

Einsatz der Ejektor-technik bei der Dückerreinigung und –inspektion *- Kurzbericht -*



- Juni 2004 -

Forschungsprojekt
gefördert durch



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. Christoph Bennerscheidt
Dipl.-Ing. (FH) Roberto Fürst

Wir danken allen Projektbeteiligten für die weitreichende Unterstützung bei der Umsetzung und inhaltlichen Bearbeitung des Projektes:

Dipl.-Ing. Horst Meier
Herr Konrad Ehl
Herr Holger Hesse

Stadt Arnsberg, Stadtentwässerung

Dipl.-Ing. Andreas Croonenbroek
Herr Martin Klein-Reesink

WBO - Wirtschaftsbetriebe Oberhausen

Herr Wolfgang Sievert
Herr Werner Kabacinski
Dipl.-Ing. Uwe Gronau

Stadt Ratingen, Stadtentwässerung

Prof. Dr.-Ing. Werner Hösel

Fachhochschule Gelsenkirchen,
Fachbereich für Ver- und Entsorgungstechnik

Herr Fridhelm Quest

Fa. Quest Kommunalfahrzeuge u.
Industriebedarf, Herford

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung, Problem- und Zielstellung.....	1
2	Stand der Technik.....	3
3	Laborversuche	6
4	Praxis-Einsatz	9
5	Fazit.....	11
6	Literatur	17

1 Veranlassung, Problem- und Zielstellung

Am 01.01.1996 ist in Nordrhein-Westfalen die „Verordnung zur Selbstüberwachung von Kanalisationen und Einleitungen von Abwasser aus Kanalisationen im Mischsystem und im Trennsystem (Selbstüberwachungsverordnung Kanal – SÜwV Kan)“ [1] in Kraft getreten. Hinsichtlich der notwendigen Betriebsmaßnahmen wird diese durch den Runderlass „Anforderungen an den Betrieb und die Unterhaltung von Kanalisationsnetzen“ [2] ergänzt. Nach § 2 (1) der SÜwV Kan [1] gehören Düker ebenfalls zu den zu überwachenden Bauwerken der Kanalisation. Düker funktionieren nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren. Eine wesentliche Voraussetzung ist die vollständige Füllung der Leitung und Auslegung der Dükerleitung auf die zu erwartenden Betriebsdrücke. Düker bestehen in der Regel aus einem Einlaufbauwerk, dem Dükeroberhaupt, einem oder mehreren Dükerleitungen und einem Auslaufbauwerk, dem Dükerunterhaupt (vgl. Abbildung 1).

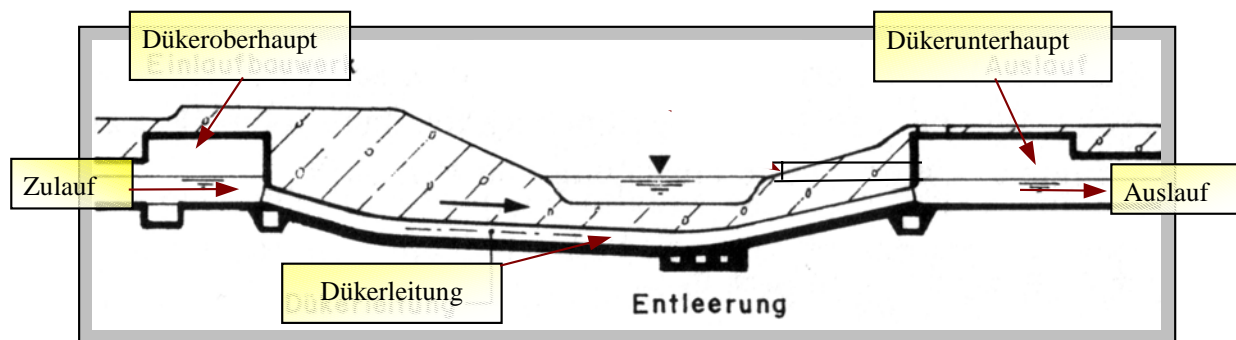


Abbildung 1: Funktionsweise eines Dükers (vgl. [3])

Für Düker gelten folgende Anforderungen an den Umfang sowie die Art und Häufigkeit der Überwachung (vgl. Anlage zu [1]):

- Ablagerungen und Schwimmstoffe am Ein- und Auslaufbauwerk sind halbjährlich durch eine optische Inspektion bzw. Inaugenscheinnahme festzustellen.
- Die Funktionsfähigkeit von Schmutzfang-, Mess- und Steuereinrichtungen ist halbjährlich zu überprüfen.
- Die Leistungsfähigkeit und das Rückstauverhalten ist in Form einer Plausibilitätskontrolle, z.B. durch die Ermittlung der Druckhöhenverluste zwischen Ein- und Auslaufbauwerk zu überprüfen.
- In Abhängigkeit von der Bedeutung der Düker und der technischen Durchführbarkeit ist der Düker mittels einer optischen Inspektion bzw. Inaugenscheinnahme auf sichtbare Schäden zu überprüfen.

- In Abhängigkeit von der Bedeutung der Düker und der technischen Durchführbarkeit ist die Wasserdichtheit zu überprüfen. Dies kann durch Strang- oder Muffenprüfung oder eine vergleichbare Prüfmethode erfolgen.

Das IKT hat in einer Umfrage unter 208 nordrhein-westfälischen Netzbetreibern die bisherigen Erfahrungen mit der Reinigung und Inspektion von Dükern erfasst und die im täglichen Betrieb auftretenden Probleme hinterfragt [4]. 131 (63 %) der befragten Betreiber verfügen über einen oder mehrere Düker. Insgesamt liegen 749 Düker im Zuständigkeitsbereich der befragten Netzbetreiber. Bei 62 Netzbetreibern wurden weitere persönliche Interviews durchgeführt. 61 dieser 62 Betreiber, das entspricht 98% (vgl. Abbildung 2), inspizieren die **Ein- und Auslaufbauwerke** im Zuge der üblichen Kanalreinigung. Sofern sich im laufenden Betrieb zeigt, dass die Düker zum Verstopfen neigen, werden i.d.R. die Inspektions- und ggf. auch die Reinigungsintervalle für die Bauwerke verkürzt. Im Gegensatz dazu wird eine **Inneninspektion des Dükerrohres** nur bei 2 der befragten Netzbetreiber (ca. 3 %) durchgeführt (vgl. Abbildung 3).

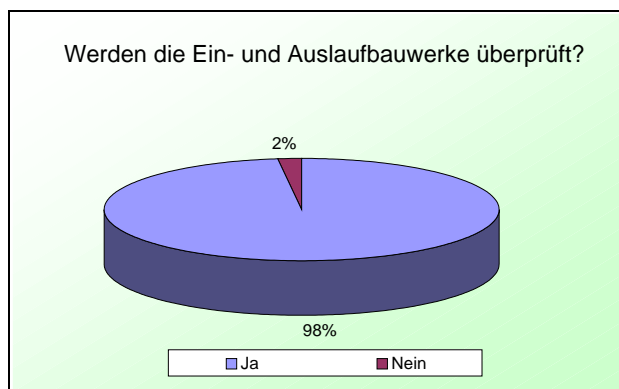


Abbildung 2: Inspektion der Ein- und Auslaufbauwerke

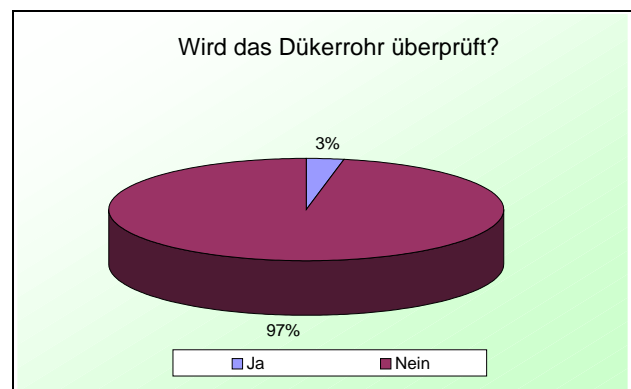


Abbildung 3: Inspektion des Dükerrohres

In den Gesprächen wurde allerdings deutlich, dass das Hauptproblem nicht die eigentliche Inspektion sondern die **Vorflutsicherung** ist:

- Beim **Absperren** der Dükeräste unter Rückstau sind die maximal möglichen Inspektionszeiträume für die TV-Befahrung zu kurz.
- Das **Überleiten** des Abwassers verursacht einen hohen technischen, wirtschaftlichen und organisatorischen Aufwand und wird aus diesen Gründen von den befragten Betreibern grundsätzlich nicht eingesetzt.
- Das **Durchleiten** des Abwassers mittels Schlauch oder Rohrleitung ist für den Einsatz in Freispiegelleitungen ausgelegt und wurde von den befragten Netzbetreibern bei Dükern bisher nicht eingesetzt.

Da mit bestehender Technik somit weder das Überleiten noch das Durchleiten von Abwasser zur Vorflutsicherung umsetzbar ist bzw. erprobt wurde, müssen neue technische Wege beschritten werden. Hierzu bietet sich im ersten Schritt an, auf Werkzeuge zurückzugreifen, die sich bereits in ähnlichen Anwendungsfeldern bewährt haben. Ein solches Werkzeug ist die Ejektordüse. Diese Düsen lassen sich einsetzen, um den Düker zu reinigen, zu entleeren und für die Inspektion abwasserfrei zu halten.

Vor diesem Hintergrund ist es Ziel der im Folgenden dargestellten Untersuchungen, die Einsatzmöglichkeiten und –grenzen der am Markt verfügbaren Ejektortechnik für den Prozess der Dükerinspektion zu erfassen. Dies betrifft insbesondere die vor Ort anzutreffenden Randbedingungen, wie z.B die Bauart des Dükers und die zu erwartenden Zuflüsse aus dem Kanalnetz, sowie die Leistung der zu Pumpzwecken eingesetzten Ejektordüsen mit Blick auf Fördermengen und –höhen. Ergebnisse aus Laborversuchen und konkreten Inspektionsmaßnahmen vor Ort werden beschrieben und analysiert. Den Netzbetreibern in NRW stehen damit aussagekräftige Hinweise zum Einsatz von Ejektoren für die Dükerreinigung und -entleerung sowie Vorflutsicherung im Rahmen von Inspektionsmaßnahmen zur Verfügung.

2 Stand der Technik

Im ATV-DVWK-A 157 [5] werden konkrete Angaben zum Bau von Dükern gemacht werden. Insbesondere sind Bauwerke so auszuführen, dass eine Entleerung des Dükers, z.B. durch Pumpen, möglich ist. Das kann entweder durch die Anordnung von Pumpensümpfen im Dükerober- bzw. –unterhaupt erfolgen oder durch den Bau eines separaten Entleerungsschachtes am tiefsten Punkt des Dükers (vgl. Abbildung 4).

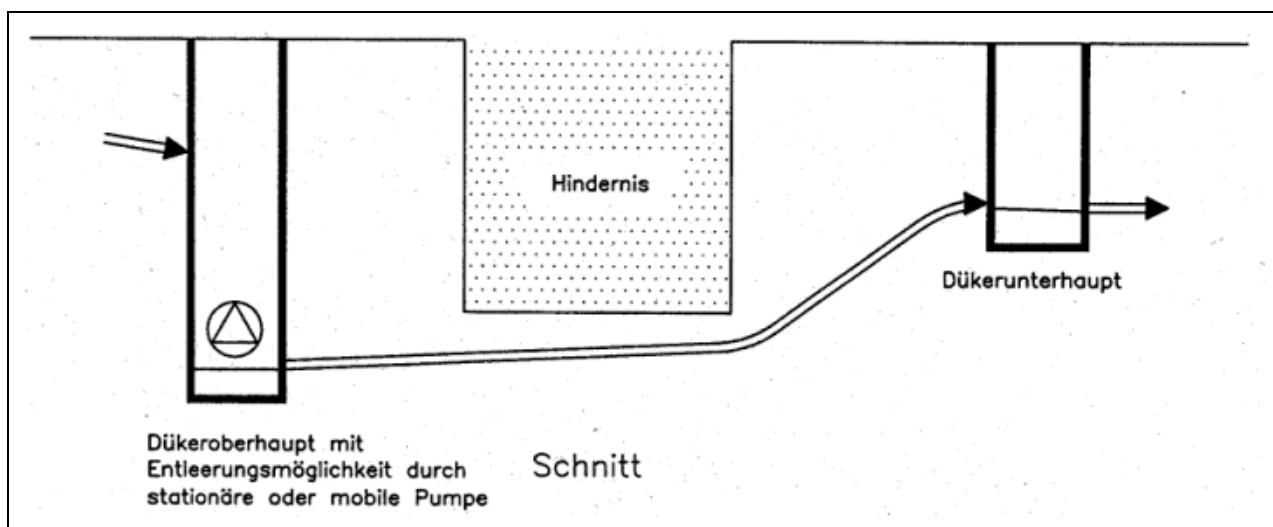


Abbildung 4: Düker mit Entleerung am Oberhaupt, aus [5]

Weiterhin wird aus betrieblichen Gründen gefordert, Schächte für Schieber bzw. Dammbalken unmittelbar vor dem Einlauf anzuordnen. Durch diese Absperrvorrichtungen lassen sich die Düker beispielsweise für Inspektionen abwasserfrei halten. Für den Fall, dass diese

Absperrelemente fehlen, werden am Markt unterschiedliche Arten der Vorflutsicherung und hierfür einsetzbare Techniken angeboten. Einen Schwerpunkt bilden die im Mittelpunkt des Vorhabens stehenden Ejektoren.

Ein üblicher Anwendungsfall der Ejektortechnik sind sog. Wasserstrahlpumpen, bei denen die zu fördernde Flüssigkeit durch eine zugeführte Flüssigkeit beschleunigt und so abgepumpt wird (Flüssigkeitsstrahl-Flüssigkeitspumpen). Ejektoren können aber auch zum Transport von Gasen und Feststoffen (vgl. Sandstrahlen) eingesetzt werden. Bei den Ejektoren, die im Kanalbetrieb eingesetzt werden, handelt es sich um Flüssigkeitsstrahl-Flüssigkeitspumpen. Das unter Druck stehende Wasser aus dem Spülfahrzeug wird über einen Treibanschluss dem Ejektor zugeführt. In der Ejektordüse wird der Wasserdruck in kinetische Energie umgesetzt, d.h. die Wassermoleküle des Treibwassers werden beschleunigt. Der so entstehende gerichtete Treibwasserstrom reißt durch die Viskosität der Flüssigkeit das z.B. über einen Sauganschluss zugeführte Fördermedium (z.B. Abwasser) mit (vgl. Abbildung 5). Auf dem weiteren Strömungsweg vermischen sich Treibwasser und Fördermedium bis zum völligen Impulsausgleich.

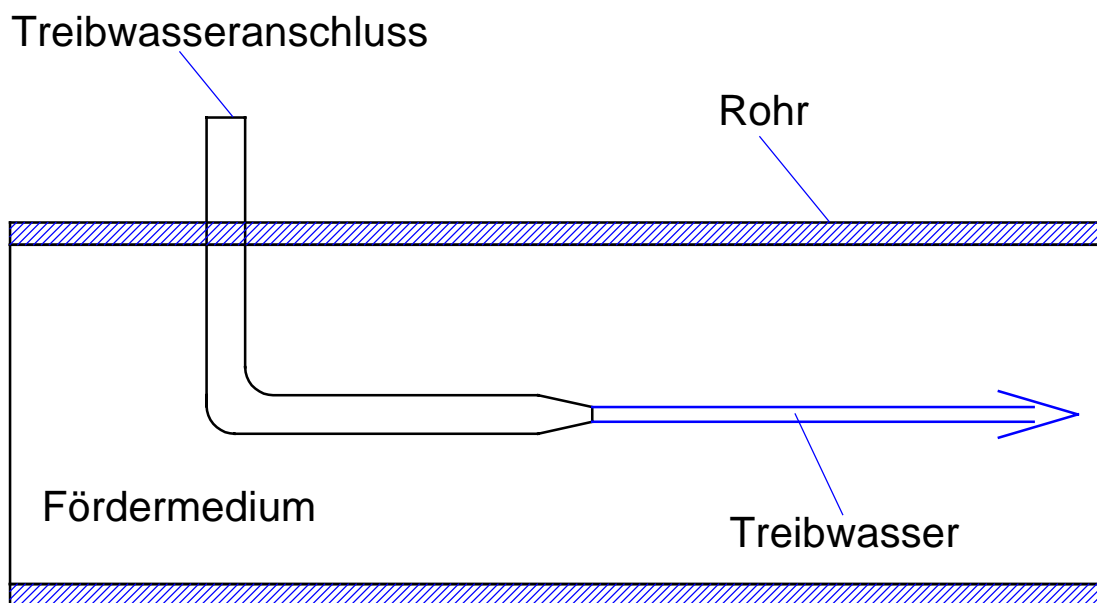


Abbildung 5: Wirkprinzip einer Flüssigkeitsstrahl-Flüssigkeitspumpe, Ejektor

Der Vorteil eines Einsatzes der Ejektortechnik im Kanalbetrieb besteht darin, dass bei Zuführung des Treibwasserstrahls über die schon für die Kanalreinigung vorhandenen **Spülfahrzeuge** eine sehr hohe Pumpenleistung unter Einsatz vorhandener Technik genutzt werden kann. Auch auf dem Gebiet des Arbeitsschutzes bietet die Ejektortechnik Vorteile, da eine Explosionsgefahr z.B. aus Funkenschlag ausgeschlossen ist und darüber hinaus die aus dem täglichen Betrieb der Kanalreinigung bekannten Werkzeuge ohne besondere Einweisung des Personals eingesetzt werden können.

In Abbildung 6 und Abbildung 7 ist beispielhaft ein im Kanalbetrieb eingesetzter mehrstrahliger Ejektor (C 12) dargestellt. Er wird z.B. zum Befüllen von HD-Fahrzeugen eingesetzt. Zu erkennen ist der Anschluss für den Hochdruckwasserschlauch (Nr. 1, roter Pfeil), die Ansaugöffnung (Nr. 2, blauer Pfeil) und die Austrittsöffnung (Nr. 3, grüner Pfeil), über die das Treibwasser (Q_{Treib}) gemeinsam mit dem Fördermedium (Q_{Trans}) austritt. In Abbildung 7 sind einige der Düseneinsätze zu erkennen, aus denen die Einzelstrahlen in das Fördermedium beschleunigt werden.

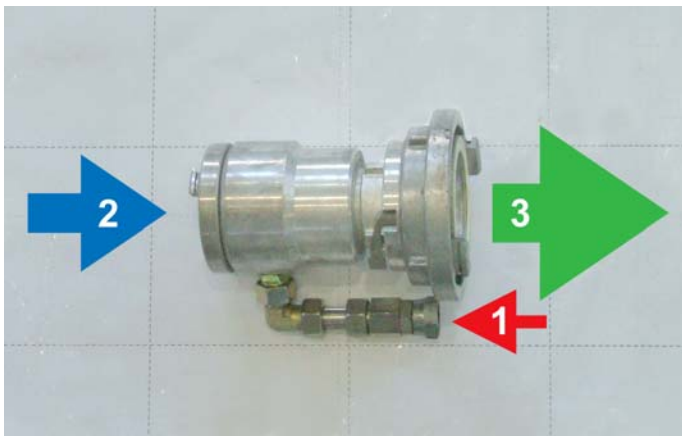


Abbildung 6: Funktionsprinzip eines Ejektors für den Kanalbetrieb am Beispiels des Ejektors C 12 der Firma Quest, Herford



Düsenensätze

Abbildung 7: Blick in die Wasseraustrittsseite des Ejektors C 12

3 Laborversuche

Die Leistungsfähigkeit von drei ausgewählten Ejektordüsen wurde in einer Ejektorprüfstrecke unter wechselnden, reproduzierbaren Bedingungen ermittelt. Diese ermöglichte den Betrieb unterschiedlicher Ejektoren. Der gesamte Versuchsaufbau wurde in einer Rohrleitung DN1200/1800 (Eiprofil) aufgebaut. Die Leitung wurde hinter einem Absperrlement mit Wasser gefüllt, in das ein Ansaugrohr eingelegt wurde. Aus diesem „Wasserreservoir“ konnten dann unterschiedliche Wassermengen durch ein mittels Auslaufbogens gedükertes Messrohr (Druck- / Durchflussmessung) gefördert werden. Die Ausflussöffnung des Messrohres konnte durch eine stufenlos einstellbare Absperrklappe teilweise verschlossen werden, um so die Druckhöhe zu verändern (Abbildung 8). Das Messrohr und der anschließende Auslaufbogen sind in Abbildung 9 dargestellt. Abbildung 10 zeigt das Ansaugrohr im abgesperrten Leitungsabschnitt nach Abschluss der Pumpmaßnahme.

Eingesetzt wurden die Ejektoren Aqua 2000, C 16 und C 12 der projektbeteiligten Firma Quest, Herford (vgl. Abbildung 11 bis Abbildung 16).

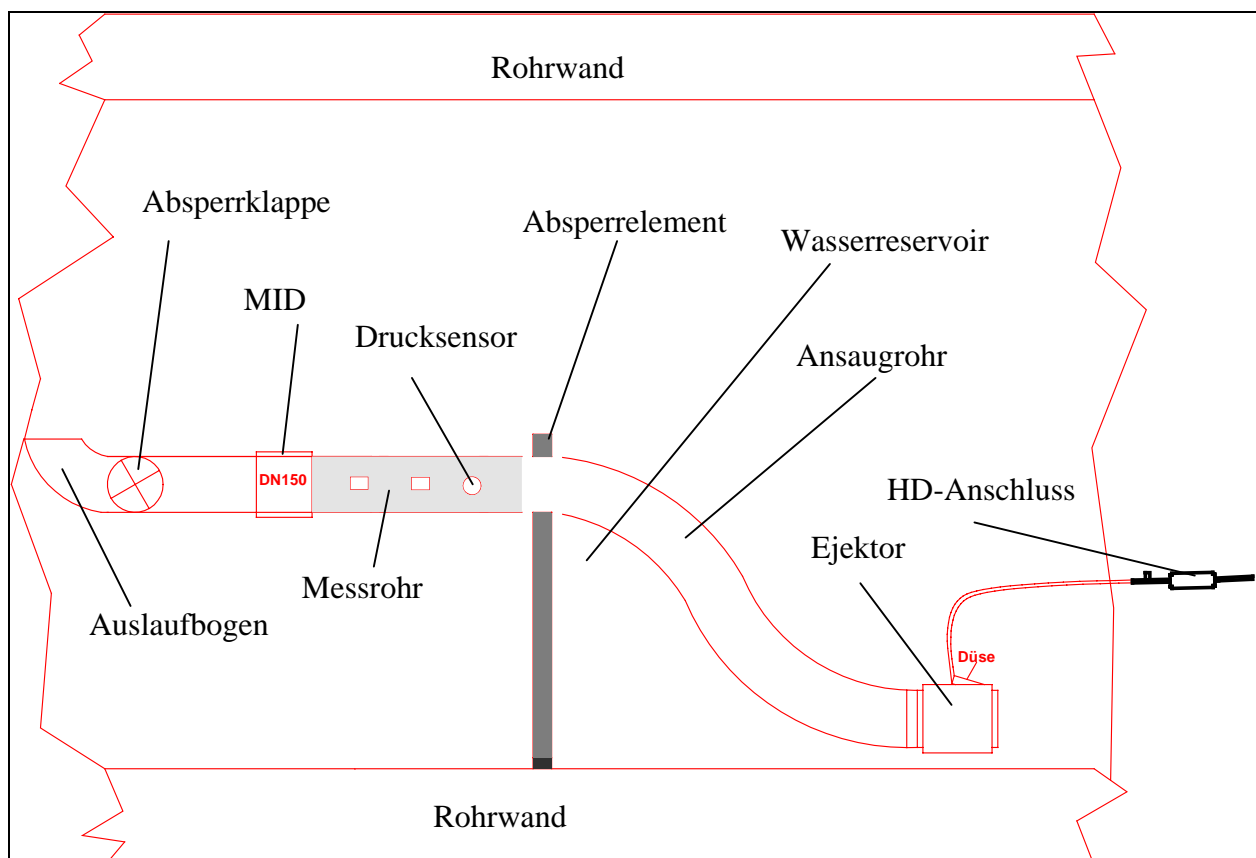


Abbildung 8: *Prinzipskizze des Versuchsstands zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit von Ejektordüsen*



Abbildung 9: Messrohr und Absperrklappe, MID und Drucksensor



Abbildung 10: Ejektorprüfstand, Ejektor (hier C 16) und Ansaugrohr



Abbildung 11: Ejektor C 16, Draufsicht



Abbildung 12: Ejektor C 16, Ansicht



Abbildung 13: Ejektor Aqua 2000, Draufsicht



Abbildung 14: Ejektor Aqua 2000, Ansicht



Abbildung 15: Ejektor C 12, Seitenansicht

Abbildung 16: Ejektor C 12, Ansicht

Pro Ejektordüse wurden jeweils mindestens vier Versuchsreihen mit 40, 60, 80 und 100 bar an der Düse gefahren. Zudem wurden bei dem Ejektor Aqua 2000 Versuche mit unterschiedlichen Düsendurchmessern durchgeführt. Für alle drei Ejektoren konnten reproduzierbare Ejektorkennlinien in Abhängigkeit vom Druck an der Ejektordüse ermittelt werden (vgl. Abbildung 17).

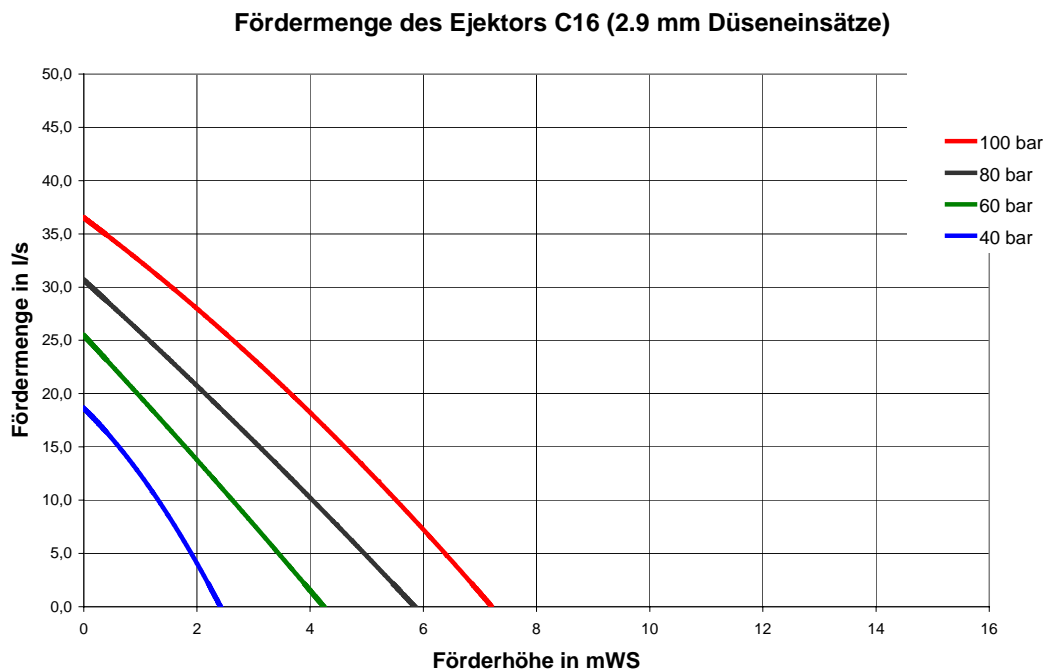


Abbildung 17: Idealisierte Druck-Durchfluss-Kennlinie, Beispiel Ejektor C 16

Es zeigte sich, dass die transportierte bzw. gepumpte Wassermenge vom Durchmesser des Ejektorrohres abhängig ist. Der größte Durchfluss aber auch die geringste zu überwindende Druckhöhe wurde für den Ejektor Aqua 2000, mit einem Ejektorrohrdurchmesser von 120 mm, ermittelt. Mit einem Rohrinne Durchmesser von 100 mm folgt dann der Ejektor C 16 mit einem im Vergleich geringeren Durchfluss aber einer höheren Druckhöhe. Der Ejektor C 12 bestätigt mit seinem Innendurchmesser von 62 mm diesen Trend. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse für

Drücke von 40 und 100 bar an der Düse dargestellt. Die Messwerte für den Ejektor C 12 mit 10 l/s sind unter Berücksichtigung der bei dem Versuch verwendeten plötzlichen, sprungartigen Rohrerweiterung zu interpretieren. Diese führt aufgrund der auftretenden Turbulenzen zu einer Verringerung der Durchflusswerte bei steigendem Druck an der Düse.

Tabelle 1: Maximaler Durchfluss Q_{Trans} [l/s] und maximale Druckhöhe [mWs] für die Ejektoren C 16, Aqua 2000 und C 12 bei 40 und 100 bar Druck an der Düse

Ejektor	Druck an Düse [bar]			
	40		100	
Düsenanzahl/Düsendurchmesser	Druckhöhe h_{max} [mWs]	$Q_{Trans, max}$ [l/s]	Druckhöhe h_{max} [mWs]	$Q_{Trans, max}$ [l/s]
Aqua 2000 6 Stk. à 3,0 mm	1,8	20	4,6	43
C 16 6 Stk. à 2,9 mm	2,3	18	7,0	36
C 12 6 Stk. à 3,0 mm	6,5	12	16	10

Für die eingesetzten Ejektoren lassen sich folgende Kennwerte bzw. Schlussfolgerungen aus den Prüfungen zusammenfassen:

- Mit dem Ejektor C 16 lässt sich maximal das 5-fache der zugeführten Treibwassermenge abpumpen oder eine maximale Druckhöhe von 5 m überwinden. Der optimale Einsatzbereich der Düse als Pumpe bei einem Druck an der Düse von 100 bar liegt zwischen 0 und 4 Metern Wassersäule (mWs).
- Mit dem Ejektor Aqua 2000, der auch für die Kanalreinigung eingesetzt werden kann, lässt sich, bei einem Druck an der Düse von 100 bar, maximal das 4,5-fache der zugeführten Treibwassermenge abpumpen oder eine maximale Druckhöhe von 4,6 m überwinden. Der optimale Einsatzbereich der Düse als Pumpe liegt zwischen 0 und 3,5 Metern Wassersäule (mWs).
- Beim Einsatz kleinerer Ejektoren, wie z.B. dem Ejektor C 12, sollten plötzliche, sprungartige Rohrerweiterungen direkt hinter dem Ejektor vermieden werden. Ansonsten ist bei hohem Druck an der Düse mit erheblichen Turbulenzen und entsprechenden Energieverlusten zu rechnen.

4 Praxis-Einsatz

Ejektoren werden im Kanalbetrieb sowohl als Reinigungswerkzeug als auch als Pumpe eingesetzt. Erfahrungen mit der Ejektortechnik liegen nur bei wenigen Kanalnetzbetreibern vor. Im Rahmen des Projektes wurden diese Erfahrungen sowohl in persönlichen Gesprächen erhoben als auch durch Besuche bei ausgewählten Kanalnetzbetreibern weitergehend erfasst und

dokumentiert. Beispielhaft wurde darüber hinaus der Einsatz der Ejektortechnik zur Vorflutsicherung an Dükern bei drei nordrhein-westfälischen Netzbetreibern begleitet.

Umfangreiche Erfahrungen mit Ejektoren liegen beim Kanalbetrieb der Stadtentwässerung **Göttingen** vor. Dort wurde ein Ejektor im Jahr 1981 erstmals zum Abpumpen von Schlamm mit Erfolg eingesetzt und das Ejektorprinzip als für den Abwassersektor einsetzbar erkannt. Auf Grund dieser Erkenntnis wurden die Ejektoren in Göttingen weiterentwickelt und auch für die Kanalreinigung nutzbar gemacht (vgl. Abbildung 18).



Abbildung 18: Befüllen eines Hochdruckreinigungsfahrzeuges über einen Filterejektor mit Wasser aus dem Fluss Leine, 1982

Heute werden Kanäle ab DN 250 mit Ejektoren gereinigt. Diese Art der Reinigung ist auch als „sanfte Reinigung“ bekannt. Als Pumpe werden die Ejektoren in Göttingen für das Betanken der HD-Fahrzeuge, zum Auffinden überfluteter Straßenabläufe und auch zum Entleeren von Dükern eingesetzt. In **Hannover** werden Ejektoren für die Reinigung von Kanälen ab DN 800 mit gutem Erfolg eingesetzt. Herausgestellt wird dort die hohe Transportleistung in teilgefüllten Kanälen. Neben Standardejektoren wie dem Aqua 2000 werden in Hannover auch Sonderbauformen mit zwei Ejektorrohren eingesetzt.

Einige Netzbetreiber berichteten von schlechten Erfahrungen beim Einsatz von Ejektoren bei der Kanalreinigung. Als Grund gaben sie schlechte Zugleistung bei nur genügender Reinigungsleistung an. Auch traten Verstopfungen des Ejektorrohres durch große Steine auf. Abhilfe können Bügel vor dem Ejektoreingang bringen. Eine Sonderanwendung stellt der Einsatz eines Ejektors vom Typ Aqua 2000 als Pumpe zum Entleeren von Faultürmen dar. Mit Hilfe des Ejektors konnte der Schlamm eines Faulturms innerhalb von zwei Arbeitstagen abgepumpt werden.

Bei drei **Pilotmaßnahmen** in **Ratingen, Arnsberg und Oberhausen** konnten die bisherigen Erfahrungen aus anderen Bundesländern bestätigt und auf Dükerbauwerke in Nordrhein-

Westfalen übertragen werden. Die Düker konnten bei richtiger Anwendung der Technik innerhalb eines Arbeitstages gereinigt, entleert und inspiziert werden.



Abbildung 19: Ejektor Aqua 3000 mit beidseitigem Anschluss



Abbildung 20: Ejektor C 16 zwischen zwei Schläuchen



Abbildung 21: Einsetzen der Kamera

Ejektoren sind insbesondere für die Reinigung von Dükern größer DN 400 geeignet. Das Wasser des vollgefüllten Dükers wird von den Ejektoren in den Reinigungsprozess einbezogen und Ablagerungen werden aus dem Düker herausgespült. Bei den Maßnahmen fiel auf, dass nur ein Düker (Arnsberg), den Vorgaben für die Bauausführung des Arbeitsblattes ATV-DVWK-A 157 [5] entsprach. Dort befindet sich der Tiefpunkt des Dükers am Oberhaupt (vgl. Abbildung 4), während in den übrigen Fällen der Tiefpunkt der Düker im Dükerrohr liegt.

Die exakte Lage des tiefsten Punktes der Düker war bei keinem dieser Sonderbauwerke bekannt. Zur Dükerentleerung musste ein Ejektor jeweils iterativ bis zum Tiefpunkt geschoben werden. Entgegen der Aussagen der in [4] befragten Netzbetreiber, dass beim **Absperr**en der Dükeräste unter Rückstau die maximal möglichen Inspektionszeiträume für die TV-Befahrung zu kurz seien, konnte bei allen drei Pilotmaßnahmen die Vorflut für die Inspektion durch Absperrern gesichert werden. Ein **Überleiten** des Abwassers, das mit einem hohen technischen, wirtschaftlichen und organisatorischen Aufwand verbunden ist und aus diesen Gründen von den befragten Betreibern grundsätzlich nicht eingesetzt wird, musste auch hier nicht angewandt werden. Das zur Verfügung stehende Zeitfenster für die Inspektion, notwendig für das Leerpumpen und die Kamerabefahrung, war bei allen drei Maßnahmen durch den Einsatz der Ejektortechnik ausreichend groß.

5 Fazit

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch Einsatz von Ejektoren der Gesamtprozess Dükerinspektion, bestehend aus den Einzelarbeitsschritten

- Dükerreinigung des vollgefüllten Dükers mit Hilfe von Ejektoren,
- Vorflutsicherung, z.B. in Form einer Absperrung des Dükeroberhauptes, möglicherweise kombiniert mit Ejektoreinsätzen zum Abpumpen und Überleiten des Abwassers,

- Entleerung des Dükerrohres mit Hilfe von Ejektoren, die an dem tiefsten Punkt des Dükers plaziert werden, und
- Dükerinspektion, z.B. durch eine Kamerabefahrung,

wesentlich unterstützt werden kann. Im Rahmen einer solchen Maßnahme können Ejektoren als Reinigungsdüse und als Pumpe eingesetzt werden. Der Ejektor kann als robustes und einfach zu handhabendes Werkzeug mit Doppelfunktionen (Reinigen und Pumpen) verstanden werden, das von üblichen HD-Fahrzeugen betrieben wird und mit den bereits im Kanalbetrieb verwendeten Komponenten, wie z.B. Saugschläuchen, kombiniert werden kann. Ejektoren kommen auch in anderen Anwendungen zum Einsatz, bei denen Wasser, Abwasser, Schlamm oder grobe Ablagerungen befördert werden müssen. Die Leistungsfähigkeit aber auch die Leistungsgrenzen ausgewählter Ejektoren wurden in den Laborversuchen ermittelt. Sie können durch Druck-Durchflusskennlinien beschrieben werden. Durch Kombination der Ejektoren, in Form von Reihen- und/oder Parallelschaltung, lassen sich die maximalen Druckflüsse bzw. die maximal erreichbaren Druckhöhen steigern.

Für die **Praxis** lässt sich aus den Ergebnissen des Forschungsvorhabens das folgende **Fazit** für die **Kanalreinigung** mit Hilfe von Ejektoren ziehen:

- Ejektoren arbeiten insbesondere dann wirkungsvoll, wenn sich im Kanal eine ausreichend hohe Teilfüllung befindet. Dieses Wasser wird durch die Ejektoren bei der Reinigung ebenfalls beschleunigt und verstärkt die Transportleistung der Düsen. Schlechte Erfahrungen wurden in den Fällen beschrieben, bei denen der Ejektor nicht komplett im Wasser lag und die Wasserführung zu gering war.
- Zur Zeit werden Ejektoren schwerpunktmäßig in Profilen größer DN 800 eingesetzt. Sie haben sich insbesondere bei großen Ablagerungshöhen bewährt. Der Ejektor reinigt bereits während des Einfahrens in die Haltung. Dadurch werden die leicht zu lösenden Ablagerungen wie Sande, Kiesel oder Steine vom Startschacht beginnend mobilisiert.
- Kleinere Kanäle können mit einem Ejektor gereinigt werden, der ortsfest an einem Schacht eingesetzt wird und mit dem Grundablass des Reinigungsfahrzeuges verbunden ist. Dieser Ejektor arbeitet nach dem Prinzip der Schwallspülung. Das im Kanal befindliche, zusammen mit dem aus dem Reinigungsfahrzeug zugegebene Wasser wird dabei mit Hilfe einer Hochdruckdüse beschleunigt. Auf diese Weise werden die losen Ablagerungen zum nächsten Schacht transportiert. Diese Art der Kanalreinigung ist als „sanfte Reinigung“ bekannt.
- Düker sind vollgefüllte Abwasserkanäle und haben deshalb grundsätzlich den notwendigen Teilfüllungsgrad, damit Ejektoren wirkungsvoll arbeiten. Aus diesem Grund eignen sich Ejektoren sehr gut um lösliche Ablagerungen während des Normalbetriebs des Dükers zu mobilisieren und aus dem Dükerrohr zu transportieren.

- Für die Reinigung von Dükern mit Hilfe der Ejektoren sollte desweiteren ein Mindestdurchfluss im Zulauf des Dükers sichergestellt werden. Hierdurch werden die losen Ablagerungen im Tiefpunkt des Dükers infolge der höheren Strömungsgeschwindigkeiten des Abwasserstroms leichter abtransportiert. Um einen hohen Durchfluss für die Reinigung sicherzustellen kann beispielsweise zusätzliches Wasser bzw. stromaufwärts gestautes Wasser zugeführt werden. Einfacher ist es, die Dückerreinigung auf solche Zeitpunkte zu legen, bei denen eine hohe Durchflussmenge durch den Dücker zu erwarten ist. Das kann bei Mischwasserdükern beispielsweise während eines Regenereignisses sein.
- Speziell für die Dückerreinigung können einzelne HD-Ejektordüsen von zwei Seiten mit Treibwasser aus Hochdruckreinigungsfahrzeugen versorgt werden. Auf diese Weise kann die aus dem Ejektor austretende Wassermenge erhöht werden und die durch den Ejektor beschleunigte Abwassermenge steigt. Dadurch können die Ablagerungen im Dücker schneller abtransportiert werden. Der Ejektor wird bei dieser Art der Reinigung ähnlich einer Flaschenbürste durch den Kanal hin und her gezogen.
- Vereinzelt wurde von den Netzbetreibern die Zugleistung der Ejektoren als zu gering beschrieben. Als Grund wird das hohe Gewicht dieser Reinigungsdüsen angegeben.
- Steine, die größer sind als die Eintrittsöffnung des Ejektors, können diesen verstopfen. Abhilfe kann ein Bügel vor der Eintrittsöffnung schaffen.
- Verfestigte Ablagerungen oder Ablagerungen, die an der Rohrwandung anhaften, können mit Hilfe von Ejektoren nur schwer bzw. gar nicht mobilisiert werden. Insbesondere die Entfernung der Sielhaut ist nicht möglich.

Für die Verwendung von **Ejektoren als Pumpe** können folgende Aussagen getroffen werden:

- Mit Hilfe der ermittelten Druck-Durchfluss-Kennlinien (Ejektorkennlinien) kann beispielsweise der Zeitaufwand für das Leerpumpen von Dükern unter Einsatz von Ejektoren genauer abgeschätzt werden. Beispielhaft wurden die Kennlinien für die Ejektoren AQUA 2000, C 16 und C 12 ermittelt.
- Bei einem Druck an der Ejektordüse in Höhe von 100 bar beträgt die maximale Förderhöhe für die HD-Ejektordüse Aqua 2000, 4,5 Meter, für den Ejektor C16 zur Saugunterstützung 6,5 Meter und für den Ejektor C 12 zur Saugunterstützung 16 m. Das maximale Verhältnis zwischen zugegebenen Treibwasser und abgepumpten Wasser beträgt für den Aqua 2000 5,7, für den C 16 6,5 und für den C 12 2,0.
- Durch den Einsatz von Ejektoren als Pumpe gelten die dem Kanalnetzbetreiber bekannten Arbeitssicherheitsanforderungen für den Umgang mit Hochdruckreinigungsgeräten. Ejektoren werden, wie die normalen Hochdruckreinigungsdüsen, mit HD-Spülfahrzeugen betrieben und können somit vom unterwiesenen Kanalbetriebspersonal bedient werden. Beim Einsatz

elektrisch betriebener Pumpen wäre der Einsatz von Personal mit einer anderen Qualifikation notwendig (Elektriker). Zudem muss die Energie zur Vorflutsicherung von einer mobilen Spannungsversorgung aufgebracht werden, woraus höhere Anforderungen an die Arbeitssicherheit resultieren.

- Im Rahmen der Baumaßnahmen haben sich flexible aber in Längsrichtung schiebbare Schläuche als Pumpenleitung bewährt. Wenn möglich sollten kurze Rohrstöße, z.B. in 3 Meter Länge mit einem Kupplungssystem (z.B. System Storz) verwendet werden. Diese sind bei den beengten Platzverhältnissen im Kanal noch gut zu handhaben und lassen sich mit Hilfe der Schnellkupplungen in kurzer Zeit zu einer ausreichend langen Pumpenleitung zusammenfügen. Bewährt haben sich Schlauchabschnitte mit einem Durchmesser von 100 bzw. 80 mm.
- In der Praxis sollte auf plötzliche, sprunghafte Rohrerweiterungen direkt hinter dem Ejektor verzichtet werden. Dieses führt zu steigenden Verluste bei steigendem Druck an der Düse. Wenn möglich sollten an den Ejektor Schläuche- bzw. Rohrleitungen angeschlossen werden die in etwa den gleichen Innendurchmesser des Ejektors entsprechen.
- Ab einer zu erwartenden Druckhöhe von 4 Metern sollten zwei in Reihe geschaltete Ejektoren eingesetzt werden. Im Rahmen der Pilotmaßnahme Oberhausen wurde beispielsweise zwischen dem ersten und zweiten Ejektor ein Schlauchstück von 14 m zwischengekoppelt. Das entsprach ca. 1/3 der Pumpenleitungslänge.
- Kann der tiefste Punkt eines Dükers durch händisches Schieben der Pumpenleitung vom Dükerunterhaupt aus nicht erreicht werden, bietet sich folgendes Vorgehen an: Vom Oberhaupt wird zunächst ein Reinigungsdüse durch das Dükerrohr bis zum Dükerunterhaupt gefahren. Dort wird die Düse an dem Ejektor befestigt. Nun kann das am Oberhaupt stehende Fahrzeug den Pumpenschlauch bis zum tiefsten Punkt ziehen.
- Mit Hilfe der Ejektoren lässt sich nicht nur Abwasser abpumpen. Auch Schlamm, wie er beispielsweise in Faultürmen anfällt, lässt sich mit dieser Technik entfernen. Für diese Arbeit hat sich die HD-Ejektordüse Aqua 2000 bewährt. Mit ihr kann der Faulschlamm abgepumpt werden. Gleichzeitig lassen sich an der Eintrittsöffnung des Ejektors Düseneinätze einschrauben. Mit diesem nach vorne gerichtete Düsenstrahlen kann der Schlamm gelöst, verdünnt und abgepumpt werden.
- Die Ejektoren können bauartbedingt nur dann verstopfen, wenn sich ein Körper in den Zulauf bzw. in den Pumpenschlauch setzt, der größer ist als diese Bauteile. Bei einem Ejektor Aqua 2000 hat dieser Zulauf einen Durchmesser von 120 mm.

Mit der **Vorflutsicherung** im Rahmen der Dükerinspektion konnten folgende Erfahrungen gemacht werden:

- Düker sind Kreuzungsbauwerke. Der Zugang zum Ober- bzw. Unterhaupt erfolgt in der Regel über separate Wege. Eine direkte Verbindung zwischen den Bauwerken existiert in der Regel nicht. So ist auch die Herstellung einer direkten Rohrverbindung zwischen den Einstiegsbauwerken aufwendig. Wenn möglich sollte aus wirtschaftlichen Gründen im Rahmen einer Dükerinspektion auf die Vorflutsicherung durch Absperren zurückgegriffen werden.
- Für den Prozess der Dükerinspektion muss das Sonderbauwerk gereinigt, entleert und inspiziert werden. Die Dauer der Vorflutsicherung ergibt sich aus den Zeiten für die Entleerung und Inspektion. Aufgrund der Dükerganglinien kann die zur Verfügung stehende Zeit bei einem Rückstau in den Kanal errechnet werden und somit die einzusetzende Technik für die Entleerung und Inspektion geplant werden
- Dükerleitungen haben zudem häufig stark schwankende Durchflussmengen. Diese sind von der Art des Entwässerungsnetzes, Misch- bzw. Trennkanalisation, und dem angeschlossenen Entwässerungsgebiet abhängig. Aus diesem Grunde lassen sich üblicherweise Zeiträume definieren und für die Inspektion nutzen, bei denen mit einem minimalen Durchfluss Q [l/s] durch den Düker zu rechnen ist.
- Eine Vorflutsicherung durch Absperren war bei allen drei durchgeführten Pilotmaßnahmen möglich. Es konnte entweder nur das Rücksstauvolumen des Kanalnetzes (vgl. Baumaßnahme Oberhausen), das Rücksstauvolumen des Kanalnetzes in Kombination mit dem Abpumpen in ein Becken (vgl. Baumaßnahme Arnsberg) oder die Möglichkeit der Umleitung bei einem zweizügigen Düker (vgl. Baumaßnahme Ratingen) genutzt werden. Bei keiner der drei Baumaßnahme war es notwendig das am Oberhaupt ankommende Abwasser umzupumpen.

Für die **Planung einer Dükerinspektion** können aufgrund der oben formulierten Erfahrungen für den Gesamtprozess Dükerinspektion folgende Aussage gemacht werden:

- Die Dükerinspektion kann als Betriebsprozess verstanden werden der aus den Arbeitsschritten Dükerreinigung, Vorflutsicherung, Dükerentleerung und Dükerinspektion besteht. Insbesondere für die Prozesse Dükerreinigung und Dükerentleerung hat sich der Einsatz von Ejektoren bewährt. Sie ergänzen die bereits vorhandene Ausrüstung des Kanalbetriebspersonals. Sie sollten als Modul verstanden werden, mit dem man sowohl Kanäle reinigen als auch Wasser, Abwasser, Schlamm oder körnige Ablagerungen abpumpen kann. Durch ihre leichte Handhabbarkeit bei einer angepassten Reinigungs- und Pumpenleistung können sie den Gesamtprozess Dükerreinigung und Dükerentleerung verkürzen.
- Zur Vorbereitung einer Vorflutsicherungsmaßnahme für die Dükerinspektion muss eine Inaugenscheinnahme des Bauwerks sowie des weiteren Umfeldes erfolgen. Dabei ist

insbesondere die Zugänglichkeit zu dem Ein- bzw. Auslaufbauwerk für die HD-Fahrzeuge und das Vorhandensein von Treibwasserquellen zu beurteilen. Weiterhin ist zu klären, ob die Planunterlagen mit der Realität übereinstimmen. Bei der Besichtigung des Umfeldes des Dükers und des stromaufwärts liegenden Kanalnetzes sind folgende Fragen zu beantworten: Wie weit kann das stromaufwärts liegende Netz als Stauraum genutzt werden? Wie hoch kann zurückgestaut werden? Gibt es fest installierte Absperrlemente? Kann zusätzliches Wasser für die Dükerreinigung zugegeben werden? Können Sonderbauwerke unvorhergesehen in den Zulauf zur Dükerleitung abschlagen und somit den Durchfluss plötzlich erhöhen?

- Voraussetzung einer erfolgreichen Vorflutsicherungsmaßnahme an Dükern ist eine ausführliche Ablaufplanung und eine Vorbesprechung mit dem Kanalbetriebspersonal, in der die Verantwortlichkeiten festgelegt werden. Die Aufgaben müssen exakt beschrieben sein und die nötigen Geräte vorgehalten werden. Ein Problem kann die Kommunikation zwischen den beteiligten Einsatzgruppen darstellen. Der Abstand zwischen den Einzelgruppen ist üblicherweise so groß, dass die Kommunikation nur mit Hilfe von Funkgeräten erfolgen kann.
- Durch den Einsatz von Ejektoren können Düker, unter Beachtung der genannten Randbedingungen, innerhalb einer angemessenen Zeit inspizierbar gemacht werden. Nach der Reinigung können die im Düker befindlichen Abwassermengen innerhalb einer planbaren Zeit mit einem Ejektor abgepumpt werden.
- Die Ejektoren können nur so lange betrieben werden, wie auch Treibwasser im Fahrzeug vorhanden ist. Als Treibwasser kann Wasser aus einem Hydranten, aus dem Abwasserkanal oder einem natürlichen Gewässer verwendet werden. Wasser aus dem Abwasserkanal bzw. einem natürlichen Gewässer kann wiederum mit Hilfe von Ejektoren entnommen werden. Dabei ist zu beachten, dass das entnommene Wasser keinen zu großen Verschmutzungsgrad aufweist. Es besteht sonst die Gefahr, dass die Siebe der Aufbereiter (HD-Fahrzeuge, die mit Kanalwasser spülen) verstopfen.
- Für die Absperrmaßnahmen an dem Einlauf- bzw. Ablaufbauwerk kann üblicherweise Material verwendet werden, das zur Ausstattung des Kanalbetriebs gehört, z.B. Sandsäcke und Folien. Bei kleinen Querschnitten (bis DN 500) kann eine spezielle Absperrblase mit Durchgang verwendet werden. An dem Durchgang kann ein Ejektor angeschlossen werden, mit dem das sich rückstauende Abwasser abgepumpt werden kann.

Bei der **Ausführung zukünftiger Dükerbauwerke** sollte als wichtiger Betriebszustand auch die Dükerinspektion berücksichtigt werden. Durch die Anordnung von Absperrorganen und Entleerungsschächten, wie beispielsweise in ATV-DVWK-A 157 [5] gefordert, können die Zeiten für die Dükerreinigung und –inspektion verringert werden.

6 Literatur

- [1] Verordnung zur Selbstüberwachung von Kanalisationen und Einleitungen von Abwasser aus Kanalisationen im Mischsystem und im Trennsystem (Selbstüberwachungsverordnung Kanal - SüwV Kan). Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land NRW, Nr. 49: S. 64-67, Düsseldorf 1995
- [2] Runderlass des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (MUNLV, ehemals Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft), „Anforderungen an den Betrieb und die Unterhaltung von Kanalisationsnetzen“, 03.01.1995
- [3] Vischer D.; Huber A.: Wasserbau - Hydrologische Grundlagen, Elemente des Wasserbaus, Nutz- und Schutzbauten an Binnengewässern. Springer Verlag; 5. Auflage, 1993
- [4] Bosseler, B.; Gronau, U.: Erfahrungsbericht „Inspektion und Reinigung von Dükern“. IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen, Juli 2002
- [5] ATV-DVWK-A 157: Bauwerke der Kanalisation. November 2000