

neutral
unabhängig
gemeinnützig



IKT-Institut für
Unterirdische Infrastruktur

Kurzbericht

Kanalreinigung

- Düsen, Drücke, Hochdruckstrahlen -



Bosseler, B.; Schlüter, M.
Gelsenkirchen, Dezember 2004

Fördernde Stelle



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

Auftragnehmer



IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur
Exterbruch 1
45886 Gelsenkirchen

Wissenschaftliche Leitung

Dr.-Ing. Bert Bosseler

Projektleitung und Bearbeitung

Dipl.-Ing. Marco Schlüter

Dipl.-Ing. (FH) Beate Voigt

Dipl.-Ing. (FH) H. Akkas

Dipl.-Ing. (FH) M. Engelberg

Dipl.-Ing. (FH) T. Kutschowitz

Dipl.-Ing. M. Illing

Dipl.-Ing. P. Meyer

Wir danken den Projektbeteiligten für die inhaltliche Begleitung des Forschungsvorhabens aus Sicht der Praxis, für die fachliche Diskussion und die weitreichende Unterstützung bei der Analyse von Reinigungsprozessen im Kanalbetrieb:

Dipl.-Ing. F. Großklags

Herr J. Graban; Herr T. Kariot

Dipl.-Ing. F.-J. Knoblauch

Dipl.-Ing. H. Jahn

Herr B. Hellweg

Herr J. Lunkewitz

Herr W. Sievert

Dipl.-Ing. J. Lollert; Herr R. Reike

Herr H.-J. Thiel

Herr R. Czuba

Prof. Dr.-Ing. W. Hösel

Stadt Bochum

Gelsenkanal, Gelsenkirchen

Stadt Recklinghausen

Stadt München

Gemeinde Holzwickede

Wuppertaler Stadtwerke AG

Stadt Ratingen

Stadt Hagen

ESW Entwässerung Stadt Witten

Stadt Warendorf

Fachhochschule Gelsenkirchen,

Fachbereich Ver- und Entsorgungstechnik

Darüber hinaus danken wir Herrn M. Ziegenbein von der Müntefering GmbH und Herrn D. Schrameck von der Otto Schrameck GmbH für die zahlreichen Anregungen im Rahmen der praktischen Versuchsdurchführung.

Ein besonderer Dank für die Unterstützung im Zuge der Vorbereitung des ebenfalls im Rahmen des Forschungsvorhabens erstellten IKT-Handbuchs „Kanalreinigung“ gilt Frau Dipl.-Ing. (FH) M. Meinen, Herrn T. Kirk von der Stadtentwässerung Hannover, Frau Dipl.-Ing. (FH) D. Trautzsch und Herrn K. Rath sowie Herrn H. Welke von der Stadtentwässerung Göttingen, Herrn H.-J. Thiel von der ESW Entwässerung Stadt Witten, Herrn Dipl.-Ing. T. Schoppen und Herrn F.-J. Kotzanek vom Stadtentwässerungsbetrieb Düsseldorf, Herrn Dipl.-Ing. G. Helmich von den Entsorgungsbetrieben Mühlheim, Herrn Dipl.-Ing. R. Türk von der Stadt Würselen, Herrn F. Cengel von den Wirtschaftsbetrieben Duisburg sowie den Mitarbeitern der Stadtentwässerung der Stadt Detmold.

INHALT

	Seite	
1	Problem-, Zielstellung und Vorgehensweise	1
2	Praxiserfahrungen	4
3	Düsenwirkung	9
4	Belastungen durch HD-Reinigung	22
5	Fazit	29
6	Literaturverzeichnis	31

1 Problem-, Zielstellung und Vorgehensweise

Die Reinigung der Abwasserkanäle gehört zu den Kernaufgaben der kommunalen Netzbetreiber. Sie sichert den Entwässerungskomfort der Bürger, z.B. durch Beseitigung von Geruchsbelästigungen und Verstopfungen, trägt aber auch wesentlich zum Werterhalt der Netze bei, z.B. durch Verringerung von Korrosionserscheinungen. Darüber hinaus wird auch in der **Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwV Kan) [1]** gefordert, dass die Ablagerungssituation auf Grundlage eines Einsatz- bzw. Spülplanes oder, bei Nichtvorliegen eines solchen Planes, alle 2 Jahre überprüft werden muss. Werden bei dieser Überprüfung Ablagerungen festgestellt, sind die im **Runderlass [2] des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft** beschriebenen Maßnahmen durchzuführen. So ist bei Ablagerungshöhen von mehr als 15 % der Profilhöhe (geschätzt) nach Reinigungsplan zu reinigen. Künftig ist mit einer wachsenden Bedeutung der Kanalreinigung zu rechnen, da bei gleichen Rohrdurchmessern deutlich weniger Abwasser abgeleitet wird und damit eine stärkere Bildung von Kanalablagerungen zu erwarten ist. Ursachen sind z.B. Trinkwassereinsparung, Regenwasserrückhalt, und ein verringertes Fremdwasseraufkommen.

Gleichzeitig gibt es jedoch kaum dokumentiertes Wissen über Möglichkeiten zur effizienten, wirkungsvollen und den Rohrwerkstoff schonenden Kanalreinigung. Die Reinigungsarbeit findet weitestgehend im **"Kanal dunkeln"** statt. Auch aus Kostengründen wird meist auf eine Kontrolle des Reinigungserfolges gänzlich verzichtet. Entsprechend hängt auch die Auswahl wichtiger Reinigungsparameter wie Düsen, Düseneinsätze, Pumpendruck und Durchzugsgeschwindigkeit in der Regel allein von den Erfahrungen und subjektiven Einschätzungen der Verantwortlichen vor Ort ab. Belastbare Aussagen als Grundlage für eine weitergehende Optimierung der Reinigungsprozesse und –strategien fehlen. Vor diesem Hintergrund beauftragte das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen das IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen mit dem nachfolgend beschriebenen Forschungsprojekt (Aktenzeichen IV-9-41 105 0122).

Ziel des Vorhabens war es, Empfehlungen für die technische und wirtschaftliche Optimierung des Kanalreinigungsprozesses mit dem Hochdruckspülverfahren zu erarbeiten. Im Vordergrund stand dabei sowohl der optimale Einsatz der verwendeten Geräte als auch die Durchführung des Verfahrens an sich mit Blick auf die wesentlichen verfahrenstechnischen Parameter. Ein besonderes Augenmerk galt der Auswahl geeigneter Düsen für die jeweilige Reinigungsaufgabe sowie der Sicherung der bestehenden Netzsubstanz durch Vermeidung übermäßiger Belastungen aus Hochdruckstrahlen oder Düsenkörper- bzw. Schlauchbewegung.

Um das angestrebte Ziel zu erreichen, wurde eine stark praxisorientierte Vorgehensweise gewählt (Bild 1).

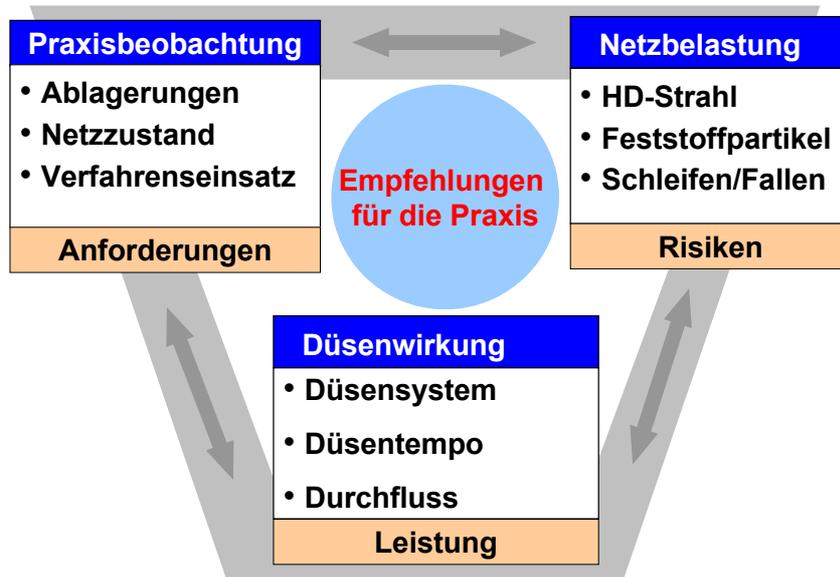


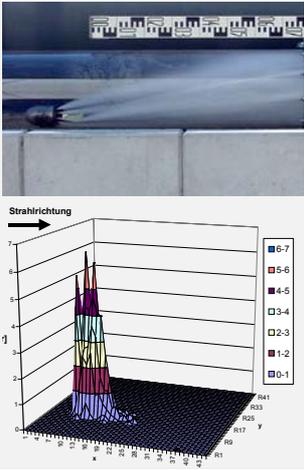
Bild 1: IKT-Forschungsvorhaben „Kanalreinigung mit dem HD-Verfahren“

Zunächst wurden **Reinigungseinsätze in den Kanalnetzen** der beteiligten Netzbetreiber vor Ort begleitet. Im Vordergrund stand dabei insbesondere die Aufnahme von betrieblichen Einflussfaktoren, die in Laborversuchen nur schwer nachzubilden sind, wie Mitarbeiter- und Fahrzeugeinsatz, Reinigungsabläufe und die spezifische Ablagerungs- und Reinigungssituation, wie sie oft erst nach mehrmonatiger Betriebsdauer durch komplexe mechanische und biologische Prozesse entsteht. Die Praxisbeobachtungen bildeten die Basis, d.h. das Anforderungsprofil, für die weiteren labortechnischen Untersuchungen unter reproduzierbaren Randbedingungen.

Die labortechnischen Versuche setzten sich aus Untersuchungen zur **Düsenwirkung** und zu den aus HD-Reinigung resultierenden **Netzbelastungen** zusammen. Dabei wurden zahlreiche der am Markt verfügbaren Düsen und Düseneinsätze hinsichtlich ihrer Hochdruckwasserstrahl-Eigenschaften und Leistungsfähigkeit untersucht, um praxisorientierte Empfehlungen zur Düsenauswahl abzuleiten. Die Aggressivität der Hochdruckstrahlen und ihr tatsächlicher Einfluss auf das Lösen von Ablagerungen wurden ermittelt und die Transport- bzw. Räumleistung der Düsen in Versuchen mit unterschiedlichen Druck- und Durchflussszenarien untersucht. Im Rahmen der Untersuchungen zur Netzbelastung aus HD-Reinigung wurden Grundbelastungsarten identifiziert und Prüfaufbauten zur Simulation dieser Belastungen ausgewählt bzw. entwickelt. Unter Einsatz zahlreicher der heute am Markt vertriebenen Rohrprodukte wurde die Wirkung typischer Belastungen aus HD-Reinigung beobachtet. Kritische Belastungssituationen mit Schadensrisiken konnten so erkannt und Empfehlungen für eine schonende HD-Reinigung abgeleitet werden.

Die nachfolgende Tabelle 1 gibt einen detaillierten Überblick über Aufgabenstellung und Umfang der einzelnen Arbeitsschritte.

Tabelle 1: Untersuchungsprogramm

<h3>1 Praxiserfahrungen</h3>	
	<p>In 6 Kanalnetzen wurden Ablagerungsproben aus 64 Haltungen entnommen und folgende Parameter bestimmt:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Sieblinie, Kornfraktionen, ➤ Trockensubstanz (TS), ➤ Glühverlust (oTS), ➤ Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB). <p>Darüber hinaus wurde die Entwicklung der Ablagerungssituation durch Schachtinspektionen und Haltungsspiegelungen bzw. Inaugenscheinnahme mittels einer Schachtkamera an 2.280 Haltungen über 2 Jahre beobachtet.</p>
	<p>Bei 11 Netzbetreibern wurden über 100 Reinigungseinsätze begleitet. Dabei wurden zahlreiche Düsenprodukte in Kanälen der Nennweiten DN 250, DN 300, DN 400, DN 500, DN 600, DN 700, DN 800 und DN 1000 eingesetzt und durch TV-Inspektion beobachtet.</p> <p>An elf HD-Fahrzeugen wurden die Reinigungsparameter Druck und Durchfluss unmittelbar an der Düse mit einem digitalen Druckmanometer bzw. einem magnetisch induktivem Durchflussmessgerät (MID) gemessen.</p> <p>Darüber hinaus wurde das Betriebspersonal bzw. die beteiligten Dienstleister hinsichtlich der üblichen und speziellen Reinigungsmethoden sowie der Praxisprobleme und der derzeit umgesetzten Lösungsansätze befragt.</p>
<h3>2 Düsenwirkung</h3>	
	<p>Im Rahmen von labortechnischen Untersuchungen wurde die Düsenwirkung unter folgenden Gesichtspunkten untersucht:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Bewegungsverhalten des Düsenkörpers: Im Rahmen der Versuche wurde das Bewegungsverhalten von 6 Düsenprodukten, u.a. bei extremer Düsenbeschleunigung, betrachtet. ➤ Lösewirkung bzw. Aggressivität von HD-Strahlen: Ermittlung von HD-Strahleigenschaften und Messung der Strahldruckverteilung am Auftreffort mittels Druckmessfolien sowie Abbildung der Lösewirkung im Material von Modellablagerungen. ➤ Transportleistung verschiedener Düsensysteme: Untersuchung der Transportleistung von 10 Düsenprodukten in oberirdisch aufgebauten Versuchsstrecken der Nennweite DN 300 und DN 800. Die Versuchsstrecken wurden dazu über 600 mal mit Modellsedimenten befüllt und anschließend gereinigt.
<h3>3 Belastung durch HD-Reinigung</h3>	
	<p>Anwendung von 5 Prüfmethode an neuen Rohrleitungen mit bis zu 12 marktüblichen Rohrprodukten im Hinblick auf</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ das Erkennen von Rohrveränderungen unter üblichen Belastungsbedingungen, ➤ die Bewertung der Prüfmethode hinsichtlich ihrer Aussagekraft für die Praxis und ➤ die Erarbeitung von Empfehlungen zur schonenden Reinigung der Netzsubstanz.

2 Praxiserfahrungen

Zur Erfassung der wesentlichen Randbedingungen des Reinigungsprozesses und als Basis für die Auslegung der praxisorientierten Versuche in den IKT-Prüfstrecken wurden Reinigungseinsätze in den Kanalnetzen der beteiligten Netzbetreiber vor Ort begleitet und die Ablagerungseigenschaften auf Grundlage von umfassenden Probenentnahmen untersucht.

Die örtlichen Netzbedingungen haben einen wesentlichen Einfluss auf Menge und Zusammensetzung von **Kanalablagerungen**. Zunächst gelangen mineralische und organische Abwasserinhaltsstoffe über verschiedene Einleitungsstellen in das Kanalnetz. Sie stammen aus Straßenabläufen, Abwasserschächten, Grundstücksentwässerungen (Dach-/Hofflächen), gewerblichem, häuslichem und industriellem Abwasser, aber auch aus Einspülungen über Undichtigkeiten des Kanalsystems. Die örtlichen Bauwerksgegebenheiten, wie z.B. Nennweite, Querschnittsprofil, Gefälle, Kanalzustand, Entwässerungssystem und Auslastungsgrad, können dann das Sedimentations- bzw. Haftverhalten dieser Stoffe erheblich beeinflussen. So bereiten in Trennsystemen häufig die Anfangshaltungen, in Mischsystemen dagegen eher die großen Hauptsammler einen besonderen Reinigungsaufwand. Im Rahmen des Vorhabens wurden typische Ablagerungssituationen und Abflusshindernisse dargestellt, mögliche Ablagerungseigenschaften bestimmt und das Ablagerungsaufkommen beispielhaft in den Netzen von zwei Kanalnetzbetreibern ermittelt. Im einzelnen lassen sich folgende Ablagerungssituationen unterscheiden (vgl. Bild 2):

- **Lockere Ablagerungen:** Nicht bindige, gleichkörnige Ablagerungen, die ausschließlich aus mineralischen Bestandteilen bestehen, lassen sich i. d. R. leicht lösen und aus dem Netz entfernen. Auch rein organische Ablagerungen sind leicht lösbar, da ihnen die Stabilität aus den mineralischen Kornfraktionen fehlt.
- **Sielhaut:** Zur Vorbereitung einer Kamerainspektion zur Kanalzustandserfassung wird der Kanal gereinigt und dabei grundsätzlich auch die Sielhaut entfernt. In der Regel stellt dies keinen besonderen Aufwand dar, allerdings kann bei großen Dimensionen die vergleichsweise geringe Aufprallenergie des Spülstrahls und unzureichende Spülstrahlbreite einer zuverlässigen Entfernung der Sielhaut entgegenstehen.
- **Schwer lösbare Ablagerungen und Hindernisse:** Ablagerungen können Verfestigungsprozessen im Kanalnetz unterliegen oder bereits als feste Massen in das Netz eingetragen werden. **Verfestigungen** sind meist aus mineralischem und organischem Material aufgebaut. Das organische Material stabilisiert das Gemisch und verleiht ihm kohäsive Eigenschaften; der mineralische Anteil verleiht der Ablagerung Festigkeit. Abwasserinhaltsstoffe, die auf der Rohrwandung stark anhaften, können auf Dauer zu sogenannten **Inkrustationen** führen. **Wurzeln** dagegen dringen durch Muffen, undichte Hausanschluss-Stutzen oder schadhafte

Rohrabschnitte in die Kanalisation ein und können, ebenso wie einragende Bauteile und Hindernisse, die im Abwasser enthaltenen Feststoffe auffangen und schließlich zu **Verstopfungen** führen. In ständig oder zeitweise vollgefüllten Leitungen, wie Dükern oder großen Stauraumkanälen, können sich verstärkt Ablagerungen im Scheitelbereich bilden, wie „**Verzopfungen**“ und **Fettablagerungen**.

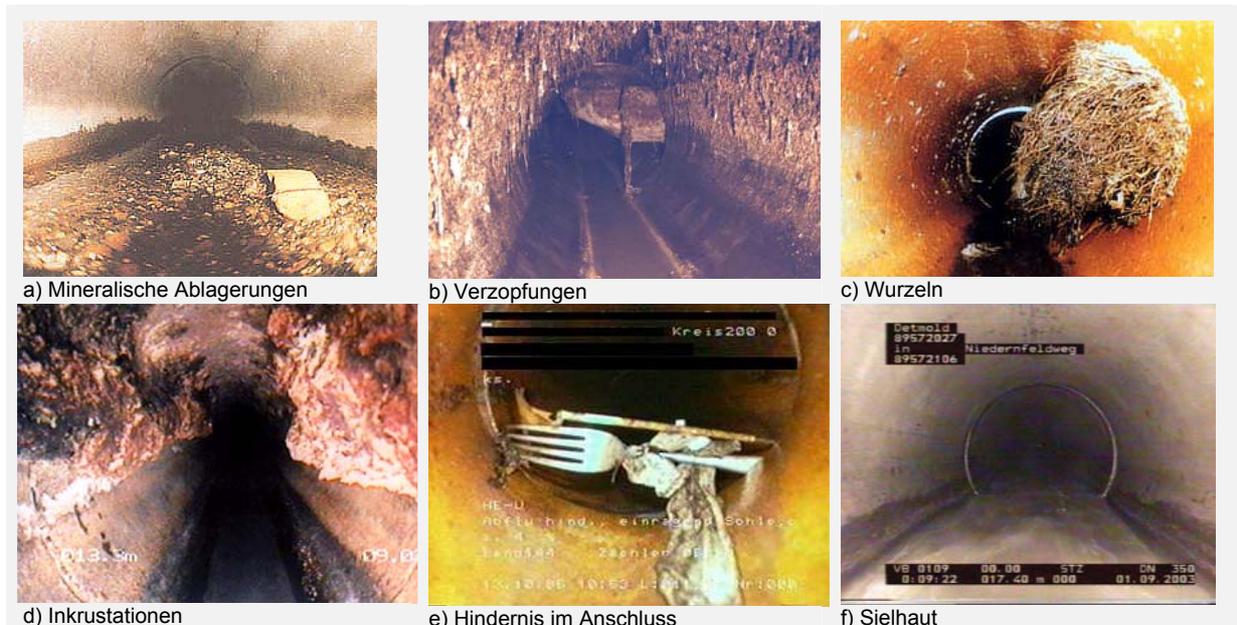


Bild 2: Ablagerungen, Hindernisse und Wurzeleinwuchs im Kanalnetz, Beispiele

Um die **Zusammensetzung von Ablagerungen** näher zu beschreiben und auch **praxisnahe Modellsedimente** für die labortechnischen Versuche auswählen zu können, wurden in den Kanalnetzen der Städte Bochum, Gelsenkirchen, Hagen, Holzwickede, Recklinghausen und München Ablagerungsproben aus insgesamt 64 Haltungen entnommen und unmittelbar nach der Entnahme hinsichtlich der Parameter Trockensubstanz (TS), Glühverlust (σ TS), gesamter Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB_{tot}) und gelöster Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB_{diss}) untersucht. Darüber hinaus wurden im Bodenlabor des IKT die physikalischen Parameter Dichte, mittlerer Korndurchmesser und die Sieblinie ermittelt und mit Literaturangaben verglichen.

Als **Fazit** kann festgestellt werden, dass die Anteile von organischem und mineralischem Material insbesondere in Mischwasserkanälen sehr unterschiedlich ausfallen und auch jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen können. So wurden in vier Haltungen der Stadt München über das gesamte Jahr verteilt mehrfach Proben entnommen. In den Wintermonaten wurde ein erhöhter Eintrag von mineralischem Material, sehr wahrscheinlich Winterstreusplitt, festgestellt. Darüber hinaus verändern sich einige Eigenschaften der Ablagerungen, wie bspw. die

Kohäsion und Lagerungsdichte, mit zunehmendem Alter. Im Einzelfall kann dies evtl. zu einer starken Verfestigung führen.

Um den Einfluss von Netzbedingungen, Ablagerungsgraden, Düsenauswahl und Reinigungsparametern auf die Wirkung von HD-Düsen in den labortechnischen Versuchen vergleichend betrachten zu können, war die Herstellung von reproduzierbaren Ablagerungssituationen notwendig. Zur Nachbildung **leicht lösbarer Ablagerungen** wurde ein Kies-/Sandgemisch 0-16 mm gewählt (vgl. Bild 3, rote Linie), das als repräsentativ für die vor Ort ermittelten Sieblinien angesehen werden kann.

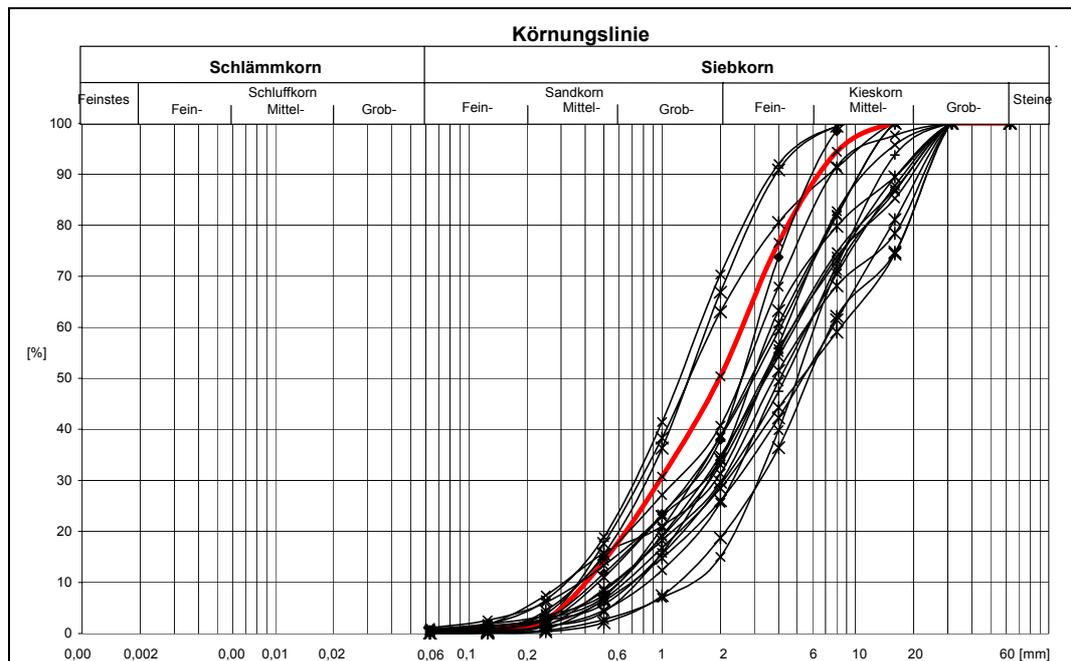


Bild 3: Sieblinie der Modellsedimente (rot), übrige Sieblinien aus Ablagerungsproben

Zur Einschätzung der **Ablagerungsbildung und -mengen** sowie des Einflusses der Reinigungshäufigkeit wurden weitergehende Untersuchungen in den Kanalnetzen durchgeführt. So wurde im Kanalnetz der Gemeinde Holzwickede (Gesamtlänge ca. 92 km) die Entwicklung der Ablagerungssituation an 2.280 Haltungen (entspricht der Gesamtnetzlänge) über 2 Jahre beobachtet. Ausgangspunkt war die Aufnahme der Ablagerungssituation im Schachtgerinne im Rahmen der nach ATV A 147, Teil 1 [3] geforderten 2-jährlichen Schachtinspektion. Darüber hinaus wurden auch die oberhalb und unterhalb angeschlossenen Haltungen eingesehen - zunächst mit Hilfe der klassischen Methode des Spiegels bzw. im zweiten Untersuchungsjahr auch durch eine speziell für diesen Einsatz entwickelte Schacht-Videokamera (vgl. Bild 4).



Bild 4: Ablagerungsbewertung: Im Schacht (links); in den angeschlossenen Zu- und Ablaufhaltungen durch Einsatz einer Zoom-Schachtkamera (mitte, rechts)

In Holzwickede wurden die Ergebnisse der Schachtinspektion und Spiegelung optisch eingeschätzt, und die Verschmutzungssituationen anhand von Bildbeispielen aus der Schachtinspektion in drei Verschmutzungsklassen katalogisiert (vgl. Bild 5 bis Bild 7). Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass in den betrachteten Untersuchungsgebieten zum Zeitpunkt der eigentlich turnusmäßig geplanten Kanalreinigung der **überwiegende Teil** der Haltungen als nur **gering verschmutzt** und somit ohne Reinigungsbedarf bewertet wurde.

Verschmutzung		
Gering	Mittel	Stark
<p>Bild 5: Sichtungsergebnis: Strömung laminar Konsistenz feinkörnig</p>	<p>Bild 6: Sichtungsergebnis: Strömung unruhig Konsistenz sämig/lose</p>	<p>Bild 7: Sichtungsergebnis: Strömung stehend Konsistenz z.T. tonartig</p>

Die Literaturangabe [4], dass „im Allgemeinen Ablagerungen in Kanälen nicht als kontinuierliche Fläche sondern als Dünen auftreten, die Längen zwischen 2 m und 5 m besitzen“, konnte im Rahmen der Untersuchungen bestätigt werden. Große Ablagerungsmengen und hartnäckige Inkrustationen traten hier nur in Ausnahmefällen und fast immer aufgrund von Besonderheiten der örtlichen Netzsituation, z.B. durch seitlich steil angeschlossene Zuläufe, die den Abfluss im Hauptkanal einschränken, auf.

Der **Reinigungsablauf vor Ort** am Arbeitsschacht gliederte sich im Rahmen der begleiteten Reinigungseinsätze bei elf Netzbetreibern i.d.R. in die Arbeitsschritte

„Herablassen der HD-Düse in den Schacht“, „Einschwenken in den Zulauf“, „Einspülen“, „Rückzug von Schlauch und HD-Düse“ und „Absaugen des Spülwassers“. Grundsätzlich wurden die eingesetzten Geräte, wie HD-Fahrzeug, HD-Pumpe, HD-Schlauch und weitere Reinigungswerkzeuge durch das Betriebspersonal in Abhängigkeit der jeweiligen **Reinigungssituation**, d.h. Bauwerks-, Netz- und Ablagerungsbedingungen, ausgewählt.



Insgesamt zeigten die **Praxiserfahrungen**, dass vor einem Reinigungseinsatz häufig nicht bekannt ist, ob überhaupt Ablagerungen im Kanal zu erwarten sind und welche Beschaffenheit diese haben könnten. Insbesondere wenn die Kanalreinigung an private Dienstleister vergeben wird, fließen kaum Betriebsinformationen über das Ablagerungsaufkommen an den auftraggebenden Kanalbetrieb zurück. In der Folge fehlen die notwendigen Planungsgrundlagen zur Spülplanerstellung, so dass auch

die Möglichkeiten zur eigenverantwortlichen Selbstüberwachung und Reinigungsplanung nach SÜwV Kan [1] bzw. Runderlass [2] nicht optimal genutzt werden können. Vor diesem Hintergrund empfiehlt es sich, die Bewertung der Ablagerungssituation **vor und während der Reinigung** in das Reinigungsprotokoll mit aufzunehmen. Weitergehende Informationen zur Ablagerungssituation können darüber hinaus im Rahmen der nach ATV 147, Teil 1 alle zwei Jahre durchzuführenden **Schachtinspektionen** gewonnen werden, indem im gleichen Arbeitsgang die Ablagerungssituation im Schachtgerinne bewertet wird. Mit Blick auf die eingesetzte Gerätetechnik wurde deutlich, dass einige Netzbetreiber über leistungsstarke HD-Pumpensysteme verfügen und diese in Einzelfällen auch mit Düsendrücken über 120 bar und Förderströmen von mehr als 320 l/min betreiben.

3 Düsenwirkung

Im Rahmen der Untersuchungen zur Düsenwirkung wurden zahlreiche der am Markt verfügbaren **Düsen und Düseneinsätze** untersucht (vgl. Marktübersicht „HD-Düsen“ unter www.ikt.de). Ziel war es, praxisorientierte Empfehlungen zur Düsenauswahl zu entwickeln. Hierzu wurden die Bewegungen der Düsen beobachtet, die Aggressivität der Hochdruckstrahlen und ihr tatsächlicher Einfluss auf das Lösen von Ablagerungen beschrieben und die Transport- bzw. Räumleistung der Düsen in Versuchen mit unterschiedlichen Druck- und Durchflussszenarien untersucht. Im Vordergrund dieser praxisorientierten Untersuchungen stand die Identifizierung und Beobachtung der wesentlichen Einflussfaktoren, wie Betriebsparameter, Düseneigenschaften und Ablagerungssituation, für die Reinigungsleistung von Hochdruckdüsen und deren Wechselwirkungen mit der Kanalrohr-Beanspruchung. Den Schwerpunkt bildeten rundumstrahlende und flachstrahlende Düsen, da diese in der Betriebspraxis, in den Standardsituationen der Unterhaltungsreinigung, am häufigsten eingesetzt werden.

3.1 Transportleistung

Die Transport- bzw. Räumleistung der Düsen wurde in Versuchen mit unterschiedlichen Druck- und Durchflussszenarien untersucht. Insbesondere der Rückzugsgeschwindigkeit kam dabei eine besondere Bedeutung zu. Voraussetzung für eine vergleichende Betrachtung war die Herstellung von reproduzierbaren Ablagerungssituationen. Hierzu wurden zwei oberirdische Versuchsstrecken von jeweils ca. 35 m Länge mit den Nennweiten DN 800 (PVC) bzw. DN 300 (Plexiglas) errichtet.



Bild 9: IKT-Prüfstrecken DN 300 (Plexiglas) und DN 800 (PVC)

Die **Modellsedimente** (lockere bis leicht verfestigte Ablagerungen; Kies-/Sandgemisch 0-16 mm) wurden in den Versuchen auf einer Prüfstreckenlänge von ca. vier, sieben und in Einzelfällen sogar 35 Meter Länge eingebaut. Die Einbauhöhe bzw. der Verschmutzungsgrad betrug dabei 15%, 30%, 45% bzw. auch 100 % (Verstopfung, DN 300) des Rohrdurchmessers.



Bild 10: Versuchsstrecke DN 800: Befüllen der Versuchsstrecken mit Modellsedimenten (links), Füllstandskontrolle (rechts)

In den Versuchsstrecken DN 300 und DN 800 wurden **10 unterschiedliche Düsen-Systeme** unter Variation der Reinigungsparameter Düsendruck, -durchfluss und -geschwindigkeit betrachtet. Die Ausstattung der Düsenysteme mit Düseneinsätzen erfolgte nach Herstellerangaben. Im Versuchskanal DN 800 kamen neben rundumstrahlenden Düsen auch flachstrahlende Düsen (Sohlenreiniger) zum Einsatz. Zur Durchführung der Reinigungsversuche wurden marktübliche Hochdruck-Spülfahrzeug eingesetzt (vgl. Bild 11). Für jeden Versuch wurden das Bewegungsverhalten der Düse, die Anzahl der notwendigen Reinigungszyklen zur vollständigen Reinigung der Versuchsstrecke, die Zugleistung bzw. das Vermögen, die Ablagerungen zu überwinden, und evtl. auftretende Besonderheiten dokumentiert. Insgesamt wurden über 600 Einzelversuche (einschließlich Vorversuche) durchgeführt und gezielt Parametervariationen vorgenommen. Dies

betraff insbesondere die Wahl des Verschmutzungsgrades, der Düsen, der Düsen-Rückzugsgeschwindigkeit und des Förderstroms.



Bild 11: Einsatz von HD-Spülfahrzeugen im Räumversuch DN 800 (links); vor dem Versuch wurden die Betriebsparameter (Druck und Durchfluss) mit MID-Durchflussmessgerät und Druckaufnehmer für das jeweilige Düsensystem gemessen (rechts)

Mehrere Reinigungszyklen wurden im Rahmen der Transportversuche immer dann notwendig, wenn die Düse unter den eingestellten Randbedingungen nicht in der Lage war, die aufgewirbelten Ablagerungsmengen vollständig weiter zu transportieren. Dann entsteht durch die erneute Ablagerungsbildung ein Wasserrückstau vor der Düse, der zusätzlich die Reinigungswirkung der Hochdruckstrahlen reduziert. Typischerweise bildet sich dabei wiederum eine Ablagerungsbank, die dann von der Düse überfahren wird und im Kanal zurückbleibt (vgl. Bild 12).

Für das Bedienpersonal am Fahrzeug war dieser Vorgang nur in Extremfällen anhand der Schlauchbewegungen bzw. des stockenden Rückzugs feststellbar, wenn sich z.B. Schlauch und Düse in den zuvor aufgewirbelten Ablagerungen festgesetzt hatten. In einigen Fällen, insbesondere bei geringer Durchflussrate und niedriger Einlassgeschwindigkeit, konnte die Düse die Modellsedimente erst gar nicht überfahren und grub sich in die Ablagerungsbank ein. Erst durch erneutes Zurückziehen der Düse und deutliche Erhöhung des Pumpendrucks konnte die Ablagerung überwunden werden.



Bild 12: Transportversuche. A: Düse an der Leistungsgrenze. B: Situation bei abgestellter Düse. C: Düse versinkt im Rückstau. D: Düse überfährt Ablagerungen.

Im Gesamtblick der Transportversuche für die Teststrecken DN 300 und DN 800 lassen sich folgende Schlussfolgerungen festhalten (s.a. Tabelle 2):

In der Versuchsstrecke **DN 300** (Plexiglas) wurde deutlich, dass auch mit niedrigeren Förderströmen (ca. 240 l/min) und schnelleren Düsenrückzugsgeschwindigkeiten (ca. 24 m/min) bereits eine ausreichende Transportleistung erzielt werden kann, um größere Ablagerungsmengen zu transportieren. Dies lässt sich im Wesentlichen dadurch begründen, dass insbesondere in kleineren Querschnitten die Sedimente nicht nur durch das beschleunigte Spülwasser, sondern auch in besonderem Maße durch den Luftstrom mitgerissen und transportiert werden. Vor diesem Hintergrund wirken sich Leistungsunterschiede von HD-Düsen im Hinblick auf den Feststofftransport vornehmlich nur bei extremen Ablagerungsmengen und –graden aus.

In der Versuchsstrecke **DN 800** (PVC) zeigte sich, dass bei einem Füllgrad von 15 % der Querschnittshöhe alle Düsen die Modellsedimente mit einem einzigen Reinigungszyklus aus der Versuchsstrecke befördern konnten. Jedoch stieg bei Füllhöhen von 30 % und 45 % (auf einer Länge von ca. 4 Metern) die Anzahl der notwendigen Reinigungszyklen deutlich an. Eine Verbesserung der Transportleistung

zeigte sich bei Erhöhung des Förderstroms, z.B. auf 320 liter/min. Mit niedrigen Rückzugsgeschwindigkeiten (12 m/min) ließen sich die Reinigungssituationen häufig in einem einzelnen, stets aber in maximal zwei Zyklen bewältigen. Auch im Kanal DN 800 zeigten die verschiedenen Düsenprodukte erkennbare Unterschiede in der Transportleistung.

Tabelle 2: Durchschnittlich notwendige Reinigungszyklen in labortechnischen Transportversuchen in den Teststrecken DN 300 (Plexiglas) und DN 800 (PVC)

REINIGUNGSSITUATION <small>Ablagerungsbank, ca. 4 m lang, in einem Kunststoffrohr mit glatter Oberfläche, Füllgrad in % der Querschnittshöhe</small>		DN 300		DN 800	
		Düsenrückzugsgeschwindigkeit [m/min]		Düsenrückzugsgeschwindigkeit [m/min]	
Füllgrad [%]	Förderstrom [l/min]	12	24	12	24
15	320	1	1	1	1
	280	1	1	1	1
	240	1	1	1	1
30	320	1	1	1,28	2,00
	280	1	1	1,33	2,00
	240	1	1	1,50	2,25
45	320	1	1	2,00	2,00
	280	1	1	2,00	2,25
	240	1	1,33	2,00	3,25
100	320	1,50	1,67	n.u.	n.u.
	280	1,50	1,83	n.u.	n.u.
	240	1,50	2,33	n.u.	n.u.

3.2 Lösewirksamkeit

Bevor verfestigte Ablagerungen transportiert und aus dem Kanal geräumt werden, müssen sie zunächst von der Rohrwandung gelöst werden. In der Betriebspraxis der Unterhaltungs-Reinigung - zur Verbesserung der hydraulischen Kanaleigenschaften - stellt das **Lösen von Ablagerungen** jedoch vergleichsweise selten ein Problem dar. Starke Verfestigungen und hartnäckige Inkrustationen sind eher die Ausnahme und dabei oft Ursache einzelner Fehleinleitungen, z.B. aus Abscheideanlagen oder Baustellenrückständen. Dann haften sie häufig so hartnäckig an der Rohrwandung, dass seltener HD-Düsen, sondern bevorzugt an die Einzelfallsituation angepasste Spezialwerkzeuge wie bspw. Kettenschleudern oder Kanalfräsen angewendet werden.

Die Lösewirksamkeit von Düsen wird häufig dann diskutiert, wenn die gesamte Rohrwandung vorbereitend für eine Inspektions- oder Sanierungsmaßnahme **komplett** zu reinigen ist. In diesem Fall bestimmen die für die jeweilige Düse charakteristischen Hochdruck-Wasserstrahleigenschaften in Verbindung mit den angewendeten Betriebsparametern (Druck, Durchfluss und Geschwindigkeit der Düse) wesentlich den Reinigungserfolg (vgl. Bild 13).

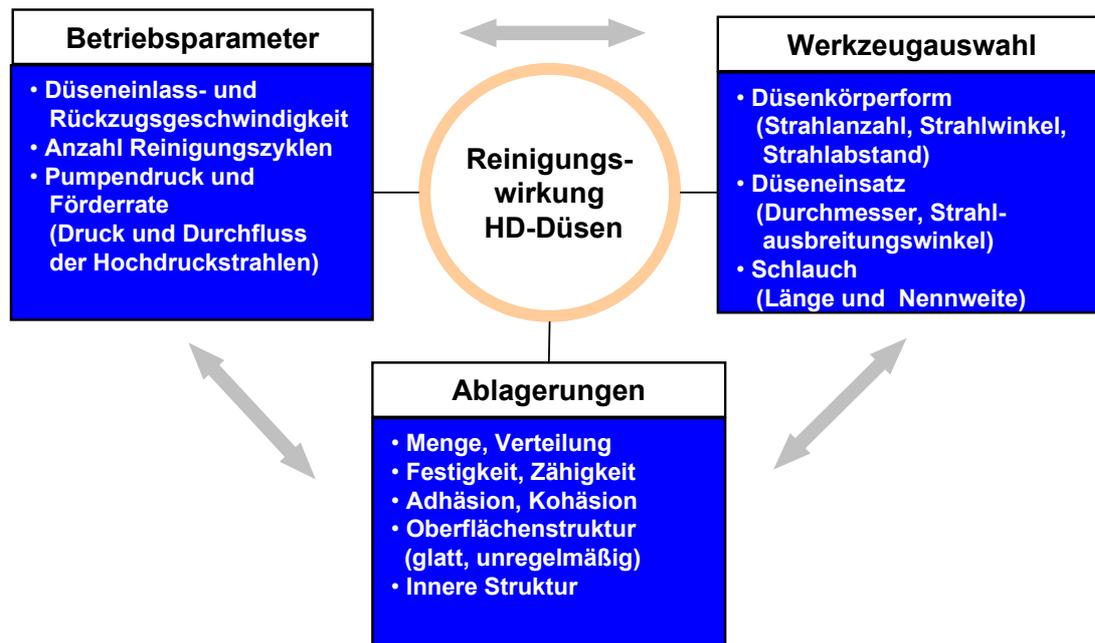


Bild 13: Einflüsse auf die Reinigungswirkung von HD-Düsen

Zunächst wurde das **Strahlbild** rundumstrahlender Düsen näher erfasst. Dabei zeigten die Düsensysteme sehr unterschiedliche Strahlbilder bei annähernd gleichen Reinigungsparametern (Durchfluss und Druck an der Düse). Es wurden sowohl sehr kompakte und gebündelte Strahlen als auch weit auffächernde Strahlen beobachtet. Die charakteristische Ausbildung des Einzelstrahls ist maßgeblich von der Wasserführung am Düsenaustritt bzw. von der Geometrie des Düseneinsatzes abhängig (vgl. Bild 14).

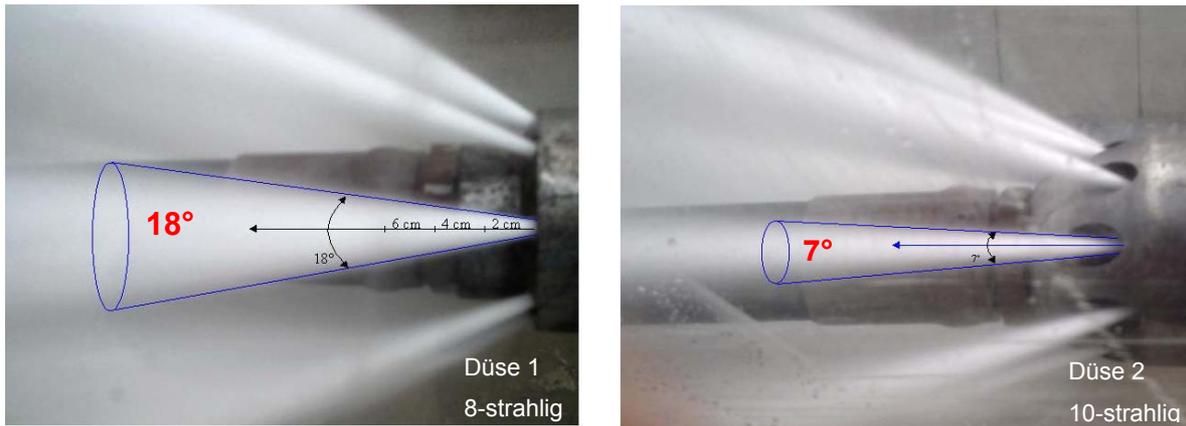


Bild 14: Strahlausbreitungswinkel von zwei Düsen bei gleichem Druck (120 bar) und Gesamtdurchfluss (320 liter/min)

Um die **Wirkung von HD-Strahlen** am Auftreff-Ort untersuchen zu können, wurden eine Versuchseinrichtung und ein Messprogramm entwickelt, mit denen Strahl- und Druckbild von HD-Einzelstrahlen weitgehend erfasst werden konnten (vgl. Bild 15). Ziel der Versuche war es, die charakteristische Druckverteilung von HD-Strahlen auf einer bestrahlten Oberfläche messen zu können. Dazu wurde jeweils ein einzelner Strahl einer mehrstrahligen Düse auf eine **Druckmessfolie** geleitet.

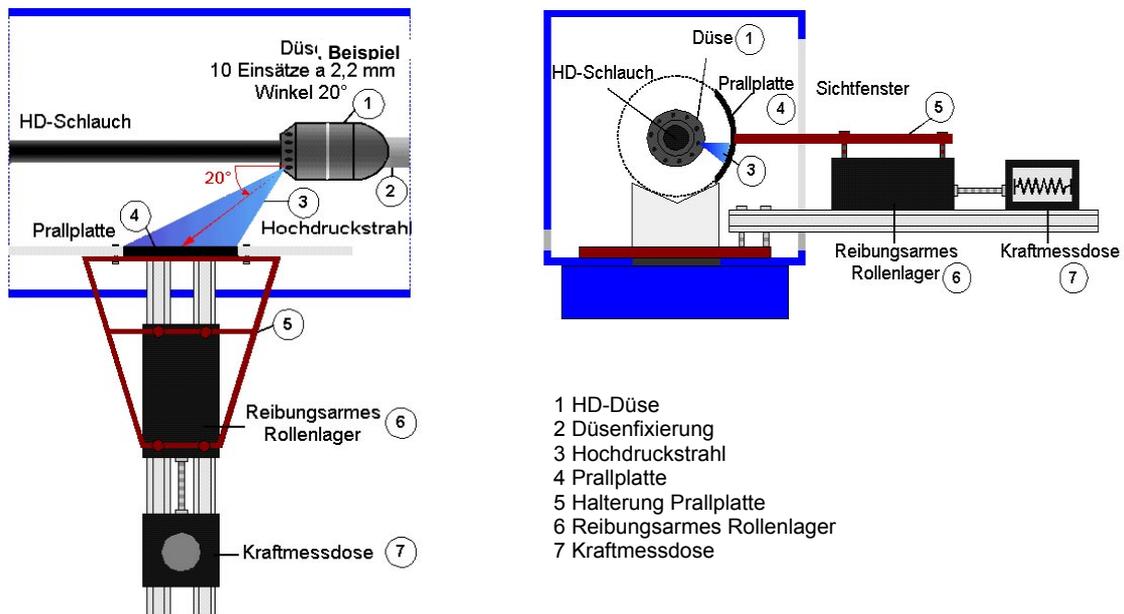


Bild 15: Prinzipskizze der Versuchseinrichtung zur Messung der Strahlkraft und Strahldruckverteilung am Auftreffort eines HD-Strahls

In den Versuchen wurden die Strahlbilder von zwei Düsen untersucht. Bei der Auswahl der Düsen wurden unterschiedliche Strahlausbreitungswinkel und Strahldurchflüsse berücksichtigt. Insgesamt wurden weit über 200 Versuche mit der Messfolie aufgezeichnet. Dabei wurde die **Strahlauftrefffläche** bestimmt und deren Form betrachtet.

Neben der Düsengeometrie bestimmen die Betriebsparameter Durchfluss und Druck an der Düse entscheidend die Strahlkraft und Druckverteilung. Um diese Parameter während der Versuche kontinuierlich aufnehmen zu können, wurde die in Bild 16 dargestellte Messtechnik vor dem Düsen-Versuchsstand eingerichtet. So konnten charakteristische Düsenkennlinien für den Durchfluss und Druck vor der Düse ermittelt werden.

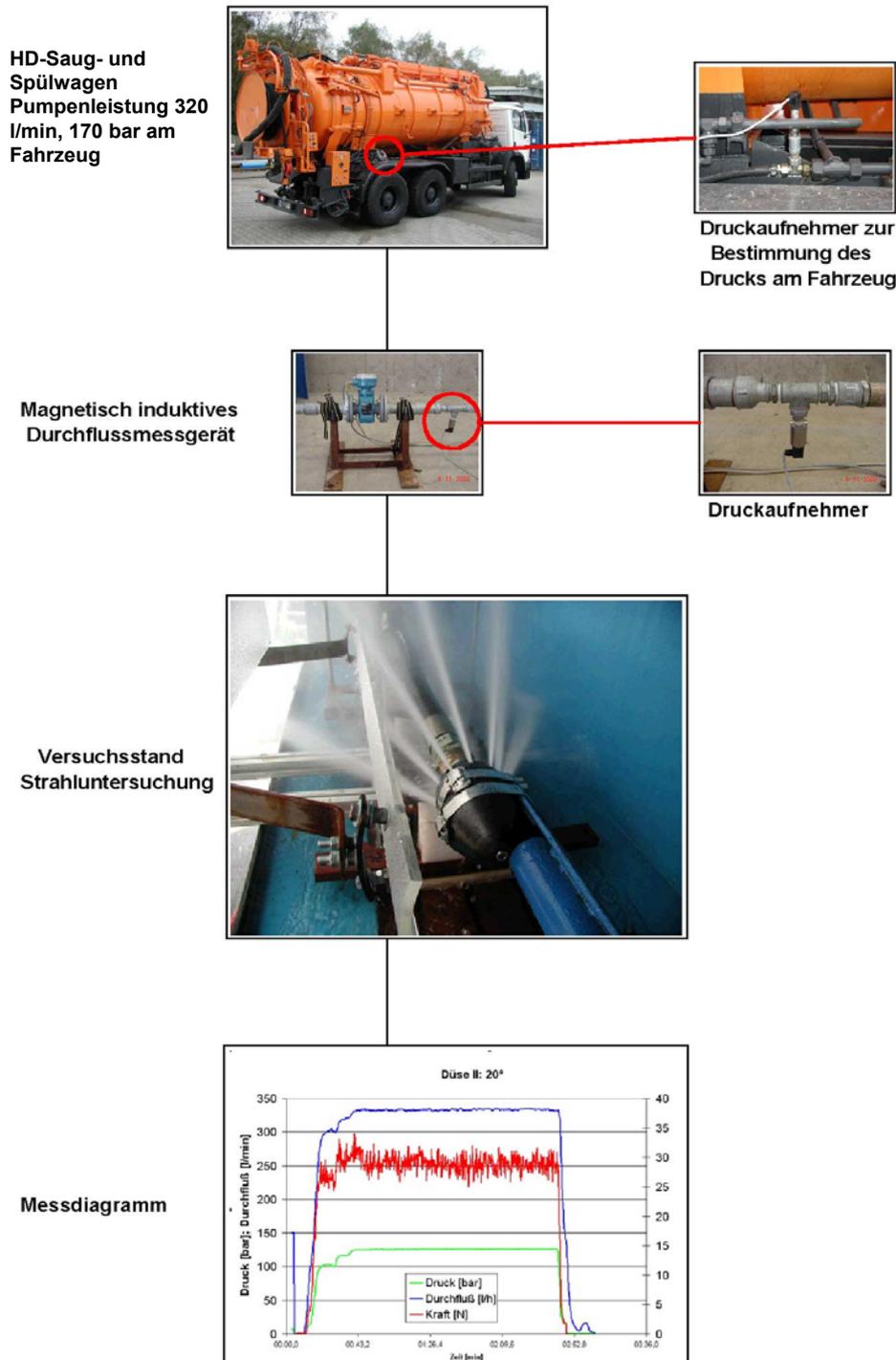


Bild 16: Versuchsaufbau mit Darstellung der einzelnen Messstellen und des Messergebnisses

Es zeigte sich, dass die über Drucksensoren ermittelte Auftreff-Fläche deutlich größer ist, als nach der geometrischen Betrachtung zu erwarten war. Die Anschauung der Druckbilder und auch die Beobachtung von HD-Strahlen in einem durchsichtigen Plexiglaskanal lassen vermuten, dass ein Teil des auftreffenden Wassers zurückspritzt, aber ein anderer Teil als Film über die Oberfläche abfließt und eine Druckkraft ausübt.

In den gemessenen Druckprofilen waren prinzipiell ausgeprägte Druckspitzen im Strahlkern erkennbar (vgl. Tabelle 3). Ein Vergleich der **Druckbilder für verschiedene Düseneinsätze** zeigte, dass diese einen erheblichen Einfluss auf das Strahldruckbild haben. Inwieweit diese Eigenschaften des Druckprofils tatsächlich die Aggressivität bzw. abrasive Wirkung des HD-Strahls gegenüber einer Ablagerung oder einem Rohrwerkstoff charakterisieren, konnte allein auf Basis dieser Messungen aber nicht geklärt werden. Anschaulich ist die abrasive Wirkung eines HD-Strahls auf eine Oberfläche immer auch von der Einwirkzeit und den dortigen Materialeigenschaften abhängig. Vor diesem Hintergrund wurden weitergehende Versuche zur Abbildung der **Lösewirkung von HD-Strahlen an Modellsedimenten** durchgeführt. Im Rahmen von ersten Vorversuchen wurden Rohrsegmente mit Mörtel beschichtet und durch einzelne Hochdruckwasserstrahlen belastet (Bild 17).



Bild 17: Abrasion an Modellsedimenten aus Mörtel durch stationären HD-Strahl

Um die Abrasionswirkung am Auftreffort reproduzierbar untersuchen zu können, wurden weitergehende Untersuchungen mit industriell hergestellten Steinen aus **Porenbeton** durchgeführt. Neben abrasivem Materialverhalten waren auch Abplatzungen zu erkennen. Im Kanalnetz sind ebenfalls deutliche Unterschiede im Materialverhalten von Inkrustationen und Verfestigungen zu erwarten, da sie meist aus unterschiedlichen Quellen und Entstehungsprozessen stammen. Die Versuche mit Porenbeton stellten vor diesem Hintergrund Orientierungsversuche dar, um die grundsätzlichen Einflüsse von Strahlgeometrie und Belastungsparametern auf die Abrasionswirkung von HD-Strahlen zu erfassen. Insgesamt wurden in dem Düsen-Versuchsstand weit über 500 Belastungsversuche an simulierten Modell-Verfestigungen (Mörtel und Porenbeton) mit variierenden Parametern (Strahlabstand, Auftreffwinkel, Abstrahlwinkel, Ausbreitungswinkel sowie Druck und Durchfluss) durchgeführt. Die entwickelte Versuchsanordnung ermöglicht es, die Strahlcharakteristik eines HD-Strahls in Abhängigkeit von Düsendruck, Strahlabstand und Einwirkzeit kompakt auf einem Porenbetonstein abzubilden (vgl. Bild 18).

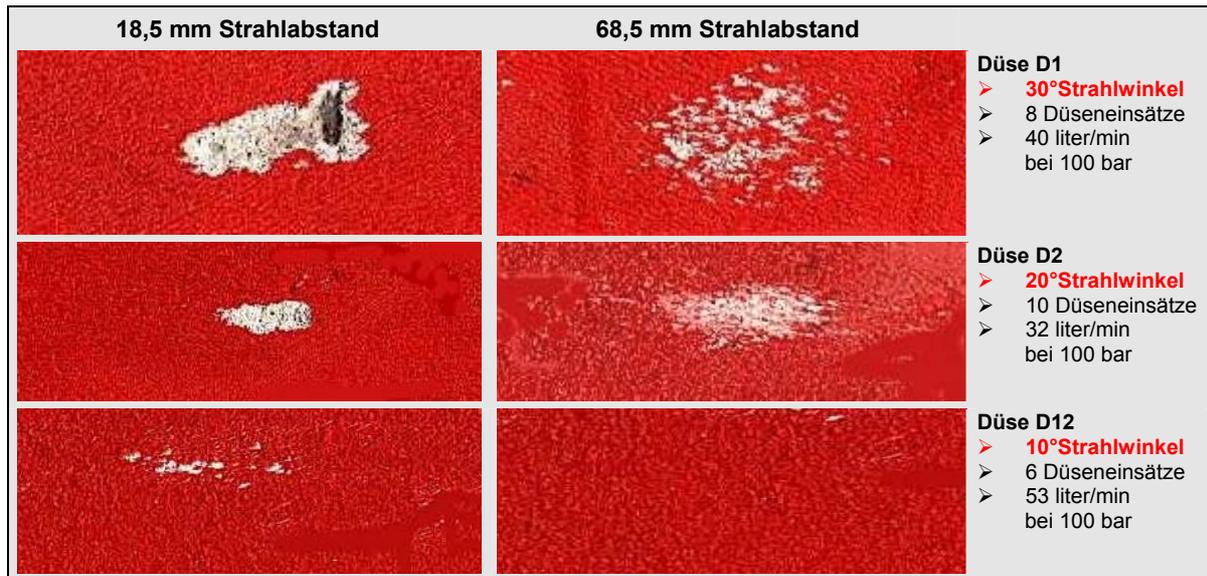


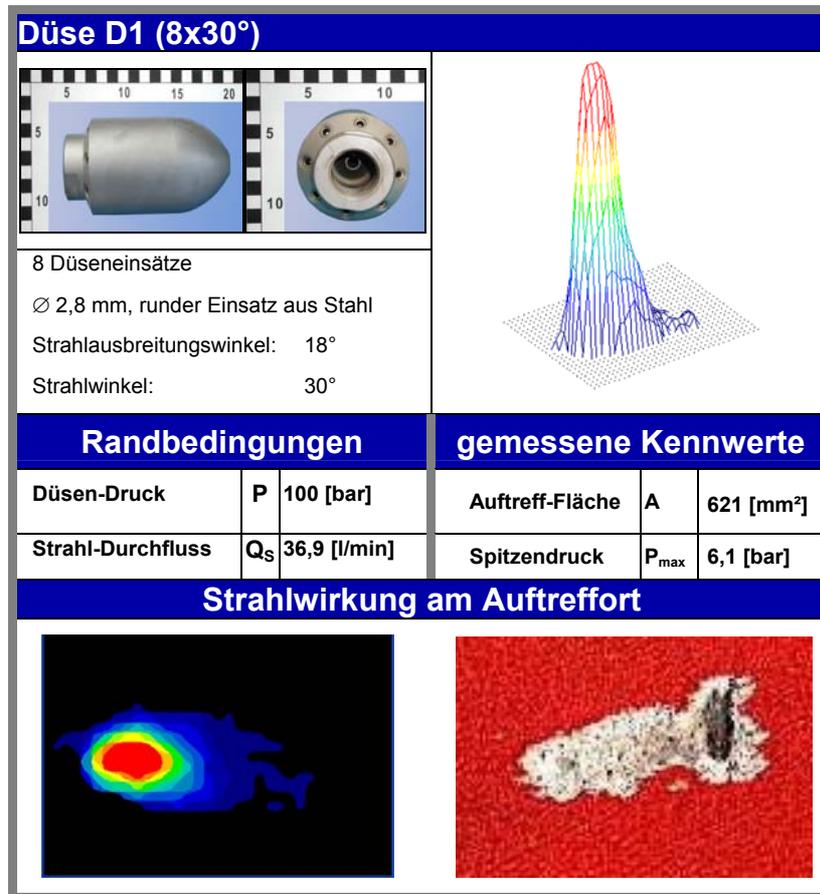
Bild 18: Erosion des HD-Strahls an Porenbeton bei verschiedenen Strahlabständen und Düseneigenschaften

Im Rahmen der Erosionsversuche wurde insbesondere der große **Einfluss des Strahlabstandes** auf die Druckspitzenwerte deutlich. Im Beispiel (vgl. Bild 18) ist nach einer Erhöhung des Abstandes um 50 mm von 18,5 auf 68,5 mm selbst bei dem hohen Strahlwinkel von 30° kaum noch Materialabtrag feststellbar.

Der **Strahlwinkel** hat ebenfalls großen Einfluss auf die Abrasionswirkung des Strahls. Während im Beispiel bei einem Strahlwinkel von 30° deutlicher Materialabtrag auftritt, ist bereits bei einem Strahlwinkel von 20° selbst bei kurzem Strahlabstand lediglich geringer Abtrag feststellbar. Bei einem Strahlwinkel von 10° ist nur noch optisch kleinflächiger Abrieb erkennbar, eine Abtragstiefe ist nicht mehr messbar.

Vor diesem Hintergrund stellte sich die Frage, inwieweit die Düseneigenschaften unter reproduzierbaren Randbedingungen charakterisiert werden können. Ein Auswertungsbeispiel gibt Tabelle 3. Für die dort dargestellte Düse (8 x 30°) sind u.a. die Strahlauftreff-Fläche, der Spitzendruck und die Wirkung am Auftreffort dargestellt.

Tabelle 3: Auswertungsbeispiel zur Strahldruckverteilung für eine Düse bei 100 bar Düsendruck, Strahlabstand 18,5 mm und einer Messdauer von 10 sec



3.3 Empfehlungen zur Düsenauswahl

In der Reinigungspraxis wird aus Kostengründen oftmals auf eine Ergebniskontrolle verzichtet. Somit kann der Reinigungserfolg im Wesentlichen nur durch Einsatz leistungsfähiger Düsen und die Einstellung geeigneter Reinigungsparameter gesichert werden. Ziel ist es darüber hinaus, Betriebsstoffe einzusparen und Schadensrisiken zu vermindern, z.B. durch Verringerung der Anzahl der Reinigungszyklen bzw. der Reinigungszeit.

Aufgrund der Produktvielfalt (Düsen und Düseneinsätze) und unterschiedlichen Randbedingungen im jeweiligen Kanalnetz (Ablagerungen, Netzzustand) empfiehlt es sich grundsätzlich, vor jedem Kauf einer HD-Düse die Leistung des Düsenprodukts **vor Ort stichprobenhaft mit begleitender TV-Inspektion zu überprüfen**. Für diese Düsen-Tests bietet es sich an, möglichst extreme Reinigungssituationen (z.B. hartnäckige Ablagerungen oder hohes Ablagerungsaufkommen) auch in kritischen Netzbereichen (Schwachstellen, ausgebeesserte Streckenabschnitte) entsprechend dem Anwendungsgebiet der HD-Düse auszuwählen.

Auch um frühzeitig zu erkennen, ob Düsen in der Praxis zu **auffälligen Bewegungen** neigen, empfiehlt es sich, das Laufverhalten der Düsen bereits vor dem Kauf zu testen. Insbesondere beim Einsatz von Sohlenreinigern besteht bei unausgewogenen Strahlbildern und Hindernissen die Gefahr des Kippens des Düsenkörpers mit nahezu vollständigem Verlust der Reinigungswirkung. Darüber hinaus zeigten einzelne Düsen bei extremen Betriebsparametern bzw. übersteuerten HD-Strahlen weitere Auffälligkeiten bis hin zum Schweben des Düsenkörpers im Rohrscheitel. Aussagen zum Bewegungsverhalten und zur Leistungsfähigkeit von 5 bis 10 Düsenprodukten lassen sich dabei bereits im Rahmen eines Tageseinsatzes mit einem einzelnen Reinigungsfahrzeug erzielen.

Aufbauend auf den erhobenen Betreibererfahrungen und den Erkenntnissen des Untersuchungsprogramms sind in Tabelle 4 die wesentlichen Reinigungssituationen tabellarisch zusammengestellt und in Abhängigkeit der möglichen Netzbedingungen konkreten Reinigungsempfehlungen zugeordnet.

Tabelle 4: Auswahl von HD-Reinigungswerkzeugen

REINIGUNGSWERKZEUG					
					
rundumstrahlende Düse	rotierendstrahlende Düse ¹⁰	flachstrahlende Düse	Ejektor-düse ⁷	vorstrahlende (Stocher-) Düse	Spezialgerät ⁸
EMPFEHLUNG					
	zuverlässig wirksam ¹	Nennweite ³	klein ⁹ DN 200 – DN 400	mittel DN 500 – DN 1200	groß ⁴ > DN 1200
	geeignet ²				
Sielhaut wird z.B. zur Vorbereitung einer Inspektion entfernt. Dies ist insbesondere bei großen Nennweiten technisch schwierig und aufwendig.	Werkzeug ⁵				
	Anwendung	Reinigungszyklen 1-2 Düsenwinkel 20° - 30° Düsenrückzug ≤ 24 m/min Förderstrom ≤ 280 l/min	Reinigungszyklen 1-3 Düsenwinkel 20° - 30° Düsenrückzug ≤ 24 m/min Förderstrom ≤ 280 l/min	Reinigung der gesamten Rohrwandung äußerst aufwändig; oft manuelle Reinigung notwendig	
Lockere Ablagerungen ⁶ lassen sich i. d. R. leicht lösen und aus dem Netz entfernen. Aufwändig wird die Aufgabe erst, wenn größere Mengen zu transportieren sind. Sind sie eher gering, können Reinigungsintervalle ggf. verlängert werden.	Werkzeug ⁵				
	Anwendung	Reinigungszyklen 1 Düsenwinkel ≤ 20° frei wählbar Förderstrom ≤ 280 l/min	Reinigungszyklen 1 Düsenwinkel ≤ 20° Düsenrückzug ≤ 24 m/min Förderstrom ≤ 280 l/min	Reinigungszyklen 1-2 Düsenwinkel ≤ 20° Düsenrückzug ≤ 12 m/min Förderstrom ≤ 320 l/min	häufig manuelle Reinigung in Kombination mit HD-Düsen notwendig
Hohes Ablagerungsaufkommen erfordert häufig mehrere Reinigungszyklen. Im Extremfall kann sogar eine abschnittsweise Reinigung der Haltung notwendig sein. Die Ursache für das hohe Aufkommen sollte zur Reinigungsplanung bekannt sein.	Werkzeug ⁵				
	Anwendung	Reinigungszyklen oft > 1 Düsenwinkel ≤ 20° Düsenrückzug ≤ 24 m/min Förderstrom ≤ 280 l/min	Reinigungszyklen oft > 1 Düsenwinkel 20° - 30° Düsenrückzug ≤ 12 m/min Förderstrom ≤ 280 l/min evtl. auch Einsatz einer Vibrationsdüse hilfreich	Reinigungszyklen oft > 1 Düsenwinkel 20° - 30° Düsenrückzug ≤ 12 m/min Förderstrom ≤ 320 l/min evtl. auch Einsatz einer Vibrationsdüse hilfreich	oft manuelle Reinigung in Kombination mit Spezialgeräteeinsatz notwendig
Verfestigte Ablagerungen können aus Verfestigungsprozessen im Kanalnetz stammen (Fette, Inkrustationen) oder bereits als feste Massen eingetragen werden, z. B. Baustellenrückstände. Extreme Verfestigungen sind oft nur mit Spezialgeräten lösbar.	Werkzeug ⁵				
	Anwendung	Reinigungszyklen oft > 1 Düsenwinkel 20° - 30° Düsenrückzug ≤ 12 m/min Förderstrom ≤ 280 l/min evtl. auch Einsatz einer Vibrationsdüse hilfreich	Reinigungszyklen oft > 1 Düsenwinkel 20° - 30° Düsenrückzug ≤ 12 m/min Förderstrom ≤ 320 l/min evtl. auch Einsatz einer Vibrationsdüse hilfreich	oft manuelle Reinigung in Kombination mit Spezialgeräteeinsatz notwendig	
Wurzeleinwuchs ⁴ tritt an Muffen, undichten Hausanschluss-Stutzen oder schadhafte Rohrabschnitten auf. Dort bilden sie nach anfänglich feinen Haarwurzeln dichte Wurzelbüsche aus, die den Abfluss stark behindern können.	Werkzeug ⁵				
	Anwendung	Einsatz in Abhängigkeit der Verwurzelung und des Rohrwerkstoffs, unter Kamerabeobachtung	Einsatz in Abhängigkeit der Verwurzelung und des Rohrwerkstoffs, unter Kamerabeobachtung	ausschließlich manuelle Reinigung möglich, evtl. in Kombination mit Spezialgeräten	
Verstopfung ⁴ der Leitung durch besondere Abflusshindernisse. Reduzierung des hydraulischen Querschnitts. I.d.R. tritt dies nur aufgrund besonderer Ursachen auf. Grundsätzlich empfiehlt sich die Spülwasserbeobachtung (Rohrscherben).	Werkzeug ⁵				
	Anwendung	Einsatz in Abhängigkeit der Verstopfungssituation, Ursachenermittlung durch Kamerabegleitung der Nacharbeiten	Einsatz in Abhängigkeit der Verstopfungssituation, Ursachenermittlung durch Kamerabegleitung der Nacharbeiten	manuelle Reinigung erst nach Beseitigung des Rückstaus möglich, evtl. in Kombination mit Spezialgerät	
Anmerkung: Werkzeuge und Anwendungsparameter sind grundsätzlich situationsabhängig zu wählen. Die Empfehlungen dienen als Orientierungshilfe für die Reinigungsplanung.					
1 Vollständige Reinigung außer bei Extremverschmutzung zuverlässig möglich. 2 Vollständige Reinigung annähernd möglich, u.U. sind zusätzliche Reinigungszyklen notwendig bzw. verbleiben Ablagerungsreste. 3 Fließende Übergänge zwischen den Kategorien grundsätzlich möglich. 4 Empfehlungen ausschließlich auf der Basis von Betreibererfahrungen. 5 Der Einsatz eines Düsenschlittens schont das Rohrmaterial und verbessert mitunter die Reinigungswirkung. 6 Einsatz alternativer Verfahren, z.B. Schwallspülung, grundsätzlich möglich. 7 Zur Entfaltung der Ejektorwirkung muss das Gerät vollständig eingetaucht sein. 8 Z.B. geführte bzw. nennweitenbegrenzte Kettenschleuder, Kanalfräse, Schneidkorb mit Windenzug, evtl. auch Robotereinsatz. 9 Das Risiko von „Toilettenausblasungen“ vermindern große Düsenabstrahlwinkel (> 20°) bei niedrigen Drücken und Durchflüssen. 10 Rotierendstrahlende Düsen verfügen häufig auch über Düsenabstrahlwinkel > 30°.					

4 Belastungen durch HD-Reinigung

Im Rahmen der Versuche zur Belastung aus HD-Reinigung wurde untersucht, inwieweit die Kanalbauteile beansprucht werden und dies zu Schadensrisiken führt. So werden Düse und Schlauch durch die Vorschubkräfte des Wasserstrahls oder beim Rückzug mittels Winde über die Kanaloberfläche gezogen, die austretenden HD-Wasserstrahlen treffen nicht nur auf verfestigte und lose Ablagerungen, sondern auch unmittelbar auf das Rohr, und aus den aufgewirbelten Ablagerungen werden Feststoffpartikel beschleunigt und z.T. mit hoher Geschwindigkeit gegen einzelne Kanalbauteile geschleudert. In einzelnen Reinigungssituationen wurde beobachtet, dass ein Düsenkörper während des Reinigungsvorganges schweben bzw. abheben und auf die Rohrwandung fallen kann. In einigen Fällen werden darüber hinaus Düsen im Freilauf stark beschleunigt, um Verstopfungen zu lösen, und dabei ein unkontrolliertes Auftreffen auf die Rohrwandung bzw. die seitlichen Anschlüsse in Kauf genommen.

Ziel der Versuche zur Belastung aus HD-Reinigung war es vor diesem Hintergrund, Empfehlungen für eine **schonende HD-Reinigung** abzuleiten. Insgesamt wurden in den Versuchen vielfältige Reinigungssituationen und Randbedingungen berücksichtigt. So wird die Belastung durch Hochdruckstrahlen nicht allein von Parametern wie Druck und Durchfluss, sondern auch durch die Ablagerungssituation und Anzahl der Reinigungszyklen beeinflusst. Die Form des Düsenkörpers und der Düseneinsätze wiederum bestimmt maßgeblich die Strahleigenschaften (vgl. Bild 19).

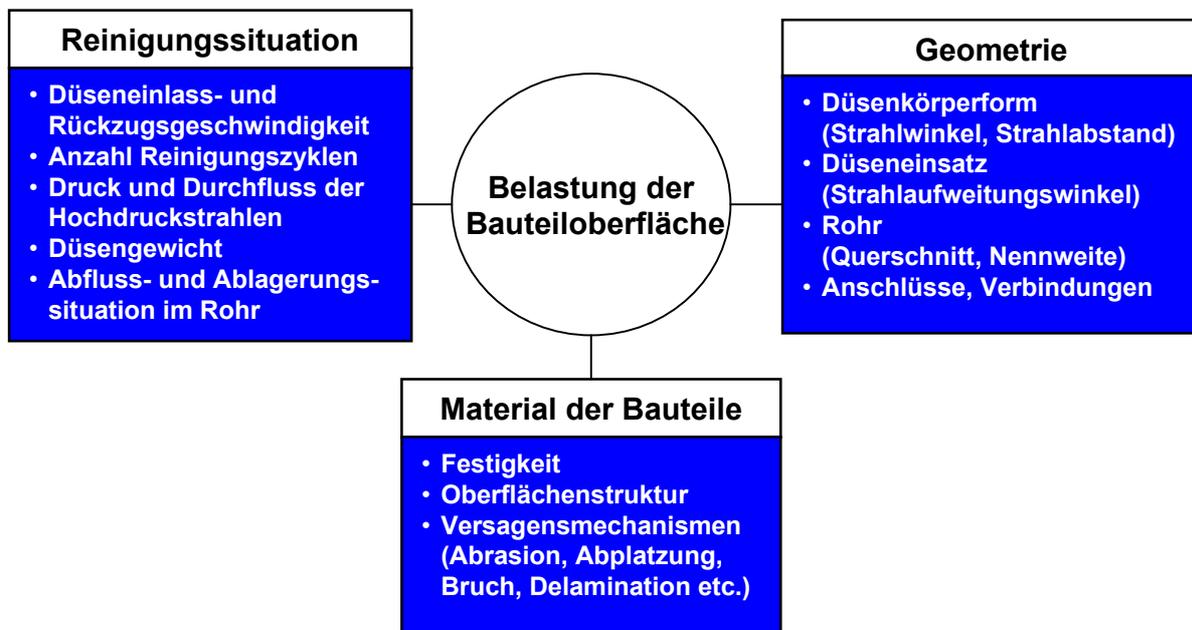


Bild 19: Einflüsse auf die Belastungssituation der Kanalbauteile während der HD-Reinigung

Als Ausgangspunkt für eine differenzierte Betrachtung der Belastungsszenarien, die während der Hochdruckreinigung auf das Rohrmaterial wirken können, wurden zunächst **fünf Grundbelastungsarten** eingeführt:

- **HD-Strahl** - die aus der HD-Düse austretenden Wasserstrahlen treffen auf die Ablagerungen an der Rohrwand oder in ablagerungsfreien Bereichen unmittelbar auf die Rohroberfläche.
- **Feststoffe** - aus den aufgewirbelten Ablagerungen werden Feststoffpartikel beschleunigt und treffen mit hoher Geschwindigkeit ebenfalls auf die Rohroberfläche.
- **Schleifen** - Schlauch und Düse werden entweder durch die Umlenkung des Wasserstrahls im Düsenkörper oder mittels Winde über die Kanaloberfläche gezogen.
- **Fallen** - der Düsenkörper selbst kann während des Reinigungsvorganges schweben bzw. abheben und auf die Rohroberfläche fallen.
- **Prallen** - bei Fehlverhalten des Bedienpersonals kann eine Düse im Extremfall so stark beschleunigt werden, dass sie unkontrolliert gegen die Rohrwandung oder auch gegen seitliche Anschlüsse prallt.

In der Regel treten Kombinationen aus diesen Grundbelastungsarten mit unterschiedlicher Gewichtung auf. Bei der Intensiv-Reinigung zur Vorbereitung einer Sanierungsmaßnahme steht bspw. die Belastung durch den HD-Wasserstrahl im Vordergrund. Im Vergleich dazu gewinnt die Belastung aus beschleunigten Feststoffpartikeln besonders stark bei der Beseitigung von großen Ablagerungsmengen mit scharfkantigem Grobkorn (z.B. aus Einspülungen von Winterstreusplitt oder Schottermaterial von Baumaßnahmen) an Bedeutung. Die Düsenbewegungen (Schleifen, Fallen, Prallen) wurden während der Praxiseinsätze und sämtlicher Versuche, auch in Extremsituationen bei starker Beschleunigung, beobachtet. Es zeigten sich grundsätzlich keine Anhaltspunkte für ein unkontrolliertes Schlagen der Düsen im Rohr. Andererseits bestätigte sich, dass Düsen im Kanal schweben oder beim Zurückziehen an Muffenversätzen haken können. Schwebende Düsen sind meist auf extreme Betriebsparameter zurückzuführen und stark beschleunigte Düsenkörper, z.B. durch Freilauf der Düsen zur Verstopfungsbeseitigung, als Anwendungsfehler grundsätzlich im Rahmen der Unterweisung des Betriebspersonals auszuschließen (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5: Reinigungssituationen und Grundbelastungsarten, Bewertung auf Basis von Praxiserfahrungen

Reinigungssituation 	geprägt durch (- nicht, • gering, •• mittel, ••• stark)				
	HD-Strahl	Feststoff	Schleifen	Fallen	Prallen
Unterhaltungsreinigung im Rahmen der betrieblichen Wartung des Kanalnetzes oder zur Vorbereitung einer Inspektion.	••	••	•	-	-
Häufiges Reinigen , z.B. von Haltungen mit hohem Ablagerungsaufkommen.	•••	•••	•••	-	-
Grobe, ggf. scharfkantige Inhaltsstoffe , z.B. Winterstreusplitt oder Schottermaterial aus Baumaßnahmen.	••	•••	••	-	-
Intensiv-Reinigung , z.B. bei Inkrustationen, Wurzeleinwuchs oder zur Vorbereitung von Sanierungsmaßnahmen, auch mit extremen Reinigungsparametern (Druck, Durchfluss, u.a.).	•••	••	•	-	-
Stillstand des Düsenkörpers , im Spülbetrieb, z.B. bei der Beseitigung von Verstopfungen oder Störung der Schlauchabwicklung.	•••	•	•	-	-
Übersteuerte Hochdruckstrahlen , z.B. durch verstopfte Düseneinsätze oder ungeeignete Abstimmung des Durchmessers der Düseneinsätze auf Pumpenleistung, Schlauchlänge und Düsentyp, auch mit extremen Strahleigenschaften, z.B. hinsichtlich Druck, Durchfluss und Strahlwinkel.	•••	•	•	•	-
Freilauf einer Düse zum „Durchstoßen“ einer Verstopfung, ggf. auch unplanmäßiger Düsen-Freilauf bei Unachtsamkeit des Bedienpersonals.	•	•	•••	••	•••
Extreme Einlass- und Rückzugsgeschwindigkeiten , >> 30 m/min, insbesondere zur Verringerung des Zeitaufwandes für die Reinigung ohne Rücksicht auf den Kanalzustand und mögliche Belastungen der Bausubstanz durch den Düsenkörper.	•	•	•••	••	•
Aufschlagen des Düsenkörpers , z.B. beim Herablassen der Düse in den Schacht und Einschwenken in die Haltung.	-	-	-	•••	-

Um den Einfluss sämtlicher Grundbelastungsarten weitestgehend reproduzierbar nachempfinden zu können, wurden **fünf unterschiedliche Prüfmethode**n angewendet (Tabelle 6). Im Mittelpunkt standen dabei die Systemversuche in Anlehnung an das Hamburger Modell [5], da hier gleichzeitig drei Grundbelastungsarten mit wesentlichem Einfluss für die Standard-Reinigungssituation praxisnah simuliert werden. Dabei wird das Gesamtsystem aus

Rohren, Rohrverbindungen, Anschlussformteilen und nachträglichen Anschlüssen durch Düse und Schlauch, auftreffende Wasserstrahlen und aufgewirbeltes Räumgut belastet. Die HD-Systemversuche wurden einerseits unter identischen Bedingungen als vergleichende HD-Systemversuche und andererseits unter wechselnden Einflüssen als Zusatzversuche ausgeführt. Weitere Zusatzversuche (Düsen-Strahl, -Schleif- und Fallversuche) dienten der weitgehend isolierten Betrachtung einzelner Einflussfaktoren (HD-Einzelstrahl, Schleifen, Fallen) bzw. der Variation der Reinigungsbedingungen, Reinigungszyklen und Düseneigenschaften (Düsenstrahl und -winkel).

Tabelle 6: Versuchsmethoden, Übersicht

Untersuchungsschwerpunkt (vergleichende Versuche)	
	HD-Systemversuch (vgl. Hamburger Spülversuch)
	<p>Methode: Rohrstrecken mit mind. 3 Verbindungen und 4 Zuläufen werden oberirdisch auf einer Länge von 20 m aufgebaut und anschließend durch Hochdruckreinigung praxisnah, ggf. unter Zugabe von Splitt belastet.</p> <p>Belastungsschwerpunkt: HD-Strahl, Feststoffe und Düsen-Schleifen</p>
Zusatzversuche	
	Düsen-Strahlversuch mit HD-Einzelstrahl
	<p>Methode: Ein einzelner HD-Strahl wird fünfzig Mal mit einem geringen Abstand über einen Abschnitt aus zwei kurzen Prüfrohren geführt.</p> <p>Belastungsschwerpunkt: Hochdruckstrahl</p>
	Düsen-Strahlversuch mit HD-Spüldüse
	<p>Methode: Prüfrohre werden während des Spülvorgangs durch eine Vor- und Rückwärtsbewegung eines schwenkbaren Auflagetisches an einer handelsüblichen HD-Düse fünfzig Mal entlang geführt.</p> <p>Belastungsschwerpunkt: Hochdruckstrahl und Düsen-Schleifen</p>
	Düsen-Schleifversuch
	<p>Methode: Prüfrohre werden im Trockenversuch durch eine Vor- und Rückwärtsbewegung eines schwenkbaren Auflagetisches an einer praxisüblichen HD-Düse fünfzig Mal entlang geführt.</p> <p>Belastungsschwerpunkt: Düsen-Schleifen</p>
	Düsen-Fallversuch
	<p>Methode: Prüfrohre werden durch den Fall einer handelsüblichen Düse (4,5 kg) belastet. Die Düse wird in Rohren DN 300 bis zum Scheitel gehoben und dann auf die Sohle fallen gelassen.</p> <p>Belastungsschwerpunkt: Düsen-Fallen</p>

Um einen Einfluss von Alterungseffekten oder Vorschädigungen durch Bau- und Betriebsbelastungen auf die Prüfergebnisse auszuschließen, wurden in den Laboruntersuchungen **Neurohre** eingesetzt. Neben einem definierten Ausgangszustand vor der Prüfung konnten so auch gezielt verschiedene Rohrwerkstoffe und -geometrien in den Versuchsreihen berücksichtigt werden. Vor diesem Hintergrund sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse nicht zur allgemeinen Quantifizierung von Versagensgrenzen (z.B. Druck, Durchfluss) einzelner Werkstoffe dienen. So lassen die unterschiedlichen Werkstoffrezepturen, Herstellverfahren und Anschluss- bzw. Verbindungssysteme der heutigen Produktanbieter eine werkstoffbezogene Verallgemeinerung einzelner Prüfergebnisse nicht zu.

Um grundsätzliche Unterschiede im Materialverhalten zu erkennen, wurden neben „klassischen“ Kanalrohrwerkstoffen wie Beton und Steinzeug mit zusammen 90 % Netzbestand auch Produkte aus Guss, GFK, PE-HD (vollwandig/profilert) und PVC (mehrschichtig) einbezogen. Die eingesetzten Produkte und entsprechenden **Versuchsergebnisse** sind in der Langfassung des vorliegenden Berichts detailliert beschrieben. Der maßgebliche Ort der jeweiligen Materialveränderung wurde den Kategorien Rohrschaft, Rohrverbindung und Abzweig zugeordnet. Im Falle eines deutlichen Materialabtrags wurde dessen Fläche und maximale Tiefe dokumentiert. Die Häufigkeit, mit der eine Materialveränderung auftrat, wurde nach den Kategorien „in Einzelfällen“ (selten, mindestens zwei Mal beobachtet) oder „regelmäßig“ (Häufigkeit über 50 %)“ bewertet oder in Relation zur Gesamtzahl der geprüften Bauteile (Schaft, Verbindung, Abzweig) dargestellt.

Die in den einzelnen Versuchen eingesetzten Produkttypen und die Anzahl der jeweiligen Prüfungen sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7: Anzahl der Versuche nach Rohrprodukten und Prüfmethode

Prüfmethode	HD- Systemversuch					Düsen-Strahlversuch			Düsen-Schleifversuch	Düsen-Fallversuch	
						Einzelstrahl 	Spüldüse 				
Prüfdüse (vgl. [6])	D1		D2		D4	D20	D1	D2	D1	D1	
Belastungszyklen [Anz.]	50	50	50	30	60	50	50	50	50	1	
Spültzugabe [Liter/Zyklus]	0	5	0	0	20	0	0	0	0	0	
BETON ¹	2	1	-	-	-	-	-	-	-	3	
BETON ²	-	-	-	-	2	3	-	-	-	-	
gesamt	2	1	-	-	2	3	-	-	-	3	
STEINZEUG ³	2	1	-	-	1	3	5	-	4	8	
STEINZEUG ⁴	-	-	-	-	1	-	-	-	-	3	
gesamt	2	1	-	-	2	3	5	-	4	11	
GUSS ⁵	2	1	-	-	2	3	6	-	7	3	
gesamt	2	1	-	-	2	3	6	-	7	3	
GFK ⁶	2	2	1	1	-	2	3	4	2	1	3
GFK ⁷	2	-	-	1	-	-	5	-	7	3	
gesamt	6	2	1	-	2	3	9	2	8	6	
PE-HD vollwandig ⁸	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	
PE-HD vollwandig ⁹	-	-	-	-	2	3	-	-	-	3	
PE-HD profiliert ¹⁰	2	1	-	-	-	-	4	-	3	3	
PE-HD profiliert ¹¹	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	
gesamt	5	3	-	-	2	3	4	-	3	6	
PVC-U mehrschichtig ¹²	2	1	-	-	-	-	-	-	-	3	
gesamt	2	1	-	-	-	-	-	-	-	3	

ROHRHERSTELLER: ¹ Bellinghausen Kanalrohr GmbH, ² Berding Beton GmbH (Werk ehemals: Westrohr GmbH), ³ Steinzeug Abwassersysteme GmbH, ⁴ EuroCeramic GmbH, ⁵ SAINT-GOBAIN GUSSROHR GmbH & Co. KG, ⁶ Hobas Rohre GmbH, ⁷ Amitech Germany GmbH, ⁸ AGRU FRANK GmbH, ⁹ egeplast Werner Strumann GmbH, ¹⁰ Henze GmbH, ¹¹ FRANK & KRAH Wickelrohr GmbH (verschiedene Wanddicken), ¹² Funke Kunststoffe GmbH

- nicht untersucht

■ **Vergleichende Systemversuche**

■ **Wiederholungsversuche** dienen der Bestätigung bzw. Relativierung von Einzelbeobachtungen an demselben oder einem anderen Produkt der gleichen Werkstoffgruppe.

□ **Zusatzversuche** dienen der isolierten Betrachtung von Einflussfaktoren (Schleifen, HD-Einzelstrahl) und Variation der Reinigungsbedingungen, wie Ablagerungsmenge, Reinigungszyklen und Düseneigenschaften (Düsenstrahl und -winkel).

Im Gesamtblick zeigen die **Ergebnisse der Belastungsversuche**, dass unter üblichen Reinigungsbedingungen an den untersuchten Rohrprodukten z.T. deutlich erkennbare Materialveränderungen auftreten. Die Intensität der Beanspruchung reichte von geringen Schleifspuren bis hin zu deutlichen Veränderungen mit Risiken für die Dichtfunktion. Besondere Angriffspunkte bieten sich offensichtlich in der Sohle der Rohrverbindungen und an den seitlichen Anschlüssen, da dort Flächenbereiche direkt dem HD-Düsenstrahl zugewandt sind. Häufig traten Materialveränderungen

gleichzeitig im Rohrverbindungs- und Anschlussbereich der seitlichen Zuläufe auf, mit tendenziell stärkerer Ausprägung im Sohlbereich der Verbindung.

Mit Blick auf die eingesetzten **Prüfverfahren**, deren Aussagekraft und Anwendungsbereiche lassen sich folgende Schlussfolgerungen zusammenfassen:

- Die in der Praxis relevanten **Grundbelastungsarten** (HD-Strahl, Feststoff, Schleifen, Fallen) lassen sich durch die fünf im Rahmen des Vorhabens eingesetzten **Prüfmethoden** gezielt nachempfinden.
- Zur Identifizierung von Einflüssen aus HD-Reinigung auf verschiedene Rohrprodukte bieten sich die **HD-Systemprüfungen** an. Die Systemversuche gestatten es, gleichzeitig mehrere Grundbelastungsarten praxisnah zu simulieren. Dabei wird das Gesamtsystem aus Rohren, Rohrverbindungen, Anschlussformteilen und nachträglichen Anschlüssen durch Düse und Schlauch, auftreffende Wasserstrahlen und aufgewirbeltes Räumgut belastet.
- In den **Düsen-Strahlversuchen mit HD-Einzelstrahl** zeigten sich in einzelnen Fällen deutliche Abweichungen zu den Beobachtungen aus den HD-Systemprüfungen. Insbesondere die Dichtungssysteme im Anschlussbereich werden aufgrund des geringen Strahlabstandes (ca. 1 cm) deutlich stärker belastet, als dies in der Praxis zu erwarten ist.
- Die Intensität der Materialveränderungen wurde durch die **Zugabe von Splitt** in den HD-Systemprüfungen kaum beeinflusst. Die Abtragsflächen erhielten i.d.R. lediglich eine abrasive Ausprägung. Ein Einfluss war häufig erst bei 20 Liter Splittzugabe im Rahmen der Zusatzversuche zu erkennen.
- Aus den **Düsen-Schleif-Versuchen** ließen sich für die untersuchten Werkstoffgruppen keine nennenswerten Erkenntnisse gewinnen. Im **Düsen-Fall-Versuch** zeigten sich nur bei wenigen Produkten sichtbare Materialveränderungen.

Abschließend lässt sich festhalten, dass der Reinigungsprozess, die eingesetzte Gerätetechnik und die Schulung des Personals zahlreiche Ansatzpunkte zur schonenden und damit schadensfreien Reinigung des Netzes bieten. Darüber hinaus kann in Einzelfällen auch durch die Rohrhersteller das Materialverhalten mit Blick auf die Kanalreinigung optimiert werden. Dabei sind allerdings stets auch weitere bautechnische und betriebliche Qualitätsanforderungen zu berücksichtigen.

5 Fazit

Insgesamt zeigten die **Praxiserfahrungen**, dass vor einem Reinigungseinsatz häufig nicht bekannt ist, ob überhaupt Ablagerungen im Kanal zu erwarten sind und welche Beschaffenheit diese haben könnten. Insbesondere wenn die Kanalreinigung an private Dienstleister vergeben wird, fließen kaum Betriebsinformationen über das Ablagerungsaufkommen an den auftraggebenden Kanalbetrieb zurück. In der Folge fehlen die notwendigen Planungsgrundlagen zur Spülplanerstellung, so dass auch die Möglichkeiten zur eigenverantwortlichen Selbstüberwachung und Reinigungsplanung nach SüwV Kan [1] bzw. Runderlass [2] nicht optimal genutzt werden. Vor diesem Hintergrund ist es zu empfehlen, die **Ablagerungssituation vor und während der Reinigung zu bewerten** und verwandte Betriebsprozesse enger mit der Kanalreinigung zu verzahnen, so z.B. indem weitergehende Informationen zur Ablagerungssituation auch im Rahmen der regelmäßigen **Schachtinspektion** gewonnen werden.

Der Reinigungserfolg kann im Wesentlichen nur durch Einsatz leistungsfähiger Düsen und die Einstellung geeigneter Reinigungsparameter gesichert werden. Aufgrund der Produktvielfalt (Düsen und Düseneinsätze) und unterschiedlichen Randbedingungen im jeweiligen Kanalnetz (Ablagerungen, Netzzustand) empfiehlt es sich grundsätzlich, vor jedem Kauf einer HD-Düse die **Leistung des Düsenprodukts vor Ort stichprobenhaft mit begleitender TV-Inspektion zu überprüfen**. Für diese Düsen-Tests bietet es sich an, möglichst extreme Reinigungssituationen (z.B. hartnäckige Ablagerungen oder hohes Ablagerungsaufkommen) auch in kritischen Netzbereichen (Schwachstellen, ausgebeesserte Streckenabschnitte) entsprechend dem Anwendungsgebiet der HD-Düse auszuwählen. Aussagen zur Leistungsfähigkeit und Aggressivität von 5 bis 10 Düsenprodukten lassen sich dabei bereits im Rahmen eines Tageseinsatzes mit einem einzelnen Reinigungsfahrzeug erzielen.

Netzbetreibern, die eine möglicherweise schädigende Wirkung aus HD-Reinigung vermeiden wollen, wird empfohlen, den **Reinigungsprozess** ggf. durch eine veränderte Auswahl und Anwendung der Reinigungswerkzeuge anzupassen, um den **Rohrwerkstoff zu schonen**. Dabei bieten sich folgende grundsätzliche **Ansatzpunkte** an:

- Schon in der **Reinigungsplanung** sollten Kanalhaltungen mit besonderen Risiken für die Netzsubstanz identifiziert werden. Hierzu gehören insbesondere Strecken, die bereits in der TV-Inspektion besondere Angriffspunkte für die HD-Reinigung zeigten, wie z.B. brüchige Schadstellen, Versätze und einragende Stützen.
- Als Grundlage für die **Düsenauswahl** ist der **Reinigungszweck** zu beachten, d.h. ob neben der Transportleistung auch eine Lösewirkung der Düsen verlangt

wird. Steht allein das Transportverhalten im Vordergrund, sollten nach Möglichkeit **Düsen mit flachen Abstrahlwinkeln** (kleiner 20°) oder Düsen mit Ejektorwirkung eingesetzt werden. Werden aggressive Düsen eingesetzt, sollte durch Stichprobenkontrolle an einzelnen Kanalhaltungen (parallele TV-Inspektion) die Wirkung der eingesetzten Düsensysteme auf Rohrprodukte, Anschluss- und Verbindungstechnik unter betriebsüblichen Reinigungsbedingungen überprüft werden.

- Unerwünschte Materialveränderungen können häufig bereits durch **Erhöhung des Strahlabstandes** zur Rohrwandung, z.B. durch Verwendung eines Düsenschlittens, vermieden werden.
- In der Regel lassen sich übliche Reinigungsaufgaben mit Drücken **unter 120 bar** zuverlässig lösen. Durch regelmäßige **Leistungskontrollen** lässt sich die Wirkung der gewählten Düseneinsatzdurchmesser, Pumpenleistung und Schlauchlängen auf Förderstrom und Düsendruck erkennen und einschätzen.

Wesentliche Risiken für die Netzsubstanz lassen sich vielfach schon durch **einfache Betriebsmaßnahmen** deutlich verringern:

- Beim **Einlassen der Düsen** in den Kanal ist ein Aufschlagen auf die Schacht- oder Rohrwandung zu vermeiden.
- Die **Düsengeschwindigkeit** sollte überwacht werden. Ein Freilauf der Düse ist in jedem Falle auszuschließen.
- Durch fortlaufende Überwachung der Pumpendrucke und korrespondierenden Motordrehzahl lassen sich **Unregelmäßigkeiten erkennen**. So kann ein Druckanstieg auf Verstopfungen der Düseneinsätze und somit Gefahren durch übermäßig aggressive HD-Strahlen hinweisen. Geringe Pumpendrucke lassen wiederum auf abgenutzte Düseneinsätze mit mangelhafter Lösewirkung schließen.
- Der **Pumpendruck** sollte nach Möglichkeit langsam zurückgefahren werden, um ein Fallen des Düsenkörpers auf die Rohrwand auszuschließen.
- In jedem Fall empfiehlt sich die **Beobachtung des Spülwassers**, um evtl. Einbrüche bei bereits bestehenden Kanalschäden frühzeitig zu erkennen.

Sämtliche Empfehlungen wurden abschließend in einem praxisorientierten „**IKT-Handbuch Kanalreinigung**“ [7] zusammengefasst, dass in enger Abstimmung mit zahlreichen Netzbetreibern aus NRW sowie weiteren interessierten Fachleuten formuliert wurde.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Nordrhein-Westfalen – Nr. 10 vom 10. Februar 1995, „Verordnung zur Selbstüberwachung von Kanalisationen und Einleitungen von Abwasser aus Kanalisationen im Mischsystem und im Trennsystem (Selbstüberwachungsverordnung Kanal – SÜWVKan)“, vom 16. Januar 1995, S. 64-67.
- [2] Ministerialblatt für das Land Nordrhein-Westfalen – Nr. 14 vom 10. Februar 1995, „Anforderungen an den Betrieb und die Unterhaltung von Kanalisationsnetzen“, RdErl. d. Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft v. 3.1.1995 – IV B 6 – 031 002 0201, S. 250-253.
- [3] ATV-Arbeitsblatt A 147 Teil 1: Betriebsaufwand für die Kanalisation, Teil 1 – Betriebsaufgaben und Intervalle (Mai 1993).
- [4] Macke, E.: Ablagerungs- und Ausspülverhalten in Kanalisationen, ATV-Fortbildungskurs F/1 Abwasserableitung, Fulda, S. 11.1-11.25 (1987).
- [5] Hoppe, F.: Parameter des Hochdruckspülversuches nach dem Hamburger Modell der Stadtentwässerung Hamburg, schriftliche Mitteilung (August 2002).
- [6] Bosseler, B.; Schlüter, M.: Kanalreinigung – Düsen, Drücke, Hochdruckstrahlen; Forschungsbericht (Langfassung) des IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (Dezember 2003).
- [7] IKT-Institut für Unterirdische Infrastruktur: Handbuch Kanalreinigung (Entwurf Dezember 2004).