibung	Molch	Beschreibung
	Aufbau: Schaumstoffkörper (PE, weich*) mit wasserdichter Bodenplatte (PUR) Durchmesser: ca. 60 mm		Aufbau: Schaumstoffkörper (PE, weich*) mit PUR-Streifen-Beschichtung Durchmesser: ca. 115 mm
	Aufbau: Schaumstoffkörper (PE, weich*) mit wasserdichter Bodenplatte (PUR) Durchmesser: ca. 120 mm		Aufbau: Schaumstoffkörper (PE, hart*) mit PUR-Streifen-Beschichtung Durchmesser: ca. 120 mm
	Aufbau: Schaumstoffkörper (PE, hart*) mit PUR-Streifen-Beschichtung Durchmesser: ca. 80 mm		Aufbau: Kunststoff-Scheibenmolch (PUR, Shore-Härte: 70) Durchmesser: ca. 104 mm
	Aufbau: Schaumstoffkörper (PE, weich*) mit PUR-Streifen-Beschichtung Durchmesser: ca. 100 mm		Aufbau: Kunststoff-Scheibenmolch (PUR, Shore-Härte: 80) Durchmesser: ca. 108 mm
	Aufbau: Schaumstoffkörper (PE, hart*) mit PUR-Streifen-Beschichtung Durchmesser: ca. 100 mm	Durchmesser der PVC-Glas-Teststrecke: 99,5 mm	

*weich: ca. 80-110 kg/m³ ; hart: ca. 130-160 kg/m³ (nach Herstellerangaben)

Wie die PVC-Glas-Leitung zeigte, dichteten die beschichteten Molche mit Durchmessern ab 100 mm (\varnothing der Leitung 99,5 mm; Einsatz von Molch 4-7, Tab. 10) diese fast vollständig ab, während an den weichen Schaumstoffmolchen ohne Beschichtung (Molch 1 und 2, Tab. 10) Wasser mit höheren Fließgeschwindigkeiten vorbei strömte (vgl. Abb. 153). Das lt. Hersteller auftretende „Rotieren“ der kreuzweise mit PUR-Streifen beschichteten Molche wurde nicht beobachtet.

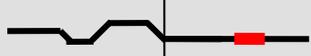
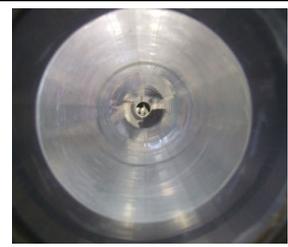
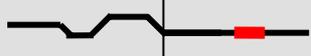
Schäden an der Leitungsstrecke durch das Molchen wurden nicht beobachtet, allerdings zeigten sich an wenigen Stellen kleine Kratzer auf der Rohrinne-Seite, die vermutlich durch zwischen Molch und Rohrwand verkeilten Steinen entstanden sind.



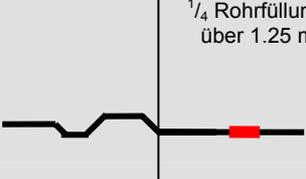
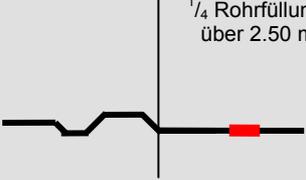
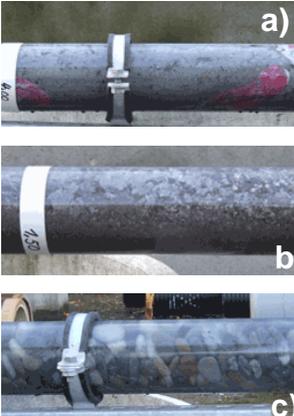
Abb. 153: Umströmter Schaumstoffmolch (li) und nahezu abdichtender beschichteter Molch (re)

Einzelheiten zu den Reinigungsversuchen und Ergebnissen können Tab. 11 sowie den nachfolgenden Ausführungen entnommen werden.

Tab. 11: Ablagerungssituationen und Reinigungsleistung des Molchens

Ablagerung (Position rot gekennzeichnet)	Leitungszustand vor der Reinigung	Leitungszustand nach der Reinigung	Erläuterung
Kiessand 0/8  $\frac{1}{3}$ Rohrfüllung über 25 m			Vollständige Entfernung des Sandes aus gesamter Leitung mit vier Reinigungsdurchgängen (Dauer ca. 30 min)*
Kies 20/40 $\frac{3}{4}$ Rohrfüllung über 5 m $\frac{3}{4}$ Rohrfüllung über 10 m 			Verkeilen der Kieskörner vor den Bögen sowie in einem geraden Leitungsstück Transport von Kies jedoch prinzipiell möglich
Steine 6 Steine ges. 1,4 kg 	 		Transport in geraden Leitungsstücken Verkeilen der Steine in Bögen
Fett Beschichtete Rohrwand über 2.50 m 			Nahezu vollständige Entfernung (Verbleib eines minimalen, tastbaren Films) (8 Durchgänge, Dauer ca. 1,5 h mit Molch-säubern)*
Sand/Fett-Gemisch $\frac{1}{3}$ Rohrfüllung über 2.50 m 			Nahezu vollständige Entfernung (Verbleib minimaler Schlieren) (4 Durchgänge, Dauer 20 min)*

Tab. 11 (Forts.): Ablagerungssituationen und Reinigungsleistung des Molchens

Ablagerung (Position rot gekennzeichnet)	Leitungszustand vor der Reinigung	Leitungszustand nach der Reinigung	Erläuterung
<p>Flüssigboden</p> <p>1/4 Rohrfüllung über 1.25 m</p> 			<p>Vollständiges Entfernen in einem Durchgang (Dauer: ca. 2 min)</p>
<p>Estrichbeton</p> <p>1/4 Rohrfüllung über 2.50 m</p> 			<p>Vollständiges Lösen Verkeilen von Estrichschollen und Molch an Bögen</p>
<p>Verstopfung aus einer Abfolge von: a) Sand/Kies/Laub/Fasern Bentonit b) Sand/Faser c) Kies</p> <p>Details s. Seite 89</p> 			<p>Ablagerungssituation: Verstopfung, erzeugt durch aufeinander gespülte Ablagerungen aus Sand-Faser-Gemischen und Kies (bei 1,5 bar).</p> <p>Kein Reinigungserfolg Die Ablagerungen wurden weiter verdichtet (Drucksteigerung bis 7 bar)</p>

* Zeitaufwand für das Einsetzen der Molche (5-10 min) fällt bei der kurzen Leitungsstrecke unverhältnismäßig hoch in Gewicht

Die Ablagerungen wurden entsprechend der Versuche zum Impuls-Spül-Verfahren eingebracht. Ergänzende Erläuterungen sowie Bilder zu den Ablagerungssituationen können daher dem vorherigen Kapitel 6.2.3.1 entnommen werden.

Die verfestigten Ablagerungen aus **Flüssigboden** und **Estrichbeton** (geringe Wandhaftung) konnten beide vollständig ohne Rückstände gelöst werden. Der Flüssigboden wurde in einem Molchdurchgang (Molch 4: beschichtet, Ø 100 mm) vollständig in kleinen Schollen gelöst und durch die gesamte Leitung transportiert, wobei die Schollen an den Bögen zerbrachen. Auch der Estrichbeton konnte mit vier Molchdurchgängen (Molch 3–5–5–6: beschichtet, Ø 80-115 mm) vollständig aus dem präparierten Rohrstück entfernt werden, wobei mit

den beiden letzten Durchgängen nur noch Schlieren entfernt wurden. Allerdings konnte der Estrich nicht durch den Extrembereich transportiert werden. Der erste Molch mit einem Durchmesser von 80 mm „überfuhr“ die im Bogenstück hängen bleibenden Estrichschollen. Die größeren Molche ab 100 mm Durchmesser verkeilten sich mit den Schollen an den Bogenstücken, sodass die Leitung zwischen den einzelnen Molchdurchgängen geöffnet werden musste (s. Abb. 154).



Abb. 154: Aus Bogenstück geborgener Estrich

Ebenfalls konnten die stark haftenden Ablagerungen aus **Fett** und einem **Fett-Sand-Gemisch** vollständig, bis auf einen minimal tastbaren Fettfilm auf der Wand des präparierten Rohres, entfernt werden. Für das Fett-Sand-Gemisch wurden vier Durchgänge gefahren (Molch 2: Schaumstoff, \varnothing 120 mm / Molch 4 – 4 – 5: beschichtet, \varnothing 100 mm). Beim ersten Durchgang konnten mit einem reinen Schaumstoffmolch ca. 30% der Ablagerungen entfernt werden, nach dem zweiten Durchgang mit einem beschichteten Molch mit 100 mm Durchmesser waren bereits nur noch leichte Schlieren sichtbar.

Aufwendiger gestaltete sich dagegen die Entfernung des Fettes. Mit den in den ersten vier Durchgängen eingesetzten beschichteten Molchen konnten nur jeweils geringe Mengen des Fettes aufgenommen werden (Molch 6-7-7-7, \varnothing 115/120 mm). Es blieb an der Spitze sowie an der Außenfläche des Molches haften (s. Abb. 155). Da noch zahlreiche weitere Reinigungsdurchgänge erforderlich gewesen wären, um weiteres Fett aus dem 2,5 m-Rohrstück zu entfernen, und sich zudem das Fett in der angrenzenden Leitung verteilte, schienen die beschichteten Schaumstoffmolche nur stark begrenzt für Fettablagerungen geeignet zu sein.

Für weitere Durchgänge wurden daher Scheibenmolche aus Kunststoff verwendet (s. Abb. 156). Diese bieten aufgrund ihrer Kammern mehr Speicherkapazität für das Fett und liegen darüber hinaus dichter an der Rohrwand an. Bereits mit dem ersten Durchgang mit dem weichen Molch (Molch 8) konnte ein Großteil des Fettes entfernt werden. Nach einem weiteren Durchgang mit demselben Molch sowie zweit weiteren mit dem härteren Scheibenmolch war die Leitung sauber. Die Scheibenmolche wurden nur im Standardbereich eingesetzt, da sie nur ab 1,5 D-Bögen bzw. 3 D-Bögen eingesetzt werden können.



Abb. 155: Beschichtete Schaumstoffmolche mit aufgenommenem Fett



Abb. 156: Scheibenmolche mit aufgenommenem Fett

Der **Sand** (ca. 1/3 Rohrfüllung über 25 m) wurde bei einem ersten Reinigungsdurchgang mit einem Schaumstoffmolch \varnothing 60 mm (Molch 1) bereits zu einem Großteil entfernt. Nach einem weiteren Durchgang mit einem Schaumstoffmolch \varnothing 120 mm (Molch 2) war der Sand bereits fast vollständig aus der gesamten Leitung entfernt. Aufgrund der hohen Fließgeschwindigkeiten des umströmenden Wassers wurde Sand vor dem Molch aufgewirbelt und mit dem Wasserstrom transportiert, sodass der Sand nicht vor dem Molch aufgeschoben wurde (vgl. Abb. 157). Zwei weitere Reinigungsdurchgänge mit einem beschichteten Schaumstoffmolch \varnothing 100 mm (Molch 4) konnten die komplette Leitung vollständig säubern.



Abb. 157: Reiner Schaumstoffmolch beim Sandvortrieb

Bei den **Kiesablagerungen** (10 m ca. $\frac{3}{4}$ gefüllt, vor dem 45°-Bogen) setzen sich beide Schaumstoffmolche \varnothing 60 mm und \varnothing 120 mm direkt hinter den Kies (Abb. 158). Ebenfalls blieb ein härterer beschichteter Molch (Molch 4) vor dem Kies stecken. Nachfolgende Versuche zeigten, dass in geraden Leitungsstücken ein Transport des Kieses durchaus möglich ist, sich dieser jedoch auch verkeilen kann, wenn sich größere Kiesmassen vor dem Molch anstauen (s. Abb. 158). Der Vortriebsdruck wurde auch bei diesen Versuchen auf maximal 10 bar begrenzt.

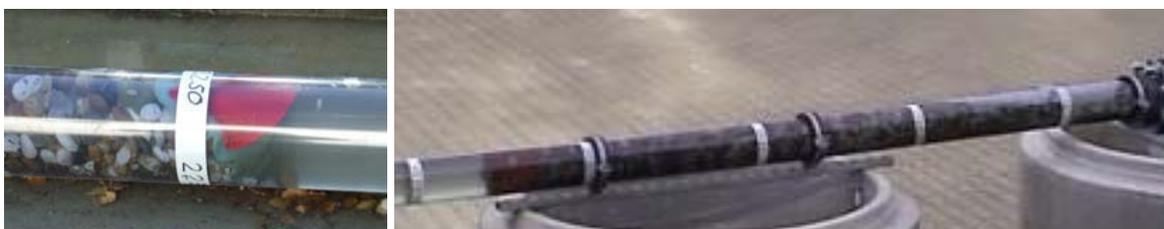


Abb. 158: Schaumstoffmolch, gestoppt durch Kiesablagerungen (li), verkeilter Kies im geraden Leitungsstück (re)

Die eingebrachten **Steine** (Gesamtmasse 1,4 kg) konnten problemlos in geraden Leitungsstücken transportiert werden. Sie sammelten sich vor dem Molch (Molch 7: beschichtet, \varnothing 120 mm) und wurden auch durch die vier 45°-Bögen transportiert. Am 90°-Bogen jedoch verkeilten sie sich.

Bei der **Verstopfung** konnte, wie auch bei dem Impuls-Spül-Verfahren, bis zu einem Druck von 10 bar kein Durchfluss in der Leitung erzeugt werden, da sich die Ablagerungen weiter verdichteten. Somit konnte auch der Molch nicht in der Leitung vorgetrieben werden.

Aufgrund der Bedenken vieler Netzbetreiber, ein Molch könne an **Hindernissen** stecken bleiben, wurden zusätzliche Einzelversuche durchgeführt, in denen Hindernisse mit einem einragenden Schieber, verformten Rohrstücken und einer eingeklebten „Schweißnaht“ simuliert wurden.

Die **Bögen** der Teststrecke von 45° und 90° (als PVC-Winkelformstücke) konnten mit sämtlichen Schaumstoffmolchen überwunden werden. Für den Vortrieb eines Schaumstoffmolches mit 120 mm Durchmesser und einer Schaumstoffdichte von 130-160 kg/m³ (lässt sich händisch kaum zusammendrücken) mussten an den Bogenstücken ca. 5-6 bar aufgebracht werden. Die Scheibenmolche sind für diese Art Bögen nicht geeignet.

Die mittels eines eingeklebten PVC-Rings simulierten „**Schweißnähte**“ wurden vom Molch gelöst, allerdings mit leichter Beschädigung der Molchbeschichtung (s. Abb. 159). Auch wenn die Nachbildung einer Schweißnaht nur unzureichend gelang, ist aufgrund der nachfolgend beschriebenen Versuche mit Verengungen und einem einragenden Schieber davon auszugehen, dass diese überwunden werden können.



Abb. 159: Gelöste „Schweißnaht“ mit leicht beschädigtem Molch (Molch 7)

Auch ein um ca. 2,5 cm **einragender Schieber** (s. Abb. 160) konnte vom Schaumstoffmolch \varnothing 120 mm bei einem Druck von ca. 6 bar überwunden werden. Wie Abb. 160 zeigt, erlitt dieser dabei Schäden an der Außenbeschichtung, die sich allerdings nicht störend auf den weiteren Vortrieb des Molches auswirkten.



Abb. 160: Einragender Schieber (li) und beschädigter Molch (re)

Darüber hinaus wurden drei Rohstücke (1,25 m Länge) um **6 %**, **20% und 40%** in ihrem **Querschnitt verformt**, indem sie ovalisiert wurden (s. Abb. 161). Mit dem beschichteten Schaumstoffmolch \varnothing 120 mm (Molch 7) konnten sämtliche Verformungen bis 40 % problemlos überwunden werden (s. Abb. 162). Dabei wurde ein Druck von knapp 5 bar aufgebracht, während im unverformten Rohr ca. 1-2 bar benötigt werden. Des Weiteren wurde ein Scheibenmolch (Molch 8, \varnothing 104 mm) eingesetzt. Die 20 %-Verengung konnte mit ca. 8 bar passiert werden, während der Molch bei 40 % Verengung stecken blieb. Der Druck wurde zu Testzwecken langsam erhöht, bis das Rohr bei ca. 12 bar platzte (Abb. 163).



Abb. 161: Ovalisiertes Rohrstück (Verformung 40 %)



Abb. 162: Überwinden der Verformung von 40 %, Schaumstoffmolch



Abb. 163: Zerplatzendes Rohrstück bei Drucksteigerung bis 12 bar (oberhalb des Nenndrucks der Leitung), Rohrstück mit 20 % Verformung

Zusammenfassend lässt sich aus den Testeinsätzen des Molchens an der IKT-Teststrecke Folgendes feststellen:

- **Unverfestigte, feinkörnige Ablagerungen** wie Kiessand wurden mit wenigen Reinigungsdurchgängen vollständig entfernt.
- **Grobkörnige, massige Ablagerungen** in Form von Kies konnten weitertransportiert werden, stauten sich jedoch vor dem Molch auf und verkeilten sich teilweise bei größeren Mengen, insbesondere an den Bögen.
- **Steine** konnten problemlos durch gerade Leitungsstücke und die 45°-Bögen transportiert werden (sechs Stück, Masse gesamt 1,4 kg), verkeilten sich jedoch in den 90°-Bögen.
- Bei **Leicht bis stark haftende Ablagerungen** aus Fett/Sand-Gemischen und Fett verblieb nur ein minimaler, ertastbarer Fettfilm auf der Rohrwand.
- **Verfestigte Ablagerungen** in Form von Flüssigboden und Estrich konnten vollständig gelöst werden. Der Flüssigboden wurde komplett aus der Leitung ausgetragen, wobei sich die gelösten Schollen des Estrichs an den Bögen verkeilten.
- Ein mit **Sekundenkleber** befestigter **PVC-Ring** (Simulation einer Schweißnaht) wurde gelöst.
- **Verstopfungen** können mit Molchen nicht behoben werden, da ein Durchfluss in der Leitung benötigt wird, um den Molch vorzutreiben.
- **Hindernisse** in Form der PVC-Winkelformstücke bis 90°, Querschnittsverformungen des Rohres bis 40 % sowie ein einragender Schieber bereiteten beim Vortrieb der Schaumstoffmolche bis 120 mm Durchmesser keine Schwierigkeiten.

Verstopfungssituationen ergaben sich an der Teststrecke, als sich schwere, massige Ablagerungen (Kies) vor dem Molch verkeilten oder harte, voluminöse Ablagerungen (wie Steine) in Kombination mit engen Bögen auftraten. Allerdings handelte es sich bei diesen Ablagerungen um Extremsituationen.

6.2.3.3 Hochdruckspüldüse

An insgesamt zwei Einsatztagen wurden Reinigungsversuche mit herkömmlichen Hochdruckspüldüsen durchgeführt (Einsatz durch Fa. Müntefering Industrie und Städtereinigung GmbH, Herne). Der Reinigungsfirma wurden im Vorfeld Informationen zur den Ablagerungssituationen gegeben, um das Fahrzeug mit entsprechenden Düsen ausstatten zu können. Die Düsenwahl für die jeweilige Ablagerung wurde dem Techniker überlassen.

Ein Zugang für den Spülschlauch (s. Abb. 164) wurde geschaffen, indem der Rohranfang frei gelegt wurde. Die HD-Düse wurde bis zu den Ablagerungen eingespült und von Hand zurück zum Leitungsanfang gezogen, um gelöste Ablagerungen aus der Leitung zu transportieren. Der Durchmesser des verwendeten Schlauches betrug $\frac{1}{2}$ Zoll.



Abb. 164: Über geöffnetes Leitungsende eingebrachter Spülschlauch (li) und Ziehen des Spülschlauches (re)

Durch den Aufbau der Teststrecke entstanden erschwerte Randbedingungen für die Handhabung des Verfahrens: Zum einen musste der Spülschlauch von Hand gezogen werden, da das Spülfahrzeug nicht in Verlängerung der Leitung positioniert werden konnte. Zum anderen konnte die Leitung nicht, wie bei Freispiegelkanälen üblich, mit dem Gefälle gespült werden. Aufgrund des mangelnden Gefälles im Standardbereich floss das durch die HD-Düse eingespülte Wasser nur langsam über den geöffneten Leitungsanfang ab, sodass sich das Rohr teils bis vollständig füllte. Dies schränkt die Transportleistung der Reinigungsdüse erheblich ein.

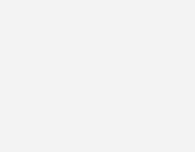
Eine Reinigung des Extrembereichs war nicht möglich. Entsprechend den Angaben von Reinigungsfirmen bzw. Herstellern von Reinigungsfahrzeugen [A39, A40, A41, A42) schränken Bogenstücke die Reichweite des Spülschlauches stark ein oder können gar nicht überwunden werden. Darüber hinaus wird i.d.R. mit dem Gefälle der Leitung gespült, um die Ablagerungen aus der Leitung zu transportieren. Das Verfahren kann demnach bei Strecken mit Tiefpunkten oder Strecken, die Steigungen in Rückzug-Richtung des Schlauches enthalten, nicht oder nur sehr eingeschränkt eingesetzt werden. Bei einem Test zur Reichweite des Spülschlauches, konnte der $\frac{1}{2}$ -Zoll-Schlauch nur durch den geraden Standardbereich und die ersten zwei 45° -Bögen vorgespült werden. Die **Reinigungsversuche** beschränkten sich somit auf den **Standardbereich**.



Abb. 165: Reichweite des Spülschlauches in der IKT-Teststrecke

Im Rahmen der Versuche kamen verschiedene Spüldüsen zum Einsatz. Einen Überblick gibt Tab. 12. Hinweise, bei welchen Ablagerungen die jeweiligen Düsen zum Einsatz kamen, finden sich in den anschließenden Erläuterungen zu den verschiedenen Spülversuchen.

Tab. 12: Im Rahmen der Reinigungsversuche verwendete Düsen

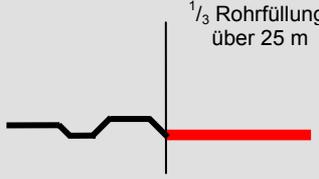
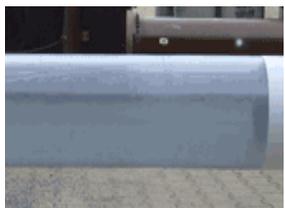
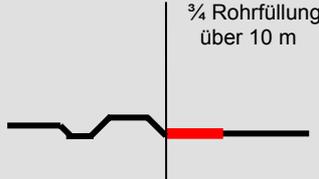
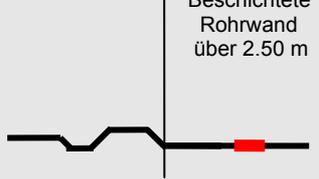
<p>Düse 1 Vorstrahlende Düse (Stocherdüse) 9 Düseneinsätze, inkl. Vorstrahl</p>			
<p>Düse 2 Vorstrahlende Düse (Stocherdüse) 7 Düseneinsätze, inkl. Vorstrahl</p>			
<p>Düse 3 Vorstrahlende Düse (Kantvorstrahlendüse) 8 Düseneinsätze, inkl. Vorstrahl</p>			
<p>Düse 4 Rundumstrahlende Düse (Räumdüse) 6 Düseneinsätze</p>			
<p>Düse 5 Vorstrahlende Düse (Stocherdüse) 7 Düseneinsätze, inkl. Vorstrahl</p>			
<p>Düse 6 Rotierendstrahlende Düse (Rotationsdüse) 6 Düseneinsätze</p>			

Tab. 12 (Forts.): Im Rahmen der Reinigungsversuche verwendete Düsen

<p>Düse 7 Rotierendstrahlende Düse (Rotationsdüse) 6 Düseneinsätze</p>		
<p>Düse 8 Hochdruckfräse</p>		

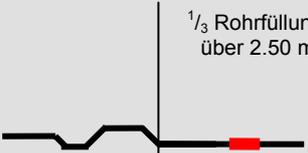
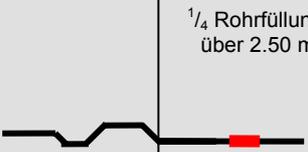
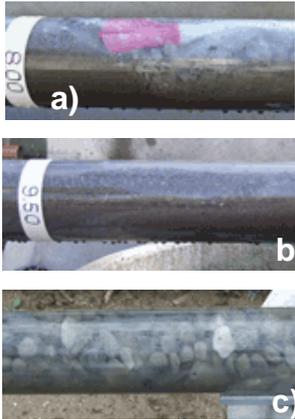
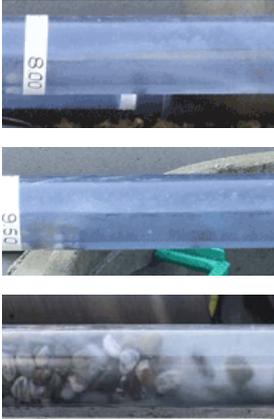
Die Versuche zur HD-Spülung umfassten Ablagerungssituationen aus Kies, Kiessand, Fett, Fett/Sand, Estrich sowie dem Verstopfungsgemisch entsprechend der Versuche zum Impuls-Spül-Verfahren und Molchen. Einen Überblick zu den Ergebnissen zeigt Tab. 13. Ergänzende Erläuterungen können dem nachfolgenden Text entnommen werden.

Tab. 13: Ablagerungssituationen und Reinigungsleistung der HD-Spülung

Ablagerung (Position rot gekennzeichnet)	Leitungszustand vor der Reinigung	Leitungszustand nach der Reinigung*	Erläuterung
<p>Kiessand 0/8</p> <p>$\frac{1}{3}$ Rohrfüllung über 25 m</p> 			<p>Vollständiges Entfernen innerhalb von ca. 60 min</p>
<p>Kies 20/40</p> <p>$\frac{3}{4}$ Rohrfüllung über 10 m</p> 			<p>Geringer Reinigungserfolg</p> <p>Zeitaufwendiger Aus-trag von geringen Mengen</p>
<p>Fett</p> <p>Beschichtete Rohrwand über 2.50 m</p> 			<p>Vollständige Entfernung (Verbleib eines minimalen, fühlbaren Films)</p> <p>Spüldauer: Lösen: in ca. 7 min Ausspülen aus Standardbereich: 20 min</p>

* Reinigungseinsätze beschränkten sich auf den „Standardbereich“

Tab. 13 (Forts.): Ablagerungssituationen und Reinigungsleistung der HD-Spülung

Ablagerung (Position rot gekennzeichnet)	Leitungszustand vor der Reinigung	Leitungszustand nach der Reinigung*	Erläuterung
<p>Sand/Fett-Gemisch</p> <p>$\frac{1}{3}$ Rohrfüllung über 2.50 m</p> 			<p>Nahezu vollständige Entfernung (Verbleib kleiner Fettflocken auf der Rohrwand)</p> <p>Spüldauer: Lösen: in ca. 5 min Ausspülen aus Standardbereich: ca. 35 min</p>
<p>Estrichbeton</p> <p>$\frac{1}{4}$ Rohrfüllung über 2.50 m</p> 			<p>Kein Reinigungserfolg</p> <p>Lösen möglich, Transport nicht möglich</p>
<p>Verstopfung aus einer Abfolge von: a) Sand/Kies/Laub/Fasern Bentonit b) Sand/Faser c) Kies</p> <p>Details s. Seite 89</p> 			<p>Verstopfung aus a) und b): Lösen der Verstopfung innerhalb von 10 min; Transport aus der Leitung zögerlich (s. folgende Erläuterungen)</p> <p>Kiesablagerung c): „Aufwirbeln“ der Steine, Abtransport in geringem Umfang; <u>wenig Reinigungserfolg</u></p>

* Reinigungseinsätze beschränkten sich auf den „Standardbereich“

Die Ablagerungen wurden entsprechend der Versuche zum Impuls-Spül-Verfahren eingebracht. Ergänzende Erläuterungen sowie Bilder zu den Ablagerungssituationen können daher dem vorherigen Kapitel 6.2.3.1 entnommen werden.

Die verfestigte Ablagerung aus **Estrichbeton** konnte innerhalb weniger Minuten gelöst, jedoch nicht aus der Leitung transportiert werden. Der Estrich zerbrach in Schollen, die vor der Düse aufgeschoben wurden und sich verkeilten (s. Abb. 166). Eingesetzt wurden rotierend-strahlende Düsen (Düse 6 und 7) sowie eine Hochdruckfräse (Düse 8).



Abb. 166: Aufgeschobene Schollen aus Estrich

Die haftenden Ablagerungen aus **Fett** und dem **Fett-Sand-Gemisch** konnten beide nahezu vollständig entfernt werden. Die Fettbeschichtung wurde in ca. Fingernagel großen Fettstückchen gelöst (Dauer ca. 7 min) und konnten innerhalb von rund 20 Minuten aus dem rückwärtigen Leitungsteil (20 m) ausgespült werden (Düse 1). Etwas aufwendiger gestaltete sich der Reinigungsversuch mit dem Fett-Sand-Gemisch. Auch dieses konnte innerhalb weniger Minuten gelöst werden (5 min), jedoch bildeten sich einige Millimeter große Fettflocken (Abb. 167), die sich in der rückwärtigen Leitung an der Rohrwand absetzten und nur schwerlich ausgespült werden konnten. Nach rund 40 min verblieben teilweise Reste an der Rohrwand (eingesetzt: Düse 1). Bei beiden Ablagerungen aus Fett und Fett-Sand verblieb in dem präparierten Rohrstück ein minimaler Fettfilm auf der Rohrwand.



Abb. 167: Leichte Rückstände feiner Fettflocken

Auch der über ca. 25 m Rohstrecke eingebrachte **Kiessand** konnte vollständig entfernt werden (Einsatz Düse 1). Aufgrund des sich in der Leitung stauenden Spülwassers war jedoch die Transportleistung eingeschränkt, sodass der Spülvorgang rund eine Stunde dauerte.

Der Reinigungserfolg bei den **Kiesablagerungen** zeigte sich als stark eingeschränkt. Zwar konnte eine Stocherdüse (Düse 1, s. Tab. 12) in die Kiesablagerungen vorgetrieben und Steine hinter die Düse gespült werden, jedoch wurden beim Zurückziehen der Düse jeweils nur wenige Steine mitgeführt. Auch hier wirkte sich die Teilfüllung der Leitung auf die Transportleistung aus. Von der Reinigungsfirma wurden noch vier weitere Düsen eingesetzt (Düse 2 bis 5), mit denen jedoch kein besseres Ergebnis erzielt wurde. In rund 1,5 Stunden arbeiteten sich die Düsen ca. 1,20 m in die über 10 m eingebrachten Ablagerungen vor.



Abb. 168: Stocherdüse (Düse 1) in Kiesablagerungen

Die **Verstopfungssituation** bestand entsprechend der Versuche zum Impuls-Spülverfahren und Molchen (s. S. 89) aus einem Gemisch aus Sand, Kies, Faserstoffen, Papier, Laub, Bentonit und Wasser (a), einem Sand-Faser-Gemisch (b) und Kies (c).

Die vor dem Kiesbett liegenden Ablagerungs-Gemische (a) und (b), die das Rohr abdichteten und somit die eigentliche Verstopfung erzeugten, konnten problemlos entfernt werden. Innerhalb von zehn Minuten wurde das Ablagerungsgemisch mit einer Stoherdüse (Düse 1) gelöst, sodass in der Leitung wieder ein Durchfluss erzeugt werden konnte. Allerdings konnte der nachfolgend anstehende Kies, wie zuvor beschrieben, nur sehr zögerlich ausgetragen werden.

Zusammenfassend kann aus den Reinigungsversuchen zur Hochdruckspüldüse festgestellt werden:

- Die **Verstopfung** konnte schnell und problemlos gelöst werden.
- Die durch das Spülwasser entstehende Teil- bis Vollfüllung der Rohrleitung schränkte die Transportleistung der Spüldüsen ein. So konnten die **unverfestigten, feinkörnigen Ablagerungen** aus Kiessand nur mit erhöhtem Zeitaufwand vollständig entfernt werden. Von den **grobkörnigen Kiesablagerungen** konnten mit sehr hohem Zeitaufwand nur geringe Anteile entfernt werden.
- **Leicht bis stark haftende Ablagerungen** aus Fett/Sand-Gemischen und Fett konnten fast vollständig entfernt werden. Bei den Fettablagerungen verblieb nur ein minimaler, tastbarer Film auf der Rohrwand. Bei dem Fett-Sand-Gemisch verblieben z.T. kleine Fettflocken.
- Die stark **verfestigten Ablagerungen** konnten in Schollen gelöst werden, jedoch nicht aus der Leitung transportiert werden.
- Enge **Bögen** können die Reichweite des Spülschlauches erheblich einschränken. Eine Reinigung gegen das Gefälle ist nicht bzw. nur sehr eingeschränkt möglich.

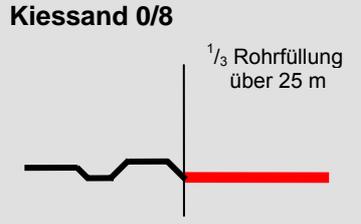
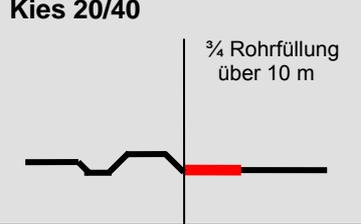
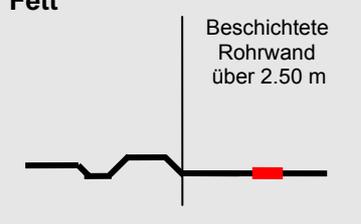
6.2.3.4 Hydrant und Ejektor

Neben den Reinigungsversuchen mit Molchen, Hochdruckspühdüsen und dem Impuls-Spül-Verfahren wurden in geringerem Rahmen ergänzende Spülversuche mit einem Hydranten sowie einem Ejektor durchgeführt. Beide Verfahren konnten genutzt werden, um erhöhte Fließgeschwindigkeiten in der Teststrecke zu erzeugen.

Die Reinigungsversuche über den **Hydranten** wurden so gestaltet, dass die erzeugten Fließgeschwindigkeiten schrittweise gesteigert wurden und dabei das Verhalten der Ablagerungen beobachtet wurde. Die Fließgeschwindigkeiten wurden am Anfang der Teststrecke in sauberen Leitungszonen vor den Ablagerungen gemessen. Bei freier Leitungstrecke konnten Fließgeschwindigkeiten bis maximal 1,9 m/s erzeugt werden, die sich durch eingebrachte Ablagerungen entsprechend verringerten. Durch die Kiesablagerungen verminderte sich der Durchfluss beispielsweise auf 0,85 m/s (s. Tab. 14).

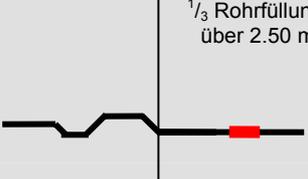
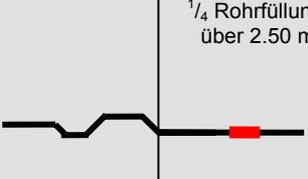
Insgesamt wurden fünf Ablagerungssituationen aus Kiessand, Kies, Fett, Fett-Sand-Gemisch und Estrich entsprechend der Reinigungsversuche zum Impuls-Spül-Verfahren, Molchen und zur Hochdruckspühdüse nachgebildet. Eine Übersicht zu den Ergebnissen gibt Tab. 14. Ergänzende Informationen können den nachfolgenden Ausführungen entnommen werden.

Tab. 14: Ablagerungssituationen und Reinigungsleistung der Hydrant-Spülung

Ablagerung (Position rot gekennzeichnet)	Leitungszustand vor der Reinigung	Leitungszustand nach der Reinigung	Erläuterung*
Kiessand 0/8 			Vollständige Entfernung ab $v = 0,7^*$ m/s
Kies 20/40 			Kein Reinigungserfolg Maximal erzeugte Fließgeschwindigkeit: $v = 0,85^*$ m/s
Fett 			Kein Reinigungserfolg Maximal erzeugte Fließgeschwindigkeit: $v = 1,85^*$ m/s

* Messung der Fließgeschwindigkeit am Leitungsanfang vor den Ablagerungen

Tab. 14 (Forts.): Ablagerungssituationen und Reinigungsleistung der Hydrant-Spülung

Ablagerung (Position rot gekennzeichnet)	Leitungszustand vor der Reinigung	Leitungszustand nach der Reinigung	Erläuterung*
<p>Sand/Fett-Gemisch</p> <p>$\frac{1}{3}$ Rohrfüllung über 2.50 m</p> 			<p>Kein Reinigungs- erfolg</p> <p>Maximal erzeugte Fließgeschwindigkeit: $v = 1,6^*$ m/s</p>
<p>Estrichbeton</p> <p>$\frac{1}{4}$ Rohrfüllung über 2.50 m</p> 			<p>Kein Reinigungser- folg</p> <p>Ab $v = 1,5$ m/s: Lösen des Estrichs in Schol- len, kein Weitertrans- port</p> <p>Maximal erzeugte Fließgeschwindigkeit: $v = 1,85^*$ m/s</p>
<p>Verstopfung aus einer Abfolge von:</p> <p>a) Sand/Kies/Laub/Fasern Bentonit</p> <p>b) Sand/Faser</p> <p>c) Kies</p> <p>Details s. Seite 89</p> 	<p>Kein Reinigungserfolg</p> <p>Rückschluss aus Versuchen zum Molchen und Impuls-Spülen: Lösen der Verstopfung durch Druckaufbau bis Nenndruck der Leitung nicht möglich</p>		

* Messung der Fließgeschwindigkeit am Leitungsanfang vor den Ablagerungen

Mit Ausnahme des Kiessandes konnte mit den über den Hydrant erzeugbaren Fließgeschwindigkeiten keine weitere Ablagerung entfernt werden. Von den **Sandablagerungen** wurden mit zunehmender Fließgeschwindigkeit immer größer werdende Kornfraktionen vom Wasserstrom mitgerissen. Der Sand wurde dabei in Dünen durch die Leitung getrieben (s. Abb. 169). Ab einer Fließgeschwindigkeit von $v = 0,7$ m/s konnte der Sand vollständig ausgespült werden. Abb. 170 zeigt Sandanteile, die sich bei Fließgeschwindigkeiten von 0,5 m/s und 0,6 m/s an der ersten Schräge des Extrembereichs sammelten.



Abb. 169: Dünenbildung des Sandes



Abb. 170: Sandrückstände bei $v = 0,5 \text{ m/s}$ (li) und $0,6 \text{ m/s}$ (re)

Bei den **Kiesablagerungen** konnte nur eine Fließgeschwindigkeit bis maximal $0,85 \text{ m/s}$ erzeugt werden. In einzelnen Bereichen wurde der Kies weiter zusammen geschoben, jedoch konnte er nicht über die Schräge transportiert werden.

Bei den haftenden Ablagerungen aus **Fett/Sand** lösten sich bei einer Fließgeschwindigkeit von ca. $0,8 \text{ m/s}$ einzelne Partikel von der Oberfläche. Jedoch konnten auch bei Steigerung der Fließgeschwindigkeit bis ca. $1,6 \text{ m/s}$ keine weiteren Teile gelöst werden (Spülzeit insgesamt 45 min). Bei der Fettbeschichtung wurden bei Fließgeschwindigkeiten bis ca. $1,85 \text{ m/s}$ keinerlei Veränderungen beobachtet (Spülzeit: 55 min).

Der **Estrich** zerbrach ab $v = \text{ca. } 1,5 \text{ m/s}$ in einzelne Schollen, die sich im Rohr verkeilten (s. Abb. 171). Bei diesem Versuch konnte die Fließgeschwindigkeit bis ca. $1,85 \text{ m/s}$ erhöht werden.

Auf die Nachbildung einer **Verstopfung** wurde bei den Hydrant-Spülungen verzichtet, da auch mit dieser Methode lediglich der aufgebrachte Wasserdruck gesteigert werden kann. Wie die Versuche zum Impuls-Spülen und Molchen zeigten, ließen sich die Ablagerungen mit Drücken unterhalb des Nenndruckes der Leitung nicht transportieren.

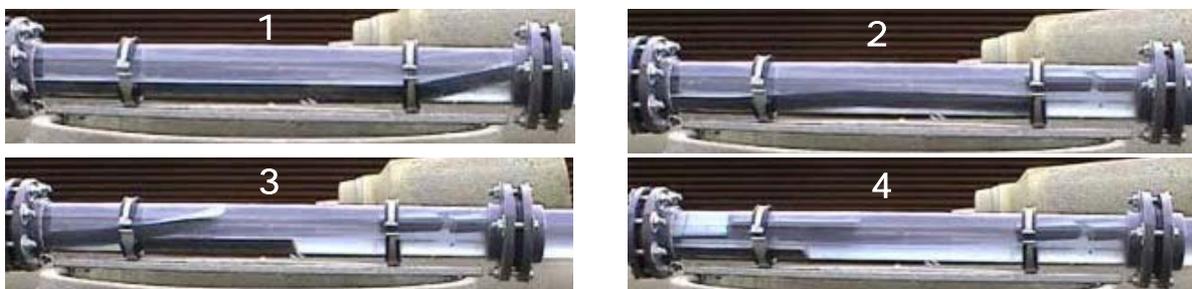


Abb. 171: Lösen des Estrichs

Die **Ejektortechnik** basiert auf dem Prinzip der „Lenzpumpe“, die ursprünglich in der Schifffahrt entwickelt wurde, um in kurzer Zeit hohe Wasservolumina zu befördern (Leerpumpen von Holzschiffen).

Ein üblicher Anwendungsfall der Ejektortechnik liegt in der so genannten Wasserstrahlpumpe, bei der die zu fördernde Flüssigkeit durch eine zugeführte Flüssigkeit beschleunigt und so abgepumpt wird (Flüssigkeitsstrahl-Flüssigkeitspumpen). Im Kanalbetrieb wird das Prinzip beispielsweise zur Befüllung und Entleerung von Spülfahrzeugen oder zur Kanalreinigung genutzt. In Abb. 172 und Abb. 173 ist ein Beispiel eines mehrstrahligen Ejektors dargestellt, der zum Befüllen und Entleeren von Fahrzeugen eingesetzt wird und auch für die Versuche an der IKT-Teststrecke verwendet wurde. An die Ansaugöffnung (Nr. 2, blauer Pfeil) wird das zu fördernde Wasser angeschlossen (z.B. aus einem Tank oder Vorfluter). An den Treibwasseranschluss (Nr. 1, roter Pfeil) wird der Hochdruckschlauch des Spülfahrzeuges angeschlossen, über den das unter Druck stehende Wasser in Düseneinsätze (s. Abb. 173) innerhalb des Ejektors gefördert wird. Über die Düseneinsätze wird der Wasserdruck in kinetische Energie umgesetzt, d.h. die Wassermoleküle des Treibwassers werden beschleunigt. Die Düseneinsätze sind dabei so angeordnet, dass das Treibwasser in Richtung der Austrittsöffnung (Nr. 3, grüner Pfeil) beschleunigt wird. Der Treibwasserstrom reißt durch die Viskosität der Flüssigkeit das über einen Sauganschluss zugeführte Wasser mit. Auf dem weiteren Strömungsweg vermischen sich Treibwasser und Fördermedium bis zum völligen Impulsausgleich. [43]

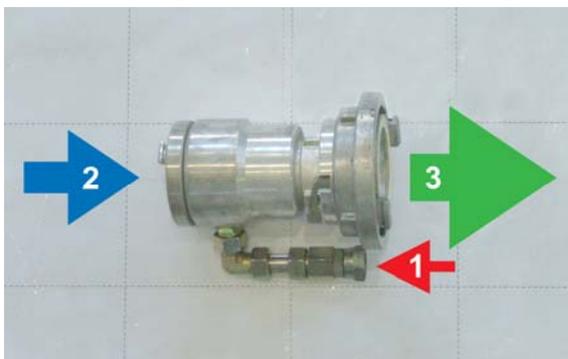


Abb. 172: Funktionsprinzip eines Ejektors für den Kanalbetrieb [44]

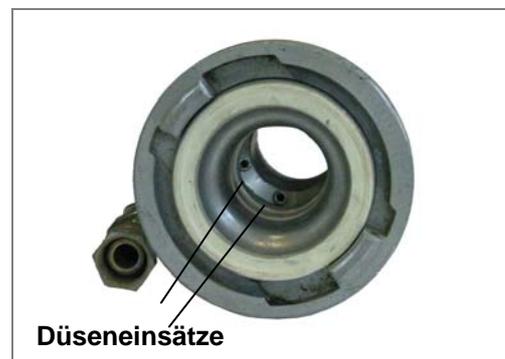


Abb. 173: Düseneinsätze

Im Rahmen des Vorhabens wurden die an der Teststrecke erzeugbaren Fließgeschwindigkeiten bzw. Durchflussmengen gemessen sowie Einzelversuche zum Austrag von Sand und Kies durchgeführt. Der Ejektor wurde vom Hersteller (Fa. Dipl.-Ing. Bernd Otte, Horstedt) für die Teststrecke entsprechend ausgewählt. Verwendet wurde ein Ejektor C 16 mit sechs Düseninsätzen \varnothing 2,9 mm, der an den Anfang der Teststrecke montiert wurde (s. Abb. 174). An den Sauganschluss wurden die Wassertanks angeschlossen, über welche die Leitung im Normalbetrieb mit Wasser versorgt wird. Das Treibwasser wurde über ein Spülfahrzeug geliefert.



Abb. 174: Eingebauter Ejektor (C 16) (li) und Innenansicht des Ejektors (re)

Mit dem „C 16“ konnten in der freien Teststrecke Durchflüsse zwischen 11 l/s und 13 l/s ($v=1,4-1,7$ m/s) erzeugt werden. Ein kurzzeitiger Spitzenwert lag bei 14 l/s (rd. 1,85 m/s). Der Druck an der Düse für das Treibwasser betrug dabei 100 bar.

Demnach lagen die Fließgeschwindigkeiten, die mit dem Ejektor und dem Hydranten in der freien Leitung erzeugt werden konnten, in ähnlichen Größenordnungen. Dennoch sind die Ergebnisse aus der Hydrant-Spülung nicht eins zu eins auf die Ejektor-Spülung übertragbar. Wie Abb. 175 entnommen werden kann, liegt die maximale Förderhöhe des „C 16“ bei einem Druck an der Düse von 100 bar bei 7 m (0,7 bar). Bei dieser Förderhöhe liegt die Fördermenge bei 0 l/s. Wie dem Diagramm auch zu entnehmen ist, können bei 0 m Förderhöhe über 35 l/s gefördert werden. Demnach ist die tatsächlich in der Leitung erzeugbare Durchflussmenge und somit auch die Fließgeschwindigkeit stark von den Verlusthöhen durch Reibungswiderstände und geodätische Höhenunterschiede abhängig. Am verwendeten Hydranten dagegen stehen mindestens 4 bar an und die Fördermenge liegt bei maximal 78 m³/h (21,7 l/s) bei 0 m Förderhöhe [A45].

Einzelversuche mit Kies ($3/4$ Rohrfüllung sowie $1/4$ Rohrfüllung jeweils über 5 m Leitungslänge) und Kiessand ($1/4$ Rohrfüllung über 5 m Länge) zeigten, dass der Kiessand ausgespült werden konnte und der Kies entsprechend der Hydrant-Spülung im geraden Leitungsstück zusammen geschoben wurde, jedoch nicht über die Schräge hinaus transportiert werden konnte. Da die mit dem Ejektor erzeugten Durchflüsse die der Hydrant-Versuche nicht überschritten, hätten die Ablagerungen aus Fett, Fett/Sand und Estrich ebenfalls nicht beseitigt werden können. Kann bei einer Verstopfungssituation kein Durchfluss in der Leitung erzeugt werden, kann auch die Ejektortechnik nicht angewendet werden.

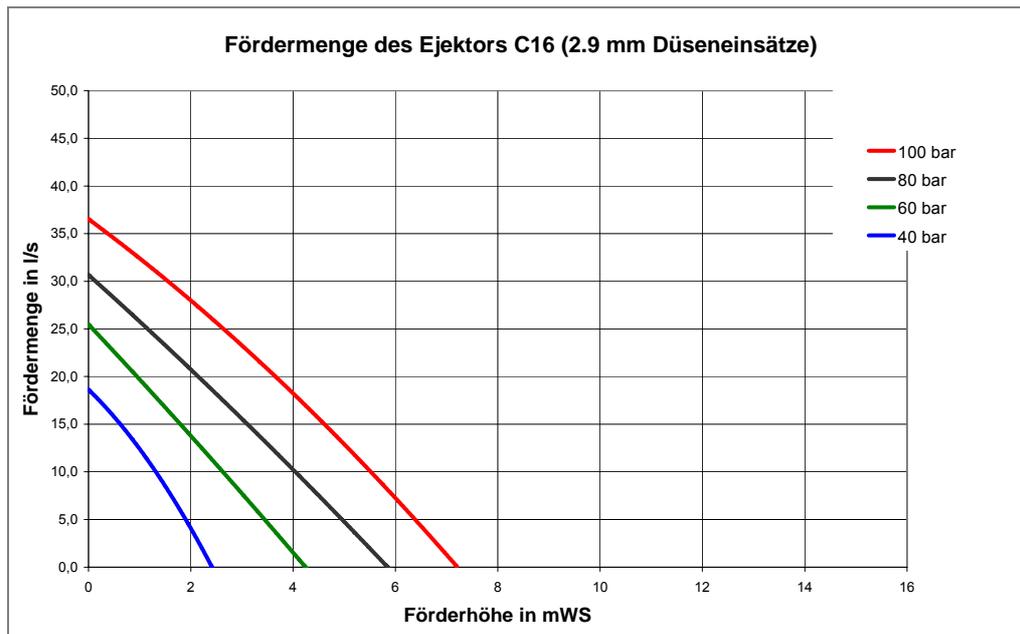


Abb. 175: Idealisierte Druck-Durchfluss-Kennlinie für den Ejektor C 16 (6 Düseneinsätze à 2,9 mm) [43]

Aus den ergänzenden Spülversuchen an der Teststrecke über einen Hydranten und einen Ejektor zur Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten kann Folgendes zusammengefasst werden:

- **Unverfestigte, feinkörnige Ablagerungen** aus Kiessand ließen sich ab einer Fließgeschwindigkeit von 0,7 m/s vollständig aus der Teststrecke ausspülen.
- Die **grobkörnigen, massigen Ablagerungen** aus Kies und gelösten Estrich-Schollen sowie die **haftenden Ablagerungen** (Fett und Fett/Sand) konnten nicht transportiert bzw. gelöst werden.
- Die simulierte **Verstopfung** (bis zum Nenndruck der Leitung von 10 bar nicht lösbar) lässt sich aufgrund der deutlich unter 10 bar liegenden Förderhöhen von Hydrant und Ejektor ebenfalls nicht lösen.

Welche Fließgeschwindigkeiten letztendlich über einen Hydranten oder einen Ejektor aufgebracht werden können, ist von den örtlichen Randbedingungen (wie Leitungsdurchmesser, geodätische Höhenunterschiede, Reibungsverluste durch Leitung, Armaturen, Ablagerungen) und der Förderleistung (Fördermenge abh. von der Förderhöhe) des Ejektors bzw. des Hydranten abhängig.

6.3 Teststrecke Porta Westfalica

Ergänzend zur IKT-Teststrecke, die mit Reinwasser betrieben wird, wurde in Zusammenarbeit mit dem Abwasserbetrieb der Stadt Porta Westfalica eine Teststrecke auf einer Kläranlage errichtet, die mit Abwasser (rein häusliches Abwasser) aus dem Kläranlagenzulauf beschickt wird. Mit Hilfe einer Pumpe wird Wasser aus dem Zulauf entnommen und einer PE-Leitung DN 100 mit ca. 100 m Länge zugeführt, die über einen Schacht mit angeschlossener Freispiegelleitung zurück in den Zulauf der Kläranlage entwässert (s. Abb. 176). Zur Isolierung wurde die freiliegende Leitung mit Stroh und Folie überdeckt.

Zielsetzung des Betriebs der Teststrecke war es, Sielhaut in der PE-Leitung für ergänzende Reinigungsversuche mittels Molch und Impuls-Spül-Verfahren anzusiedeln. Darüber hinaus konnte die Teststrecke als Anschauungsobjekt zur Entstehung und Rückbildung der Sielhaut dienen.

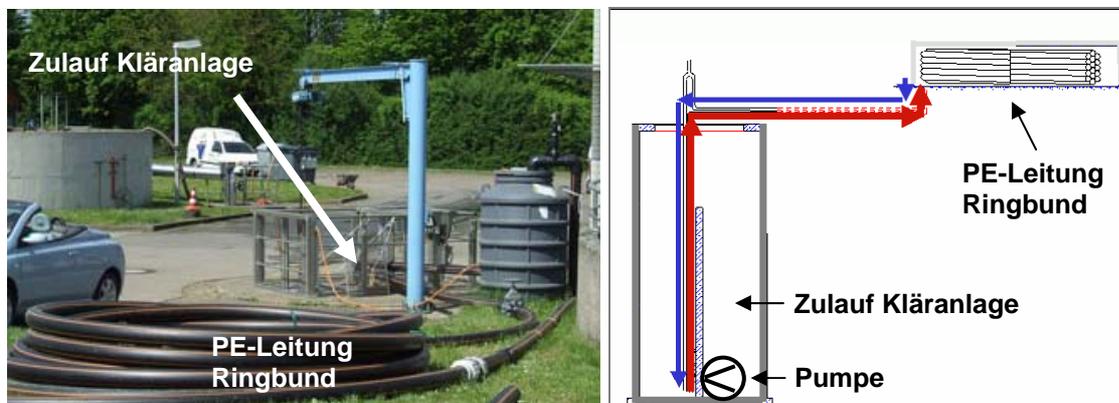


Abb. 176: Teststrecke Kläranlage Porta Westfalica (li), Skizze der Teststrecke (Ansicht) (re)

Die Beobachtungen zur **Entstehung der Sielhaut** in der neuen PE-Leitung ergaben, dass sich nach 4 Wochen Betriebszeit stellenweise ein minimaler Sielhautfilm gebildet hatte. Wie Abb. 177 zeigt, war in dem inspizierten Teilstück nach 8 Wochen bereits ein wenige Millimeter starker Film, vorwiegend im Scheitel- und Kämpferbereich, angewachsen. Die Inspektion der Leitung vor der Impuls-Spülung, 14 Wochen nach Inbetriebnahme, zeigte eine ganzflächige Schicht von mehreren Millimetern.



Abb. 177: Sielhautentwicklung in neuer PE-Leitung – nach 4 Wochen (li), nach 8 Wochen (mi), nach 14 Wochen (re)

Bei den **Reinigungsversuchen** wurde die Leitung zunächst vorsichtig mit einem Kompressor entleert und anschließend inspiziert. Nach der Impuls-Spülung bzw. dem Molchen wurde die Leitung erneut inspiziert. Zwischen den Reinigungsversuchen mit den zwei Verfahren lag ein Abstand von 11 Wochen, um erneut eine mehrere Millimeter starke Sielhaut anwachsen zu lassen.

Mit dem **Impuls-Spül-Verfahren** konnte der Großteils der Sielhaut entfernt werden. Stellenweise, insbesondere an der Bogen-Innenseite der Rohrwicklung, waren Bereiche mit Sielhautresten geringer Schichtdicke verblieben (vgl. Tab. 16). Die Leitung wurde insgesamt 25 Minuten gespült.

Bei der **Molchreinigung** wurden insgesamt vier Durchgänge mit vier unterschiedlichen Molchtypen gefahren (s. Tab. 15). Um die Reinigungsleistung der unterschiedlichen Molcharten zu kontrollierten wurden zunächst zwei PUR-beschichtete Schaumstoffmolche (Molch 1 und 2) eingesetzt und die Leitung anschließend erneut inspiziert. Nach den zwei Reinigungsdurchgängen war noch eine dünne Schicht Sielhaut verblieben, durch welche die Rohrwand bereits sichtbar war. Mit dem anschließend eingesetzten harten, unbeschichteten Schaumstoffmolch (Molch 3) konnten keine Verbesserung erzielt werden. Nach dem abschließenden vierten Reinigungsdurchgang mit einem Scheibenmolch (Molch 4) war die Sielhaut optisch vollständig entfernt (vgl. Tab. 16). Auf der Rohrwand bildeten sich Wassertropfen.

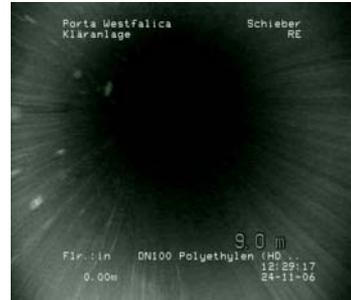
In Tab. 16 sind darüber hinaus Informationen eines Praxiseinsatzes (vgl. Kapitel 5.2.3) zur **Hochdruckspülung** ergänzt. Wie die Bilder vor und nach der Reinigung zeigen, konnte die Sielhaut auch mit der Hochdruckspüldüse nahezu vollständig entfernt werden.

Tab. 15: Im Rahmen der Reinigungsversuche verwendete Molche

Molch	Beschreibung	Molch	Beschreibung
	Aufbau: Schaumstoffkörper (PE, hart*) mit PUR-Streifen-Beschichtung Durchmesser: 102 mm		Aufbau: Schaumstoffkörper (PE, hart*) mit wasserdichter Stirn- u. Bodenplatte (PUR) Durchmesser: 104 mm
	Aufbau: Schaumstoffkörper (PE, weich*) mit PUR-Streifen-Beschichtung Durchmesser: 110 mm		Aufbau: Kunststoff-Scheibenmolch (PUR, Shore-Härte: 70) Durchmesser: 104 mm

* weich: ca. 80-110 kg/m³ ; hart: ca. 130-160 kg/m³ (nach Herstellerangaben)

Tab. 16: Reinigungsleistung bezüglich der Sielhautentfernung

Verfahren	Leitungszustand vor der Reinigung	Leitungszustand nach der Reinigung	Erläuterung
<p>Impuls-Spülen</p> 			Entfernung eines Großteils, stellenweise Rückstände geringer Schichtdicke (nach 25 min Spüldauer)
<p>Molchen</p> 			Optisch vollständige Entfernung
<p>HD-Düse*</p> 			Nahezu vollständige Entfernung

* Vergleich aus Praxiseinsatz im Extertal

Für Einzelversuche zur **Sielhautneubildung** wurde ein vollständig mit Sielhaut bedecktes Leitungsstück händisch mit einem Tuch gesäubert, sodass es optisch sauber erschien. Eine Kontrolle nach zehn Tagen zeigte bereits eine hauchdünne, relativ gleichmäßig verteilte Sielhautschicht. Nach sechs Wochen war die Sielhaut auf ca. 1-2 mm angewachsen (vgl. Abb. 178).

Da die Sulfidproduktion und damit die Bildung von Schwefelwasserstoff zum größten Teil der Sielhaut zugeschrieben wird und nur zu sehr geringen Anteilen im Abwasser und den Sinkstoffen stattfinden soll [5, 7, 46], ist davon auszugehen, dass evtl. vorhandene H₂S-Geruchsprobleme mit der Neubildung der Sielhaut und somit kurzfristig zurückkehren.

Hinweise für eine nur **kurzzeitige geruchsmindernde Wirkung** einer mechanischen Reinigung lieferten auch die Praxiseinsätze (vgl. 5.3.1). So wurde am Übergabeschacht einer mit Molchen gereinigten Druckleitung bereits nach einer Woche wieder Schwefelwasserstoff wahrgenommen.

Vergleichbare Ergebnisse zeigten auch Untersuchungen der TU Wien. Hier setzte die Schwefelwasserstoffproduktion in einer Abwasserdruckleitung bereits drei bis vier Tage nach der Molchreinigung wieder ein [47, 48]. In Laborversuchen des Water Research Centre, Swindon, war die Aktivität der Sichelhaut schon 24 Stunden nach der mechanischen Entfernung weitestgehend wiederhergestellt [46].

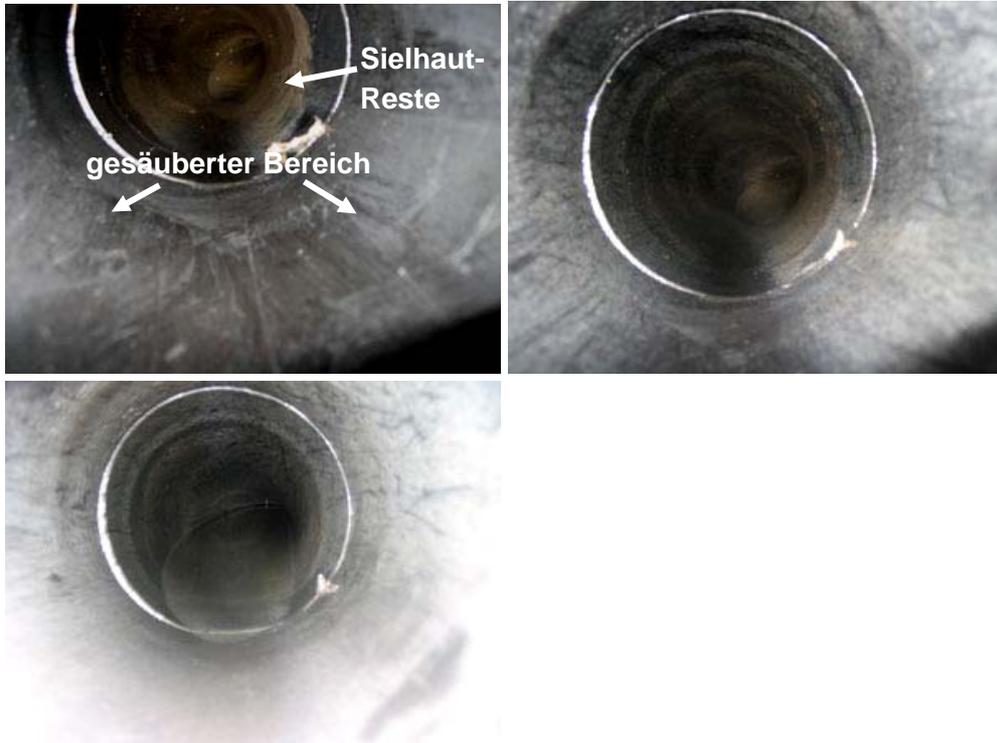


Abb. 178: Sichelhautneubildung: gesäuberte Leitung (oben, li), nach 10 Tagen (oben, re), nach 6 Wochen (unten)

7 Bewertung der Verfahren

Auf Basis der Erfahrungen aus den Praxiseinsätzen sowie den Ergebnissen der Reinigungsversuche an der Teststrecke werden die untersuchten Verfahren in diesem Kapitel bewertet. Zu jedem Verfahren werden die Einsatzbereiche und die wesentlichen technischen Voraussetzungen für die Anwendung dargestellt sowie Hinweise zur Reinigungsleistung, den möglichen Risiken, den entstehenden Kosten sowie zum Personalbedarf und der Qualifikationen gegeben. Auf dieser Basis werden abschließend die wesentlichen Vor- und Nachteile des jeweiligen Verfahrens abgeleitet.

Impuls-Spül-Verfahren

Einsatzbereiche und technische Voraussetzungen

Die folgenden Hinweise zu den Einsatzbereichen und den technischen Voraussetzung des Impuls-Spül-Verfahrens konnten aus den Praxiseinsätzen, den Reinigungsversuchen an der Teststrecke sowie Angaben des Anbieters abgeleitet werden:

- Grundvoraussetzung für die **Einsatzfähigkeit** des Verfahrens ist, dass der aufgebrauchte Spül-Impuls von der Aufgabestation bis mindestens zur nächsten Spülstation mit einer ausreichenden Transportkraft erhalten bleibt. Einsatzgrenzen können sich aus Leitungsdurchmessern, den Abständen der Spülzugänge und der Topographie bzw. der Kombination der drei Faktoren ergeben.
- Mit einer Fahrzeugeinheit findet das Verfahren bei **Leitungsdurchmessern** kleiner Nennweiten bis zu DN 300/400 Anwendung. Ab DN 400/500 wird mit zwei synchronisierten Kompressorfahrzeugen gearbeitet. Die Einsatzgrenze liegt nach Angaben des Anbieters bei maximal DN 700/800 unter Einsatz zweier oder mehrerer Fahrzeuge. Je größer der Durchmesser wird, desto entscheidender wirkt sich die Topografie, insbesondere Gefälle-, Steigungsstrecken und Düker, auf die Einsetzbarkeit aus. Speziell bei größeren Leitungsdurchmessern oder schwierigen topografischen Verhältnissen prüft der Anbieter die Anwendbarkeit über softwaregestützte Berechnungen.
- Der **Abstand** notwendiger **Spülzugänge** ist von Faktoren wie Leitungsdurchmesser, Topografie und anstehendem Gegendruck aus der Leitung sowie den zu erwartenden Ablagerungen abhängig. Im Idealfall sind lt. Anbieter bei Leitungen DN 100/200 alle 600 m bis 800 m und bei Leitungen DN 300/400 alle 400 m bis 700 m Spülzugänge vorhanden. Abhängig von den Randbedingungen ließen sich dann bei DN 100/200 auch bis zu 3 km und bei DN 300/400 bis zu 2-2,5 km Leitungslänge an einem Stück spülen. Ggf. müsse dann mit zwei Kompressorfahrzeugen gearbeitet werden.
- **Als Spülzugang** können T-Stücke, Spülstutzen, Anschlüsse von Be- und Entlüftungsventilen oder auch Anbohrschellen genutzt werden. Nach Angaben des Anbieters reichen bis DN 200/250 Querschnitte von 1 Zoll (25 mm) und bei DN 300 von 1,5 Zoll (38 mm) aus. Die Spülstutzen müssen für das Kompressorfahrzeug zugänglich sein.

- Derzeit können mit dem Verfahren Impulsdrücke bis 10,5 bar aufgebracht werden. Da der Impulsdruck stets über dem in der Leitung anstehenden **Gegendruck** liegen muss (lt. Anbieter zwischen ca. 0,5 bar und 2 bar, abhängig von den Randbedingungen), kann der anstehende Gegendruck eine Einsatzgrenze ergeben. So reicht der Impulsdruck ggf. bei starken **Höhenunterschieden** bzw. **Steigungen** nicht aus, um den Luftimpuls in bzw. durch die Leitung zu fördern. Als Beispiel einer Einsatzgrenze wurden vom Anbieter Steigungen mit Höhenunterschieden von 70 m bis 80 m (7 bar – 8 bar) genannt. Im Trinkwasserbereich können in diesen Fällen einzelne Abschnitte abgeschiebert und gespült werden (erfordert Spül- und Entleerungsschächte sowie Außerbetriebnahme der Leitung). Im Abwasserbereich ist dies jedoch aus Hygienegründen aufgrund des in den Schacht austretenden Abwassers schwierig.
- Während der gesamten Spüldauer ist ein ausreichender **Grundabfluss** in der Leitung zu erzeugen, der im Regelfall über die Pumpstation erzeugt wird, sodass die Leitung im Betrieb gespült wird. Bei Gefällestrrecken werden nach Angaben des Anbieters im Vergleich zu Steigungen höhere Fließgeschwindigkeiten benötigt, um ein Auftreiben der Luftblase zu vermeiden. Somit können auch Gefällestrrecken und/oder zu geringe Durchflussmengen Einsatzgrenzen darstellen.

Der Anbieter fordert bei Abwasserdruckleitungen im Regelfall **Mindestfließgeschwindigkeiten** zwischen 0,2 m/s und 0,3 m/s (für DN 100 beispielsweise: ca. 1,6 l/s bis 2,4 l/s bzw. 5,6 bis 8,5 m³/h).

Dementsprechend sind eine ausreichende **Pumpenförderleistung** sowie eine **ausreichende Wasserzufuhr** zum Pumpwerk erforderlich. Als Spülwasser muss nicht zwangsläufig Frischwasser bereitgestellt werden, jedoch behindern Wassertrübungen die Beurteilung des Reinigungseffekts über den Spülschwall.

- Probleme, einen Spülimpuls aufzubringen, können auch zum **Ende einer Leitung** bei offenem Auslauf entstehen.
- Die **Be- und Entlüftungsventile** müssen vor der Reinigung verschlossen werden.
- Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass sich die **Spülwirkung** der Luftimpulse mit zunehmender Spüllänge, zu überwindenden Höhenunterschieden sowie mit zunehmender Masse an Ablagerungen vermindert. Seitens des Auftraggebers empfiehlt sich eine **Kontrolle**, inwieweit Spülschwalle am Übergabeschacht auftreten (soweit sichtbar).

Reinigungsleistung

Aufbauend auf den Ergebnissen der Reinigungsversuche an der Teststrecke sowie den Erfahrungen aus den Praxiseinsätzen wird im Folgenden die Transportleistung und Lösekraft des Impuls-Spül-Verfahrens näherungsweise abgeschätzt.

- Das Impuls-Spül-Verfahren wies an der Teststrecke von allen Verfahren die höchste **Transportleistung** auf. Allerdings ist die begrenzte Länge der Teststrecke (130 m inklusive der Rückleitung, aus der die Ablagerungen ebenfalls ausgespült wurden) zu

berücksichtigen. Mit zunehmender Spüllänge, anderen Leitungsmaterialien und -verläufen, können sich geringere Reinigungsleistungen ergeben.

Es ist davon auszugehen, dass **lockere, leichte Ablagerungen** wie Sand oder organische Ablagerungen bis hin zu **lockeren, massigen Ablagerungen** wie Kies oder einzelne Steine befördert werden können, soweit ausreichend Spülstationen eingerichtet werden.

Die **Lösekraft** des Verfahrens war im Vergleich zum Molchen und zur HD-Spüldüse eingeschränkt. So konnten **leicht haftende Ablagerungen** wie Fett/Sand-Gemische oder Estrich in der PVC-Glas-Leitung sowie Sielhaut in PE-Leitungen zwar größtenteils entfernt werden, **stark haftende** Fettablagerungen in der PVC-Glas-Leitung sowie in einer PE-Leitung widerstanden den Reinigungsversuchen jedoch größtenteils.

Es ist daher davon auszugehen, dass feste **Inkrustierungen** nicht gelöst werden können. Dies entspricht auch den Angaben des Verfahrensanbieters.

- **Verstopfungen** bieten generell keine Einsatzmöglichkeiten für das Impuls-Spül-Verfahren, da ein Grundabfluss in der Leitung benötigt wird. Allerdings kann das Kompressorfahrzeug für den Versuch, die Verstopfung mit Hilfe von Druckluftzugaben zu lösen, genutzt werden. Sobald wieder ein Durchfluss in der Leitung entsteht, kann das Impuls-Spül-Verfahren zum Einsatz kommen.

Risiken

Risiken beim Einsatz des Impuls-Spül-Verfahrens bestehen darin, eine **Verstopfung** in der Leitung zu erzeugen. Erfahrungen des Anbieters sowie eines Netzbetreibers [A49] zu Folge, sind Verstopfungen bei dem Versuch, Leitungen direkt von der Pumpstation aus zu spülen, aufgetreten. Daher werden i.d.R. mehrere Spülstationen vom Leitungsende in Richtung Pumpwerk gewählt. Ggf. wird bei sehr langen Leitungen oder Problempunkten, z.B. bei Dückern, eine Zwischenspülstation eingerichtet.

Verstopfungsrisiken wurden in der Teststrecke beobachtet, wenn massige Ablagerungen in Verbindung mit Steigungen auftreten, oder verdichtungsfähige Ablagerungen auf massige Ablagerungen (z.B. in einem Tiefpunkt) gespült werden.

Wie deutlich an der freiliegenden Teststrecke zu sehen war, treten durch die Spülimpulse **dynamische Belastungen** der Leitungsstrecke auf. Wird der Druckluftschlauch daher an freiliegende Leitungen innerhalb der Pumpstation angeschlossen, sollten die Leitungselemente auf ihre längstkraftschlüssige Verbindung sowie die Halterungen überprüft werden. In der Praxis wird möglichst auf Spülstützen im überdeckten Leitungsverlauf zurückgegriffen.

Druckstöße in der Leitung können nicht ausgeschlossen werden.

Kosten

Nach Angaben der Fa. Hammann können am Tag in der Regel zwischen 2 km und 2,5 km Leitung gespült werden. Der Tagessatz liegt bei ca. 1.200 € bis 1.300 € (netto, Stundensatz: 120 €), der sich durch längere Anfahrtswege erhöhen kann. Daraus ergibt sich ein Kostensatz von ca. 0,5 €/m bis 0,65 €/m. Bei starken Ablagerungen und somit langen Spülzeiten kann sich die Tages-Kilometerleistung verringern. Maximale Kosten schätzt der Anbieter auf 1 €/m bis 2 €/m.

Die Überprüfung zwei vorliegender Rechnungen von Netzbetreibern ergab Kosten von 0,42 €/m (netto) für eine Druckleitung mit ca. 8 km Länge und 1,17 €/m (netto) für eine ca. 3 km lange Leitung. Bei einem dritten Einsatz, bei dem allerdings vier unterschiedliche Leitungen zwischen 170 m und 725 m Länge (insgesamt ca. 1,5 km) gespült wurden, entstanden Kosten von 1,47 €/m.

Personalbedarf und Qualifikation

Da es sich beim Impuls-Spül-Verfahren um ein patentiertes Verfahren handelt, kann es nur von der Fa. Hammann Wasser-Kommunal GmbH eingesetzt werden. Zwar bieten auch andere Reinigungsverfahren Impuls-Druckluftspülungen an, inwieweit diese dem Impuls-Spül-Verfahren gleichen, kann allerdings nicht beurteilt werden.

Im Regelfall wird für die Spülung ein Kompressorfahrzeug mit Techniker benötigt. Bei größeren Leitungsdurchmessern oder hohen Gegendrücken wird ggf. mit mehreren Fahrzeugen gearbeitet.

Seitens des Netzbetreibers ist in jedem Fall kurzzeitliche Unterstützung beim Anschluss der Druckschläuche notwendig, d.h. bei jeder Umpositionierung. Darüber hinaus kann sich ein Personalbedarf zur Überwachung des Pumpwerks und bei der Wasserbereitstellung ergeben.

Vor- und Nachteile

Als Vorteile des Impuls-Spül-Verfahrens können folgende Punkte genannt werden:

- Im Regelfall ist keine Außerbetriebnahme der Leitung erforderlich (Voraussetzung ist eine ausreichende Pumpenförderleistung).
- Als Spülzugänge können Spülstutzen, Anschlüsse von Be- und Entlüftungsventilen oder auch Anbohrschellen genutzt werden.
- Abhängig von der Netzgeometrie und den vermuteten Ablagerungen werden auch bis zu 2 km bis 3 km an einem Stück gespült.
- Das Verfahren ist relativ flexibel bei Nennweitenänderungen einsetzbar, sie bedürfen jedoch einer Einzelfallplanung.
- Bögen, Winkelstücke oder Düker stellen i.d.R. kein Einsatzhindernis dar. Ggf. wird an Problempunkten ein weiteres Kompressorfahrzeug positioniert.
- Bei ausreichend kurz gewählten Spülabschnitten ist eine hohe Transportleistung zu erwarten.

- Mit Blick auf das Abrasionsverhalten ist von einer leitungsschonenden Reinigung auszugehen.

Nachteile können wie folgt genannt werden:

- Das Verfahren ist bei Verstopfungen, die nicht im Vorfeld durch Druckaufbau behoben werden können, nicht einsetzbar.
- Die Lösekraft des Verfahrens ist eingeschränkt. Stark haftende Ablagerungen, wie feste Inkrustierungen, können nicht gelöst werden. Ebenfall ist davon auszugehen, dass Fette nicht vollständig entfernt werden können.
- Die Kontrollmöglichkeit des Spülerfolges ist stark eingeschränkt, insbesondere wenn der Spülschwall nicht sichtbar ist.
- Es muss ein dauerhafter Förderstrom bereitgestellt werden.
- Es kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass durch die Spülung eine Verstopfung produziert wird.
- Da es sich um ein patentiertes Verfahren handelt, wird es nur von einem Dienstleister angeboten.
- Bei freiliegender Leitung ist insbesondere in Rohrbögen mit besonderer Beanspruchung aus dynamischen Lasten zu rechnen.

Molchen

Einsatzbereiche und technische Voraussetzungen

Aus den Praxiseinsätzen, den Versuchen an der IKT-Teststrecke sowie Herstellerangaben ergeben sich folgende Punkte zu den Einsatzbereichen und den technischen Voraussetzungen:

- Gängige **Leitungsdurchmesser**, für die Molche gefertigt werden, liegen zwischen DN 50 und DN 1500.
- Um den Molch in die Leitung einsetzen zu können, sind entsprechende **Zugänge** erforderlich. Im Idealfall geschieht dies über so genannte Molchschleusen, die insbesondere bei regelmäßigen Molchreinigungen installiert werden. Sind keine Molchschleusen vorhanden, werden in der Praxis teilweise auch Flanschverbindungen getrennt und der Molch wird, z.B. mit Hilfe eines konischen Formstücks, in die Leitung eingesetzt.
- Als **Vortriebsmedium** wird üblicherweise Wasser genutzt. Zum Vortrieb des Molches werden im Normalfall Druckdifferenzen zum Betriebsdruck von ca. 1 bar bis 4 bar benötigt. Reicht die Leistung des Pumpwerkes nicht aus, werden externe Pumpen, z.B. in Form von Tragkraftspritzen, angeschlossen. Während des Molchens wird die Leitung i.d.R. **außer Betrieb** genommen. [A32, A50, A51, A52]

Somit muss für eine ausreichende **Wasserbereitstellung** gesorgt werden. Für einen Reinigungsdurchgang wird bei einem leitungsabdichtenden Molch ca. das Leitungsvolumen benötigt, bei umspülten oder wasserdurchlässigen Molchen entsprechend mehr. Wie schnell der Molch vorgetrieben werden kann, hängt neben der Ablagerungssituation und dem Leitungsverlauf auch von der Wasserbereitstellung ab.

Des Weiteren müssen beim Einsatz einer externen Pumpe **Anschlussmöglichkeiten** für die Pumpe bestehen.

- Im Regelfall können **mehrere Kilometer** Leitungslänge gemolcht werden, ohne den Molch zwischenzeitlich zu entfernen. Längste, an einem Stück gemolchte Strecken werden von befragten Reinigungsfirmen mit 10 km bis 20 km angegeben [A32, A50, A51, A52]. Als vorteilhaft werden Zwischenschächte je 1 km Leitung genannt [A32].

Welche Leitungslängen letztendlich an einem Stück gemolcht werden können, hängt vom notwendigen Vortriebsdruck für den Molch und dem erlaubten Betriebsdruck der Leitung ab. Der zu überwindende Druck ergibt sich aus dem Reibungswiderstand des Molches an der Rohrwand und den vor dem Molch anstehenden Widerständen, z.B. durch Ablagerungen oder eine anstehende Wassersäule.

- Am Endschacht bzw. an den Zwischenschächten müssen **Auffangvorrichtungen** für den Molch eingerichtet werden können. Wird die Leitung an Zwischenschächten geöffnet oder eine große Masse an Ablagerungen ausgetragen, die nicht in die Freispiegelkanalisation übergeben werden soll, werden zusätzlich Saugfahrzeuge benötigt.

- **Nennweitenänderungen** im Leitungsverlauf erfordern i.d.R. Zwischenschächte, über die ein Molchwechsel bewerkstelligt werden kann.
- Die Leitung darf keine **Verstopfung** beinhalten, die mit dem während der Molchreinigung aufgebrauchten Druck nicht gelöst werden kann.

Reinigungsleistung

Aufbauend auf den Ergebnissen der Reinigungsversuche an der Teststrecke sowie den Erfahrungen aus den Praxiseinsätzen wird im Folgenden die Transportleistung und Lösekraft des Molchens näherungsweise abgeschätzt.

- Bei den Versuchen an der Teststrecke wies das Molchen zusammen mit der Hochdruckspüldüse die höchste **Lösekraft** auf. Hier konnten **stark haftendes** Fett sowie Sielhaut vollständig entfernt werden. Voraussetzung dafür ist, dass die Ablagerungssituation erkannt und ein entsprechender Molchtyp gewählt wird und dieser auch eingesetzt werden kann (z.B. abhängig vom Leitungsmaterial und möglichen Bogenstücken). Aus dem Trinkwasserbereich ist darüber hinaus bekannt, dass auch feste **Inkrustierungen** mit entsprechenden Molchen gelöst werden können.
- Die **Transportkraft** lag deutlich über der Leistung der Hochdruckspüldüse. Es ist davon auszugehen, dass **lockere, leichte Ablagerungen** wie Sand oder organisches Material problemlos entfernt werden können. Auch **massige, grobe Ablagerungen** wie Kies und Steine konnten weiter transportiert werden. Allerdings können sich Probleme in engen Bogen- oder Winkelstücken ergeben. Auch in einem geraden Leitungsstück verkeilte sich der Kies beim Transport. Allerdings ist anzumerken, dass sowohl Bogenstücke als auch massige Kiesablagerungen Extremsituationen darstellen dürften. Darüber hinaus konnte die Teststrecke nur bis max. 10 bar betrieben werden.
- Da zum Vortrieb des Molches Wasser durch die Leitung befördert werden muss, kann der Molch bei **Verstopfungen** nicht eingesetzt werden. Erst wenn z.B. über Druckaufbau mit der Tragkraftspritze wieder ein Durchfluss erzeugt werden kann, findet das Verfahren Anwendung.

Risiko

Ein **Steckenbleiben** eines Molches kann nicht vollständig ausgeschlossen werden. Jedoch scheint das Risiko deutlich geringer zu sein, als viele Netzbetreiber befürchten. An der Teststrecke zeigte sich, dass übliche Molche mit hartem Schaumstoffkern und Kunststoff-Streifen-Beschichtung (s. Tab. 10, S. 92) auch PVC-Winkelformstücke bis 90° überwinden können, die üblicherweise in Druckleitungen nicht vorkommen sollten. Auch einragende Schieber und Verformungen des Rohres bis 40 % (ovalisiertes Rohr DN 100) konnten mit diesen Molchen überwunden werden. Der Vortriebsdruck lag bei allen Hindernissen zwischen 4-6 bar (Betriebsdruck der Leitung < 0,5 bar). Erst bei der Kombination von PVC-Winkelstücken und massigen bzw. grobstückigen Ablagerungen, wie Steinen oder Kies, ergaben sich Schwierigkeiten.

Probleme an Hindernissen könnten bei härteren, unflexiblen Molchen, wie z.B. Kunststoff-Scheibenmolchen, entstehen. Ein Verzicht auf einen Einsatz bei bekannten Bogenformstücken scheint ratsam. Die in Druckleitungen üblichen, langgezogenen Bögen, sollten keine Schwierigkeiten bereiten.

Auch grobe, massive Ablagerungen, die mit einem Molch gelöst und vorgeschoben werden, könnten möglicherweise eine Verstopfung verursachen. In der Teststrecke war dies der Fall, als sich die einzelnen Steine des Kieses im geraden Leitungsstück gegeneinander verkeilten. Allerdings ist davon auszugehen, dass die eingebrachten kiesigen Ablagerungen eine Extremsituation darstellen.

In der Praxis wird bei unbekanntem Verhältnissen für den ersten Reinigungsdurchgang oft zunächst ein weicher, flexibler Schaumstoffmolch ohne Beschichtung eingesetzt, der stark komprimiert werden kann. Aus Beobachtungen des aufzubringenden Vortriebsdrucks, der Bestandteile des Spülwassers und Beschädigungen des Molches wird auf die Ablagerungssituation und mögliche Hindernisse geschlossen. So kann das Risiko eines Steckenbleibens weiter minimiert werden. Darüber hinaus kann es sinnvoll sein, bei Anschluss einer externen Pumpe mit hoher Förderleistung, vor dem Molcheinsatz zunächst hohe Fließgeschwindigkeiten zu erzeugen, um lockere Ablagerungen bereits im Vorfeld auszuspülen.

Des Weiteren können in Einzelfällen besondere **Beanspruchungen des Rohrmaterials** auftreten. An der Teststrecke entstanden an vereinzelt Stellen leichte Riefen in der Rohrwand, die durch harte Ablagerungen entstanden waren, die sich zwischen Rohrwand und Molchspitze verkeilt hatten. Durch die Wahl eines dem Leitungsmaterial angepassten Molchmaterials können Schäden, die durch den Molch direkt verursacht werden, weitestgehend ausgeschlossen werden. Von der Verwendung metallischer Molche oder von Drahtbesätzen in Kunststoffleitungen wird i.d.R. bereits seitens des Dienstleisters abgeraten.

Kosten

Die Kosten für eine Molchreinigung sind stark von den örtlichen Randbedingungen abhängig und lassen sich nicht pauschal beziffern. Maßgebliche Faktoren für den Aufwand sind z.B. die Art der Ablagerungen und die damit verbundene Anzahl an Reinigungsdurchgängen, der Aufwand für Vorarbeiten, um z.B. Zugänglichkeiten zu schaffen, wie schnell die Molche eingesetzt und aufgefangen werden können, ob das Wasser am Übergabeschacht abtransportiert werden muss und welche Wassermengen für den Vortrieb bereitgestellt werden können.

Der Zeitaufwand für das Molchen einer ca. 1-2 km langen Druckleitung liegt nach Angaben von Dienstleistern im Tagesbereich [A32, A50, A51, A52]. Die Anzahl der benötigten Mitarbeiter für den Einsatz ist ebenfalls stark von den örtlichen Gegebenheiten abhängig. Nach Angaben der Reinigungsfirmen wird die Unterstützung von 2-3 bzw. 3-4 Mitarbeitern benötigt.

Kosten für eine Molchreinigung geben die Reinigungsfirmen i.d.R. nur leitungsspezifisch unter Kenntnis der vorliegenden Randbedingungen an. Der grobe Kostenrahmen wird nach Erfahrungen von Reinigungsfirmen im Bereich von < 1 €/m bis 100 €/m [A51] bzw. 1 €/m bis 150 €/m [A32] geschätzt. Im Abwasserbereich, insbesondere wenn nur Sielhaut und Fettablagerungen vorliegen, lägen die Kosten jedoch meist im Bereich von 1 €/m [A32, A51]. Erfah-

rungsgemäß sind Kosten von 50 €/m für den Abwasserbereich schon relativ hoch angesetzt [A51].

Aus Pauschalangeboten zweier unterschiedlicher Firmen für die Reinigung einer Leitung DN 125 mit 2 km Länge (s. Praxiseinsatz Kapitel 5.3.1) geht zum Beispiel ein Preis von 1,78 €/m bzw. 1,95 €/m hervor.

Die Kosten beispielsweise für einen beschichteten Schaumstoffmolch für Leitungen DN 100 liegen zwischen ca. 30 € und 60 €.

Personalbedarf und Qualifikationen

Wie bereits unter dem Punkt „Kosten“ beschrieben, werden für das Molchen abhängig von den örtlichen Gegebenheiten zwischen zwei bis vier Mitarbeiter benötigt. Das Personal sollte Erfahrungen mit Molchreinigungen haben. So kann von den Bestandteilen des Spülwassers, dem Zustand der Molche und den aufzubringenden Drücken ggf. auf die Ablagerungssituationen und mögliche Hindernisse geschlossen werden. So können Molchtypen und Durchmesser entsprechend ausgewählt werden, um den Reinigungserfolg zu erhöhen und das Risiko eines möglichen Steckenbleibens des Molches weiter zu minimieren.

Insbesondere dann, wenn Leitungen regelmäßig gemolcht werden, die örtlichen Randbedingungen bekannt sind und keine massigen Ablagerungen befürchtet werden müssen, kann die Molchreinigung i.d.R. auch vom Personal des Netzbetreibers übernommen werden.

Wird ein Dienstleister beauftragt, wird i.d.R. Unterstützung durch den Netzbetreiber erforderlich, z.B. zur Außerbetriebnahme und Überwachung des Pumpwerks sowie zur Wasserbereitstellung. Ein zusätzlicher Personalbedarf entsteht, wenn das Spülwasser am Übergabeschacht abgesaugt oder eine Wasserhaltung aufgebaut werden muss. Mit dem Reinigungsunternehmen sollte im Vorfeld abgeklärt werden, welche Arbeiten notwendig sind und welche vom Netzbetreiber bzw. Dienstleister übernommen werden.

Vor- und Nachteile

Als Vorteile der Molchreinigung können genannt werden:

- Bei Wahl entsprechender Molche kann von einer hohen Lösekraft ausgegangen werden, sodass auch stark anhaftende Ablagerungen gelöst werden können.
- Bei Einsatz eines wenig kompressiblen Molches und durchgängig „leichtem“ Vortrieb des Molches, kann mit großer Sicherheit von einer vollständigen Reinigung und entsprechend freien Leitungsquerschnitten ausgegangen werden.
- Abhängig vom Leitungsverlauf und der Ablagerungssituation können Leitungsstrecken bis zu mehreren Kilometern Länge an einem Stück gereinigt werden.
- Der Reibungswiderstand zwischen Molch und Rohrwand ist unabhängig von der Leitungslänge. (Bei der Hochdruckspülung entstehen durch die komplette Spüllänge Widerstände beim Vorschub des Schlauches. Bei der Impuls-Spülung nimmt die Spülkraft des Impulses mit zunehmender Leitungsstrecke ab.)

- Viele Molche sind mit einem Ortungssender kombinierbar, sodass der Leitungsverlauf sowie Problemstellen, z.B. wenn ein hoher Vortriebsdruck notwendig wird, geortet werden können.
- Die Molchreinigung kann als regelmäßige Reinigungsmaßnahme i.d.R. vom eigenen Personal des Netzbetreibers durchgeführt werden.

Nachteile des Molchens können wie folgt zusammengefasst werden:

- Der Molcheinsatz setzt i.d.R. die Außerbetriebnahme der Leitung voraus.
- Das Verfahren ist bei Verstopfungen, die nicht im Vorfeld durch Druckaufbau behoben werden können, nicht einsetzbar.
- Ein Steckenbleiben des Molches, z.B. bei scharfen Richtungsänderungen, kann nicht vollständig ausgeschlossen werden.
- Bei Nennweitenänderungen kann die Leitung i.d.R. nicht durchgängig mit einem Molchsystem gereinigt werden.
- Verfahrensbedingt und in Abhängigkeit des gewählten Molchsystems wird die Rohrleitung durch zusätzlichen Innendruck und Abrasion beansprucht.

Hochdruckspüldüse

Einsatzbereiche und technische Voraussetzungen

Aus den Praxiseinsätzen, den Reinigungsversuchen an der Teststrecke sowie Angaben der Anbieter und Dienstleister können die Einsatzbereiche und technischen Voraussetzungen für den Einsatz von Hochdruckspüldüsen in Abwasserdruckleitungen wie folgt abgeschätzt werden:

- Abwasserdruckleitungen gehören nicht zu den üblichen Einsatzgebieten von Hochdruckspüldüsen. Demnach liegen auch wenige Erfahrungen bei Reinigungsfirmen vor. Die spülbaren **Leitungsdurchmesser** dürften denen der Freispiegelkanalisation des öffentlichen Netzes bzw. der Grundstücksentwässerung entsprechen. Auf dem Markt sind Reinigungsdüse für Leitungsdurchmesser von unter DN 30 bis über DN 1000 erhältlich, die je nach Größe mit Spülschläuchen von $\frac{1}{8}$ Zoll bis $1\frac{1}{4}$ Zoll kombiniert werden [53].
- Im Gegensatz zur Freispiegelkanalisation ergeben sich aus der **Reichweite** der Spülschläuche im Druckleitungsbereich deutliche Einsatzgrenzen. So stehen sehr langen Schachtabständen, von oft über 500 m, übliche Schlauchlängen der Kanalspülfahrzeuge von ca. 80 m bis 120 m [A13, A14, A15, A16] gegenüber. Sonderfahrzeuge werden zwar auch mit ca. 500 m bis 680 m Schlauch ausgerüstet [A15, A16], die tatsächliche Reichweite wird aber aufgrund von Reibungswiderständen zwischen Schlauch und Rohrleitung bzw. Ablagerungen deutlich gemindert. Darüber hinaus fällt mit zunehmender Länge des Spülschlauches der Druck an der Düse ab, sodass auch die Zugkraft der Düse sinkt. Bogenformstücke oder Winkel sind nach Angaben der Fahrzeughersteller mit den im Kanalbereich eingesetzten Schläuchen (meist ab $\frac{1}{2}$ Zoll) nicht oder nur selten überwindbar [A13, A14, A15, A16]. Dies hat sich auch in der Teststrecke bestätigt.

Einsatzgrenzen stellen somit die **Schachtabstände** in Druckleitungen sowie scharfe **Bögen** durch Formstücke dar. Abhängig vom Leitungsverlauf und davon, ob über die Schächte beide Leitungsrichtungen spülbar sind (u.a. gefälleabhängig), ergeben sich somit notwendige Schachtabstände von unter 100 m bis ca. maximal 500 m.

- Die Schächte müssen als Wartungs- und Kontrollschächte mit **Passstücken** und **Schiebern** ausgerüstet sein, um Zugangsöffnungen für den Spülschlauch schaffen und den zu spülenden Leitungsabschnitt vom Druckleitungssystem absperrern zu können. Darüber hinaus muss die **Zugänglichkeit** der Schächte für das Spülfahrzeug gegeben sein.
- Soll die Hochdruckspülung nicht nur dem Lösen von Ablagerungen, sondern auch dem Transport dienen, ist nur das **Spülen mit Gefälle** möglich. Somit kommt bei vorhandenem Leitungsgefälle vom jeweiligen Schacht aus nur eine Spülrichtung in Frage.
- Das Spülwasser tritt bei der Hochdruckspülung am Einsatzschacht aus. Daher wird ein **Saugfahrzeug** für den Abtransport des Wassers benötigt.

- Während der Spülung ist die Leitung **außer Betrieb** zu nehmen.

Reinigungsleistung

Die Reinigungsleistung von Hochdruckspüldüsen im Druckleitungsbereich stellte sich bei den Versuchen an der Teststrecke sowie beim Praxiseinsatz wie folgt dar:

- Abhängig von der Düsenwahl besitzt die Hochdruckspülung eine hohe **Lösekraft**. So konnten haftende Ablagerungen wie Fett und Sichelhaut nahezu vollständig entfernt werden.
- Als einziges Verfahren konnte die Hochdruckspüldüse die in der Teststrecke simulierte **Verstopfung** lösen. Sie benötigte keinen Durchfluss in der Leitung, um an die Stelle der Verstopfung zu gelangen. Mit Hilfe des aggressiven Vorstrahls der Stocherdüse konnten die verdichteten Ablagerungen aufgelöst werden. (Voraussetzung für die Praxis ist, dass der Schlauch bis zum Ort der Verstopfung eingespült werden kann.)
- Als nachteilig erwies sich eine bei mangelndem Leitungsgefälle entstehende Teil- bis Vollfüllung der Testleitung. Diese schränkte die **Transportkraft** der Spüldüsen stark ein. **Leichte, lockere Ablagerungen** wie Kiessand konnten gegenüber der Freispiegelkanalisation nur mit erhöhtem Aufwand ausgespült werden. **Massige Ablagerungen** wie Kies konnten nur unter hohem Zeitaufwand, d.h. mit einer großen Zahl an Reinigungszyklen, ausgetragen werden.

Somit ergeben sich bei geringem Gefälle oder in **Tiefpunkten** Einsatzgrenzen für den Stofftransport.

Risiken

Risiken beim Einsatz der Hochdruckspüldüse bestehen darin, dass der Spülschlauch, insbesondere in Bögen, stecken bleiben könnte. Darüber hinaus kann eine besondere Beanspruchung der Rohrwand durch die Hochdruckstrahlen nicht ausgeschlossen werden (vgl. [28]).

Kosten

Die Stundensätze für Wasserhochdruckspülungen liegen bei ca. 100 €. Wie auch bei den anderen Verfahren lässt sich der Aufwand für eine Spülung schwer abschätzen. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass ein größerer Zeitaufwand als bei Reinigung der Freispiegelkanalisation anzusetzen ist und daher auch die üblichen Kosten von 0,6 €/m bis 0,8 €/m überschritten werden.

Personalbedarf und Qualifikation

Der Personalbedarf für die Hochdruckspülung liegt bei mindestens zwei bis drei Mitarbeitern zur Steuerung der Spüldüse und zum Abtransport des Abwassers. Ggf. fällt zusätzlicher Personalbedarf zur Überwachung des Pumpwerkes an.

Insgesamt liegen bei den Reinigungsfirmen bzw. dem Personal des Netzbetreibers wenige Erfahrungen mit der Reinigung von Abwasserdruckleitungen vor.

Vor- und Nachteile

Vorteile der Hochdruckspüldüse zur Reinigung von Abwasserdruckleitungen lassen sich wie folgt ableiten:

- Spüldüsen besitzen eine hohe Lösekraft.
- Der Einsatz bei Verstopfungen ist möglich.
- Es handelt sich um eine weit verbreitete, schnell verfügbare Technik.
- Die Spülung kann ggf. vom eigenen Personal des Netzbetreibers durchgeführt werden.

Nachteile bestehen in den folgenden Punkten:

- Im Bereich von Abwasserdruckleitungen besitzt das Verfahren stark eingeschränkte Einsatzmöglichkeiten, insbesondere mit Blick auf die einsetzbaren Schlauchlängen.
- Die Reinigung erfordert eine Außerbetriebnahme der Leitung.
- Die Reinigung ist mit hohem Aufwand verbunden.
- Die Kontrollmöglichkeit des Spülerfolgs ist stark eingeschränkt.

Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten mittels Hydrant und Ejektor

In geringem Umfang wurden ergänzenden Reinigungsversuche an der IKT-Teststrecke unter Erzeugung erhöhter Fließgeschwindigkeiten mittels eines Hydranten und eines Ejektors durchgeführt. In diesem Rahmen konnten einige Hinweise zur Einsetzbarkeit gewonnen werden, die im Folgenden kurz zusammengestellt werden.

Inwieweit über einen Hydranten oder Ejektor erhöhte **Fließgeschwindigkeiten** in einer Leitung erzeugt werden können, hängt zum einen vom Fördervolumen und der Förderhöhe des Hydranten bzw. Ejektors ab. Zum anderen sind die Leitungsdurchmesser sowie die sich aus geodätischen Höhenunterschieden und Reibungsverlusten ergebenden Verlusthöhen entscheidend. Für den Trinkwasserbereich werden Fließgeschwindigkeiten von 2 m/s bis 3 m/s empfohlen und als Einsatzgrenze Leitungsdurchmesser von DN 150 genannt [11].

Für den Anschluss eines Hydranten an eine Druckleitung sind **Schächte** mit üblichen Spülstützen notwendig. Grundsätzlich ist zu beachten, dass nach DIN EN 1671 keine Verbindungen zwischen Trinkwasser- und Abwassernetz geschaffen werden dürfen. Inwieweit dies mit so genannten Hygieneschleusen gestattet ist, sollte mit dem Versorger geklärt werden.

Ein Ejektor muss so eingebaut werden, dass die Austrittsöffnung in die Spülrichtung weist. Ggf. sind dazu **Pass-/Einbaustücke** an der Leitung zu entfernen. Zur Wasserversorgung des Ejektors wird ein Wasserbehälter, wie z.B. der Tank eines Spülfahrzeuges, benötigt. Die Bereitstellung des Triebwassers erfolgt i.d.R. über ein Spülfahrzeug.

An der Teststrecke konnten im Rahmen der Versuche **maximale Fließgeschwindigkeiten** von 1,9 m/s (mit dem Hydranten) und 1,4 m/s bis 1,85 m/s (mit dem Ejektor) erzeugt werden. Somit liegen diese unterhalb der im Trinkwasserbereich empfohlenen Spülgeschwindigkeiten von 2 m/s bis 3 m/s. Bei Ablagerungen in der Leitung verringerten sich die Fließgeschwindigkeiten entsprechend (s. Tab. 14, S.106).

Die leichten, unverfestigten **Ablagerungen** aus Kiessand konnten an der Teststrecke ab 0,7 m/s vollständig entfernt werden. Die grobkörnigen, massigen Ablagerungen aus Kies sowie die haftenden Fettablagerungen konnten mit den maximal möglichen Fließgeschwindigkeiten von 0,85 m/s (Kies) und 1,85 m/s (Fett) nicht entfernt werden.

Mögliche Einsatzgebiete von Ejektoren leiten sich aus ihren Förderkennlinien ab. Sie zeichnen sich durch eine hohe Fördermenge bei geringer Förderhöhe aus (vgl. Abb. 175, S. 111). Demnach bieten sie sich für Spülungen in flachen Gebieten mit geringen Höhendifferenzen der Druckleitung an. Die Förderhöhen von Hydranten liegen i.d.R. höher, sind jedoch ebenso wie die Fördermengen stark gebietsabhängig. Da bei Spülungen mit erhöhten Fließgeschwindigkeiten von einer begrenzten lösenden Wirkung ausgegangen werden muss, sind bevorzugte Einsatzgebiete eher im Bereich lockerer, gering haftender Ablagerungen oder der vorbeugenden Reinigung zu sehen.

Biologisches Verfahren „Lipolyt 2000“

Einsatzbereiche und technische Voraussetzungen

Die vom Anbieter angegebenen Einsatzbereiche des biologischen Produktes „Lipolyt 2000“ liegen im Bereich des Abbaus und der Vermeidung **organischer Ablagerungen** (vor allem von Fetten) sowie in der Unterdrückung der **Schwefelwasserstoffbildung**. Da mineralische Ablagerungen nicht aufgelöst werden und darüber hinaus der Abbau organischer Stoffe eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt, ist das Produkt nicht als eigentliches Reinigungsverfahren zu sehen. Die Anwendung liegt somit eher in der Vermeidung organischer Ablagerungen in den Pumpwerken und der Druckleitung. Von besonderem Interesse war bei diesem Verfahren die ggf. mögliche Geruchsbekämpfung.

Einsatzgrenzen bezüglich **Leitungsdurchmesser**, Längen oder topografischen Verhältnissen wurden vom Anbieter nicht angegeben. Aufgrund der enthaltenen Mikroorganismen soll das Einsatzgebiet auf **häusliches Abwasser** beschränkt sein. Inhaltstoffe gewerblicher, industrieller Abwässer können demnach ein Absterben der Mikroorganismen bewirken.

Nach Angaben des Anbieters müssen **sämtliche** an die Druckleitung angeschlossenen **Pumpstationen** geimpft werden. Für die Impfung muss ein **Zulauf** zum Pumpwerk genutzt bzw. der Pumpenschacht geöffnet werden. Zusätzlich ist Frischwasser (Menge entsprechend dem Leitungsvolumen) zur Verfügung zu stellen.

Für die Einwirkzeit von mindestens vier Stunden ist die Leitung **außer Betrieb** zu nehmen.

Reinigungsleistung und Wirkung bezüglich Geruchsbekämpfung

Im Rahmen der vier Praxiseinsätze konnte die Wirkung des biologischen Präparates „Lipolyt 2000“ nicht eindeutig nachgewiesen werden. Bei drei Praxiseinsätzen wurden die vom Anbieter angegebenen Effekte „Abbau von Ablagerungen und Schwimmdecken im Schacht“, „Verminderung der Sielhaut“ sowie die „Vermeidung der H₂S-Bildung“ nicht in nennenswertem Umfang beobachtet. Bei einem vierten Einsatz müssten zur abschließenden Beurteilung fortführende H₂S-Messungen bei wärmeren Jahreszeiten ergänzt werden.

Auch wenn im Rahmen der Praxiseinsätze die Wirkung nicht bestätigt werden konnte, werden von Netzbetreibern Fälle genannt, bei denen die Probleme bezüglich Geruchsbelästigungen und/oder Ablagerungen nach eigener Auskunft gemindert werden konnten. Eine Übersicht gibt Tab. 17.

Tab. 17: Informationen weiterer Netzbetreiber zur Wirkung von „Lipolyt 2000“

Einsatzort	Einsatzdaten	Wirkung
Wermelskirchen	<p>Leitung: DN 63, Länge: 1 km</p> <p>Anlass: H₂S-Geruchsbelästigungen am Übergabeschacht; Fettablagerungen im Pumpenschacht</p> <p>Impfung: Über den Pumpenschacht; Mai 2005</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Minderung der Ablagerungen in Pumpenschacht. ▪ Permanente H₂S-Geruchsprobleme konnten auf 1 x wöchentliches Auftreten reduziert werden. Kurzzeitige Kontrollmessungen zeigten regelmäßig am Freitagmittag auftretende H₂S-Spitzen. Als Ursache wird die Einleitung bereits angefaultem Abwasser durch eine privaten Anschlussnehmer vermutet. ▪ Letzter Informationsstand: Nov. 2006 [A54].
Stadt Ahaus	<p>Leitungen: DN 50/65, Länge: 8 km</p> <p>Anlass: H₂S-Geruchsbelästigungen am Übergabeschacht</p> <p>Impfung: Über 40 private Pumpstationen, Mai 2006</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die Ablagerungen in den Pumpstationen waren eine ganze Zeit zurückgegangen. ▪ Geruchsprobleme bestehen nach wie vor. Zeitweise entstand der Eindruck, die Gerüche seien weniger geworden. Aufgrund unterschiedlicher Wetterlagen kann der Einfluss auf die H₂S-Entwicklung nicht abschließend beurteilt werden. ▪ Letzter Informationsstand: Nov. 2006 [A55]
Stadt Selm	<p>Leitung: DN 65, Länge: ca. 80 km</p> <p>Anlass: H₂S-Geruchsbelästigungen in der Freispiegelkanalisation nach Übergabepunkt</p> <p>Impfung: Über eine private Pumpstation (2 EW); Februar 2006</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nahezu vollständiger Abbau der Ablagerungen in den Pumpstation ▪ Beschwerden über Geruchsbelästigungen sind seit der Impfung nicht mehr eingegangen ▪ Letzter Informationsstand: Dez. 2006 [A56]
Gemeinde Raesfeld	<p>Leitung: DN 63, Länge: 2,5 km</p> <p>Anlass: H₂S-Geruchsbelästigungen am Übergabeschacht</p> <p>Impfung: Über 15 private Pumpstationen; November 2005</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Deutliche Minderung der Fettablagerungen in den Pumpenschächten (Stand: Mitte 2006). ▪ Beschwerden über Geruchsbelästigungen sind seit der Impfung nicht mehr eingegangen, jedoch zeigen H₂S-Messungen nach wie vor deutliche H₂S-Spitzen. ▪ Letzter Informationsstand: Nov. 2006 [A57].

Tab. 17 (Forts.): Informationen weiterer Netzbetreiber zur Wirkung von „Lipolyt 2000“

Einsatzort	Einsatzdaten	Wirkung
Remscheid	Leitung: DN 63, Länge: 0,5 km Anlass: H ₂ S-Geruchsbelästigungen am Übergabeschacht Impfung: Über drei kleine Pumpstationen; Juli 2006	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geruchsprobleme sind nach wie vor vorhanden, die Beschwerden haben jedoch abgenommen. ▪ Inwieweit Ablagerungen in den Schächten vermindert wurden, ist nicht bekannt. ▪ Letzter Informationsstand: Nov. 2006 [A58].

Risiken

Nach EG-Sicherheitsdatenblatt gehen von „Lipolyt 2000, Komponente II“ keine Gesundheitsgefahren aus. Bei Hautkontakt bzw. Augenkontakt sind die benetzten Stellen mit Wasser zu reinigen. Bei Verschlucken und Augenkontakt sollte ein Arzt aufgesucht werden. Eine Schutzausrüstung wird nicht empfohlen.

Da es sich bei diesem Produkt um Mikroorganismen unbekannter Stämme handelt, scheint es dennoch ratsam, jeglichen Hautkontakt zu vermeiden und Schutzhandschuhe zu tragen. Darüber hinaus sollte ein Einatmen des Produktes vermieden werden.

Mögliche Auswirkungen auf die Kläranlage sind nicht bekannt, können jedoch nicht ausgeschlossen werden. Möglicherweise verringert sich durch die Stoffwechsellätigkeiten der BSB gegenüber üblichem Abwasser.

Kosten

Je Kubikmeter Leitungsvolumen werden bei der Erstimpfung ca. 6 kg des Substrates hinzu gegeben. Die Kosten liegen je nach Menge zwischen 50 und 100 €/kg.

Zur empfohlenen halbjährlichen Nachimpfung werden deutlich geringere Mengen hinzu gegeben (i.d.R. wenige Kilogramm).

Personalbedarf und Qualifikation

Die Impfung kann leicht von 1 bis 2 Mitarbeitern des Netzbetreibers übernommen werden. Es sind lediglich die erforderlichen Mengen des Substrates zu bestimmen (wird vom Anbieter berechnet) und mit entsprechenden Wassermengen in den Schacht zu geben. Anschließend ist die Einwirkzeit zu berücksichtigen. Besondere Kenntnisse sind nicht erforderlich.

Vor- und Nachteile

Soweit sich eine Wirkung des Präparates einstellt lassen sich folgende Vorteile nennen:

- Es besteht eine leichte Handhabung, die vom eigenen Personal des Netzbetreibers übernommen werden kann.
- Die Impfung erfordert wenig Aufwand.
- Stellt sich eine Wirkung ein, fallen nach der Impfung, bis auf die ggf. notwendige Nachimpfung, keine weiteren Arbeiten und Kosten an.

Die Nachteile bestehen in folgenden Punkten:

- Die Wirkung kann nicht eindeutig belegt werden bzw. ist sie stark von Abwasserparametern abhängig, die nicht genauer beziffert werden können.
- Die Erstimpfung ist mit hohen Kosten verbunden.
- Der Einsatz ist nur bei rein häuslichem Abwasser möglich.
- Während der Einwirkzeit ist die Leitung außer Betrieb zu nehmen.

Auf dem Markt werden zahlreiche biologische Verfahren zur Geruchsbekämpfung und/oder zum Abbau von organischen Ablagerungen angeboten (vgl. Tab. 3, S. 21). Aufgrund unterschiedlicher Zusammensetzungen können die Ergebnisse des untersuchten Produktes Lipolyt 2000 nicht auf andere Produkte oder Verfahren übertragen werden. Da sich in Telefonaten mit den Herstellern bzw. Anbietern zeigte, dass oft wenige Angaben zu den biologischen Abbauvorgängen gemacht werden können, sollten vor Einsatz eines biologischen Produktes in jedem Fall die Referenzen überprüft werden. Selbst wenn genauere Angaben zu Bakterienstämmen gemacht werden, bleibt die Beurteilung der Wirkung eines Produktes auf theoretischem Wege schwierig. Zum einen stellt der Schwefelkreislauf ein komplexes Thema dar und zum anderen können zahlreiche abwasserspezifische Parameter einen Einfluss auf die Abbauvorgänge haben.

Fazit

Tab. 18 fasst zusammen, welche Verfahren sich je nach Ablagerungssituation für die Reinigung von Druckleitungen anbieten. Grundlage sind insbesondere die Erfahrungen aus dem Einsatz in der PVC-Teststrecke im IKT. Bezüglich der dargestellten Reinigungsleistungen ist zu berücksichtigen, dass es sich bei den in der Teststrecke nachgebildeten Ablagerungssituationen teilweise um Extrembedingungen handelte. Während Sielhaut und Fette nach Erfahrungen von Netzbetreibern [A12] eher als häufig auftretende Ablagerungssituationen eingeschätzt werden können und auch Verstopfungen teilweise auftreten, sind starke Sandablagerungen oder Kiese eher als selten anzunehmen.

Das Impuls-Spül-Verfahren, das Molchen, die Reinigung mittels Hochdruckspüldüsen sowie die Spülung über einen Hydranten bzw. einen Ejektor können bei der Bewertung einander direkt gegenüber gestellt werden. Hierbei handelt es sich um Verfahren, die bei bestehenden Ablagerungen mineralischen und/oder organischen Ursprungs eingesetzt werden und an der IKT-Teststrecke geprüft wurden. Das untersuchte biologische Verfahren dagegen ist auf-

grund seines Einsatzgebietes, das vorwiegend in der Vermeidung organischer Ablagerungen und der Schwefelwasserstoffentwicklung liegt, separat zu betrachten.

Tab. 18: Reinigungsleistungen der unterschiedlichen Verfahren aus den Reinigungsversuchen an Teststrecken in situ, im IKT und in Porta Westfalica

Ablagerungssituation		Reinigungsleistung			
		Impuls-Spül-Verfahren	Molchen	HD-Düse	Hydrant/Ejektor
locker, unverfestigt	Kiessand (0/8)	+2	+2	+2	+2
	Kies (20/40)	+2	~ ²	- ²	- ²
	Steine	+1/2	~ ²	Keine Prüfung	Keine Prüfung
haftend	Sielhaut	○ ^{1/2/3}	+3	+1	Keine Prüfung
	Fett/Sand	○ ²	+2	○ ²	- ²
	Fett	- ^{1/2}	+2	+2	- ²
verfestigt bzw. massig	Flüssigboden*	+2	+2	Keine Prüfung	Keine Prüfung
	Estrich*	+2	~ ²	- ²	- ²
verfestigt, abdichtend	Verstopfung	- ²	- ²	+2	- ²

- * aufgrund geringer Rauigkeit nicht als Inkrustierung anzusehen
- + Lösen und Transport möglich, (nahezu) vollständige Entfernung
- Lösen und Transport größtenteils möglich
- Lösen nicht bzw. nur in sehr geringen Teilen möglich und/oder Transport nicht bzw. nur in sehr geringen Teilen möglich
- ~ Lösen möglich, Transportproblem an Winkelstücken (s. auch Erläuterungen zum Molchen)
- ¹ Ergebnisse aus Praxiseinsatz
- ² Ergebnisse aus IKT-Teststrecke, PVC DN 100, L=60 m
- ³ Ergebnisse aus Teststrecke Porta Westfalica, PE-HD DN 100, L=100 m

8 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Zur Reinigung von Abwasserdruckleitungen liegen bei den Netzbetreibern nur wenige Erfahrungen vor. Fehlende Wartungs- und Kontrollöffnungen sowie Gefällewechsel, Hoch- und Tiefpunkte, Bögen und die weitgehende Vollfüllung der Leitungen erschweren die Reinigungsarbeiten. Bei vielen Netzbetreibern bestehen Unsicherheiten, wann eine Reinigung der Leitungen erforderlich ist und welche Verfahren eingesetzt werden können. In diesem Zusammenhang werden oft Probleme und Störungen beim Betrieb von Druckleitungen genannt, wie beispielsweise verstopfte Leitungen, Fettablagerungen, Verfettungen der Be- und Entlüftungsventile sowie reduzierte Pumpenförderleistungen oder Geruchsbelästigungen durch Schwefelwasserstoffbildung.

Vor diesem Hintergrund wurden in **Zusammenarbeit mit 16 Netzbetreibern** verschiedene Verfahren zur Reinigung von Abwasserdruckleitungen untersucht. **Ziel war es**, die Einsatzmöglichkeiten- und -grenzen sowie die Reinigungsleistung der Verfahren zu ermitteln und daraus Vor- und Nachteile sowie Empfehlungen für die Reinigung von Druckleitungen abzuleiten. Da bei vielen Netzbetreibern nur wenige Erfahrungen zur Ablagerungssituation in Abwasserdruckleitungen sowie zur Abwicklung von Reinigungsmaßnahmen vorliegen, lag der Schwerpunkt auf **praktischen Untersuchungen** in Form von In-situ-Einsätzen und Versuchen an einer Teststrecke im IKT.

In das Untersuchungsprogramm wurden insgesamt **fünf Reinigungsverfahren** einbezogen. Schwerpunktmäßig wurden zum einen das *Impuls-Spül-Verfahren* sowie die *Molchtechnik* als speziell für die Reinigung von Trinkwasserdruckleitungen bzw. von Pipelines und Industrieleitungen konzipierte Verfahren getestet. Zum anderen wurde die im Bereich der Freispiegelkanalisation übliche Reinigung mittels *Hochdruck-Spüldüse* in die umfassenden Untersuchungen mit einbezogen. Darüber hinaus wurden in ergänzenden Spülversuchen mittels eines *Hydranten* sowie eines *Ejektors* erhöhte Fließgeschwindigkeiten in der Leitung erzeugt.

Da Geruchsprobleme durch Schwefelwasserstoffbildung in Zusammenhang mit Abwasserdruckleitungen ein häufig genanntes Problem darstellen, wurde zusätzlich ein **biologisches Verfahren** („Lipolyt 2000“) in das Untersuchungsprogramm aufgenommen, dessen Anwendungsgebiet außer in der Vermeidung und Verminderung organischer Ablagerungen auch in der Geruchsbekämpfung durch Unterdrückung der Schwefelwasserstoffbildung liegt. Bei den zuvor genannten Verfahren zur Reinigung von Leitungen wurde ebenfalls aufgenommen, inwieweit durch deren Einsatz eine **Geruchsbelästigung** durch Schwefelwasserstoffbildung unterbunden werden kann.

Das **Untersuchungsprogramm** umfasste Praxiseinsätze bei Netzbetreibern sowie Reinigungsversuche an einer speziell für dieses Vorhaben entwickelten Teststrecke auf dem IKT-Gelände. Zusätzlich konnte für ergänzende Versuche in Zusammenarbeit mit dem Abwasserbetrieb der Stadt Porta Westfalica eine weitere Teststrecke auf einer Kläranlage errichtet werden.

In insgesamt zehn **Praxiseinsätzen** wurden Informationen zur Handhabung sowie den Einsatzgrenzen und notwendigen technischen Voraussetzungen für den Einsatz des Impuls-

Spül-Verfahrens, des Molchens, der Hochdruckspülung und des biologischen Produktes erfasst. Zusätzlich konnten durch TV-Inspektionen von Leitungsteilstrecken vor und nach Einsatz der Verfahren Hinweise zur Reinigungsleistung sowie zu möglichen Ablagerungssituationen in Abwasserdruckleitungen aufgenommen werden.

Den zweiten Untersuchungsschwerpunkt neben den Praxiseinsätzen bildeten Versuche an der **Teststrecke auf dem IKT-Gelände**. An dieser Strecke konnten unterschiedliche Ablagerungssituationen simuliert und Reinigungsversuche unter reproduzierbaren Randbedingungen durchgeführt werden, um vergleichende Aussagen z.B. zur Reinigungsleistung und zum Stofftransport der Verfahren treffen zu können. Für die Teststrecke wurden durchsichtige PVC-Glas-Rohre DN 100 verwendet, um die Reinigungsvorgänge beobachten zu können. Die rund 60 m lange Strecke beinhaltet einen „Standardbereich“ und einen „Extrembereich“. Der ca. 30 m lange Standardbereich aus einem geraden, nahezu waagerechten Leitungstück soll dabei den einfachsten Verlauf einer Druckleitung nachbilden. Der Extrembereich enthält schwierige geometrische Verhältnisse durch Gefälle- und Steigungsstrecken, Hoch- und Tiefpunkte sowie Bögen zwischen 45° und 90° (als PVC-Winkelformstücke). In den Standardbereich wurden verschiedene Ablagerungen eingebracht, um das Lösen und Mobilisieren der Ablagerungen zu beobachten. Im Extrembereich wurde der Weitertransport gelöster Ablagerungen aufgenommen. Für die Reinigungsversuche wurden das Impuls-Spül-Verfahren, das Molchen, Hochdruckspülungen und Wasserzugaben über einen Hydranten sowie einen Ejektor eingesetzt. Auf Versuche mit dem biologischen Produkt wurde verzichtet, da der Versuchsaufbau (z.B. Betrieb der Leitung mit Frischwasser, Versuche mit mineralischen Ablagerungssituationen) nicht den Einsatzgebieten entsprach. Stattdessen wurde für dieses Verfahren die Zahl der begleiteten Praxiseinsätze erhöht.

Bei den **Ablagerungssituationen** sollten zum einen ein breites Feld an möglichen Ablagerungssituationen abgedeckt und zum anderen Extrembedingungen geschaffen werden, um die Leistungsgrenzen der Verfahren näherungsweise zu erfassen. So wurden **haftende Ablagerungen** aus Fett und Fett-Sand-Gemischen, **stark verfestigte Ablagerungen** in Form von Flüssigboden und Estrichbeton sowie **lockere, unverfestigte Ablagerungen** von Kies-sand über Kies bis hin zu einzelnen Steinen in die Teststrecke eingebracht. Darüber hinaus wurde eine **Verstopfung** durch sandige, kiesige Bestandteile in Verbindung mit faserigen, bindigen Anteilen simuliert. Erfahrungen der Netzbetreiber [A12] und aus den Praxiseinsätzen zu Folge können haftende Ablagerungen beispielsweise durch Sielhaut und/oder Fett als häufig auftretende Ablagerungssituationen eingeschätzt werden. Auch Verstopfungen treten gelegentlich auf. Dahingegen können starke Sandablagerungen oder Kiese als eher seltene Ablagerungen angenommen werden, sodass diese nur als Extrembedingung nachgebildet wurden. Allerdings kann die Ansammlung von Sand oder kleinen Steinen über die Dauer des Betriebes, insbesondere in Senken oder vor Steigungsstrecken, nicht ausgeschlossen werden.

In der zweiten **Teststrecke auf der Kläranlage**, durch die Wasser aus dem Kläranlagenzulauf gefördert wird, konnte ergänzend zu den Versuchen an der IKT-Teststrecke, die mit Frischwasser betrieben wird, Sielhaut für zusätzliche Reinigungsversuche mit dem Impuls-Spül-Verfahren und mit Molchen gezüchtet werden. Darüber hinaus konnte die Neubildung der Sielhaut beobachtet werden.

Zusammenfassend kann aus den Untersuchungen abgeleitet werden, dass sowohl das Impuls-Spül-Verfahren als auch das Molchen **geeignete Techniken zur Reinigung** von Abwasserdruckleitungen darstellen, jedes Verfahren jedoch seine speziellen Vor- und Nachteile besitzt. Spülungen mittels Hochdruckspüldüsen zeigen ein sehr gutes Löseverhalten, allerdings sind sie mit Blick auf die Reichweite stark begrenzt. Hydranten oder Ejektoren zeigten nur bei leicht löslichen Ablagerungen einen nennenswerten Reinigungserfolg.

Das **Impuls-Spül-Verfahren** besaß an der Teststrecke die höchste Transportleistung, jedoch war die Lösekraft gegenüber dem Molchen und der Hochdruckspüldüse eingeschränkt. So konnten lockere Ablagerungen wie Sand und Kies sowie einzelne Steine befördert werden, jedoch stark haftende Ablagerungen wie Fett nur in Teilen entfernt werden. Die an der Teststrecke aufgenommenen Transportleistungen des Impuls-Spül-Verfahrens könnten sich mit zunehmender Spüllänge, anderen Leitungsmaterialien und -verläufen verringern. Grundvoraussetzung für die Effektivität der Impuls-Spülung ist daher, dass ausreichend Spülstationen eingerichtet werden und die Impulse mit ausreichendem Druck und Volumen erzeugt werden können. Ein wesentlicher Vorteil des Impuls-Spülens ist, dass die Pumpstation in der Regel nicht außer Betrieb genommen werden muss.

Das **Molchen** wies zusammen mit der Hochdruckspüldüse die höchste Lösekraft auf. So konnten in der Teststrecke auch stark haftende Fettablagerungen vollständig entfernt werden. Voraussetzung für eine optimale Reinigungsleistung ist allerdings der Einsatz eines den Ablagerungsbedingungen angepassten Molches. Die Transportleistung lag deutlich über der Leistung der Hochdruckspüldüse, sodass auch massige Sandablagerungen leicht entfernt werden konnten. Transportschwierigkeiten können evtl. bei Extrembedingungen mit engen Bögen in Verbindung mit massigen oder voluminösen Ablagerungen entstehen. Ein wesentlicher Vorteil des Molchens liegt in der hohen Lösekraft und darin, dass oft mehrere Kilometer Leitungslänge an einem Stück gereinigt werden können.

Die **Hochdruckspüldüse** zeigte an der Teststrecke ebenfalls eine gute Lösekraft, jedoch war die Transportleistung der Düse aufgrund des sich in der Leitung anstauenden Spülwassers stark eingeschränkt. Darüber hinaus zeigten sowohl die Versuche an der Teststrecke als auch die Praxiseinsätze, dass Reinigungen mittels Hochdruckspüldüsen mit einem hohen Aufwand verbunden sind und zudem deutliche Einsatzgrenzen bestehen. Beispielsweise ist die Reichweite des Spülschlauches begrenzt, sodass Wartungs- und Kontrollschächte in geringeren Abständen erforderlich werden. Als ein grundlegender Vorteil der Hochdruckspüldüse im Vergleich zur Impuls-Spülung und dem Molchen ist zu nennen, dass auch die simulierten Verstopfungen gelöst werden konnten. Voraussetzung in der Praxis ist allerdings, dass die Düse auch tatsächlich bis zum Ort der Verstopfung eingespült werden kann.

Durch Anschluss eines **Hydranten** bzw. eines **Ejektors** an die Teststrecke konnten nur in geringem Maße erhöhte Fließgeschwindigkeiten erzeugt werden. Diese lagen mit ca. 1,9 m/s (Hydrant) bzw. 1,4 m/s bis 1,85 m/s (Ejektor) noch stets unterhalb der empfohlenen Spülgeschwindigkeiten für den Trinkwasserbereich von 2 m/s bis 3 m/s. Lockere Sandablagerungen konnten problemlos ausgespült werden, während kiesige Ablagerungen oder haftende Ablagerungen aus Fett oder Sand-Fett-Gemischen unverändert blieben. Aufgrund eingeschränk-

ter Förderhöhen und Fördermengen von Hydranten oder Ejektoren liegen die Einsatzbereiche bei geringen Höhendifferenzen der Druckleitungen und geringen Leitungsdurchmessern.

Die Wirkung des **biologischen Produktes** „Lipolyt 2000“ konnte im Rahmen von vier Praxiseinsätzen nicht eindeutig nachgewiesen werden. Bei drei Einsätzen traten die vom Anbieter angegebenen Effekte „Abbau von Ablagerungen und Schwimmdecken im Schacht“, „Verminderung der Sielhaut in der Leitung“ sowie die „Vermeidung der Schwefelwasserstoff-Bildung“ nicht eindeutig ein. Bei dem vierten Einsatz müssten noch fortführende Schwefelwasserstoff-Messungen zu einer wärmeren Jahreszeit ergänzt werden. Allerdings liegen Informationen von Netzbetreibern vor, bei denen, nach eigenen Angaben, durch Einsatz des Produktes Ablagerungen in den Pumpstationen sowie Geruchsprobleme durch Schwefelwasserstoff gemindert werden konnten.

Die **Geruchsproblematik** durch Schwefelwasserstoffbildung kann durch die mechanischen Reinigungsmaßnahmen allenfalls kurzzeitig behoben oder gemindert werden. Es ist davon auszugehen, dass sich die Sielhaut, in welcher ein Großteil der sulfidbildenden Prozesse ablaufen soll [5, 7, 46], innerhalb weniger Tage zumindest als dünner Film zurückbildet. Darüber hinaus können sich Sulfide bei langen Standzeiten bereits in den Sammelräumen der Pumpstationen bilden, sodass in diesen Fällen eine Reinigung der Druckleitung wirkungslos bleibt. Als **Ursache für eine Geruchsentstehung** durch Schwefelwasserstoff bei Abwasserdruckleitungen sind demnach nicht fehlende Reinigungsmaßnahmen zu nennen, sondern zu lange Standzeiten des Abwassers. Möglicherweise kann die Geruchsbildung in Einzelfällen durch eine regelmäßige Reinigung zu geruchsintensiven Zeiten (z.B. wöchentlich) vermindert werden. In der überwiegenden Zahl der Fälle ist jedoch davon auszugehen, dass sich das Problem nur durch bauliche Änderungen oder Zugabe chemischer Präparate bekämpfen lässt.

Aufgrund der kurzen Neubildungsrate der Sielhaut scheint es auch aus **hydraulischer Sicht** wenig zweckmäßig, die Sielhaut regelmäßig zu entfernen. Die Schichtdicke der Sielhaut liegt, je nach Fließgeschwindigkeiten, zwischen einigen zehntel Millimetern und mehr als einem Zentimeter [5]. Hier bietet sich zunächst ein Vergleich der evtl. erhöhten Energiekosten für den Pumpenbetrieb mit den entstehenden Reinigungskosten an.

Ebenso scheinen grundsätzliche Reinigungen in bestimmten **Reinigungsintervallen** bei Abwasserdruckleitungen nicht notwendig zu sein. Wie die Erfahrungen von Netzbetreibern zeigen [A12], treten nur vereinzelt, z.B. bei stark fetthaltigen Abwässern, regelmäßig Probleme mit Ablagerungen auf. Es existieren jedoch auch Druckleitungen, die seit Inbetriebnahme nicht gereinigt wurden und bisher ohne Funktionsstörungen betrieben werden konnten.

Grundsätzlich empfiehlt es sich, **Durchflussmessgeräte** in das Pumpwerk zu integrieren. So kann anhand einer Beobachtung der Pumpenförderleistung auf mögliche Querschnittseinbußen durch Ablagerungen geschlossen und rechtzeitig vor einer Verstopfung eine Reinigung eingeleitet werden.

Tritt erst eine **Verstopfung** auf, ist der Betrieb der Leitung meist nur mit erheblichem Aufwand wieder herzustellen. Oft ist der Ort der Verstopfung nicht bekannt. Praxiserfahrungen zeigen [A12], dass sich teilweise durch einen wechselseitigen Druckaufbau vom Leitungsen-

de und von der Pumpstation aus wieder ein Durchfluss erzeugen lässt, sodass die Leitung anschließend vollständig gereinigt werden kann.

Für die **Reinigung längerer Leitungen** bietet sich der Einsatz von Molchen oder des Impuls-Spül-Verfahrens an. Welches der beiden Verfahren besser geeignet ist, hängt stark von der Art der Ablagerungen und den örtlichen Gegebenheiten ab. Bei **Verstopfungen, kurzen Leitungsabschnitten** oder für **Problempunkte**, an denen wiederkehrend Ablagerungen auftreten, kann auch der Einsatz von Hochdruckspüldüsen interessant sein. Für Druckleitungen ohne bedeutende Höhenunterschiede können zum Austrag lockerer Ablagerungen ggf. Spülungen mittels Hydrant oder Ejektor vorteilhaft sein.

Vor einer erstmaligen Reinigung einer Druckleitung empfiehlt sich eine **Ortsbegehung** zur Kontrolle der Zugänglichkeiten und Funktionsprüfungen der Armaturen. In den Praxiseinsätzen waren Schieber z.T. nicht mehr funktionstüchtig oder Revisionsöffnungen ließen sich nicht öffnen. Darüber hinaus sollte der Spülwasserbezug abgeklärt und ggf. die Kläranlage über erhöhte Schmutzfrachten informiert werden.

Um gute Reinigungsmöglichkeiten zu schaffen, sollte beim **Bau** von Abwasserdruckleitungen auf enge Bögen verzichtet werden. Zusätzlich sollten Zugänge bzw. Anschlussstellen für Reinigungsgerätschaften eingeplant werden. Für die Impuls-Spülung werden seitens des Anbieters, abhängig vom Durchmesser und Verlauf der Leitung, Anbohrschellen in Abständen von 400 m bis 800 m vorgeschlagen. Mit Molchen können in der Regel mehrere Kilometer Leitungslänge an einem Stück gereinigt werden, jedoch sollten auch hier in regelmäßigen Abständen (z.B. 500 m) geeignete Wartungs- und Kontrollschächte angeordnet werden. Grundsätzlich vorteilhaft sind Schächte bei scharfen Richtungsänderungen, an Tiefpunkten oder vor Steigungsstrecken, um bei Problemfällen den Zugang zur Leitung zu sichern.

9 Ausblick

Die vorliegenden Erfahrungen unterstreichen die Anwendbarkeit der einzelnen Verfahren zur Reinigung von Druckleitungen. Allerdings hängt der tatsächliche Reinigungserfolg in hohem Maße von den örtlichen Randbedingungen, wie Zugangsmöglichkeiten, Leitungsverlauf und Ablagerungssituation, ab. Seitens der projektbeteiligten Netzbetreiber wird daher angestrebt, auch künftig in regelmäßigen Workshops die Erfahrungen mit aktuellen Reinigungsmaßnahmen zu diskutieren und so das Praxiswissen fortzuschreiben. Erfahrungen mit Grenzsituationen, wie z.B. Maßnahmen bei Verstopfung einer Leitung, der Einsatz des Impuls-Spül-Verfahrens bei starken Steigungen oder Gefällestrecken sowie der Einsatz von Molchen bei engen Bogenstücken, stehen dabei im Vordergrund.

Die Diskussion des Themas zeigte deutlich, dass Reinigungsmaßnahmen vornehmlich zur Sicherung der hydraulischen Leistungsfähigkeit dienen und evtl. vorhandene Geruchsprobleme durch Schwefelwasserstoffbildung hierdurch nur allenfalls kurzzeitig unterbunden werden. Hier bietet es sich an, auch die Erfahrungen von Netzbetreibern mit unterschiedlichen Verfahren zur Geruchsbekämpfung zusammenzustellen und auszuwerten.

10 Literaturverzeichnis

- [1] Bosseler, B.; Birkner, T.; Sokoll, O.; Brüggemann, T.: Umsetzung der Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwV Kan) bei kommunalen Netzbetreibern und Wasserverbänden in NRW. IKT-Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, Dezember 2003
- [2] Verordnung zur Selbstüberwachung von Kanalisationen und Einleitung von Abwasser aus Kanalisationen im Mischsystem und im Trennsystem (Selbstüberwachungsverordnung Kanal – SüwV Kan). Gesetz und Verordnungsblatt für das Land NRW Nr. 49, Seiten 64-67, Düsseldorf, Januar 1995
- [3] DWA-A 116-2: Besondere Entwässerungsverfahren, Teil 2: Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden (Entwurf). DWA, Hennef, Juli 2006
- [4] DIN EN 1671: Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden. Beuth Verlag, Berlin, August 1997
- [5] Thistlethwayte, D.K.B: Sulfide in Abwasseranlagen: Ursachen, Auswirkung, Gegenmaßnahmen. Bearbeitung der deutschen Ausgabe: Norbert Klose, Hamburg. Beton-Verlag GmbH, 1979
- [6] Petersen, O.: Geruchsemissionen aus dem Kanalnetz.
www.atv-dvwk-nord.de/aktuelles/oke.htm
- [7] ATV-DVWK-M 154: Geruchsemission aus Entwässerungssystemen – Vermeidung oder Verminderung. DWA, Hennef, Oktober 2003
- [8] Frechen, F.-B.: Vermeidung und Verminderung von Geruchsemissionen. Vortrag im Rahmen des 7. Kölner Kanal Kolloquium, Köln 06./07. September 2006
- [9] Zement-Merkblatt Tiefbau: Sulfide in Abwasseranlagen – Ursachen – Auswirkungen – Gegenmaßnahmen. Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V, Köln, Februar 1999
- [10] www.schwefelwasserstoff.de/Giftigkeit: Schwefelwasserstoff – Giftigkeit bei Lebewesen
- [11] DVGW-Regelwerk, Technische Regeln, Arbeitsblatt W 291: Reinigung und Desinfektion von Wasserverteilanlagen
- [A12] Informationen über Erfahrungsaustausche der Netzbetreiber des Lenkungsreises Druckrohre zu Laufzeiten des Projektes (Beteiligte Netzbetreiber s. S. 2 dieses Berichtes)
- [A13] Mündliche Auskunft der Fa. Barth GmbH & Co. KG (Hersteller von u.a. Kanalspülgeräten), Oerlinghausen, Oktober 2006
- [A14] Mündliche Auskunft der Fa. Heinrich Müntefering GmbH, Herne, Oktober 2006
- [A15] Mündliche Auskunft der Fa. Kroll Fahrzeugbau – Umwelttechnik GmbH, Wesel, Dezember 2006
- [A16] Mündliche Auskunft der Fa. Assmann GmbH, Lauffen/Neckar, Dezember 2006
- [A17] Mündliche Auskunft der Fa. Jung Pumpen GmbH, Steinhagen, Oktober 2006

-
- [A18] Mündliche Auskunft der Fa. GFM GmbH, München, August 2006
 - [19] Firmeninformation (Prospekt) der Fa. Hammann Wasser-Kommunal GmbH, Annweiler am Trifels, September 2006
 - [20] Stein, D.: Instandhaltung von Kanalisationen. 3. Auflage, Verlag Ernst und Sohn, Berlin, 1999
 - [A21] Mündliche Auskunft der Fa. Hammann Wasser-Kommunal GmbH, Annweiler am Trifels, September 2006
 - [A22] Mündliche Auskunft der Fa. Kruse W. Kanalreinigung, Petershagen, Oktober 2006
 - [A23] Mündliche Auskunft der Fa. Michael Langbein Rohrreinigung Molch e.K., Bernburg, Oktober 2006
 - [24] Produktkatalog der Fa. PSI Products GmbH, Mössingen, August 2006
 - [25] Produktkatalog der Fa. Stocksiefen GmbH, Asbach, 2005
 - [A26] Mündliche Auskunft der Fa. Dilano GmbH, Nordhorn, August 2005
 - [27] Plöger, Jens: Einsatzbericht zur Impuls-Spülung der Druckleitung „Silixen-Almena“ der Wirtschaftsbetriebe Extertal, Februar 2006
 - [28] Bosseler, B.; Schlüter, M.: Kanalreinigung – Düsen, Drücke, Hochdruckstrahlen (Forschungsbericht). IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, Dezember 2004
 - [29] Artières, O.: Bildung und Remobilisierung von Ablagerungen in Mischkanalisationen in Deutschland. Korrespondenz Abwasser, Heft 10, S. 1026-1032
 - [A30] Mündliche Auskunft Herr Hein, Stadt Billerbeck, 2006
 - [31] Bildmaterial der Stadt Billerbeck, 2006
 - [A32] Mündliche Auskunft der Fa. Stocksiefen GmbH, Asbach, 2005
 - [33] Blumberg, D.; Bauer, W.: Beseitigung von Ablagerungen in Abwasserkanälen großer Durchmesser, Korrespondenz Abwasser, Heft 12, S. 1063-1066 (1984)
 - [34] Müller, W.: Reinigung von Kanalisationen – Methoden und Praxiserfahrungen. Vortrag im Rahmen des weiterbildenden Studiums 1995 an der Ruhruniversität Bochum
 - [A35] Mündliche Auskunft Herr Moschüring, Stadt Voerde, Dezember 2006 (Druckleitung DN 700 mit Bogenformstück bis ca. 30°)
 - [36] Mündliche Auskunft Herr Book, Stadt Dillingen, Dezember 2006 (Druckleitung DN 100 mit Bogenstück 90°)
 - [37] www.wwa-ro.bayern.de/unterlagen/druckleitungen.html, Januar 2006
 - [38] Produktkatalog zu RSS® - Flüssigboden, Logistic Consult Ingenieurgesellschaft mbH, Leipzig
 - [A39] Mündliche Auskunft der Fa. Barth GmbH & Co. KG (Hersteller von u.a. Kanalspülgeräten), Oerlinghausen, Oktober 2006
 - [A40] Mündliche Auskunft der Fa. Heinrich Müntefering GmbH, Herne, Oktober 2006

-
- [A41] Mündliche Auskunft der Fa. Kroll Fahrzeugbau – Umwelttechnik GmbH, Wesel, Dezember 2006
 - [A42] Mündliche Auskunft der Fa. Assmann GmbH, Lauffen/Neckar, Dezember 2006
 - [43] Bosseler, B.; Bennerscheidt, C.: Einsatz der Ejektortechnik bei der Dückerreinigung. IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, Juni 2004
 - [44] Produktionformation der Firma Quest, Herford (Ejektor C 12), Juni 2004
 - [A45] Mündliche Auskunft der Gelsenwasser AG, 12. Dezember 2006
 - [46] Landon, D.; Hobson, J.; Moy, F.; Yang, G.: Reducing the costs of odour control in rising mains – final report. Water Research Centre, Swindon, Mai 2004
 - [47] Saracevic, E.; Bertán de Lis, F.; Matsché, N.: Odour and corrosion problems in pressure sewers. Artikel zum Vortrag auf der SOM 2006 in Wien
 - [48] Matsché, N; Saracevic, E.; Bertán de Lis, F.; Brooks, L.: Korrosions- und Geruchsprobleme in Abwasserdruckleitungen. Institut für Wassergüte Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft der Technischen Universität Wien, Herausgeber: Lebensministerium Wien, November 2005
 - [A49] Mündliche Auskunft Herr Jungblut, Abwasserbetrieb Erkelenz, Februar 2006
 - [A50] Mündliche Auskunft der Fa. Uniror-Forst GmbH, Forst, Dezember 2006
 - [A51] Mündliche Auskunft der Fa. RTK Rohrreinigungstechnik GmbH, Linz, Dezember 2006
 - [A52] Mündliche Auskunft der Fa. Uniror GmbH, Gelsenkirchen, Dezember 2006
 - [53] IKT-Markübersicht „Kanalreinigungsdüsen“ unter www.ikt.de, Dezember 2006
 - [A54] Mündliche Auskunft Herr Odenthal, Stadt Wermelskirchen, November 2006
 - [A55] Mündliche Auskunft Herr Weißling, Stadt Ahaus, November 2006
 - [A56] Mündliche Auskunft Frau Scholz, Stadt Selm, Dezember 2006
 - [A57] Mündliche Auskunft Herr Reich, Gemeinde Raesfeld, November 2006
 - [A58] Mündliche Auskunft Herr Biskupek, Stadt Remscheid, November 2006