IKT - Institut für
Unterirdische Infrastruktur
Gelsenkirchen
www.ikt.de

Einsatz der Ejektortechnik bei der Dükerreinigung und -inspektion

- Juni 2004 –

Bosseler, B.; Bennerscheidt, C.

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 4

2.1 Düker 4

2.2 Vorflutsicherung 8

2.3 Ejektortechnik 12

3 Laborversuche 19

3.1 Vorversuche 19

3.2 Ejektorprüfstrecke 25

3.3 Versuchsprogramm 27

3.4 Versuchsergebnisse 29

3.5 Schlussfolgerungen 43

4 Praxis-Einsatz 46

4.1 Betriebserfahrungen 46

4.2 Pilotmaßnahmen 56

4.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 85

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen 87

6 Fazit und Ausblick 91

7 Literatur 97

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

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

- Ablagerungen und Schwimmstoffen 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 [3]. 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 1) 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.

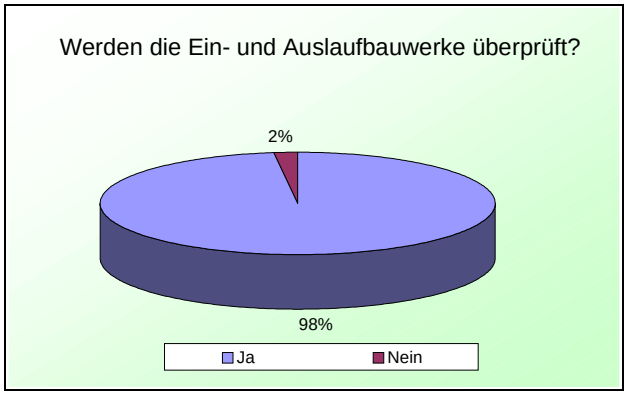


Abbildung 1: Inspektion der Ein- und Auslaufbauwerke

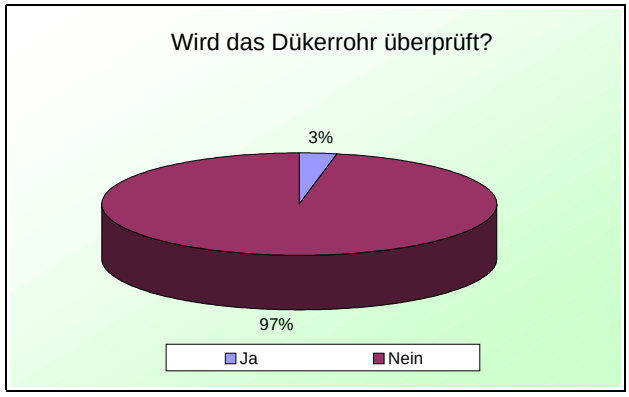


Abbildung 2: Inspektion des Dükerrohres

Im Gegensatz dazu wird eine **Inneninspektion des Dükerrohres** nur bei 2 der befragten Netzbetreiber (ca. 3 %) durchgeführt (vgl. Abbildung 2). 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.

Der Gesamtprozess Dükerinspektion setzt sich dann aus folgenden Einzelarbeitsschritten zusammen:

- 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,

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

- Entleerung des Dükerrohres mit Hilfe von Ejektoren, die an dem tiefsten Punkt des Dükers platziert werden.

- Dükerinspektion, z.B. durch eine Kamerabefahrung.

Ejektoren können somit sowohl für die Dükerreinigung als auch die Entleerung und Vorflutsicherung eingesetzt werden. Die ersten drei Arbeitsschritte sind Grundlage für den 4. Arbeitsschritt, die Inspektion. Die Gesamtdauer der Vorflutsicherung ergibt sich dann aus der Dauer für die Entleerung des Dükers zuzüglich der Dauer der Dükerinspektion:

$$\textbf{Vorflutsicherungszeit } t_V \textbf{ = Entleerungszeit } t_E \textbf{ + Inspektionszeit } t_I \textbf{ .}$$

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.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

2 Stand der Technik

2.1 Düker

2.1.1 Funktionsweise

Freispiegelgerinne treffen in ihrem Verlauf häufig auf Hindernisse, die eine Erstellung von Kreuzungsbauwerken erforderlich machen. Zu den Kreuzungsbauwerken gehören z.B. Brücken, Durchlässe, Verrohrungen und im speziellen auch Düker.

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 (s. Abbildung 3).

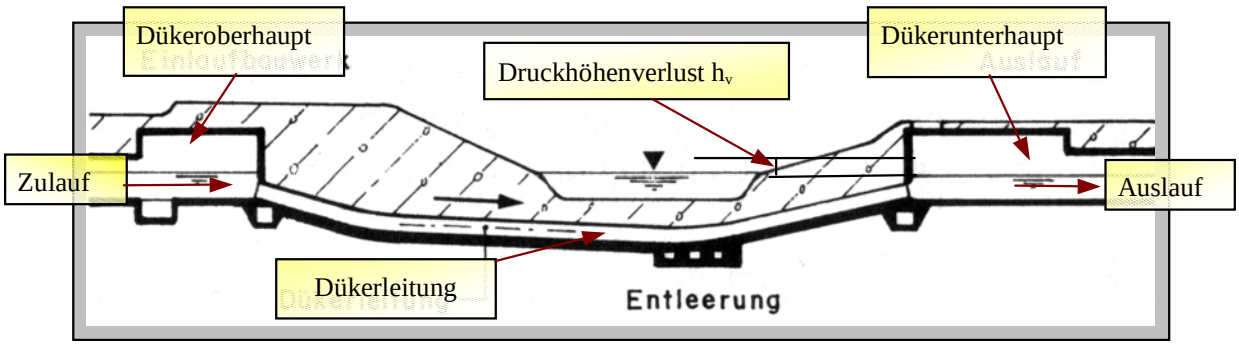


Abbildung 3: Funktionsweise eines Dükers (vgl. [4])

Aus den Reibungsverlusten des Dükers und den Ein- und Austrittsverlusten am Dükerober- bzw. -unterhaupt resultiert ein Druckhöhenverlust h_v, der durch den Höhenunterschied zwischen Ober- und –unterhaupt wieder ausgeglichen werden muss (s. Abbildung 3). Vielfältige Modifikationen, wie z.B. vertikal verlaufende Dükeräste im Ein- oder auch im Auslauf, sind möglich. Die Funktionsweise bleibt aber grundsätzlich erhalten.

Da der Volumenstrom, insbesondere in Gewässern und Mischwasserkanälen, starken Schwankungen unterworfen sein kann, sollte sich der genutzte Dükerquerschnitt den vorherrschenden Betriebszuständen anpassen können. Hierzu bietet sich z.B. der Bau mehrzügiger Düker mit gegebenenfalls unterschiedlichen Rohrdurchmessern als Alternative an.

Bei der hydraulichen Dimensionierung der Düker wird auch die Reinigungswirkung durch das durchströmende Wasser berücksichtigt. Um die Fließgeschwindigkeit und damit den Reinigungseffekt des Wassers im Düker zu erhöhen, wird oftmals der Dükerdurchmesser kleiner als der des Kanals gewählt.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Durchfließt das Abwasser den Düker nicht mit der erforderlichen Geschwindigkeit (z.B. während der Nachtstunden), sinken die im Abwasser enthaltenen Schwebstoffe ab und Ablagerungen bzw. Inkrustrationen können entstehen. Auch vorgeschaltete Sand- und Geschiebefänge bieten hier kaum Hilfe. Ablagerungen verengen den Kanalquerschnitt und können den ordnungsgemäßen Kanalbetrieb durch die Bildung von Verstopfungen und die Entstehung von Fäulnisgasen gefährden. Auch können sich schwimmfähige Materialien (z.B. Kunststoffe) mit Fett zu großflächigen Schwimmdecken verbinden. Sie stellen ebenso wie Ablagerungen Abflusshindernisse dar und müssen entfernt werden. Um einen wirksamen Betrieb von Dükern auf Dauer sicher zu stellen, bedarf es deren regelmäßiger Reinigung und Inspektion.

2.1.2 Bauarten

Im Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 157: Bauwerke der Kanalisation [5], finden sich Hinweise zum Bau von Dükern. Das Arbeitsblatt unterscheidet zwischen Dükern mit Entleerung am Dükeroberhaupt (s. Abbildung 4) und Dükern mit Entleerungsschacht am Tiefpunkt (s. Abbildung 5).

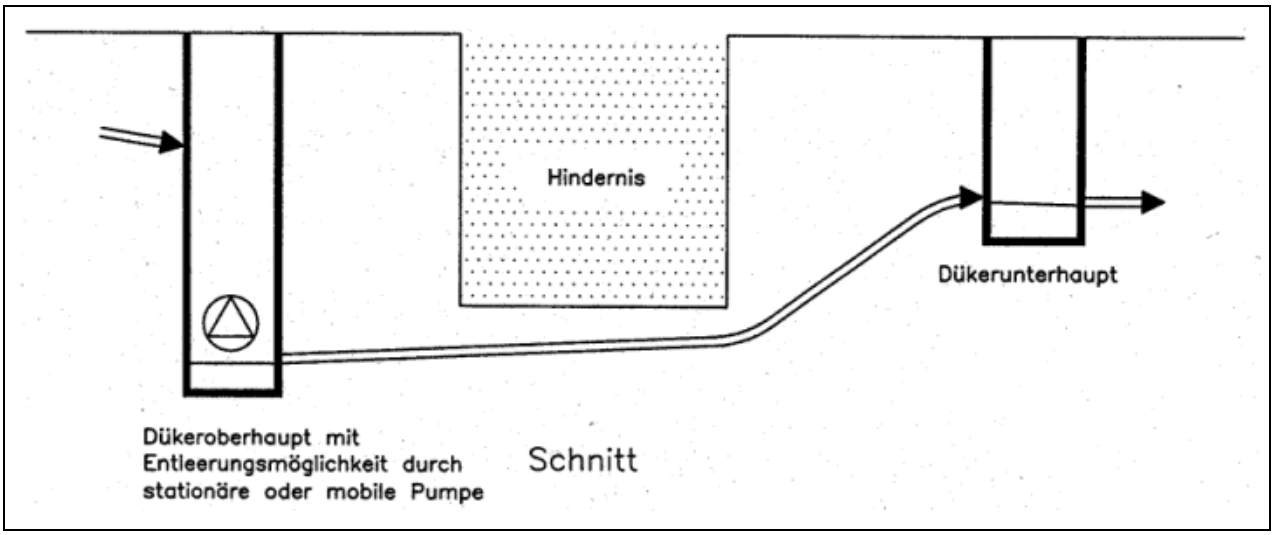


Abbildung 4: Düker mit Entleerung am Oberhaupt, aus [5]

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

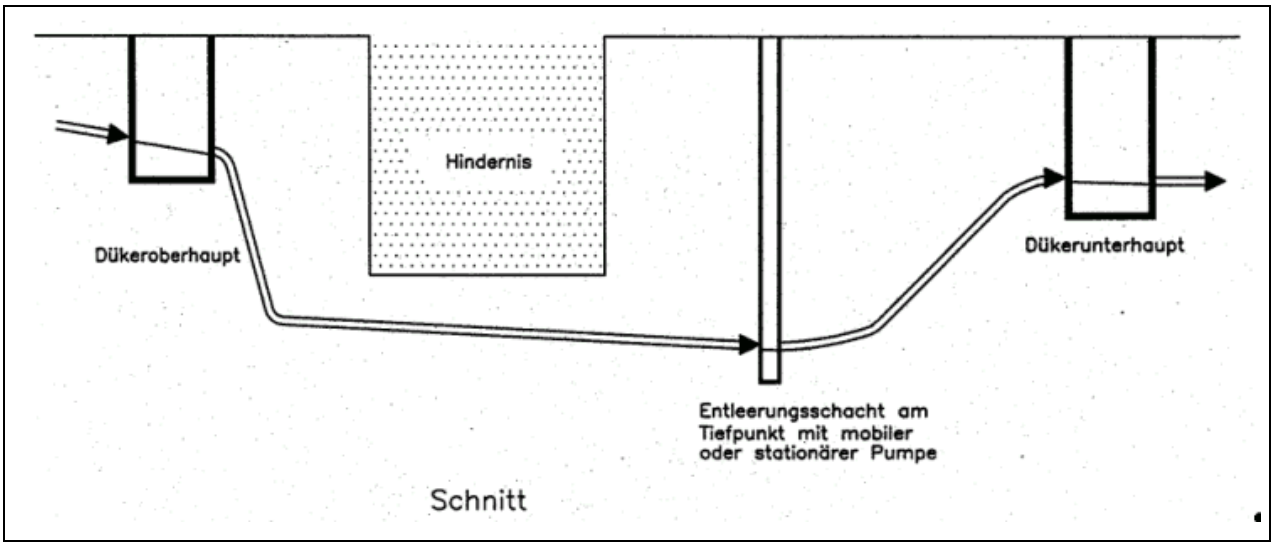


Abbildung 5: Düker mit Entleerungsschacht am Tiefpunkt, aus [5]

Des Weiteren finden sich die folgenden Hinweise zum Bau des Dükeroberhauptes, der Dükerleitung und des Dükerunterhauptes [5]:

Dükeroberhaupt

Die Verteilung des Zuflusses auf die Dükerrohre wird am zweckmäßigsten durch Überlaufschwellen oder höher angeordnete Einlaufsohlen im Oberhaupt erzielt. Dadurch wird die Ablagerung am Einlauf des Dükers vermindert.

Aus betrieblichen Gründen sind Schächte für Schieber bzw. Dammbalken unmittelbar vor dem Einlauf anzuordnen.

Zum Schutz von Personen sind bauliche Sicherheitsvorkehrungen vorzusehen.

Dükerleitungen

Es ist zweckmäßig, am Anfang der Dükerleitungen den abfallenden Ast stärker zu neigen (1 : 3 und steiler) bzw. fast senkrecht und den steigenden Ast schwächer (1 : 6 und flacher) auszubilden. Der Neigungswinkel des abfallenden Astes sollte 45° (1 : 1) nicht unterschreiten.

Am Tiefpunkt der Dükerleitung sollte ein Entleerungsschacht angeordnet werden. Der zu- und abgehende Dükerast sollte jeweils über einen Schieber verfügen, so dass jeder Dükerast separat entleerbar ist. Das Entleerungsbauwerk muss über einen Pumpensumpf verfügen, um die anfallenden Entleerungsmengen abzupumpen. Dies kann mit einer transportablen Pumpe erfolgen. Der stationäre Einbau einer Pumpe ist i. d. R. nicht erforderlich.

Dükerunterhaupt

Am Ende des steigenden Astes sind Betriebsschieber mit Entlüftungen vorzusehen. Unterhalb der Schieber werden die getrennten Dükerrohre mit höher angeordneten Auslaufsohlen wieder zusammengefasst, um die Ansammlung von Schmutzstoffen zu vermindern.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

2.1.3 Betrieb

In [3] wurden im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalens (MUNLV) bereits Erfahrungen von Netzbetreibern mit dem Betrieb von Dükern zusammengefasst. Die folgenden Ausführungen basieren auf diesen Ergebnissen.

Dükerreinigung

Die Reinigung eines Dükers wird stets erforderlich, wenn aufgrund von Ablagerungen oder sonstigen Ablusshindernissen die vorgesehene hydraulische Leistungsfähigkeit nicht mehr gesichert ist. Auch zur Vorbereitung einer optischen Inneninspektion des Dükerrohres und zur Vermeidung von Geruchsbelästigungen muss die Leitung gereinigt werden.

Inwieweit Ablagerungen und sonstige Abflusshindernisse den Betrieb des Dükers beeinträchtigen, kann bereits durch Prüfung des Rückstauverhaltens am Dükeroberhaupt erkannt werden. In der Literatur [6] sind darüber hinaus auch Verfahren bekannt, um Ort und Höhe der Ablagerungen innerhalb der Dükerleitung ohne Beeinträchtigung des Kanalbetriebs, z.B. durch Absperrung mit Rückstau am Dükeroberhaupt, feststellen zu können. Dabei werden nach [6] zwei miteinander verbundene Druckmesssonden durch den Kanal gezogen. Eine Druckmesssonde schwimmt am Rohrscheitel, die zweite wird über die Rohrsohle gezogen. Aus der Druckhöhendifferenz lässt sich die Wasserstandshöhe über den Ablagerungen ermitteln. Bei bekannten Scheitelhöhen sind dann Rückschlüsse auf die Ablagerungshöhen bezogen auf die Dükerrohrlänge möglich. Von den befragten Betreibern wurde dieses Verfahren allerdings bisher nicht eingesetzt.

Als mögliche Reinigungsverfahren für Dükerrohre werden in der Literatur z.B. die Reinigung mit Bürsten und Druckpumpen [7] sowie die Schwallspülung [5] genannt. Für die Schwallspülung ist eine sprunghafte Erhöhung des Volumenstroms erforderlich. Dabei durchfließt die 2,5- bis 3-fache Menge des Dükervolumens schwallartig das Dükerrohr [5], [7]. Zur Spülung kann das in einem Speicher aufgestaute (Ab-)wasser verwendet werden. Ein weiteres Beispiel für ein Reinigungssystem ist das aus Skandinavien bekannte Renspump-System [8] (s. Abbildung 6). Dieses besteht aus einem herkömmlichen Düker, einem Abflussspeicher im hinteren Dükerast und einer Spülpumpenanlage im vorderen Dükerast. Im Normalbetrieb wird der Düker wie ein gewöhnlicher Freigefälledüker betrieben. Ein- bis zweimal täglich pumpt die Spülpumpe Luft in den aufsteigenden Dükerast und vergrößert damit die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers. Der Abflussspeicher hält die für den Spülvorgang benötigte Wassermenge bereit. Nach Beendigung der Reinigung wird der Abflussspeicher erneut aufgefüllt und das System arbeitet wieder als herkömmlicher Freigefälledüker. Nach Herstellerangaben [8] wird das Renspump-System erfolgreich in den skandinavischen Ländern angewandt. In NRW wird es bisher von den befragten Betreibern allerdings nicht eingesetzt.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

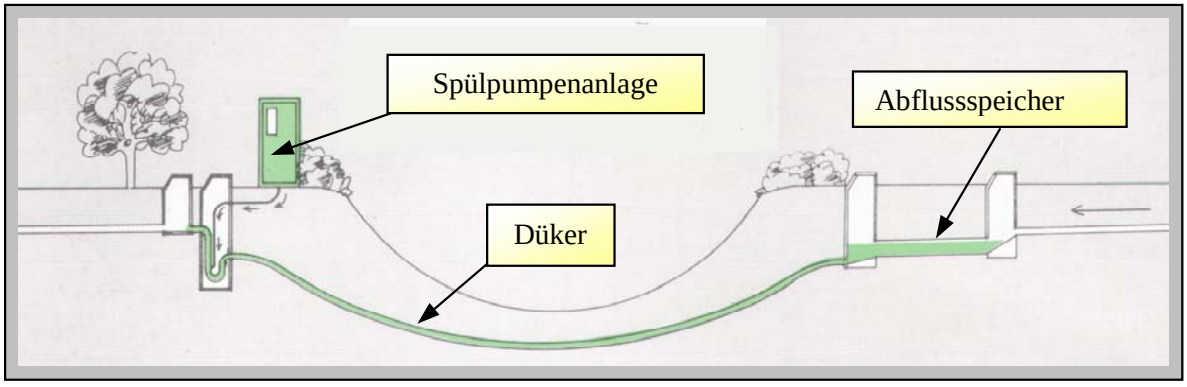


Abbildung 6: Beispiel für ein Reinigungssystem: Renspump-System (vgl. [8])

Die befragten Betreiber setzen zur Reinigung ihrer Düker beinahe ausschließlich das Hochdruckspülverfahren bei vollgefüllter Dükerleitung ein. Dabei ist zu beachten, dass der Reinigungsstrahl durch die wassergefüllte Umgebung abgeschwächt wird und eine geringere Reinigungsleistung als bei abwasserfreier Rohrleitung entfaltet. Schmutzwasserdüker weisen erwartungsgemäß eine stärkere Ablagerungsneigung als Regen- oder Mischwasserdüker auf.

Grundsätzlich werden die Düker der befragten Netzbetreiber im Zuge der üblichen Kanalreinigung mit gereinigt. Sofern sich im laufenden Betrieb zeigt, dass Düker zum Verstopfen neigen, werden zusätzliche Dükerreinigungen veranlasst und die Reinigungsintervalle entsprechend verkürzt. Probleme treten kaum bei der eigentlichen Reinigung der Düker auf, sondern resultieren meist aus schwierigen Randbedingungen, wie z.B. mangelnder Zugänglichkeit der Dükerober- und –unterhäupte bzw. unzureichenden Fahrwegen für das Reinigungsfahrzeug (aufgeweichte Flusswiesen u.a.).

Das nach dem Stand der Technik mögliche Reinigungsverfahren der Schwallspülung wurde von den befragten Betreibern nicht zur Dükerreinigung eingesetzt.

Bei einem Betreiber wurden die Düker mit Molchen (Schwämmen) gereinigt, die mit dem Abwasserstrom durch den Düker gedrückt werden. Nach Betreiberaussage ist bei diesem Reinigungssystem eine zufriedenstellende Reinigungsleistung festzustellen.

2.2 Vorflutsicherung

Nach DIN 4045 [9] ist der Begriff Vorflut als „Möglichkeit des Wassers und Abwassers, mit natürlichem Gefälle oder durch künstliche Hebung abzufließen“ definiert. Bei der Inspektion oder Sanierung von Kanälen kann der Abwasseranfall in den meisten Fällen nicht eingeschränkt werden, so dass der laufende Kanalbetrieb gewährleistet werden muss. Der Aufrechterhaltung der Abwasservorflut kommt somit eine besondere Bedeutung zu. Sie beeinflusst die Maßnahme technisch und wirtschaftlich. Zur Vorflutsicherung bieten sich in Abhängigkeit der jeweiligen örtlichen Bedingungen folgende Möglichkeiten an:

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

- **Absperren:** zeitweise Unterbrechung der Vorflut durch begrenzten Rückstau im Kanal oberhalb des Inspektions- oder Schadensbehebungsbereiches und spätere Ableitung [10],
- **Durchleiten:** Aufrechterhaltung der Vorflut durch Maßnahmen innerhalb der zu inspizierenden oder zu sanierenden Kanalhaltungen [10],
- **Überleiten:** Aufrechterhaltung der Vorflut durch Maßnahmen außerhalb des zu inspizierenden oder des zu sanierenden Kanals [10].

Eine Technik zur Unterstützung der o.a. Möglichkeiten zur Vorflutsicherung ist die Ejektortechnik [10], die auch Gegenstand des vorliegenden Vorhabens ist.

2.2.1 Absperren

Diese Möglichkeit der Vorflutsicherung findet überwiegend bei der Reinigung und Inspektion von Kanalhaltungen Anwendung. Sie ist zeitlich begrenzt und kann daher nur bei wenigen Sanierungsmaßnahmen eingesetzt werden. Es wird dabei das Abwasser mit Hilfe eines Absperrorgans zurückgestaut, die Vorflut zeitweise unterbrochen und dadurch der folgende Kanalabschnitt abwasserfrei gehalten. Voraussetzung hierfür ist ein geringer Abwasserzufluss und ausreichende Rückstaumöglichkeiten.

Abbildung 7: Absperrblasen [11]

Abbildung 8: Rohrverschlüsse [12]

Als Absperrelemente kommen Absperrblasen (s. Abbildung 7), sogenannte Rohrverschlüsse oder Absperrscheiben (s. Abbildung 8) oder Sandsäcke zum Einsatz. Die Absperrgeräte müssen mittels eines Verbaus (s. Abbildung 9) gesichert werden. Der Abwasserrückstau ist kontinuierlich zu kontrollieren, um Schäden zu vermeiden. Die Absperrzeiten können durch Einsatz eines Saugfahrzeuges verlängert werden. Nach Absaugen des Abwassers aus dem Schacht vor der Absperrung wird es durch das Fahrzeug zum nächsten unterhalb gelegenen Schacht befördert und dort wieder eingeleitet.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Abbildung 9: Verbau von Absperrvorrichtungen [13]

2.2.2 Durchleiten

Bei dieser Art der Vorflutsicherung wird das anfallende Abwasser durch eine innerhalb des Kanals provisorisch verlegte Rohrleitung gefasst und bei geringen Abflussmengen im natürlichen Gefälle unter Verzicht von Pumpen abgeleitet. Es wird ein begrenzter Arbeitsraum geschaffen, der die Inspektion und die Instandhaltung ermöglicht. Voraussetzung für diese Lösung ist die Begehbarkeit des Kanalquerschnittes und ein ausreichendes Platzangebot für die Verlegung der Vorflutleitung. Zudem ist es erforderlich, die Abflussmenge genau abzuschätzen, um die Leitung entsprechend zu dimensionieren. Bei unerwartet starkem Abwasseranfall muss die betreffende Kanalhaltung – aus Gründen der Betriebssicherheit - nach kurzer Vorbereitungszeit wieder in Betrieb genommen werden können.

Eine Variante dieser Technik zeigt Abbildung 10. Hierbei wird das Abwasser nicht durch eine Rohrleitung, sondern durch einen in den Kanal eingezogenen, flexiblen Schlauch geleitet. Diese Methode wird beim Kurzrohrverfahren eingesetzt und ist unter der Bezeichnung „Kathetermethode“ bekannt.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

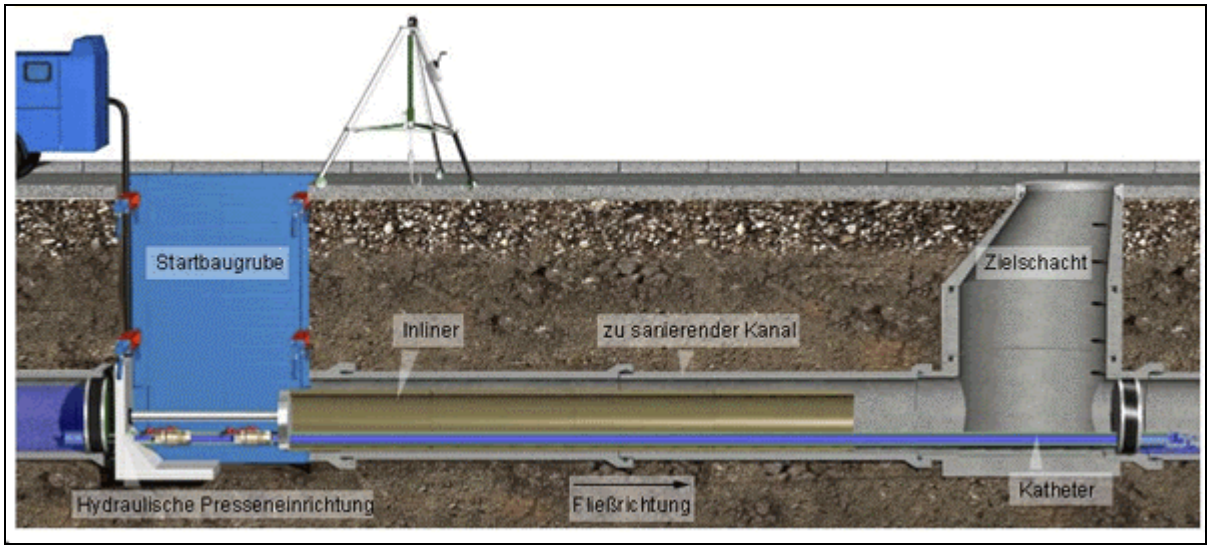


Abbildung 10: Aufrechterhaltung der Vorflut mit der Kathetermethode [14]

2.2.3 Überleiten

Zur Aufrechterhaltung der Vorflut wird der Betrieb der betroffenen Kanalleitung eingestellt und das Abwasser durch eine oberirdisch geschaffene Rohrleitung in den nächsten Schacht geleitet (s. Abbildung 11 und Abbildung 12).

Abbildung 11: Vorflutsicherung durch Überleiten [15]

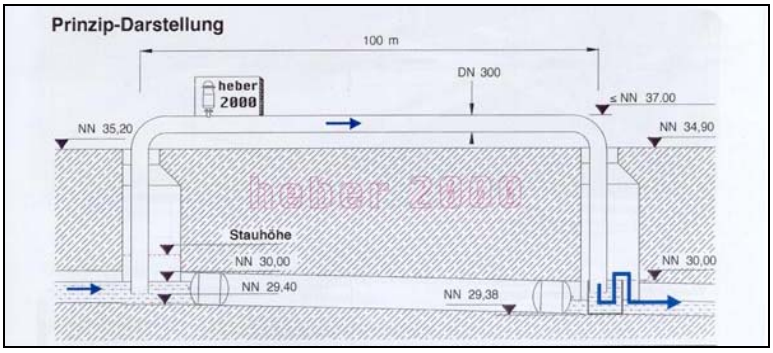


Abbildung 12: Prinzip-Darstellung der Arbeitweise eines Hebers [7]

Der Transport des Abwassers kann mittels Pumpen oder sogenannten Hebern erzielt werden. Der Heber stellt eine gebogene Röhre dar und wird allgemein zum Umfüllen von Flüssigkeiten eingesetzt. Sein Funktionsprinzip beruht, wie auch das des Dükers, auf dem Prinzip der kommunizierenden Röhren. Im Bereich der Abwassertechnik wird mit Hilfe von Hebern das Abwasser über ein höher als der Abwasserspiegel gelegenes Niveau in ein tiefer gelegenes gefördert. Als Antriebsenergie dient die Wasserspiegeldifferenz zwischen dem Zulaufschacht und der Ausflussöffnung des Hebers. Durch Umsetzen dieser potentiellen Energie in kinetische Energie bewirkt der Heber in der Heberleitung einen Volumenstrom. Zum Betrieb muss das Abwasser mittels einer Vakuumanlage angesaugt werden. Der Einsatz ist allerdings durch den atmosphärischen Druck auf geringe Überleitungshöhen begrenzt (< 10 m).

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

2.3 Ejektortechnik

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 13). Auf dem weiteren Strömungsweg vermischen sich Treibwasser und Fördermedium bis zum völligen Impulsausgleich.

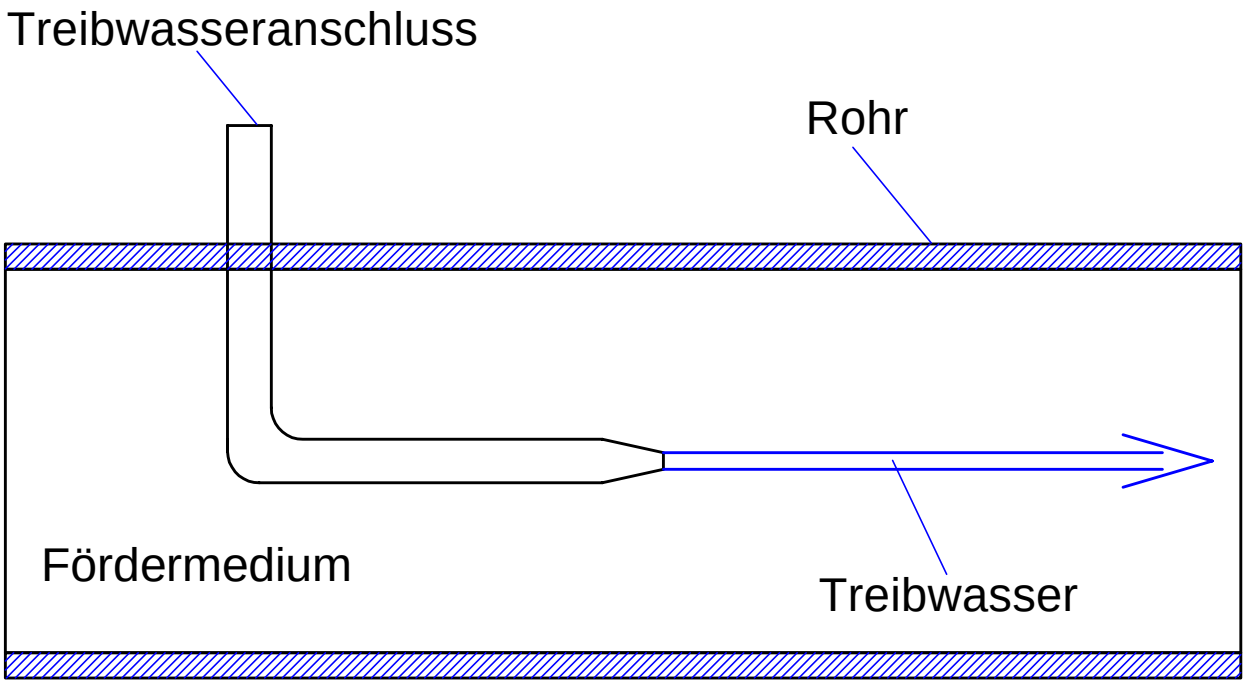


Abbildung 13: Wirkprinzip einer Flüsskeitsstrahl-Flüssigkeitspumpe, Ejektor

Aufbau und Funktionsprinzip einer im Bereich der Verfahrenstechnik zur Anwendung kommenden Flüssigkeitsstrahl-Flüssigkeitspumpe ist in Abbildung 14 dargestellt. Ein Beispiel für die Darstellung einer Wasserstrahl-Pumpe aus der praktischen Anwendung der Feuerwehr zeigt Abbildung 15. Dort wird das Speise- bzw. Treibwasser z.B. aus einem Hydranten zugeführt und der Ejektor zum Freipumpen von überfluteten Gebäuden eingesetzt.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

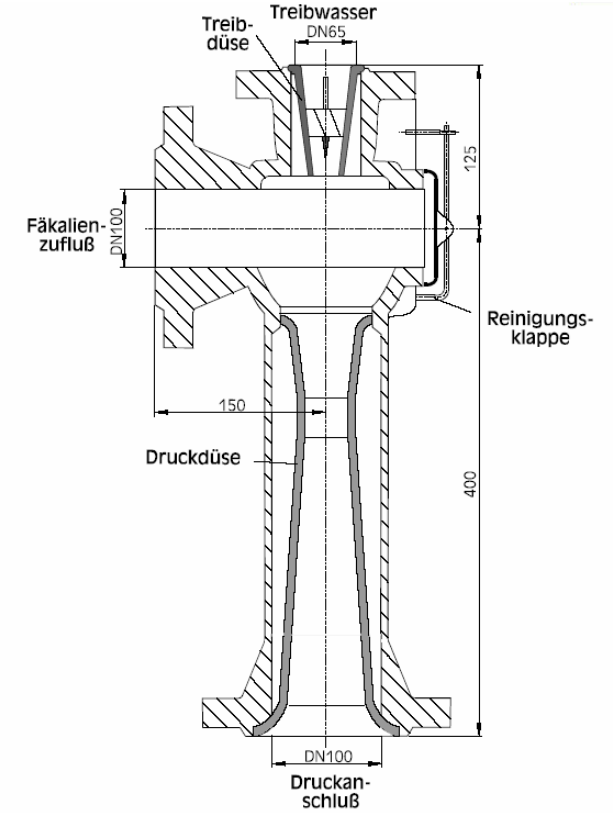
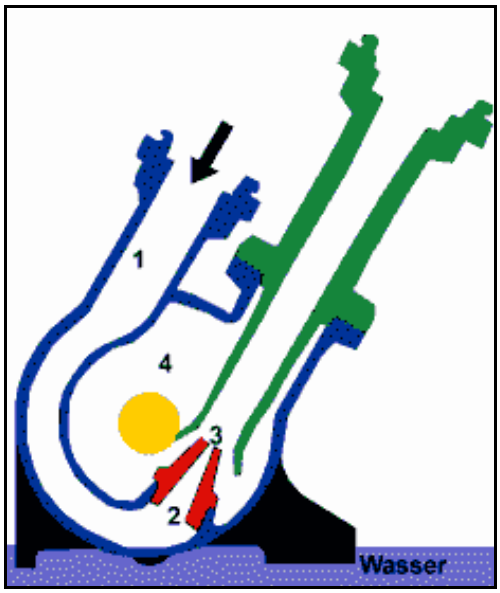


Abbildung 14: Beispiel einer Ejektordüse aus dem Bereich der Verfahrenstechnik [16]



1 – Rohr
2 – Treibdüse
3 – Fangdüse
4 – Unterdruck-Kammer

Abbildung 15: Darstellung einer Wasserstrahlpumpe, Feuerwehr [17]

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 16 und Abbildung 17 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 17 sind einige der Düseneinsätze zu erkennen, aus denen die Einzelstrahlen in das Fördermedium beschleunigt werden.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

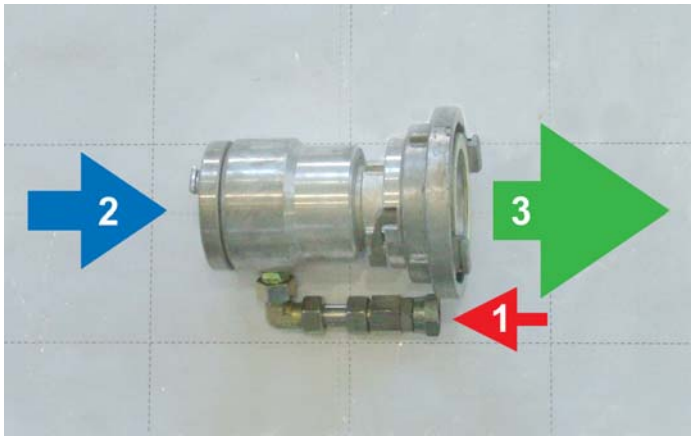


Abbildung 16: Funktionsprinzip eines Ejektors für den Kanalbetrieb am Beispiels des Ejektors C 12 der Firma Quest, Herford

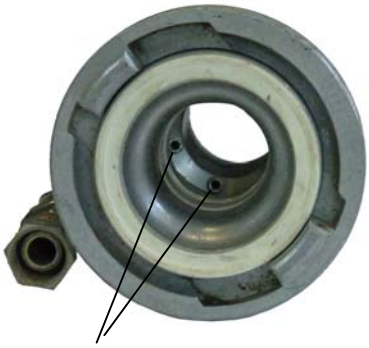


Abbildung 17: Blick in die Wasseraustrittsseite des Ejektors C 12

Bisher wurden Ejektordüsen vorwiegend zur Kanalreinigung eingesetzt. Die Anwendung im Rahmen der Vorflutsicherung stellt einen auf wenige Netzbetreiber beschränkten Sonderfall dar. Diesbezügliche Erfahrungen wurden kaum dokumentiert, auch liegen keine reproduzierbaren Ergebnisse zur Leistungsfähigkeit sowie den Einsatzmöglichkeiten und -grenzen für diesen Anwendungsfall vor.

Tabelle 1 und Tabelle 2 zeigen typische Produktbeispiele der am Markt verfügbaren Ejektoren zum Reinigen und Pumpen in der Abwassertechnik (vgl. [18]). In Tabelle 3 sind Sohlenreiniger mit Ejektorwirkung dargestellt, die auch in Kanälen mit geringer Wasserführung eingesetzt werden können. Sie richten Ihre ganze kinetische Energie auf die Kanalsohle. In einem Hohlraum hinter den Düsenaustrittsöffnungen entsteht ein Unterdruck, durch den das im Kanal vorhandene Wasser in den Ejektor gesaugt wird. Tabelle 4 zeigt einen bei hohen Verschmutzungen in kleinen Nennweiten einsetzbaren Ejektor. Zum Reinigen kann hier eine Wassermenge von bis zu 2000 l/min durch das Kanalrohr gespült werden. In Fachkreisen wird dieses Vorgehen auch als "Sanfte Reinigung" umschrieben (vgl. [19]).

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Tabelle 1: Ejektordüsen (HD-Ejektordüsen), Produktbeispiele [18]

Düse	**Nennweitenbereich**	
Aqua 1000	DN 250 bis DN 500	
Aqua 2000	DN 500 bis DN 1200	
Aqua 3000	DN 500 bis DN 3000	
Aqua 4000	DN 1200 bis DN 3000	

Tabelle 2: Ejektordüsen zur Saugunterstützung, Produktbeispiele

Düse	**Einsatzbereich**	
C 12	Befüllen von Reinigungsfahrzeugen, Entleeren von überfluteten Kellern, Dükerentleerung	
C 16	Saugunterstützung bei tiefen Schächten, Dükerentleerung	

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Tabelle 3: Sohlenreiniger mit Ejektoreffekt, Produktbeispiele [18]

Düse	**Nennweitenbereich**	
Aqua 150	bis DN 600	
Aqua 200	DN 250 bis DN 400	
Aqua 400	DN 400 bis DN 1000	

Tabelle 4: Ejektordüsen für die „sanfte Kanalreinigung", Produktbeispiele [18]

Düse	**Nennweitenbereich**	
Aqua 500	DN 150 bis DN 400	

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Um den Ejektor mit dem Förderrohr bzw. die Förderrohre untereinander verbinden zu können, werden in der Regel Kupplungssysteme eingesetzt, die auch aus anderen Anwendungsbereichen wie z.B. der Feuerwehr oder der Landwirtschaft bekannt sind. Übliche Kupplungssysteme sind Storz-Kupplungen (s. Abbildung 18 und Abbildung 19), Perrot-Kupplungen (s. Abbildung 20 und Abbildung 21) und Tankwagen-Kupplungen (s. Abbildung 22 und Abbildung 23). Sie werden für Rohre mit unterschiedlichen Durchmessern angeboten. Storz-Kupplungen sind beispielsweise für Rohre mit einem Innendurchmesser von 19 bis 150 mm erhältlich.

Abbildung 18: Storz-Kupplung, drehbar [20]

Abbildung 19: Storz-Kupplung, lang [20]

Abbildung 20: Perrot-Kupplung, Mutterteil [20]

Abbildung 21: Perrot-Kupplung, Vaterteil [20]

Abbildung 22: Tankwagenkupplung, Kronenring [21]

Abbildung 23: Tankwagenkupplung, Spannring [21]

In Abbildung 24 und Abbildung 25 sind Ejektoren mit Anschluss des Hochdruckschlauches und des Schlauches zum Fortleiten des Abwassers dargestellt. Zur Erhöhung des Wasserdruckes können auch mehrere Ejektoren in Reihe geschaltet werden (s. Abbildung 26) und so der

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Reibungsverlust in langen Über- oder Durchleitungsstrecken stufenweise ausgeglichen werden. Durch parallel geschaltete Ejektoren kann der förderbare Volumenstrom erhöht werden.

Abbildung 24: handelsübliche Ejektordüse

Abbildung 25: Ejektordüse mit angeschlossenen Leitungen

Abbildung 26: Ejektordüsen in Reihe geschaltet

Abbildung 27 bis Abbildung 30 verdeutlichen den Aufbau einer Vorflutsicherung durch Überleiten. Zunächst wird eine Absperrblase mit Kupplungsstück in der Abwasserleitung platziert, ein 90°-Bogen angeschlossen und dieser mit dem Ejektor samt Hochdruckschlauch und Förderrohr verbunden. Nach dem Aufpumpen der Absperrblase kann die Förderung beginnen.

Abbildung 27: Abwasserleitung und Dichtblase

Abbildung 28: eingesetzte Dichtblase

Abbildung 29: Anschluss des 90°-Bogens

Abbildung 30: Anschluss des Ejektors mit Hochdruckschlauch und Förderrohr

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

3 Laborversuche

Die Laborversuche dienten der Ermittlung der Leistungsfähigkeit von Ejektordüsen und gliederten sich in drei Arbeitsschritte:

Im ersten Arbeitsschritt wurde, in Form von **Vorversuchen**, auf einfache Art eine Versuchsstrecke aufgebaut, die im wesentlichen einer Standardanwendung im Kanalbetrieb entspricht – der Vorflutsicherung durch Überleiten.

In einem zweiten Arbeitsschritt wurde aufgrund dieser Erkenntnisse ein Versuchsstand, die sogenannte **Ejektorprüfstrecke**, konzipiert. Hier sollten reproduzierbare Druck-Durchfluss-Kennlinien für unterschiedliche Ejektoren ermittelt werden.

Als dritter Arbeitschritt wurden in einem **Versuchsprogramm** beispielhaft die Druck-Durchfluss-Kennlinien für drei Ejektoren ermittelt.

3.1 Vorversuche

Auf dem Gelände des IKT wurden Vorversuche mit einer Ejektordüse (Abbildung 31) an Versuchsaufbauten mit unterschiedlicher Druckhöhe durchgeführt (vgl. Abbildung 34 und Abbildung 37). Der Versuchsaufbau bestand aus einem Hochdruckreinigungsfahrzeug (HD-Fahrzeug), einem Ejektor, einer Rohrleitung zum Überleiten des Wassers und Messtechnik zur Bestimmung von Druck und Durchfluss an der Düse des HD-Fahrzeugs und des Durchflusses in der Rohrleitung. Die Druckhöhe wurde durch den Höhenunterschied $\Delta h = 5m$ zwischen Ejektor und Geländeoberkante (GOK) plus die Reibungsverluste in den Rohren eingestellt. Dabei konnten die Reibungsverluste durch die Verwendung von Übergangsstücken und Rohrbögen variiert werden. In beiden Fällen wurde das Wasser aus einem Kanal durch einen PVC-Schlauch an die Oberfläche gepumpt.

In einem ersten Versuch wurde das Wasser nach der Entnahme durch eine ca. 40 Meter lange Stahlleitung transportiert, die eine Querschnittsverjüngung von DN 100 auf DN 50 und eine Querschnittsaufweitung von DN 50 auf DN 100 besaß. Die Winkeländerungen in der Stahlleitung betrugen in der Summe ca. 250°. Bei einem zweiten Versuch wurde das Wasser ebenfalls aus dem Kanal nach oben gefördert und dann durch eine ca. 10 Meter lange Leitung DN 100 in einen Seitengraben gepumpt. Die Winkeländerung betrug 90° (Übergang Entnahmeschacht in die Stahlleitung). In der Folge waren die Reibungsverluste und damit die Gesamtdruckhöhe im zweiten Versuch deutlich geringer.

Bei beiden Versuchen wurden Druck und Durchfluss am Ende des HD-Schlauchs gemessen. Abbildung 32 zeigt die verwendete Messeinheit bestehend aus magnetisch-induktivem Durchflussmessgerät (MID) und Drucksensor.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Um die Leistungsfähigkeit des ausgewählten Ejektors abschätzen zu können, wurde der Volumenstrom des Wassers in der Stahlleitung nach der geförderten Höhe von 5 Metern mit einem Ultraschalldurchflussmessgerät (UDM) gemessen (Abbildung 33).

Abbildung 31: Getesteter Aqua 1000

Abbildung 32: Messeinheit am Ende des HD-Schlauchs

Abbildung 33: Durchflussmessung an der Stahlleitung (UDM)

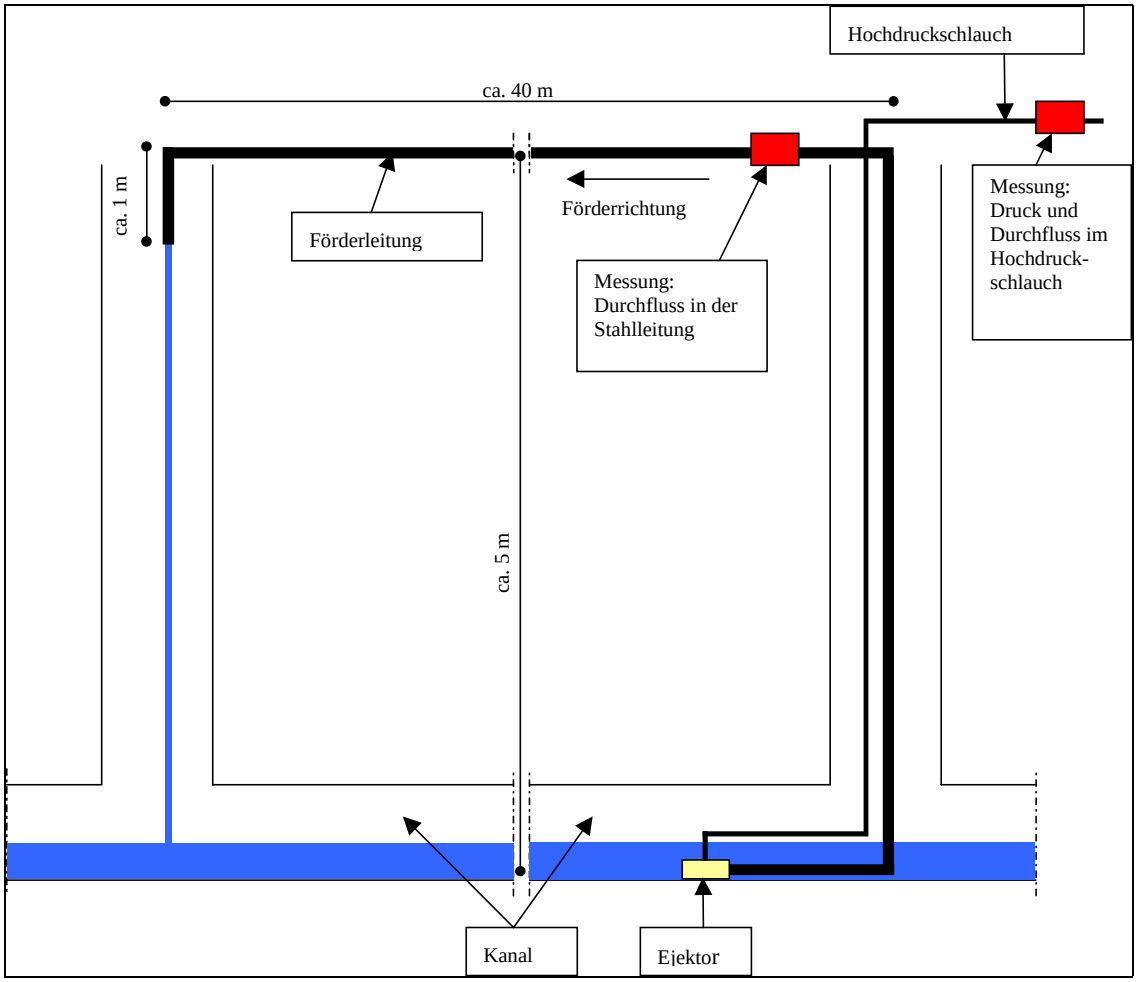


Abbildung 34 Versuchsaufbau für den Vorversuch 1

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Abbildung 35: Reinigungsfahrzeug und Inspektionsfahrzeug im laufenden Versuch

Abbildung 36: Messwertaufnahme im Inspektionsfahrzeug

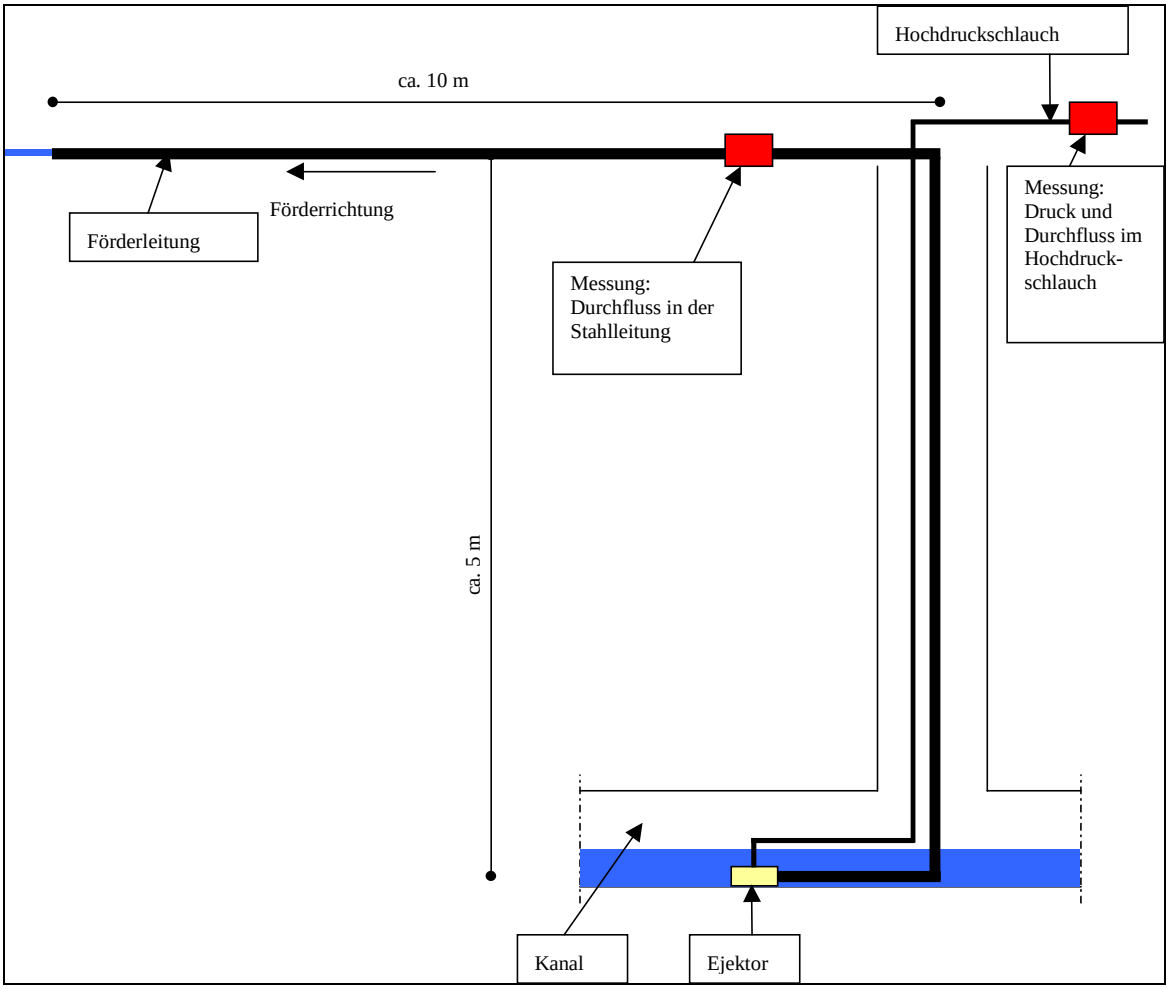


Abbildung 37: Versuchsaufbau Vorversuch 2

In Abbildung 38 und Abbildung 39 sind die aufgezeichneten Messwerte für Druck und Durchfluss an der Düse bzw. Durchfluss in der Stahlleitung dargestellt. Die Analyse unterstreicht, dass die Messwerte nur bei Kenntnis der eingesetzten Messtechnik zuverlässig

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

interpretiert werden können. Das UDM reagiert z.B. mit Verzögerung auf Durchflussänderungen. Darüber hinaus zeigt sich, dass es in unteren Druckbereichen zu einem vollständigen Ausfall der Förderleistung kommt. So wurde im ersten Versuch bei einem Wasserdruck von etwa 100 bar am HD-Fahrzeug ein Abreißen der Wassersäule im Messrohr beobachtet.

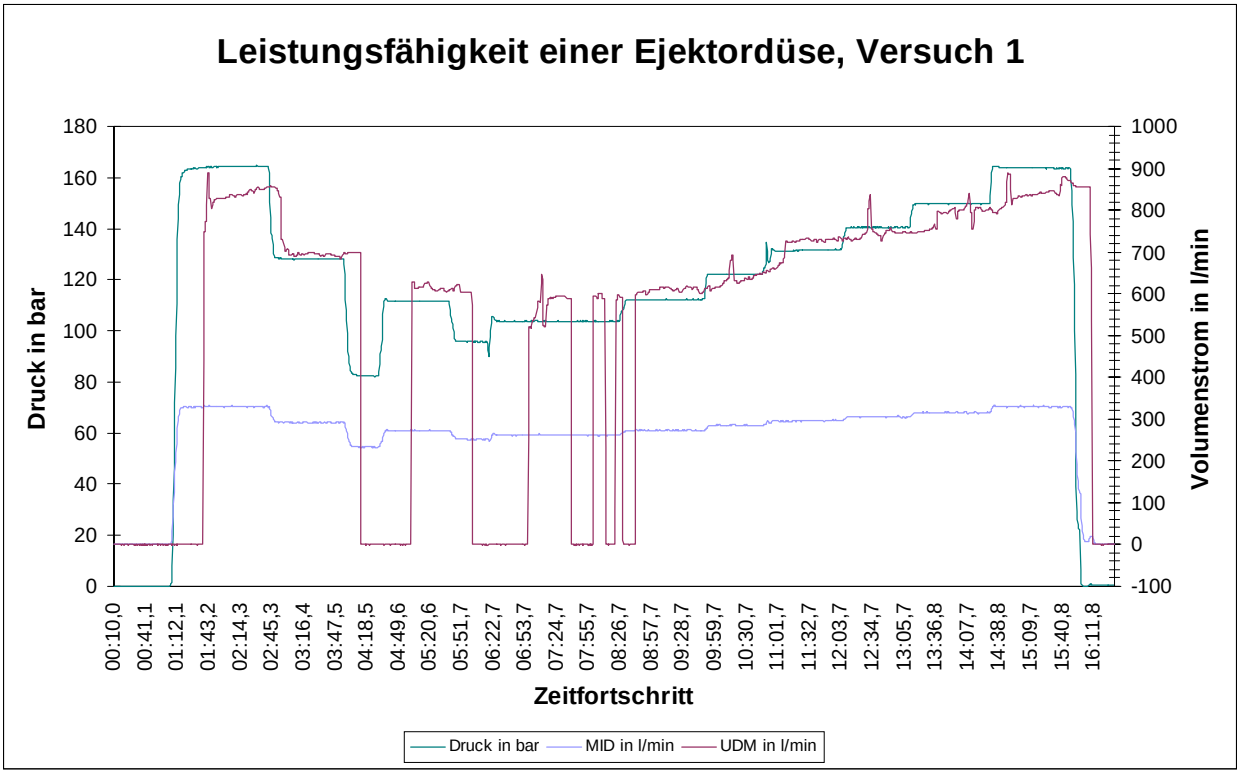


Abbildung 38: Messwerte des Vorversuches 1

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

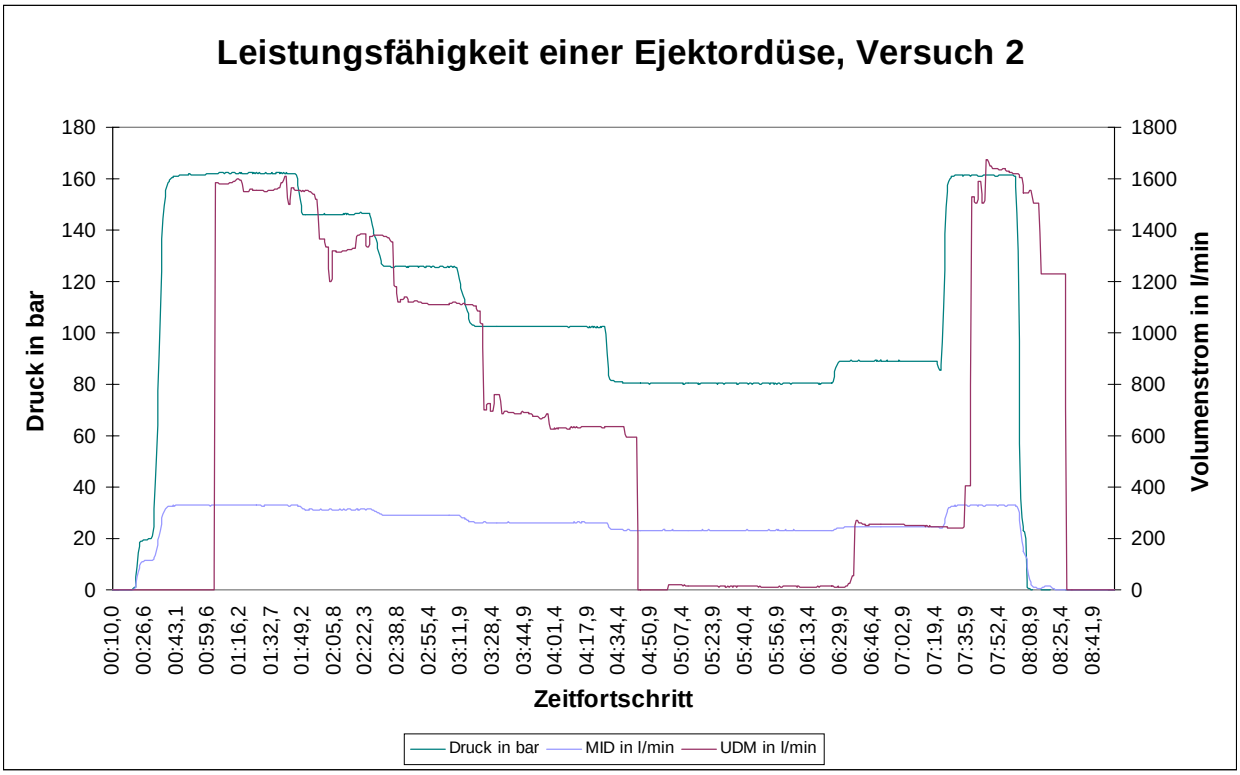


Abbildung 39: Messwerte des Vorversuches 2

Von besonderem Interesse ist der Vergleich der Treibwasserzufuhr aus dem HD-Fahrzeug (Q_{Treib}) mit dem geförderten Wasservolumenstrom (Q_{Trans}). Der Wasserdruck am Reinigungsfahrzeug erreichte während der Versuche Werte von bis zu 160 bar. Die Leistungsfähigkeit der Ejektordüse, als Verhältniswert zwischen der transportierten Wassermenge (Q_{Trans}) und der Treibwassermenge (Q_{Treib}), konnte bei Wasserdrücken am Reinigungsfahrzeug zwischen 105 und 165 bar im Versuch 1 zu 1,2 bis 1,8 bestimmt werden.

Im Versuch 2 zeigte die Leistungsfähigkeit der Ejektordüse (Q_{Trans}/Q_{Treib}) aufgrund der geringeren Verluste in der Stahlleitung erheblich höhere Verhältniswerte von bis zu 4. Das heißt, der Ejektor hat die **vierfache** Menge des durch ihn gepumpten Wassers gefördert. Der Mindestdruck am Reinigungsfahrzeug, ab dem der Ejektor Wasser pumpte, betrug in diesem Fall ca. 80 bar.

In Tabelle 5 und Tabelle 6 sind die wesentlichen Ergebnisse zusammengefasst.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Tabelle 5: Ergebnisse des Vorversuches 1

Druck am Reinigungs-fahrzeug [bar] P_{Terub}	Volumenstrom am Reinigungsfahrzeug [l/min] Q_{Treib}	Volumenstrom des geförderten Wassers [l/min] $Q_{Trans}=Q-Q_{Treib}$	Verhältniswert [-] Q_{Tran}/Q_{Traib}
103	262	332	1,2
110	272	338	1,2
112	272	339	1,2
122	283	364	1,3
128	290	401	1,4
135	311	547	1,8
137	300	433	1,4
147	310	435	1,4
150	314	526	1,7
164	331	519	1,6

Tabelle 6: Ergebnisse des Vorversuches 2

Druck am Reinigungsfahrzeug [bar] P_{MID}	Volumenstrom am Reinigungsfahrzeug [l/min] Q_{Treib}	Volumenstrom des geförderten Wassers [l/min] $Q_{Trans}=Q-Q_{Treib}$	Verhältniswert [-9 Q_{Trans}/Q_{Treib}
89	243	10	0,04
102	261	371	1,4
125	290	828	2,9
146	312	1008	3,2
161	326	1306	4
162	329	1224	3,7

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das Förderverhältnis der Ejektordüse (Q_{Transt}/Q_{Treib}) um so größer, je größer der Druck des sie antreibenden Hochdruckwasserstrahls aus dem Reinigungsfahrzeug ist. Der zu erzielende Durchfluss ist wesentlich von der zu überwindenden Druckhöhe abhängig. Mit den o.a. Versuchen konnten die grundsätzliche Eignung der

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Ejektortechnik für Pumpleistungen nachgewiesen und erste Erkenntnisse zur Konzeption einer Ejektorprüfstrecke gewonnen erden.

3.2 Ejektorprüfstrecke

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurde eine Versuchsstrecke konzipiert, die den Betrieb unterschiedlicher Ejektoren unter wechselnden, reproduzierbaren Bedingungen ermöglicht. Der gesamte Versuchsaufbau wurde in einer Rohrleitung DN1200/1800 (Eiprofil) aufgebaut. Die Leitung wurde hinter einem Absperrelement 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 40).

Das Messrohr und der anschließende Auslaufbogen sind in Abbildung 41 dargestellt. Abbildung 42 zeigt das Ansaugrohr im abgesperrten Leitungsabschnitt nach Abschluss der Pumpmaßnahme. Abbildung 43 a) und b) zeigen beispielhaft den Wasseraustritt aus dem Auslaufbogen am Ende der Prüfstrecke. Die Absperrklappe ist hierbei voll geöffnet. Messtechnisch erfasst wurden Druck und Durchfluss im Messrohr sowie Druck und Durchfluss am Ende des HD-Spülschlauchs (s. Abbildung 44). Alle Messgrößen wurden zentral mit einer Messwerterfassungsanlage aufgezeichnet (s. Abbildung 45).

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

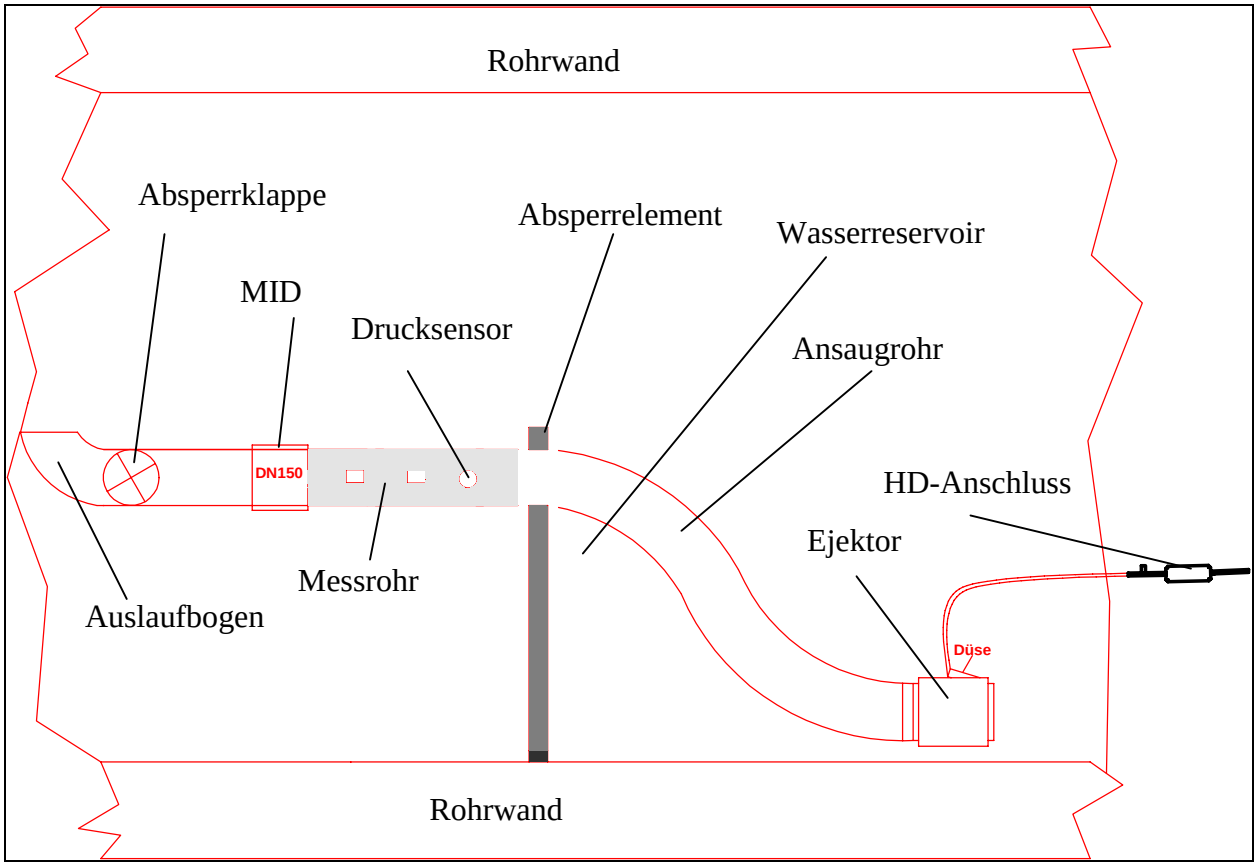


Abbildung 40: Prinzipskizze des Versuchsstands zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit von Ejektordüsen

Abbildung 41: Messrohr und Absperrklappe, MID und Drucksensor

Abbildung 42: Ejektorprüfstand, Ejektor (hier C 16) und Ansaugrohr

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

a) b)

Abbildung 43: Ejektorprüfstand: Wasseraustritt aus dem Auslaufbogen

Abbildung 44: Druck-/Durchflussmesseinheit am Ende des HD-Spülschlauchs

Abbildung 45: Zentrale Messwerterfassung

3.3 Versuchsprogramm

Im Rahmen des Projektes wurde beispielhaft an drei Ejektoren die Leistungsfähigkeit im Versuchsstand ermittelt. Ausgewählt wurden die Ejektoren Aqua 2000, C16 und C12 der am Vorhaben beteiligten Firma Quest, Herford:

- Der Ejektor **C 16** (Abbildung 46 und Abbildung 47) kann zur Erhöhung der Saugleistung eines Reinigungsfahrzeugs unmittelbar an die Eintrittsöffnung des Saugrohres montiert werden. Ein Transport von Ablagerungen aus Tiefen größer als 6 m wird so möglich. Der Ejektor hat einen Rohrquerschnitt von 100 mm und ist an beiden Seiten mit Storzkupplungen ausgestattet. Er kann mit bis zu 6 Düseneinsätzen bestückt werden.
- Der Ejektor **Aqua 2000** (Abbildung 48 und Abbildung 49) hat einen Rohrquerschnitt von 120 mm. Er kann sowohl für die Kanalreinigung als auch zum Pumpen eingesetzt werden. Für die Reinigung ist er auf Kufen montiert. Am Ejektorausgang ist eine Storz-Kupplung

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

angebracht, über die der Anschluss einer Pumpenleitung möglich ist. Der Ejektor kann mit bis zu 12 Düseneinsätzen bestückt werden. Zusätzlich können Düseneinsätze am Ejektoreingang eingeschraubt werden, die gegen die Fließrichtung des Abwasserstroms strahlen. Mit ihrer Hilfe können verfestigte Ablagerungen auf der Kanalsohle gelöst werden.

- Der Ejektor **C 12** (Abbildung 50 und Abbildung 51) wird auch als Tiefsaugejektor bezeichnet, mit dem beispielsweise Reinigungsfahrzeuge befüllt werden können. Er hat einen Rohrdurchmesser von 62 mm und ist beidseitig mit Storz-Kupplungen ausgestattet. An ihm lässt sich ein Feuerwehrschlauch über eine Storz-Kupplung direkt anschließen. Er kann mit bis zu 6 Düseneinsätzen bestückt werden.

Abbildung 46: Ejektor C 16, Draufsicht

Abbildung 47: Ejektor C 16, Ansicht

Abbildung 48: Ejektor Aqua 2000, Draufsicht

Abbildung 49: Ejektor Aqua 2000, Ansicht

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Abbildung 50: Ejektor C 12, Seitenansicht

Abbildung 51: Ejektor C 12, Ansicht

Für alle drei Ejektoren wurden Ejektorkennlinien unter Variation des Drucks am Ausgang des Hochdruckspülschlauchs ermittelt. Der Druck wurden mit Hilfe eines HD-Fahrzeugs aufgebracht. Die Druckstufen betrugen in der Regel 40, 60, 80 und 100 bar.

Zur Untersuchung des Einflusses der Düseneinsätze wurden an dem Ejektor Aqua 2000 beispielhaft Versuche unter Variation der Düseneinsatz-Durchmesser durchgeführt. Es wurden jeweils sechs Düseneinsätze mit einem Innendurchmesser d_i von 2,7 mm, 2,9 mm oder 3,0 mm eingesetzt. Das entspricht jeweils einer Gesamtfläche von 34,35 mm² (d_i,=2,7 mm) , 39,63 mm² (d_i,=2,9 mm) und 42,41 mm² (d_i,=3,0 mm).

Tabelle 7 gibt eine Übersicht über die durchgeführten Versuche unter Angabe des Drucks an der Düse (Ende des Hochdruckspülschlauch).

Tabelle 7: Versuche zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit von Ejektoren (Übersicht)

Ejektor		**Druck an Düse [bar]**								
Düseneinsätze (Anzahl/Durchmesser)		20	25	30	35	40	60	80	100	120
Aqua 2000	6 Stk. à 2,7 mm					**x**	**x**	**x**	**x**	
	6 Stk. à 2,9 mm					**x**	**x**	**x**	**x**	**x**
	6 Stk. à 3,0 mm					**x**	**x**	**x**	**x**	
C 16	6 Stk. à 2,9 mm					**x**	**x**	**x**	**x**	
C 12	6 Stk. à 3,0 mm	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**	

3.4 Versuchsergebnisse

Im folgenden sind die Ergebnisse der Laborversuche zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit von Ejektoren, die als Pumpe eingesetzt werden, dargestellt. Für jeden Ejektor wurden zwei Diagramme erstellt. Zum einen die Druck-Durchfluss-Kennlinien in Abhängigkeit vom Arbeitsdruck an der Ejektordüse; zum anderen das Verhältnis zwischen der transportierten

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Wassermenge Q_{Trans} [l/s] zur Treibwassermenge Q_{Treib} in Abhängigkeit vom Arbeitsdruck an der Ejektordüse. Sämtliche Ergebnisse sind von der Wahl der Düseneinsätze abhängig, entsprechende Angaben zu den verwendeten Düseneinsätzen finden sich in den Diagrammen. Für alle drei Ejektoren wurden jeweils auch idealisierte Druck-Durchflusskennlinien erstellt. Für den Ejektor Aqua 2000 wurden diese Kennlinien für die optimale Bestückung mit 3,0 mm – Düseneinsätzen aufgestellt.

Aufgrund der Bauart der auf den HD-Fahrzeugen installierten Hochdruckpumpen (Plunger-Pumpen) entsteht bei einem konstanten Druck an der Düse ebenfalls ein konstanter Durchfluss durch die Düse. Die hier ermittelten Durchflüsse in den Druck-Durchfluss-Kennlinien gelten für das eingesetzte Reinigungsfahrzeug ($Q_{max.}$ = 320 l/min).

3.4.1 Ejektor C 16

In Abbildung 52 ist die gemessene Druck-Durchfluss-Kennlinie für den Ejektor C 16 dargestellt. Es wurden sechs Düseneinsätze mit einem Durchmesser von 2,9 mm verwendet. Das entspricht einer Gesamtaustrittsfläche von 39,63 mm². Zu erkennen ist die Abhängigkeit von Druck und Durchfluss im Messrohr zum Arbeitsdruck an der Ejektordüse. Pro Druckstufe wurden die Versuche jeweils dreimal wiederholt. Bei einem Druck von 40 bar kann ein Q_{Trans} von 16 l/s oder eine maximal zu überwindende Druckhöhe von 2,2 m (0,22 bar) bestimmt werden. Bei einem Druck von 100 bar an der Düse beträgt Q_{Trans} = 29 l/s oder die Druckhöhe 6,8 m (0,68 bar).

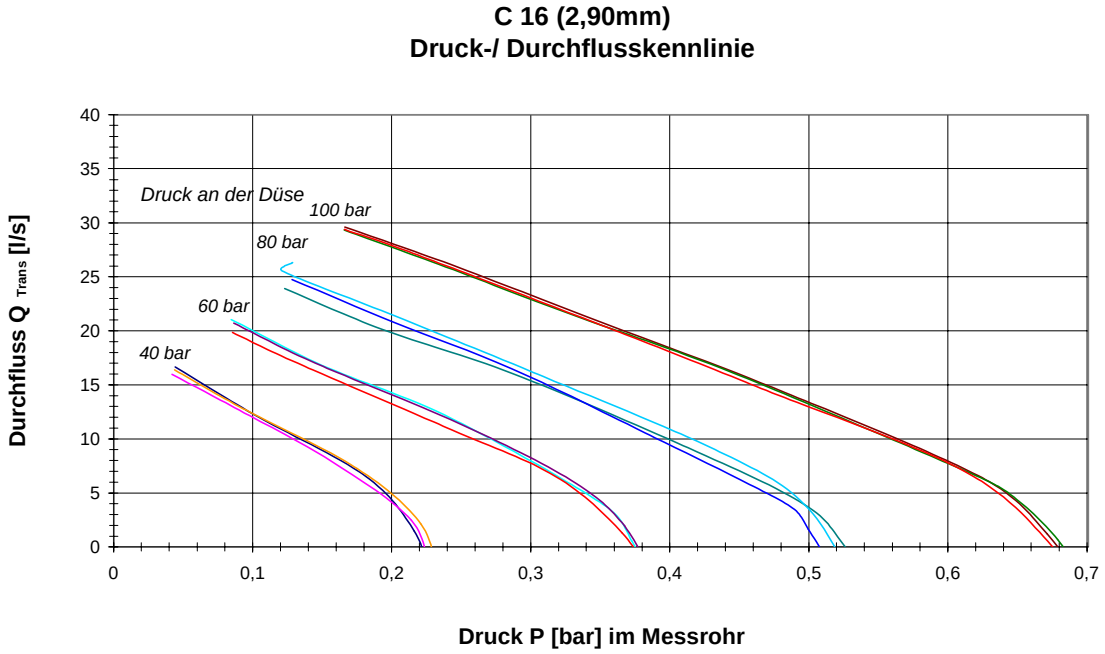


Abbildung 52: Druck-Durchfluss-Kennlinie für den Ejektor C 16 (6 Düsen à 2,9 mm)

Durch Regression und Extrapolation der Messwerte lassen sich die in Abbildung 53 dargestellten idealisierten Druck-Durchfluss-Kennlinien für den Ejektor C 16 ableiten. Diese verdeutlichen die Einsatzmöglichkeiten und –grenzen des betrachteten Ejektortyps und können im Einzelfall auch

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

als Grundlage für die Auswahl eines geeigneten Betriebsdruckes bei vorgegebener Druckhöhe und Durchflussmenge dienen.

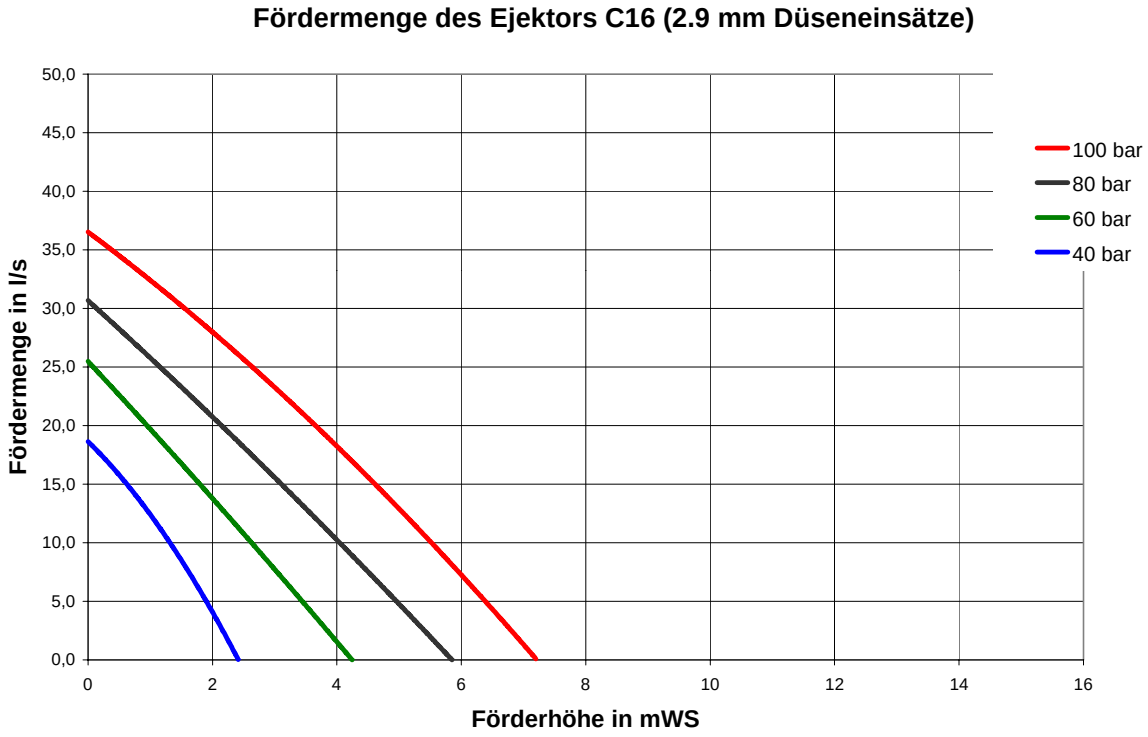


Abbildung 53: Idealisierte Druck-Durchfluss-Kennlinie für den Ejektor C 16 (6 Düsen à 2,9 mm)

Abbildung 54 zeigt die transportierte Wassermenge Q_{Trans} [l/s], die zugegebene Treibwassermenge Q_{Treib} [l/s] sowie deren Verhältniswert [-] in Abhängigkeit vom Arbeitsdruck an der Düse für die minimal gemessenen Druckhöhen (vgl. Kurvenbeginn in Abbildung 52). Bei einem Druck von 40 bar kann im vorliegenden Fall mit dem Ejektor C 16 die 5,5-fache Menge des zugegebenen Treibwassers abgepumpt werden. Bei einem Druck von 100 bar steigt dieser Faktor auf den Wert 6,4. Es kann somit die 6,4-fache Wassermenge abgepumpt werden.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

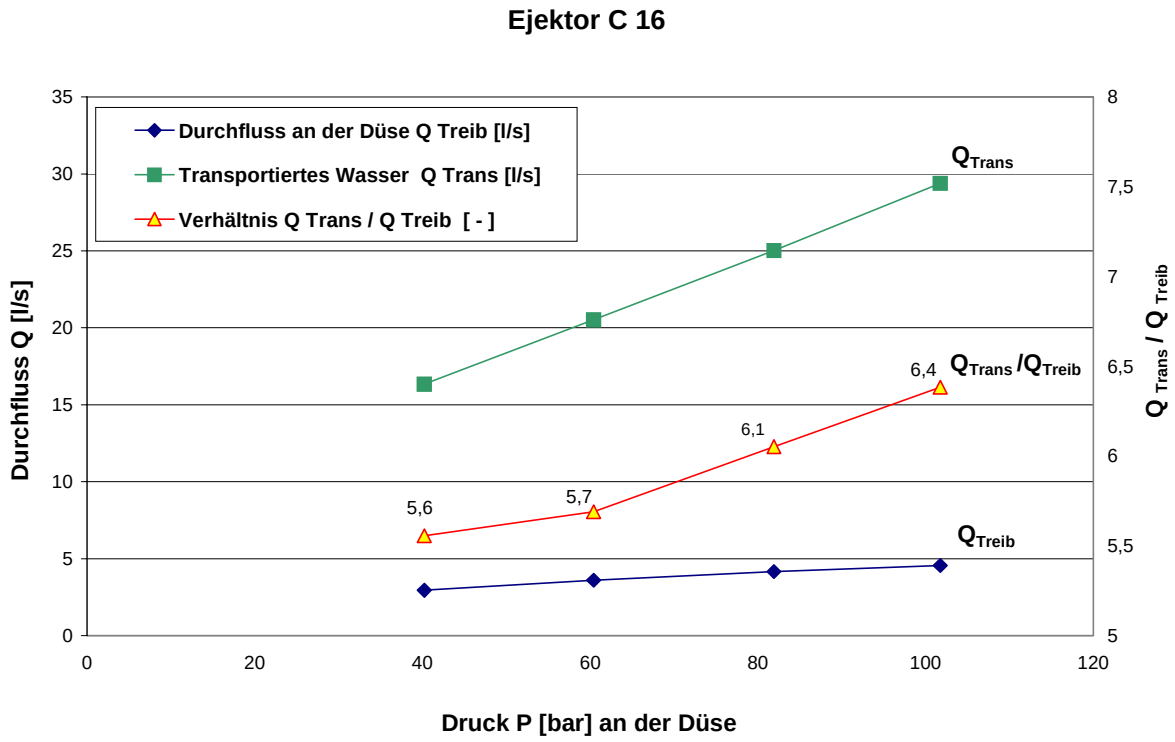


Abbildung 54: Verhältnis transportierte Wassermenge zu Treibwassermenge in Abhängigkeit vom Druck an der Düse für den Ejektor C 16

3.4.2 Ejektor Aqua 2000

3.4.2.1 Düseneinsätze 2,7 mm

In Abbildung 55 ist die Druck-Durchfluss-Kennlinie für den Ejektor Aqua 2000 dargestellt. Es wurden sechs Düseneinsätze mit einem Durchmesser von 2,7 mm verwendet. Das entspricht einer Gesamtaustrittsfläche von 34,35 mm². Zu erkennen ist die Abhängigkeit von Druck und Durchfluss im Messrohr zum Arbeitsdruck an der Ejektordüse. Pro Druckstufe wurden die Versuche jeweils drei bzw. zweimal wiederholt. Bei einem Druck von 40 bar kann ein Q_{Trans} von 16 l/s oder eine maximal zu überwindende Druckhöhe von 1,1 m (0,11 bar) bestimmt werden. Bei einem Druck von 100 bar an der Düse beträgt die Q_{Trans} = 24 l/s oder die Druckhöhe 3,2 m (0,32 bar).

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

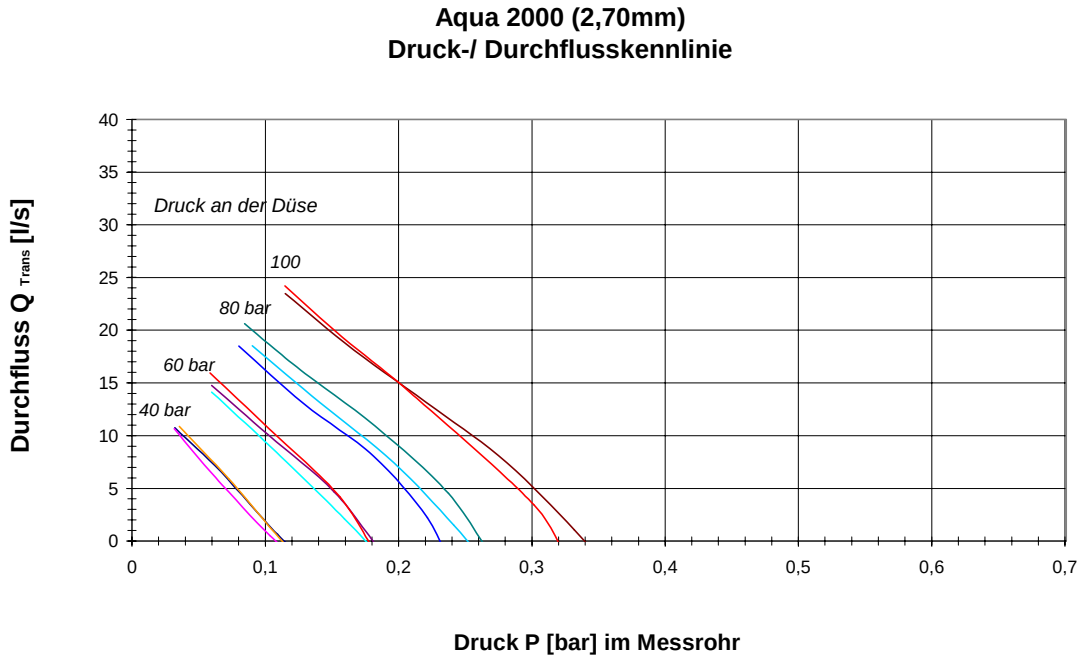


Abbildung 55: Druck-Durchfluss-Kennlinie für den Ejektor Aqua 2000 (6 Düsen à 2,7 mm)

Abbildung 56 zeigt die transportierte Wassermenge Q_{Trans} [l/s], die zugegebene Treibwassermenge Q_{Treib} [l/s] sowie deren Verhältniswert [-] in Abhängigkeit vom Arbeitsdruck an der Düse für die minimal gemessenen Druckhöhen (vgl. Kurvenbeginn in Abbildung 55). Bei einem Druck von 40 bar kann im vorliegenden Fall mit dem Ejektor Aqua 2000 und sechs Düseneinsätzen mit jeweils 2,7 mm die 4,1-fache Menge des zugegebenen Treibwassers abgepumpt werden. Bei einem Druck von 100 bar steigt dieser Faktor auf den Wert 5,5. Es kann somit die 5,5-fache Wassermenge abgepumpt werden.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

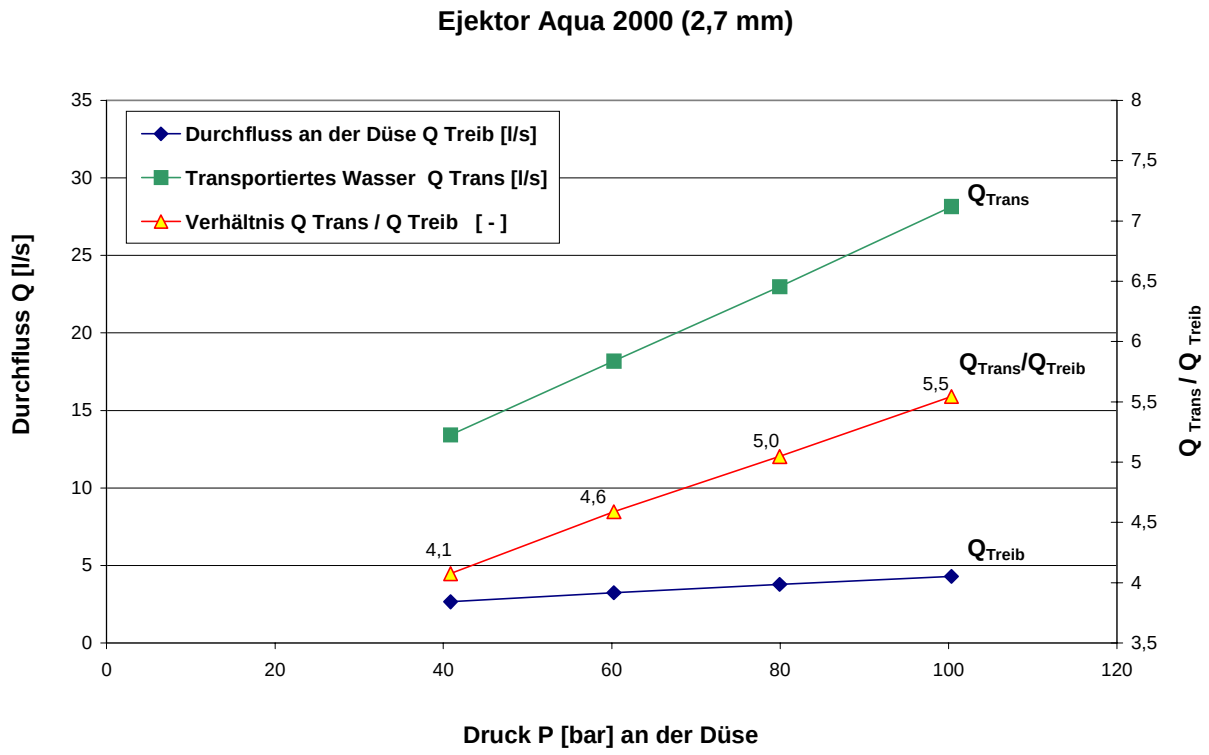


Abbildung 56: Verhältnis transportierte Wassermenge zu Treibwassermenge in Abhängigkeit vom Druck an der Düse für den Ejektor Aqua 2000 (3,00 mm Düsendurchmesser)

Mit dem Ejektor Aqua 2000 kann beim Betrieb des Ejektors mit sechs Düseneinsätzen à 2,7 mm und einem Druck in der Ejektordüse von 100 bar eine Druckhöhe von 3,2 Metern überwunden werden. Weiterhin kann maximal das 5,5-fache des zugegebenen Treibwassers abgepumpt werden (transportiertes Wasser).

3.4.2.2 Düseneinsätze 2,9 mm

In Abbildung 57 ist die Druck-Durchfluss-Kennlinie für den Ejektor Aqua 2000 dargestellt. Es wurden sechs Düseneinsätze mit einem Durchmesser von 2,9 mm verwendet. Das entspricht einer Gesamtaustrittsfläche von 39,63 mm². Zu erkennen ist die Abhängigkeit von Druck und Durchfluss im Messrohr zum Arbeitsdruck an der Ejektordüse. Pro Druckstufe wurden die Versuche jeweils drei- bzw. zweimal wiederholt. Bei einem Druck von 40 bar kann ein Q_{Trans} von ca. 16 l/s oder eine maximal zu überwindende Druckhöhe von 1,6 m (0,16 bar) bestimmt werden. Bei einem Druck von 100 bar an der Düse beträgt die Q_{Trans} = 25 l/s und die Druckhöhe 4,0 m (0,40 bar).

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

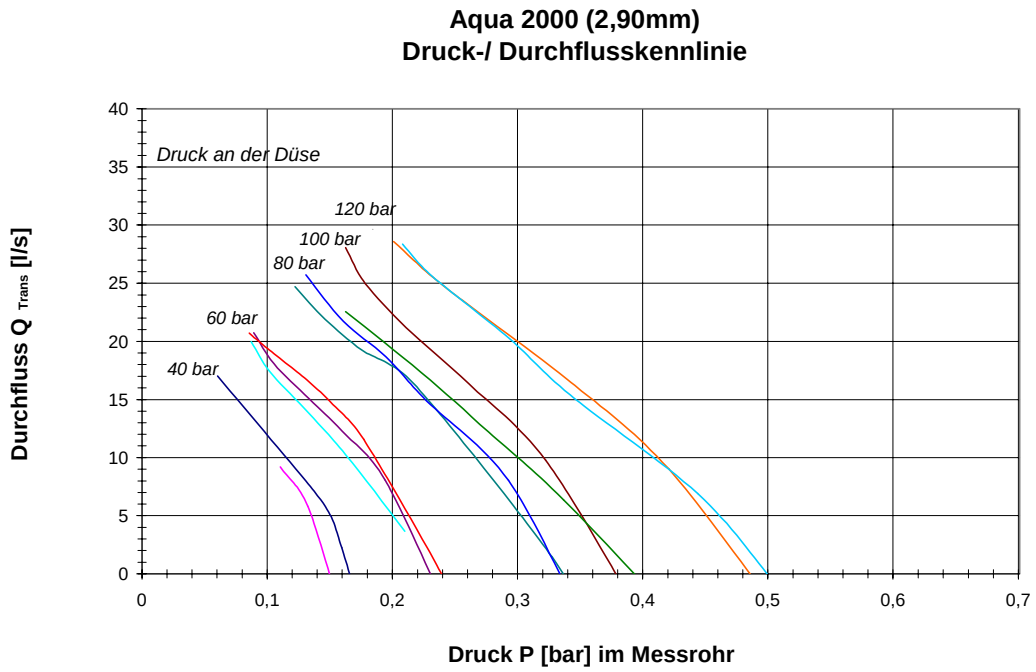


Abbildung 57: Druck-Durchfluss-Kennlinie für den Ejektor Aqua 2000 (6 Düsen à 2,9 mm)

Abbildung 58 zeigt die transportierte Wassermenge Q_{Trans} [l/s], die zugegebene Treibwassermenge Q_{Treib} [l/s] sowie deren Verhältniswert [-] in Abhängigkeit vom Druck an der Düse. Bei einem Druck von 40 bar kann mit dem Ejektor Aqua 2000 und sechs Düseneinsätzen mit jeweils 2,9 mm die 5,3-fache Menge des zugegebenen Treibwassers abgepumpt werden. Bei einem Druck von 100 bar steigt dieser Faktor auf den Wert 5,7. Es kann somit die bis zu 5,7-fache Wassermenge abgepumpt werden.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

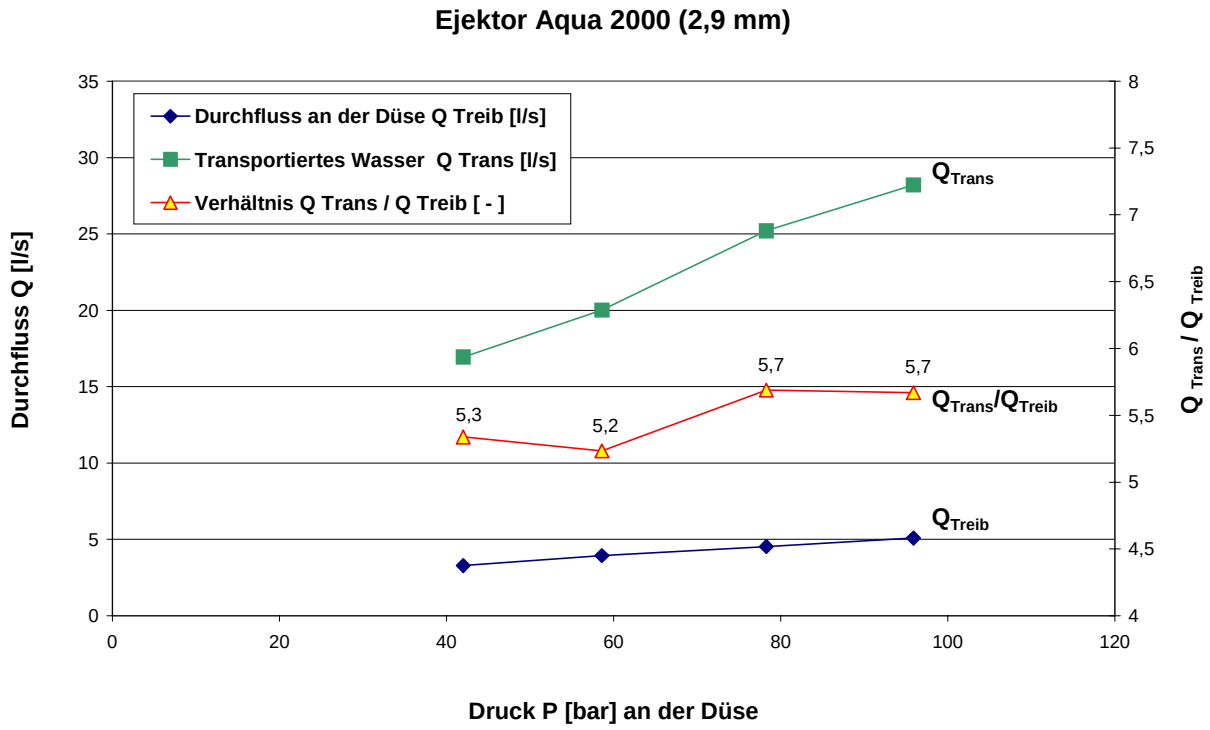


Abbildung 58: Verhältnis transportierte Wassermenge zu Treibwassermenge in Abhängigkeit vom Druck an der Düse für den Ejektor Aqua 2000 (2,90 mm Düsendurchmesser)

Mit dem Ejektor Aqua 2000 kann beim Betrieb des Ejektors mit sechs Düseneinsätzen à 2,9 mm und einem Druck in der Ejektordüse von 100 bar eine Druckhöhe von max. 4,0 Metern bzw. maximal das 5,7-fache des zugegebenen Treibwassers abgepumpt werden (transportiertes Wasser).

3.4.2.3 Düseneinsätze 3,0 mm

In Abbildung 59 ist die Druck-Durchfluss-Kennlinie für den Ejektor Aqua 2000 dargestellt. Es wurden sechs Düseneinsätze mit einem Durchmesser von 3,0 mm verwendet. Das entspricht einer Gesamtaustrittsfläche von 42,41 mm². Zu erkennen ist die Abhängigkeit von Druck und Durchfluss im Messrohr zum Arbeitsdruck der Ejektordüse. Pro Druckstufe wurden die Versuche jeweils dreimal wiederholt. Bei einem Druck von 40 bar kann ein Q_{Trans} von 15 l/s oder eine maximal zu überwindende Druckhöhe von 1,6 m (0,16 bar) bestimmt werden. Bei einem Druck von 100 bar an der Düse beträgt die Q_{Trans} = 27 l/s oder die Druckhöhe 4,2 m (0,42 bar).

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

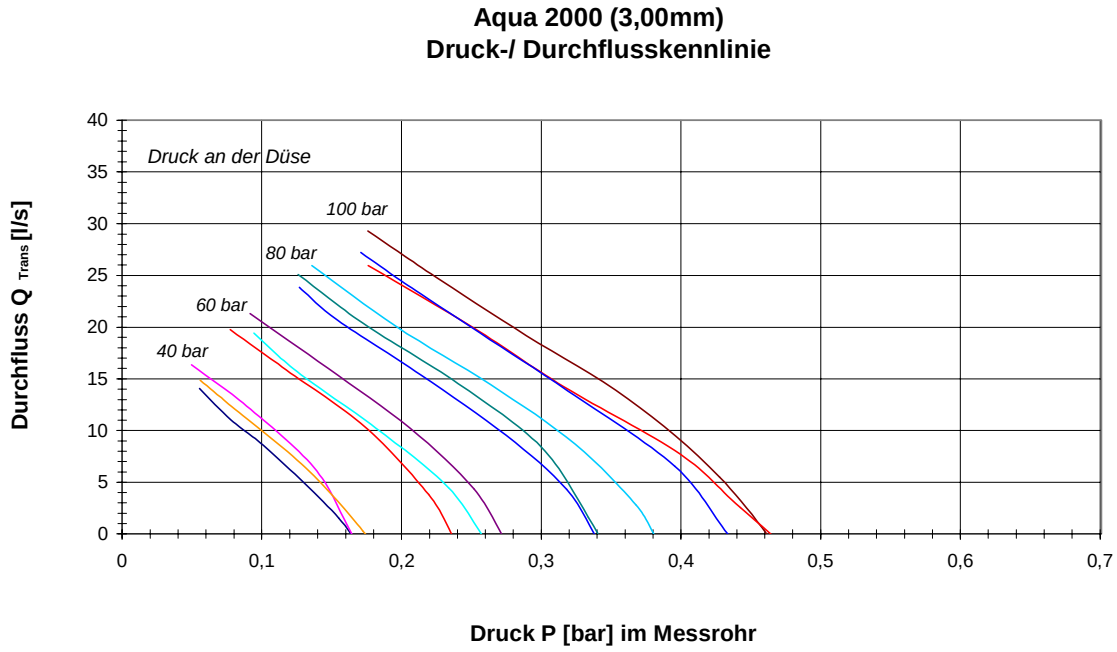


Abbildung 59: Druck-Durchfluss-Kennlinie für den Ejektor Aqua 2000 (6 Düsen à 3,0 mm)

Durch Regression und Extrapolation der Messwerte lassen sich die in Abbildung 60 dargestellten idealisierten Druck-Durchfluss-Kennlinien für den Ejektor Aqua 2000 ableiten. Diese verdeutlichen die Einsatzmöglichkeiten und –grenzen des betrachteten Ejektortyps und können im Einzelfall auch als Grundlage für die Auswahl eines geeigneten Betriebsdruckes bei vorgegebener Druckhöhe und Durchflussmenge dienen.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

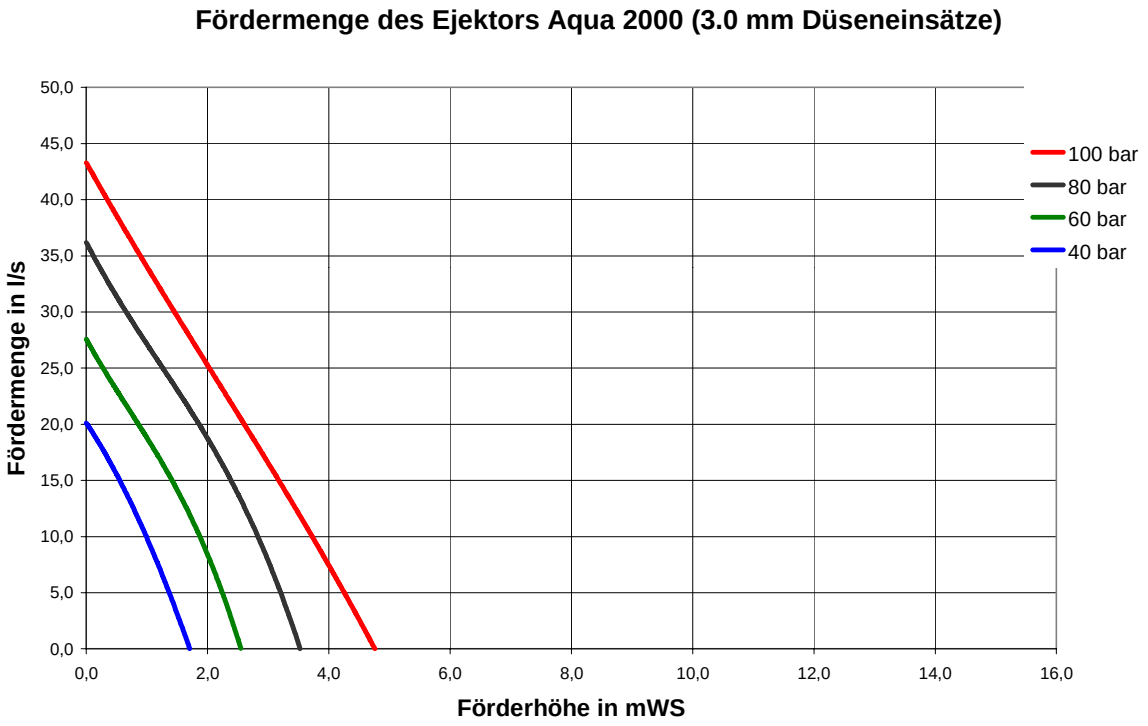


Abbildung 60: Idealisierte Druck-Durchfluss-Kennlinie für den Ejektor Aqua 2000 (6 Düsen à 3,0 mm)

Abbildung 61 zeigt die transportierte Wassermenge Q_{Trans} [l/s], die zugegebene Treibwassermenge Q_{Treib} [l/s] sowie deren Verhältniswert [-] in Abhängigkeit vom Arbeitsdruck an der Düse für die minimal gemessenen Druckhöhen (vgl. Kurvenbeginn in Abbildung 59). Bei einem Druck von 40 bar kann mit dem Ejektor Aqua 2000 und sechs Düseneinsätzen mit jeweils 3,0 mm die 4,5-fache Menge des zugegebenen Treibwassers abgepumpt werden. Bei einem Druck von 100 bar steigt dieser Faktor auf den Wert 5,2.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

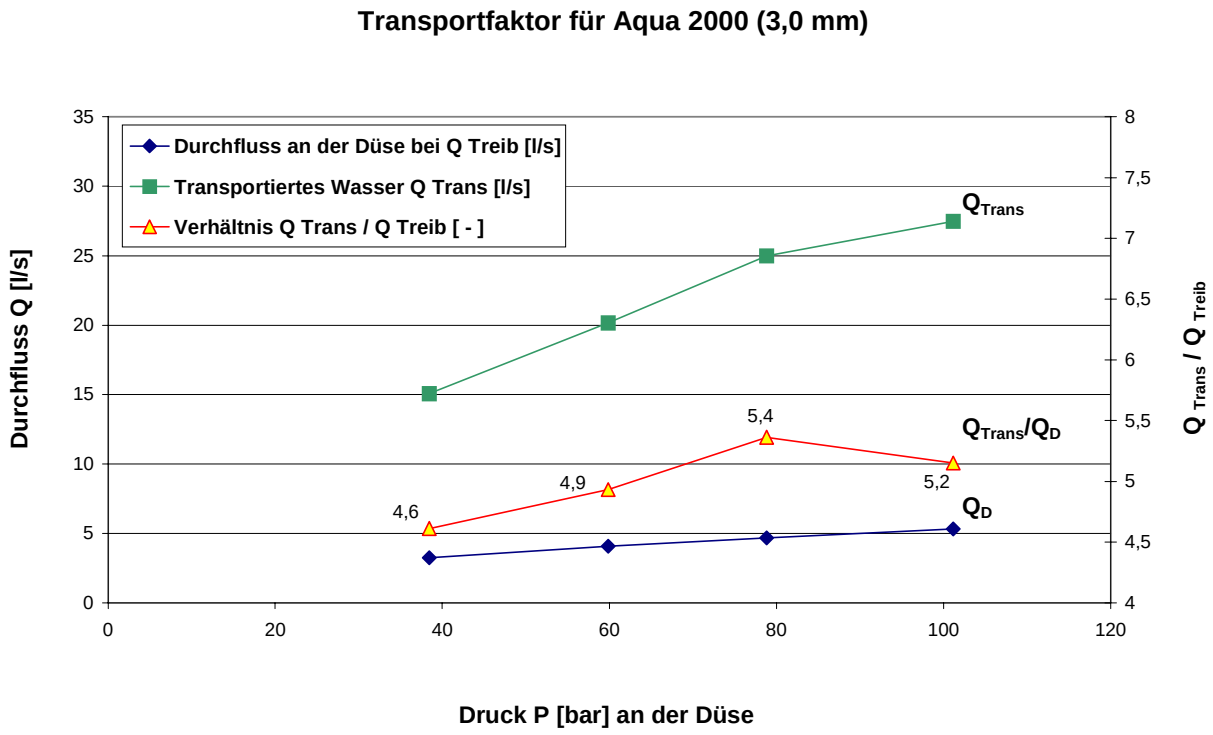


Abbildung 61: Verhältnis transportierte Wassermenge zu Treibwassermenge in Abhängigkeit vom Druck an der Düse für den Ejektor Aqua 2000 (3,00 mm Düsendurchmesser)

3.4.2.4 Zusammenfassung Aqua 2000

Anhand des Ejektors Aqua 2000 konnte die Abhängigkeit der Fördermenge und der Druckhöhe von den verwendeten Düseneinsätzen gezeigt werden. Zur Verdeutlichung sind in Tabelle 8 die Druck- und Durchflusskennwerte bei einem Druck von 100 bar zusammengestellt. In Abbildung 62 sind die Verhältniswerte Q_{Trans}/Q_{Treib} unter Berücksichtigung unterschiedlicher Düseneinsätze dargestellt. Dieser Ejektor ist mit sechs Düseneinsätze à 3,0 mm leistungsstark bestückt. Grundsätzlich ist der Verhältniswert Q_{Trans}/Q_{Treib} zwar niedriger als für die Bestückung mit 2,9 mm, die absolut transportierte Wassermenge ist aber größer (bei 100 bar: 27 l/s zu 25 l/s). Auch ist die maximale Druckhöhe mit 4,2 m bei 3,0 mm - Düseneinsätzen größer als die Druckhöhe mit 2,9 mm – Einsätzen (4,0 m). Auffallend ist der Verhältniswert für die Bestückung mit 2,7 mm – Düseneinsätzen bei 100 bar Druck an der Düse. Der Wert liegt über dem Verhältniswert für die Bestückung mit 3,0 mm – Düseneinsätzen. Die absolut geförderte Wassermenge liegt allerdings auch hier mit 24 l/s unter dem Wert von 27 l/s. Dieser Zusammenhang kann damit erklärt werden, dass das höhere Förderverhältnis (Q_{trans}/Q_{treib}) die Durchflussreduzierung aufgrund des geringeren Düsendurchmessers nicht ausgleichen kann.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Tabelle 8: Druck- und Durchflusswerte für den Ejektor Aqua 2000 bei 100 bar Druck an der Düse und unterschiedlichen Düseneinsätzen

Ejektor Aqua 2000		**Druck an Düse [bar]**	
		100	
Düseneinsätze (Anzahl / Durchmesser)		Druckhöhe h_{max} [mWs]	$Q_{Trans, max}$ [l/s]
6 Stk.	à 2,7 mm	**3,2**	**24**
6 Stk.	à 2,9 mm	**4,0**	**25**
6 Stk.	à 3,0 mm	**4,2**	**27**

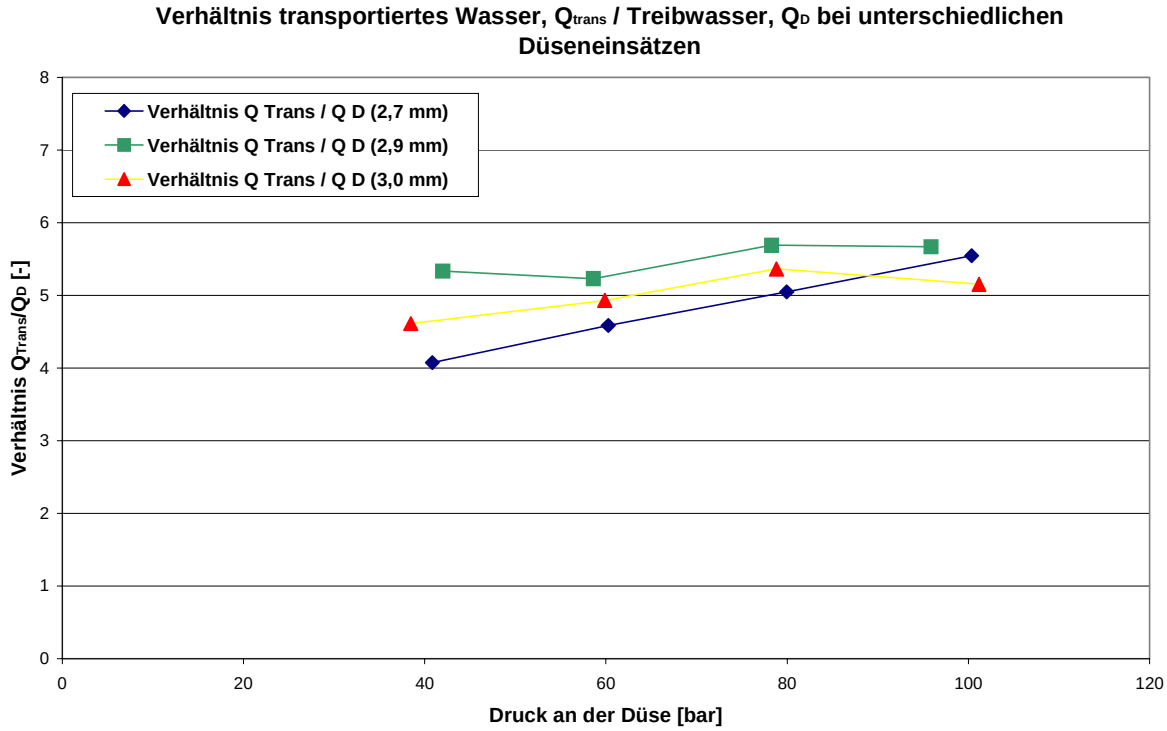


Abbildung 62: Verhältnis transportiertes Wasser /Treibwasser in Abhängigkeit vom Treibwasserdüsendurchmesser

3.4.3 Ejektor C 12

In der Praxis werden kleine Ejektoren je nach Verfügbarkeit auch mit vergleichsweise großen Ansaugschläuchen verbunden. Um hieraus resultierende Beeinträchtigungen in der Leistungsfähigkeit zu erfassen, wurden mit den Ejektor C12 entsprechende Versuche durchgeführt, bei denen der Ejektor C 12 mit einen Innendurchmesser von 62 mm an einen Ansaugschlauch mit Innendurchmesser von 150 mm angeschlossen wurde. Es handelte sich

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

somit um eine plötzliche, sprungartige Rohrerweiterung, bei der durch den Ejektor nur ein Teil des Schlauchquerschnitts direkt angestrahlt wurde. Die Auswirkungen werden in Abbildung 63 durch Vergleich der Druck-Durchfluss-Kennlinien für verschiedene Arbeitsdrücke an der Ejektordüse deutlich. Es wurden sechs Düseneinsätze mit einem Durchmesser von 3,0 mm verwendet. Das entspricht einer Gesamtaustrittsfläche von 42,41 mm².

Der Verlauf der Kennlinien unterscheidet sich für den Ejektor C12 in einigen Fällen erheblich von den üblichen Verläufen, wie sie für die Ejektoren C 16 und Aqua 2000 beobachtet wurden. Während sich bei einem Druck zwischen 20 und 40 bar an der Düse die erwarteten steilen Kurvenverläufe zeigen, sind die Kurven für Drücke ab 60 bar deutlich flacher. Zum Teil schneiden die Kurven einander.

Bei einem Druck von 40 bar kann ein Q_{Trans} von 11 l/s oder eine maximal zu überwindende Druckhöhe von 6,2 m (0,62 bar) bestimmt werden. Bei einem Druck von 100 bar an der Düse beträgt Q_{Trans} = 9 l/s oder die Druckhöhe 16 m (1,6 bar). Der effektiv geringere Durchfluss bei steigendem Druck an der Düse und somit auch steigender Geschwindigkeit des Hochdruckwasserstrahls am Düsenausgang kann durch die plötzliche sprungartige Rohrerweiterung mit entsprechenden Verwirbelungen erklärt werden. Mit steigenden Geschwindigkeiten steigen die Verluste im Bereich dieses Querschnittswechsels.

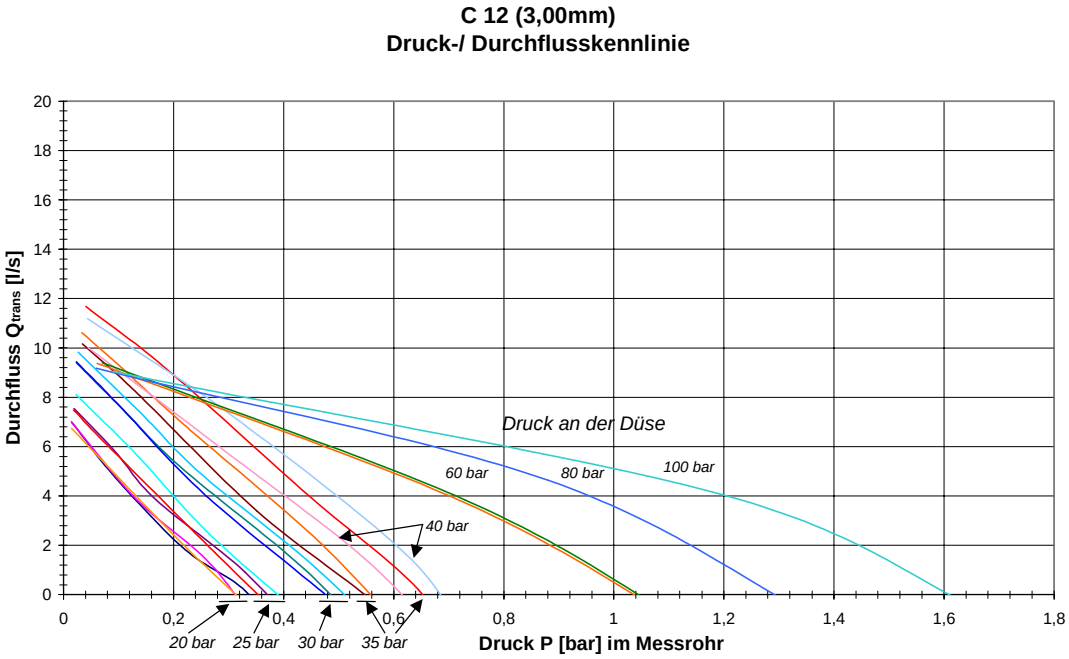


Abbildung 63: Druck-Durchfluss-Kennlinie für den Ejektor C 12 (6 Düsen à 3,0 mm)

Durch Regression und Extrapolation der Messwerte lassen sich die in Abbildung 64 dargestellten idealisierten Druck-Durchfluss-Kennlinien für den Ejektor C 12 ableiten. Auch hier zeigen sich deutlich die zwei unterschiedlichen Wirkungsbereiche. Grundsätzlich können diese Kurven aber

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

auch hier im Einzelfall als Grundlage für die Auswahl eines geeigneten Betriebsdruckes bei vorgegebener Druckhöhe und Durchflussmenge dienen.

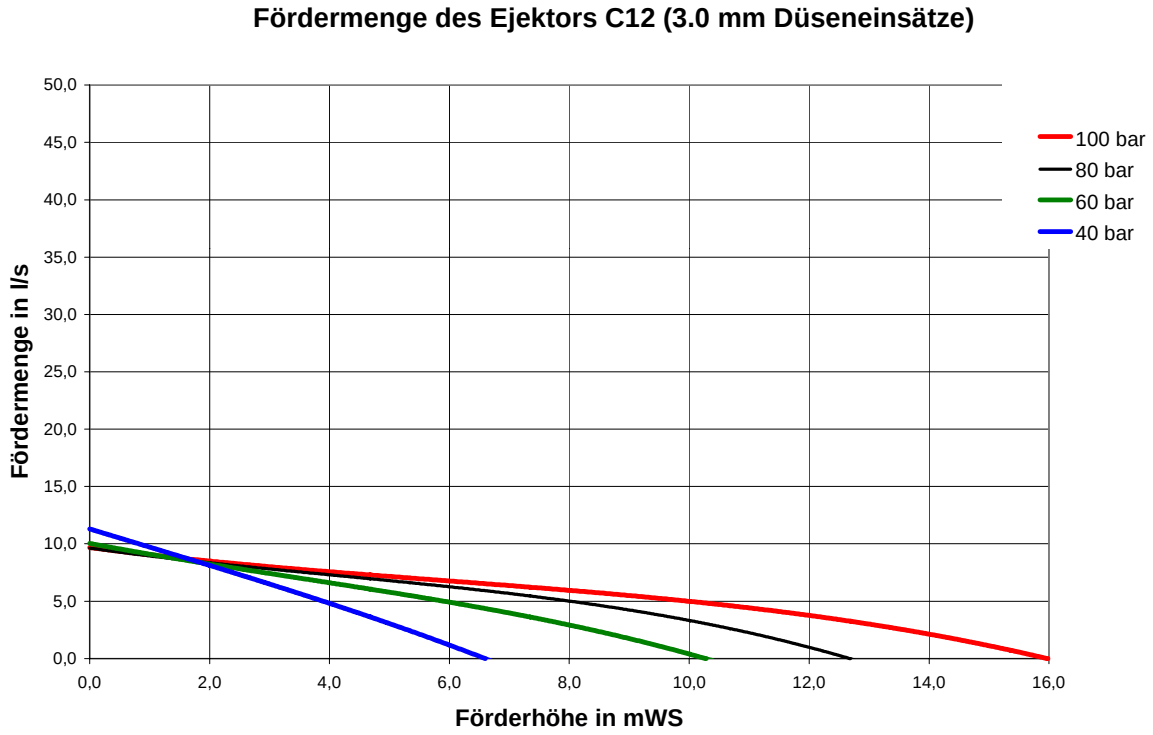


Abbildung 64: Idealisierte Druck-Durchfluss-Kennlinie für den Ejektor C 12 (6 Düsen à 3,0 mm)

Abbildung 65 zeigt die transportierte Wassermenge Q_{Trans} [l/s], die zugegebene Treibwassermenge Q_{Treib} [l/s] sowie deren Verhältniswert [-] in Abhängigkeit vom Arbeitsdruck an der Düse für die minimal gemessenen Druckhöhen (vgl. Kurvenbeginn in Abbildung 63). Diese Kurve bestätigt die steigenden Verluste bei steigenden Geschwindigkeiten am Querschnittswechsel. Bei einem Druck von 40 bar kann im vorliegenden Fall mit dem Ejektor C 12 die 3,6-fache Menge des zugegebenen Treibwassers abgepumpt werden. Mit steigendem Druck fällt dieser Faktor stark ab. Bei einem Druck von 100 bar erreicht er den Wert 1,9. Es kann somit nur noch die 1,9-fache Wassermenge abgepumpt werden.

In der Praxis sollte auf plötzliche, sprungartige Rohrerweiterungen verzichtet werden und mit auf den Durchmesser des Ejektors angepassten Rohrquerschnitten gearbeitet werden.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

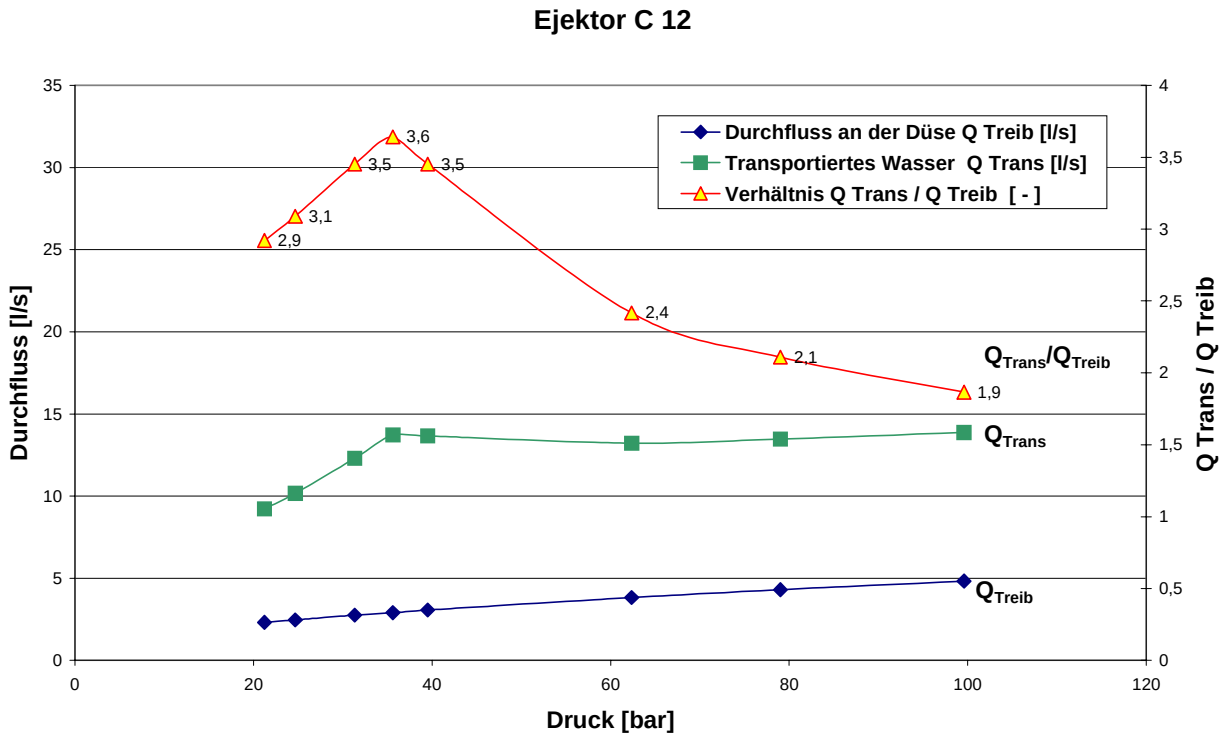


Abbildung 65: Verhältnis transportierte Wassermenge zu Treibwassermenge in Abhängigkeit vom Druck an der Düse für den Ejektor C 12

3.5 Schlussfolgerungen

Die Leistungsfähigkeit der Ejektoren C 16, Aqua 2000 und C 12 wurde unter reproduzierbaren Bedingungen mit Hilfe eines Reinigungsfahrzeuges als Treibwasserquelle ermittelt. Sie lässt sich auf der Grundlage von Druck-Durchfluss-Kennlinien in Kombination mit der Darstellung des Verhältnisses zwischen transportiertem Wasser und Treibwasser (Q_{Trans}/Q_{Treib} - Diagramm) beschreiben. Eine Übertragung der Ergebnisse beim Einsatz unterschiedlicher Reinigungsfahrzeuge ist insbesondere mit Hilfe des Q_{Trans}/Q_{Treib} - Diagramms möglich.

Die vergleichenden Versuche mit unterschiedlichen Düseneinsatzdurchmessern des Ejektors Aqua 2000 haben gezeigt, dass die Leistungsfähigkeit der Ejektoren von dieser Größe abhängig ist. Es lässt sich ein Durchmesserbereich identifizieren, in dem der Ejektor optimal auf die angeschlossene Hochdruckpumpe des HD-Fahrzeuges abgestimmt ist.

Die Bauform der drei untersuchten Ejektoren ist prinzipiell ähnlich. Das Treibwasser tritt an mindestens 6 Düsen außen am Ejektorrohr aus und strahlt unter einem Winkel zwischen 3° und 5° Grad in das Ejektorrohr. Die Strahlen treffen sich dann in einem sogenannten Brennpunkt. Die Ejektoren unterscheiden sich deutlich im Durchmesser des Ejektorrohres. Der Rohrdurchmesser des Ejektor Aqua 2000 beträgt 120 mm, der des Ejektors C 16 beträgt 100 mm und der des Ejektors C 12 beträgt 62 mm.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

In Tabelle 9 sind die maximal transportierten Wassermengen bzw. die maximalen Druckhöhen dargestellt.

Tabelle 9: 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**

Ins Auge fallen die unterschiedlichen maximalen Druckhöhen für die drei Ejektoren. Vergleicht man die Druckhöhen bei einem Druck an der Düse von 100 bar, so kann mit dem Ejektor Aqua 2000 bis zu einer Höhe von 4,6 Metern Wasser gepumpt werden. Mit dem Ejektor C 16 ist eine Druckhöhe von 7,0 Metern erreichbar und mit dem Ejektor C 12 eine Druckhöhe von 16 Metern. Da sich die Ejektoren in aufsteigende Reihenfolge in ihrem Durchmesser verringern, liegt der Schluss nahe, dass mit geringerem Ejektorrohrdurchmesser auch die überwindbare Druckhöhe steigt. Ein umgekehrtes Verhalten kann für das abgepumpte bzw. transportierte Wasser (Q_{Trans}) beobachtet werden. Mit dem Ejektor Aqua 2000 werden, bei einem Druck von 100 bar an der Düse und einer Druckhöhe von nahezu 0 Metern 43 l/s transportiert. Bei dem Ejektor C 16 sind es 36 l/s. 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.

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

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

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.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

4 Praxis-Einsatz

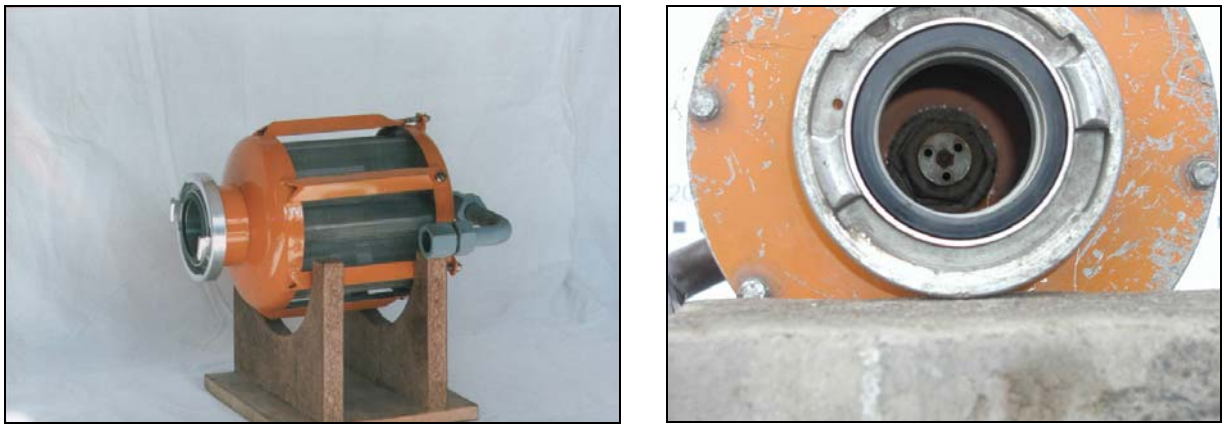
4.1 Betriebserfahrungen

Im Rahmen einer Dükerinspektion ist auch die Reinigung des Dükerrohres erforderlich. Diese Reinigung kann ebenfalls mit Ejektoren durchgeführt werden. Allerdings werden diese bisher nur von wenigen Netzbetreibern zur Kanalreinigung eingesetzt. Im Rahmen des Projektes wurden diese Erfahrungen sowohl in persönlichen Gesprächen erhoben als auch durch Besuche bei ausgewählten Kanalnetzbetreibern weitergehend erfasst und dokumentiert.

4.1.1 Göttingen

Die Stadtentwässerung Göttingen beschäftigt sich seit 1981 mit Ejektoren, die über Reinigungsfahrzeuge betrieben werden. Anlass hierfür war ein Dammbruch, bei dem große Schlammmengen entwichen und abgepumpt werden mussten. Hierfür wurden unterschiedliche Pumpen eingesetzt, die aber alle versagten. Nur mittels Ejektor war es möglich den Schlamm abzupumpen. Nach diesem Vorfall entwickelten die Diplom-Ingenieure Hans Welke (ehemaliger Leiter des Kanalbetriebs der Stadtentwässerung Göttingen) und Bernd Otte (Ingenieurbüro Otte) gezielt Ejektoren für den Kanalbetrieb.

Anfang 1982 wurde der erste selbstentwickelte Ejektor zur Betankung von Reinigungsfahrzeugen mit Flusswasser eingesetzt (s. Abbildung 66).



a) b)

Abbildung 66: Erster Ejektor zur Befüllung von Reinigungsfahrzeugen mit Flusswasser (Filterejektor)

Der Filter eines Hochdruckreinigungsfahrzeuges wurde so umgebaut, dass er nach dem Ejektorprinzip Wasser aus dem Fluss Leine in die Reinigungsfahrzeuge pumpen konnte. An die in Abbildung 66 a) zu erkennende STORZ-Kupplung (Kupplungssystem der Feuerwehr) wird ein Feuerwehrschlauch angeschlossen, der wiederum am Befüllstutzen des Reinigungsfahrzeuges angeschlossen wird. Der Hochdruckschlauch des Reinigungsfahrzeuges

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

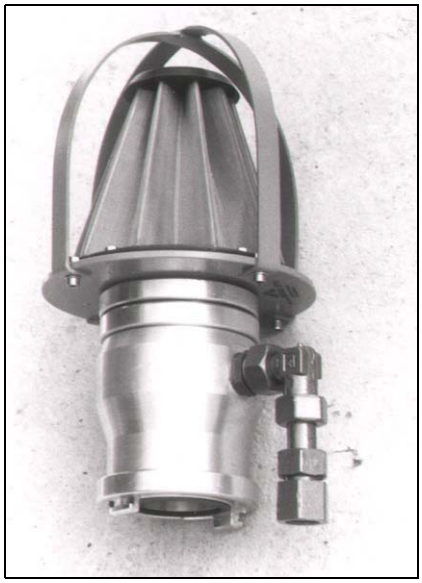
wird an das in Abbildung 66 a) rechts zu erkennende Druckrohr angeschlossen. Abbildung 66 b) zeigt die drei Hochdruckdüsen am Ende des Hochdruckanschlusses. Nach dem Anfahren der Hochdruckpumpe wird Wasser aus den Fluss durch den Filter angesaugt und in das Reinigungsfahrzeug befördert. Das Reinigungsfahrzeug nutzt somit die eigene Energie des Hochdruckwasserstrahls zur Wassertankbefüllung. Durch den Filter wird verhindert, dass Grobpartikel in den Tank gelangen, die zur Zerstörung der Plunger-Pumpe führen können.

Abbildung 67: Befüllen eines Hochdruckreinigungsfahrzeuges über einen Filterejektor mit Wasser aus dem Fluss Leine, 1982

Abbildung 67 zeigt das Befüllen eines Reinigungsfahrzeuges mit Hilfe des Filterejektors, der am Ende der Treppe im Fluss liegt. Das Befüllen dauert üblicherweise 6 bis 7 Minuten. Durch die Verwendung von Flusswasser für die Kanalreinigung werden, nach Angabe der Stadtentwässerung Göttingen, jährlich ca. € 7.500,- – 10.000,- an Frischwasserkosten eingespart.

Im nächsten Schritt wurden sogenannte Tiefsaugejektoren konstruiert, die durch die Verwendung von zwei STORZ-Kupplungen für unterschiedliche Einsatzfälle geeignet sind.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH



a) b)

Abbildung 68 a) und b): Tiefsaugejektoren mit Ansaugfilter zum Befüllen von Reinigungsfahrzeugen

Abbildung 68 a) und b) zeigen jeweils einen Tiefsaugejektoren mit vorgeschalteten Filtern zur Befüllung von Hochdruckreinigungsfahrzeugen. Dieser Ejektor hat jetzt die Bezeichnung C 12 (vgl. Abschnitt 2.3). Er hat einen Innendurchmesser von 62 mm.

Die selben Ejektoren werden ohne Filter eingesetzt um Keller, Schächte oder Sandfänge leerzupumpen. Verstopfte Straßenabläufe, die bei Regenereignissen überflutet werden, lassen sich mit Hilfe der Ejektoren freilegen.

Im Jahr 1990 wurde der Ejektor mit der Bezeichnung C 19 und einem Innendurchmesser von 120 mm gebaut. Er wurde eingesetzt um ein Nachklärbecken ohne Grundablass zu entleeren. Mit Hilfe des Ejektors wurde das Wasser angesaugt und floss anschließend ohne weiteren Energieaufwand nach dem Heberprinzip aus dem Nachklärbecken in einen angrenzenden Kanal. Da sich auf dem Grund der Nachklärbeckens Schlamm angesammelt hatte, war es für die vollständige Entleerung notwendig, den Schlamm mit Frischwasser zu verdünnen.

Im Jahr 1994 wurde auf Anregung von Dipl.-Ing. Sven M. Störner der C 19-Ejektor auf ein Gestell montiert um damit Kanäle zu reinigen. Die „sanfte Kanalreinigung“ wurde geboren. Ejektoren reinigen dabei Kanäle ähnlich der Schwallspülung unter Einbeziehung des im Kanal vorhandenen Wassers.

In den folgenden Jahren wurden die Ejektoren durch Veränderung von Einzelkomponenten weiterentwickelt und die Einsatzmöglichkeiten erweitert.

Eine Sonderbauform stellt beispielsweise der Ejektor mit Flügeln dar (vgl. Abbildung 69). Mit Hilfe der Flügel kann er im ersten Schritt über das Wasser gleiten und bis zum Zielschacht gefahren werden. Die Reinigung erfolgt dann beim langsamen Zurückziehen des Ejektors.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Abbildung 69: Ejektor Aqua 1000 mit seitlich montierten Flügeln

Abbildung 70: Ejektor Aqua 1000 mit seitlich montierten Flügeln im Kanal

Weitere Sonderbauformen sind Ejektoren, die von beiden Seiten mit Hochdruckanschluss betrieben werden können und sich insbesondere bei der Dükerreinigung bewährt haben (vgl. Abbildung 71) sowie ein Ejektor zur Reinigung kleiner Querschnitte (vgl. Abbildung 72). Der Ejektor Aqua 500 saugt das im Freigefälle aus dem Grundablasses des HD-Fahrzeugstanks fließende Wasser an und bezieht das im Kanal vorhandene Kanalwasser in die Reinigung mit ein. Insbesondere Kanäle mit extrem geringer Wasserführung und Querschnitten bis DN 400 können mit diesem Ejektor gereinigt werden.

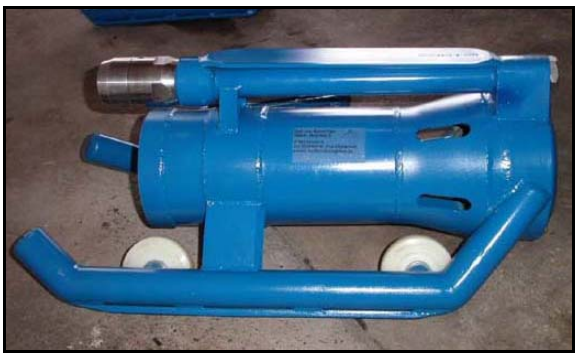


Abbildung 71: Ejektor Aqua 3000 mit beidseitigem Hochdruck-anschluss

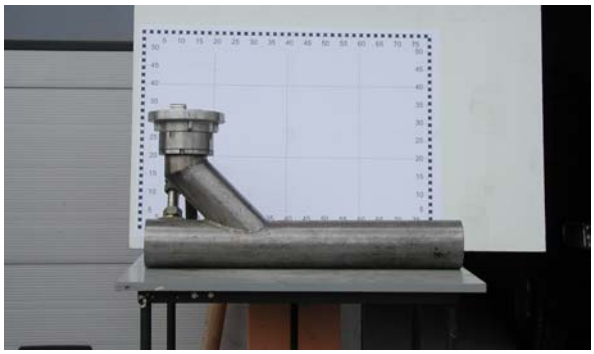


Abbildung 72: Ejektor Aqua 500

Im Folgenden sind beispielhaft unterschiedliche bei der Stadtentwässerung Göttingen praktizierte Anwendungsfälle der Ejektortechnik zusammengestellt.

Vorflutsicherung durch Überleiten

Um die Einfachheit der Vorflutsicherung durch Überleiten mittels der Ejektortechnik zu demonstrieren, wurde beispielhaft ein Regenwasserkanal DN 300 von ca. 40 Metern Länge überbrückt. Im oberen Schacht wurde eine Dichtblase mit einer Durchlassöffnung eingesetzt. An dieser Durchlassöffnung wurde ein Kupplungsstück mit einem 90-Grad-Bogen angebracht.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Oberhalb des Krümmers war ein Ejektor C 12 angeschlossen, der am Ende eines Schlauches befestigt wurde (vgl. Abbildung 73).

Abbildung 73: Durchlassblase mit Ejektor und Anschlüssen

Abbildung 74: Entnahmeschacht mit Überleitungsschlauch

Abbildung 75: Überleitungsschlauch und Zuleitungsschacht

Die Kanalhaltung wurde oberirdisch mit einem handelsüblichen Feuerwehrschlauch überbrückt (vgl. Abbildung 74 und Abbildung 75). Im Zuleitungsschacht wurde ebenfalls eine Durchlassblase mit entsprechenden Kupplungsstücken eingesetzt, um das übergeleitete Wasser wieder dem Kanal zuführen zu können.

Schwallspülung

Um die Wirksamkeit des Ejektors Aqua 500 zu demonstrieren, wurde beispielhaft eine Schwallspülung durchgeführt. Ein Ejektor Aqua 500 wurde im Gerinne eines Schachtunterteils platziert, der HD-Schlauch direkt und der Grundablass des HD-Fahrzeugtanks über einen PVC-Schlauch angeschlossen (vgl. Abbildung 76). Über den PVC-Schlauch fließt das Wasser aus dem Wassertank des HD-Fahrzeuges im Freigefälle dem Ejektor zu und wird dort durch das mit Hochdruck eingespeiste Treibwasser beschleunigt. Im Ergebnis entsteht ein Wasserschwall, der direkt in die Kanalhaltung gelenkt wird.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Abbildung 76: Ejektor Aqua 500 mit angeschlossenen Leitungen

An den Ausgang des Gerinnes war eine ca. 50 Meter lange PVC-Leitung DN 200 angeschlossen (vgl. Abbildung 77). Im letzten Drittel der Leitung befand sich ein durchsichtiges Plexiglasrohr, in dem Ablagerungen in Form von Sand und Pflastersteinen eingebracht worden waren (vgl. Abbildung 79).

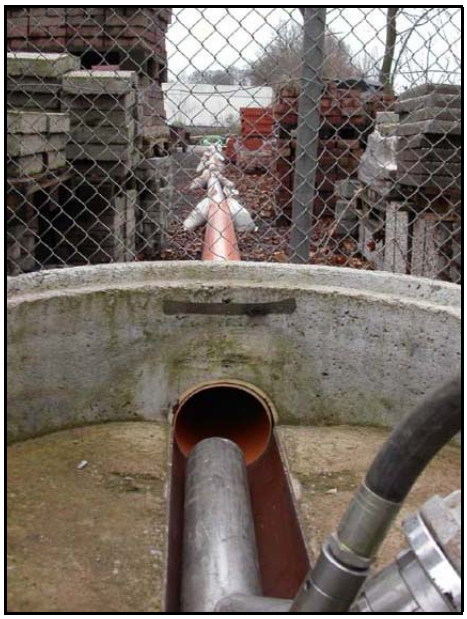


Abbildung 77: Blick auf die Versuchsstrecke

Abbildung 78: Spülstoß aus dem Ejektor

Schon nach dem ersten Spültoß (vgl. Abbildung 78 und Abbildung 80) war die Leitung vollständig gereinigt. Die Ablagerungen wurden mehrere Meter weit aus der Leitung gespült.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

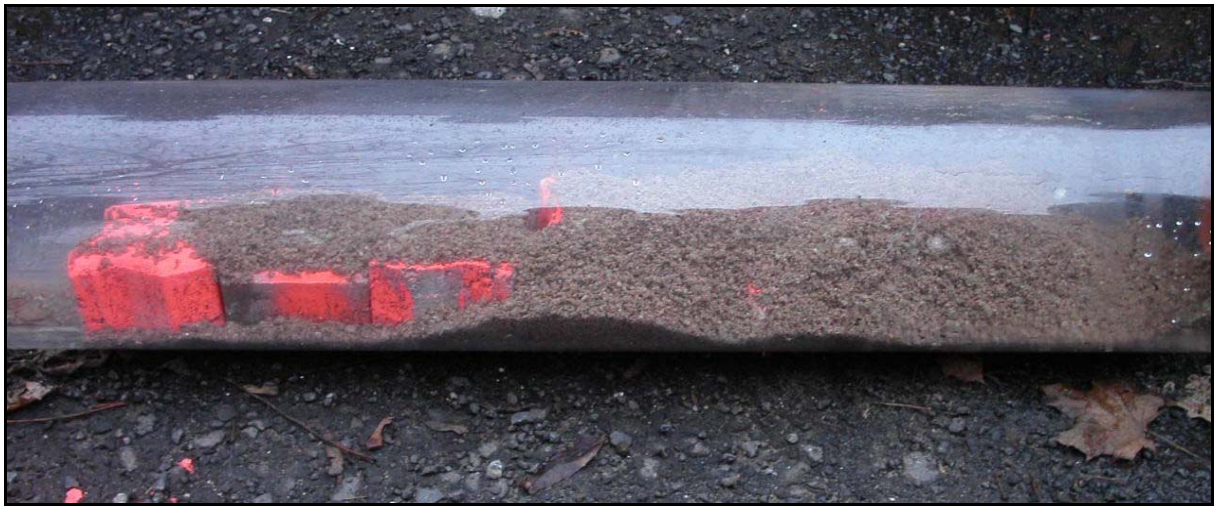


Abbildung 79: Ablagerungen im Pleisglasrohr DN 200

Abbildung 80: Plexiglasrohr DN 200 während des Spülstoßes

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

4.1.2 Hannover

Ejektoren werden in Hannover seit dem Jahr 2000 bei der Kanalreinigung eingesetzt. Kanäle mit einem Durchmesser von DN 800 und größer werden generell mit Ejektoren gereinigt. Zum Einsatz kommen je nach Kanalquerschnitt Ejektoren verschiedenster Bauart. Abbildung 81 zeigt einen Ejektor Aqua 2000 mit Gleitschienen und einem zusätzlich angebrachten Schutzbügel auf der Vorderseite. Dieser soll verhindern, dass beispielsweise große Steine den Ejektor verstopfen. Haupteinsatzgebiet sind Kanäle mit Eiprofil. Abbildung 82 und Abbildung 83 zeigen Doppelrohr-Ejektoren. Bei dieser Bauart sind zwei Ejektorrohre nebeneinander angeordnet. Diese können sowohl mit einem, als auch mit zwei HD-Fahrzeugen betrieben werden. Durch ihre erhebliche Größe sind sie in großen Kanälen mit Maul- oder Kreisquerschnitten einsetzbar.

Abbildung 81: Ejektor Aqua 2000

Abbildung 82: Doppelrohrejektor, 70 x 90 cn

Abbildung 83: Doppelrohrejektor, 80 x 110 cm

Die Reinigung mit dem Ejektor beginnt bereits während der Ejektor in den Kanal einfährt. Beim Zurückziehen des Ejektors ist der Kanal üblicherweise bereits sauber. Der beste Wirkungsgrad von Ejektoren wurde beobachtet, wenn diese komplett im Wasser liegen und der Kanal ausreichend Wasser führt. Der Ejektor saugt ca. die 5-6 fache Menge des eingebrachten Treibwassers aus dem Kanal an und beschleunigt dieses in Strahlrichtung. Das beschleunigte Kanalwasser wird in den Reinigungsprozess einbezogen. Für die Kanalreingung mit Hilfe von Ejektoren kann daraus abgeleitet werden, dass der Ejektor langsamer gezogen werden sollte als die Fließgeschwindigkeit des Abwassers im Kanal. Dadurch wird sichergestellt, dass ausreichende Abwassermengen dem Ejektor zugeführt werden. Bei großen Teilfüllunggraden kann die Rückzugsgeschwindigkeit der Ejektordüse erhöht werden. In diesem Fall steht jederzeit eine ausreichende Abwassermenge zur Verfügung.

Im Folgenden wird die Funktionsweise des Doppelrohr-Ejektors (vgl. Abbildung 82 und Abbildung 83) anhand einer durchgeführten Reinigungsmaßnahme erläutert. Auf der Abbildung 84 ist der Blick vom Schachtbauwerk aus in den Kanal dargestellt. Nachdem der Ejektor im Kanal positioniert war, konnte dem Ejektor während des Reinigungsvorgangs gefolgt werden (vgl. Abbildung 85).

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Abbildung 84: Blick aus dem Schacht in den Kanal

Abbildung 85: Kanalbegehung zur Dokumentation der Arbeitsweise eines Doppelrohrjektors

In Abbildung 86 ist zu erkennen, wie der Ejektor im Kanal das Abwasser ansaugt und in Strahlrichtung beschleunigt. Durch diese örtlich begrenzte Beschleunigung des Abwasserstroms werden die Ablagerungen gelöst und in Fließrichtung transportiert.

Abbildung 86: Doppelrohrejektor, Ansaugseite

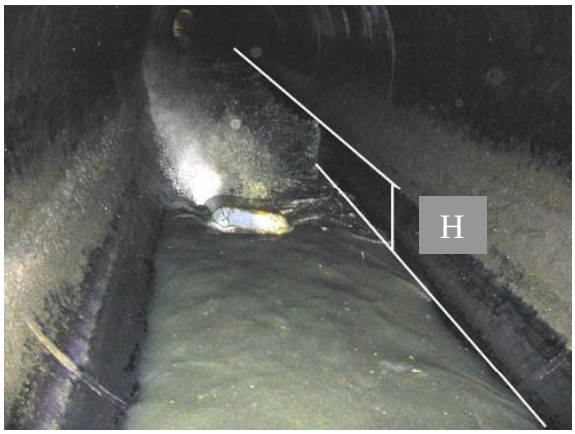


Abbildung 87: Höhenunterschied H vor bzw. hinter dem Ejektor

Abbildung 87 zeigt den Höhenunterschied H zwischen der Ansaug- und Wasseraustrittsseite des Ejektors. Der Höhenunterschied beträgt ca. 40 cm. Er entsteht aufgrund von Ablagerungen hinter dem Ejektor und Unterschieden in der Abwassergeschwindigkeit vor und hinter dem Ejektor. An der Eintrittsöffnung des Ejektors kann der Kanal als gereinigt angesehen werden. In Strahlrichtung sammeln sich Ablagerungen an und werden während des Rückziehvorgangs des Ejektors weitertransportiert. Das beschriebene Strömungs- bzw. Ablagerungsverhalten ist in Abbildung 88 dargestellt.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

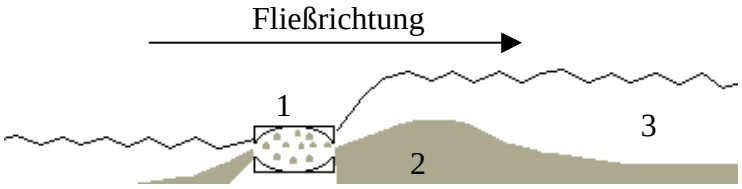


Abb. 1

Abbildung 88: Strömungs- bzw. Ablagerungsverhalten im Wirkbereich eines Ejektors

Die Ablagerungen werden bis zu einer Kanalaufweitung, z.B. einen Schacht, transportiert und an dieser Stelle abgesaugt.

Durch den Einsatz der Ejektoren in Profilen größer als DN 800 konnten nach Angaben der Stadtentwässerung Hannover Kosten eingespart werden. Während ein Kanalabschnitt bei einer Reinigung mit herkömmlichen Hochdruckdüsen bis zu 5 Mal durchfahren werden musste bis ein ausreichendes Reinigungsergebnis vorlag, reicht jetzt in der Regel ein einmaliges Durchfahren mit dem Ejektor aus. Dadurch verringerte sich der Aufwand auf ca. 25% der ursprünglich benötigten Zeit.

4.1.3 Aggerverband

Der Aggerverband konnte beim Einsatz des Ejektors Aqua 2000 bei der Kanalreinigung keine Vorteile erkennen. Dieses wird damit begründet, dass die Rohrdurchmesser der betriebenen Kanäle zu klein und die Durchflussmengen sowie deren Fließgeschwindigkeit zu gering sind. Es bestehen auch kaum Möglichkeiten das Abwasser zurückzustauen, um die Wassermenge zu erhöhen, da keine Schieber oder andere Vorrichtungen vorhanden sind. Auch gibt es häufig Probleme mit größeren Gesteinsbrocken, die den Ejektor verstopften. Aus diesem Grunde wird die Reinigung der Kanäle heute in der Regel mit rundumstrahlenden HD-Spüldüsen durchgeführt. Der Bedarf an Treibwasser wird ausschließlich durch offene Gewässer (z.B. Bäche) und aus der Rückgewinnung gedeckt.

Der Ejektor Aqua 2000 des Aggerverbandes wird jedoch genutzt, um Faultürme zu entleeren. Hierfür werden neben dem Ejektor folgende Geräte und Maschinen eingesetzt:

- Fahrzeug mit 2 Pumpen und 2 Behältern (5000 l und 9000 l)
- Hochdruckpumpe Typ URACA KD 716 G (325 l/min, 170 bar, 200m HD-Schlauch)
- Demag-Wittig-Aqualine 2700 Saugpumpe
- T-Stück mit Perrot - Kupplungen und Absperrmöglichkeit an einem Ast
- Schläuche in ausreichender Länge (DN 100)
- mindestens 1 Transportfahrzeug

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Mit Hilfe des Ejektors wird der Schlamm im Faulturm verflüssigt und anschließend abgepumpt. Abbildung 89 und Abbildung 91 zeigen die Gerätetechnik. In Abbildung 91 ist das Kernstück, der umgebaute Ejektor Aqua 2000 zu erkennen. Die Schläuche haben Perrot-Kupplungen. Aus diesem Grunde wurde ein Adapter für den Übergang von Storz- auf Perrot-Kupplung angebracht.

Abbildung 89: Geräteaufbau vor dem Faulturm

Abbildung 90: T-Stück mit Perrot - Kupplungen

Abbildung 91: umgebauter Ejektor

4.2 Pilotmaßnahmen

Bei drei Kanalnetzbetreibern in NRW wurden im Rahmen des Vorhabens verschiedene Düker unter Einbeziehung der Ejektortechnik inspiziert. Aufgrund der besonderen Betriebserfahrungen in Göttingen wurde auch dort eine Dükerinspektion begleitet. Sämtliche Pilotmaßnahmen wurden dokumentiert und ausgewertet. Die nachfolgende Darstellung der Ergebnisse orientiert sich am Gesamtprozess der Dükerinspektion, der sich wiederum aus folgenden Einzelarbeitsschritten zusammensetzt:

- Dükerreinigung des vollgefüllten Dükers mit Hilfe von Ejektoren,

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

- 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 platziert werden.
- Dükerinspektion, z.B. durch eine Kamerabefahrung.

4.2.1 Göttingen

Die im Folgenden beschriebene Inspektion eines Dükers in Göttingen stellt dort einen üblichen Praxisfall dar. Dükerober- und Dükerunterhaupt eines Schmutzwasserdükers DN 900 von ca. 70 Metern Länge sind jeweils zugänglich. Es kann Treibwasser aus dem Fluss Leine zum Betrieb der Ejektoren verwendet werden. Die Vorflutsicherung erfolgt durch Absperren.

Der zur Reinigung eingesetzte Ejektor wurde zunächst am Dükeroberhaupt an einen Hochdruckschlauch angeschlossen und mit der Fließrichtung des Abwassers zum Dükerunterhaupt befördert. Dort wurde ein zweiter Hochdruckschlauch am Ejektor angeschlossen, dieser mit einer Gesamttreibwassermenge von 600 l/min beaufschlagt und ähnlich einer Spülbürste durch das Dükerrohr hin- und hergezogen. Der dadurch erzeugte Volumenstrom im Dükerrohr betrug nach Aussage des Netzbetreibers ca. 3600 l/min.

Abbildung 92: Zur Dükerreinigung eingesetzter Ejektor

Abbildung 93: Reinigungsfahrzeug am Dükeroberhaupt

Am Oberhaupt wurde der Schmutzwasserkanal abgesperrt. Zum Leerpumpen des Dükers wurden ebenfalls Ejektoren eingesetzt. Um die Leistungsfähigkeit zu erhöhen, wurden zwei Ejektoren in Reihe geschaltet. Der vordere Ejektor sollte durch das Dükerrohr bis zum tiefsten Punkt des Dükers geschoben werden. Um dieses zu erleichtern, waren an dem Ejektor Rollen befestigt (vgl. Abbildung 94). Der zweite Ejektor befand sich im Dükerunterhaupt. Der Abwasserschlauch

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

wurde aus Gründen der Handhabbarkeit segmentweise im Dükerunterhaupt zusammengebaut (vgl. Abbildung 95).

Abbildung 94: Ejektor mit Rollen

Abbildung 95: Segmentweiser Zusammenbau des Abwasserschlauchs

Zum Betrieb dieser Ejektoren wurde ebenfalls das in den Reinigungsfahrzeugen befindliche Wasser genutzt. Da sich aufgrund der Förderleistung der Reinigungsfahrzeuge von jeweils 300 l/min die Wassertanks schnell entleerten, die Ejektoren aber bis zur vollständigen Entleerung des Dükers betrieben werden mussten, wurden die Tanks mit Flusswasser aus der Leine mittels der Ejektortechnik wieder aufgefüllt. Ein im Fluss befindlicher Ejektor war über einen Feuerwehrschlauch mit dem Reinigungsfahrzeug am Dükerunterhaupt verbunden. Betrieben wurde dieser Ejektor mit einem Fahrzeug, das direkt am Ufer der Leine stand. Um den Tank dieses Fahrzeugs wieder befüllen zu können, war auch hier über einen Feuerwehrschlauch ein Ejektor an den Wassertank angeschlossen, so dass sich das Reinigungsfahrzeug selbst befüllen konnte. Der Hochdruckschlauch musste dazu lediglich an den Ejektoren umgeklemmt werden.

Nach der Dükerentleerung konnte das Dükerrohr mittels Kamerabefahrung inspiziert werden.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Abbildung 96: Reinigungsfahrzeug an der Leine und am Dükerunterhaupt

Abbildung 97: Ejektoren zum Befüllen der Reinigungsfahrzeuge

Abbildung 98: Blick in das Dükerunterhaupt, PVC-Schlauch zum Transport des abgepumpten Wassers

Abbildung 99: Inspektionsfahrzeug am Dükeroberhaupt

4.2.2 Ratingen

Anlass der Maßnahme

Die Stadtentwässerung Ratingen betreibt einen Doppelrohrdüker mit der Bezeichnung Tennax 1 bzw. Tennax 2, der den Angerbach unterquert. Die Rohre haben ein gemeinsames Dükeroberhaupt und getrennte Dükerunterhäupte. Im März 2004 wurden beide Düker im Rahmen der Pilotmaßnahmen des Projektes gereinigt, entleert und mit einer Kamera inspiziert. Im einzelnen handelt sich um einen Mischwasserdüker Tennax 2, DN 300 mit einer Länge von 23,65 Meter und den zugehörigen Entlastungdüker Tennax 1, DN 1000 mit einer Länge von 21,23 Meter. Das Abwasser wird dem Oberhaupt durch ein Rohr DN 1600 zugeführt. Der Standardabfluss wird durch das Dükerrohr Tennax 2 geleitet, dessen Abwassermenge durch eine

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Rohrdrossel im Dükerunterhaupt begrenzt wird. Liegen die Zuflussraten zum Dükeroberhaupt über den gedrosselten Abwassermengen wird das Abwasser durch einen Überlauf im Oberhaupt in das Dükerohr Tennax 1 geleitet. Im Dükerunterhaupt des Dükerrohres Tennax 1 erweitert sich das Dükerrohr DN 1000 auf einen weiterführenden Kanal mit einem Querschnitt DN 1300. Dieser Stahlbetonkanal leitet das Abwasser in ein Rückhaltebecken weiter. Die genaue Lage der Bauwerke ist der nachstehenden Abbildung 100 zu entnehmen.

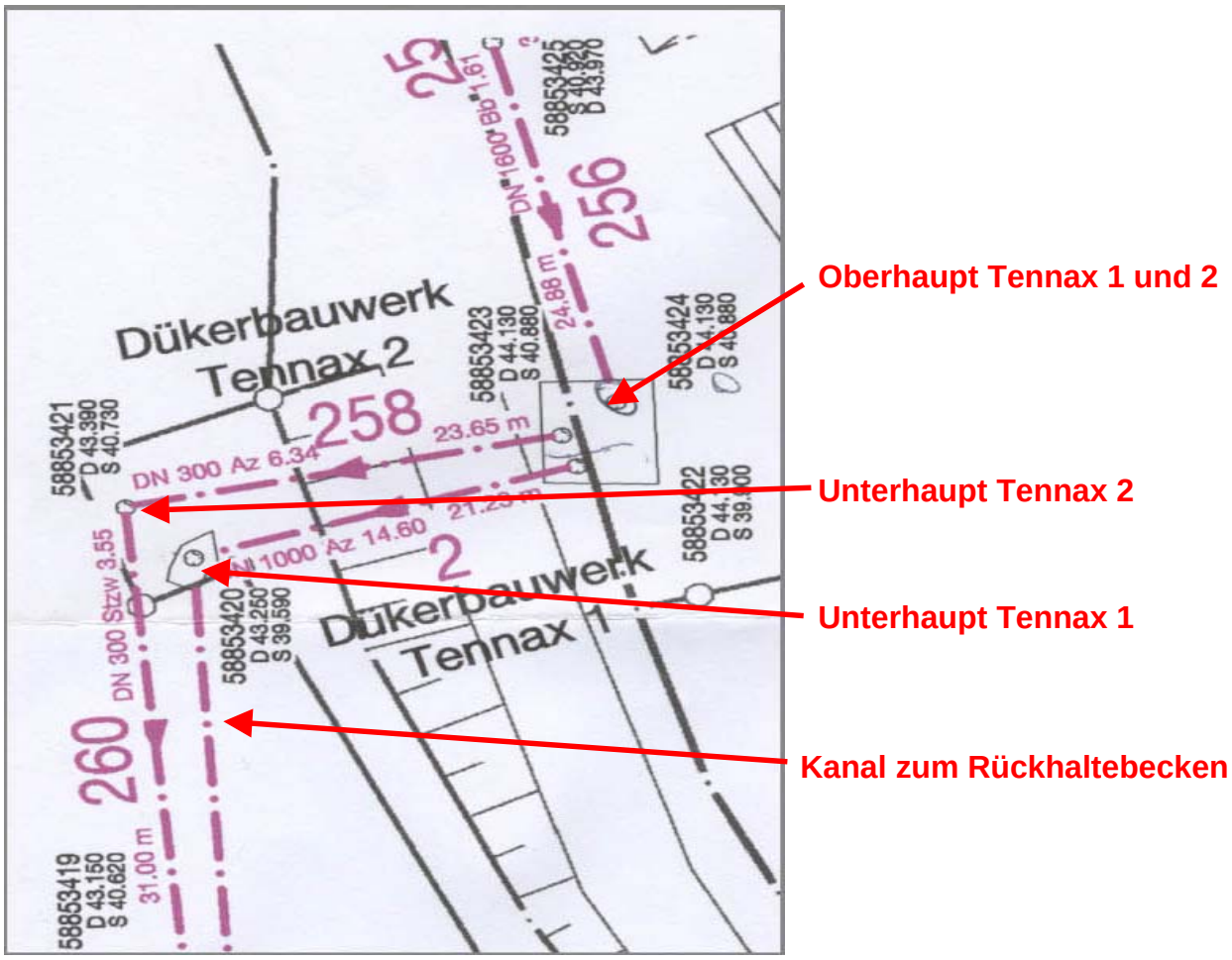


Abbildung 100: Lageplanauszug aus dem Kanalkataster der Stadt Ratingen

Der Ablauf der gesamten Maßnahme wurde begleitet und dokumentiert und ist im Folgenden chronologisch dargestellt.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

1. Reinigung der Dükeräste

07.45 h Die Betriebsmaßnahme wird an Ober- und Unterhauptseite vorbereitet. Abbildung 101 zeigt, wie am Dükeroberhaupt Treibwasser aus dem Angerbach über den Saugschlauch entnommen wird.

Abbildung 101: Spülfahrzeug am Dükeroberhaupt

08.15 h Das kleinere der beiden Dükerrohre wird aufgrund seines geringen Durchmessers mit einer herkömmlichen Spüldüse gereinigt. Dem Anschein nach ist dieser Ast nicht sehr verschmutzt, da bereits nach dreimaligem Durchfahren des Dükers mit der Düse keine sichtbare Veränderung des Abwassers durch zusätzliche Verunreinigungen festzustellen ist.

08.20 h Parallel zu dieser Reinigung wird die Reinigung des Tennax 1-Dükerrohres vorbereitet. Aufgrund des geringen Zuflusses zu diesem Dükerrohr wird weiteres Wasser mittels Ejektor aus dem Angerbach zugeführt. Dazu werden an den Ejektor Aqua 2000 Schläuche DN 100 angeschlossen und über den Hochdruckanschluss des Kombi-Fahrzeuges betrieben (vgl. Abbildung 102). Gleichzeitig saugt dasselbe Fahrzeug über den Unterdruck-saugschlauch Treibwasser zum Betrieb des Ejektors an. Abbildung 103 zeigt als Detail die Entnahmestelle für das Treibwasser und das Wasser zu Erhöhung der Vorflut im Dükerrohr DN 1000. Neben dieser Flusswasserzufuhr wurde auch Abwasser aus dem kleineren Zulauf DN 300 in das Tennax 1-Dükerrohr umgeleitet. Hierzu wurde das Tennax 2-Dükerrohr mit Sandsäcken abgesperrt.

Abbildung 102: HD-Spülfahrzeug mit Saugschlauch und Ejektor (Aqua 2000) am Angerbach

Abbildung 103: Saugschlauch des HD-Spülfahrzeugs und Ejektor Aqua 2000

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

08.40 h Das Abwasser wird für die Reinigung des Tennax 1 Dükerrohres umgeleitet. Dazu wird der kleinere Dükerast mit einer Sandsackbarriere so abgesperrt, dass das Abwasser über den Überlauf abschlägt (vgl. Abbildung 104). Das über den Ejektor Aqua 2000 aus dem Angerbach zugegebene Wasser wird mit dem in Abbildung 105 zu erkennenden Schlauch in das Tennax 1-Dükerrohr geleitet.

Abbildung 104: Einlaufbauwerk mit Sandsackbarriere im kleinen Dükerast

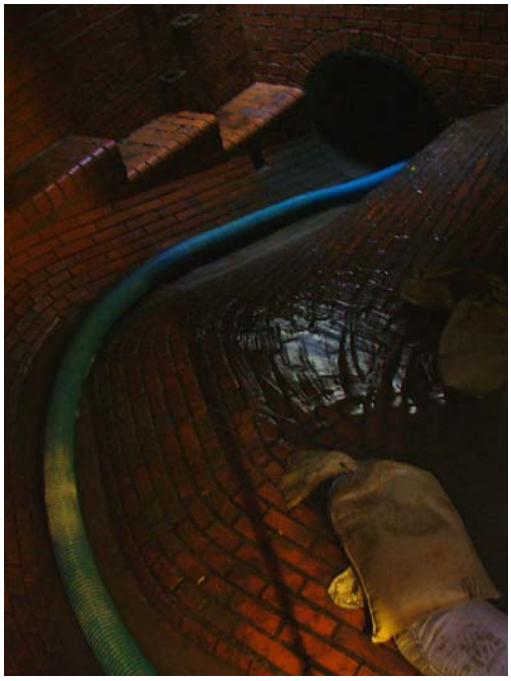


Abbildung 105: Zulaufschlauch im großen Dükerast für zusätzliches Wasser aus dem Angerbach

09.20 h Es wird mit der Reinigung des Tennax 1-Dükerrohres begonnen. Um feste Ablagerungen zu lösen und einen ausreichenden Durchgang zu sichern, wird zuerst mit einer rundumstrahlenden Spüldüse vom Dükerunterhaupt her gereinigt. Diese Düse erreicht ohne Widerstände das Dükeroberhaupt.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

09.40 h Ein drittes HD-Fahrzeug, das am Dükeroberhaupt platziert wird, betreibt im nächsten Reinigungsschritt, zusammen mit dem HD-Fahrzeug am Dükerunterhaupt den Ejektor Aqua 3000, der die rundumstrahlende Düse ersetzt. Wie in Abbildung 106 dargestellt, werden die HD-Schläuche der beiden Reinigungsfahrzeuge jeweils von einer Seite angeschlossen und der Ejektor so von beiden Fahrzeugen mit Wasser versorgt. Dadurch verdoppelt sich die zugegebene Treibwassermenge, so dass sich die bewegte Wassermenge im Düker ebenfalls vergrößert und die Ablagerungen besser transportiert werden.

Abbildung 106: Ejektor Aqua 3000, angeschlossen an zwei HD-Fahrzeuge

09.45 h Der Ejektor wird in den Schacht eingeführt und die Reinigung beginnt. Dabei kommt es auf das Zusammenspiel der beiden HD-Fahrzeuge an. Während das am Unterhaupt stehende Fahrzeug den Ejektor zu sich zieht, steht die Haspel des sich am Dükeroberhaupt befindenden Fahrzeugs auf Freilauf. Nachdem der Ejektor das Dükerunterhaupt erreicht hat, werden die Funktionen der Fahrzeuge wechselseitig umgeschaltet, so dass der Ejektor in umgekehrter Richtung eingezogen werden kann. Dieser Prozess wird viermal durchgeführt bis schließlich keine Ablagerung, z.B. in Form von Steinen, mehr zum Unterhaupt transportiert werden.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

2. Leerung und Inspektion der Dükeräste

10.30 h Zunächst wird die Sandsackbarriere im Zulauf des Dükerrohres Tennax 2 entfernt, so dass keine weiteren Zuflüsse zum Dükerrohr Tennax 1 mehr auftreten. Um den großen Dükerast leerzupumpen, wird der Ejektor Aqua 2000 eingesetzt. In Abbildung 107 ist dargestellt, wie der Ejektor Aqua 2000 mit den angeschlossenen Schläuchen in das Dükeroberhaupt eingeführt wird.

Abbildung 107: Ejektor (Aqua 2000) mit DN 100er Schlauch angeschlossen

11.10 h Das andere Ende des Schlauches wird in den ablaufenden Kanal DN 1300, welcher zum Rückhaltebecken gelangt, gelegt (vgl. Abbildung 108). Danach beginnt die Leerung des Dükerastes. Bereits nach kurzer Zeit ist der Ast bis auf Restwasser in der Sohle abgepumpt.

Abbildung 108: Schlauchende im Kanal zum Vorbecken

11.35 h Um dieses Restwasser und den Sohlschlamm abpumpen zu können, wird der Ejektor Aqua 2000 durch den Ejektor C 16 ersetzt. Dieser Ejektor hat aufgrund seiner Bauform einen geringeren Abstand zwischen Eintrittsöffnung und Kanalsohle. Dadurch ist das Restwasser erreichbar (Abbildung 109).

Abbildung 109: Ejektor C16 beim Abpumpen des Restwassers

11.50 h Nach der Entleerung der Tennax 1-Dükerrohres wird es (12.20 h -12.50 h) inspiziert. Auf Abbildung 110 und Abbildung 111 sind das Rückhaltebecken sowie der Kanalauslauf in das Becken dargestellt.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Abbildung 110: Rückhaltebecken mit abgepumpten Wasser

Abbildung 111: Einlauf in das Rückhaltebecken

13.30 h Um den kleinen Dükerast leerpumpen zu können, wurde er erneut mit einer Sandsackbarriere abgesperrt und das Abwasser in das bereits inspizierte Dükerrohr Tennax 1 umgeleitet.

13.40 h Am Unterhaupt wird ein Ejektor C12, an den Abpumpschlauch angeschlossenen (Abbildung 112) und in den kleinen Dükerast eingeführt. Nach der Entleerung des Dükerrohres wird das Dükerrohr mit einer Kamera inspiziert (14.50 h - 15.10 h).

Abbildung 112: Montage des Ejektors C12 an den Schlauch

Zusammenfassung

Die Reinigung, Vorflutsicherung und Inspektion der beiden Dükerrohre Tennax 1 und Tennax 2 konnte innerhalb einer Tages erfolgreich durchgeführt werden. Zur Sicherung der Vorflut hat sich die Bauform des Dükeroberhauptes als hilfreich herausgestellt. Das Abwasser konnte wechselseitig umgeleitet und so die Dükerrohre inspiziert werden. Mit Hilfe der bei der Stadtentwässerung Ratingen vorhandenen Kombifahrzeuge, die sowohl spülen als auch saugen können, war es möglich die eingesetzten Ejektoren permanent zu betreiben. Das Treibwasser wurde durch die Saugvorrichtung aufgefüllt während die Ejektoren über den HD-Anschluss für die Zugabe von Wasser in den Dükerast zur Erhöhung des Durchflusses, zur Dükerrohrreinigung oder zum Abpumpen eingesetzt wurden. Während dieser Pilotmaßnahme waren drei Reinigungsfahrzeuge mit jeweils zwei Mann Besatzung im Einsatz. Eine Reduzierung der Fahrzeuganzahl auf zwei ist möglich. In Abbildung 113 ist der Zeitaufwand der Pilotmaßnahme Ratingen für den Gesamtprozess der Dükerinspektion bestehend aus Reinigung, Entleerung und

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Inspektion dargestellt. Die Angaben beinhalten nicht den Aufwand für die Baustelleneinrichtung, Rüstzeiten und Pausen. Mit 130 Minuten hat die Dükerreinigung der beiden Dükerrohre den größten Anteil am Gesamtprozess eingenommen. Das Dükerrohr Tennax 1, DN 1000 wurde innerhalb von 40 Minuten entleert und innerhalb von 30 Minuten inspiziert. Das Dükerrohr Tennax 2, DN 300 wurde innerhalb von 10 Minuten entleert und innerhalb von 20 Minuten inspiziert. Die Zeit für die Vorflutsicherung – sie berechnet sich aus Zeit für die Entleerung plus der Zeit für die Inspektion – belief sich beim Düker Tennax 1 auf 70 Minuten und beim Düker Tennax 2 auf 30 Minuten.

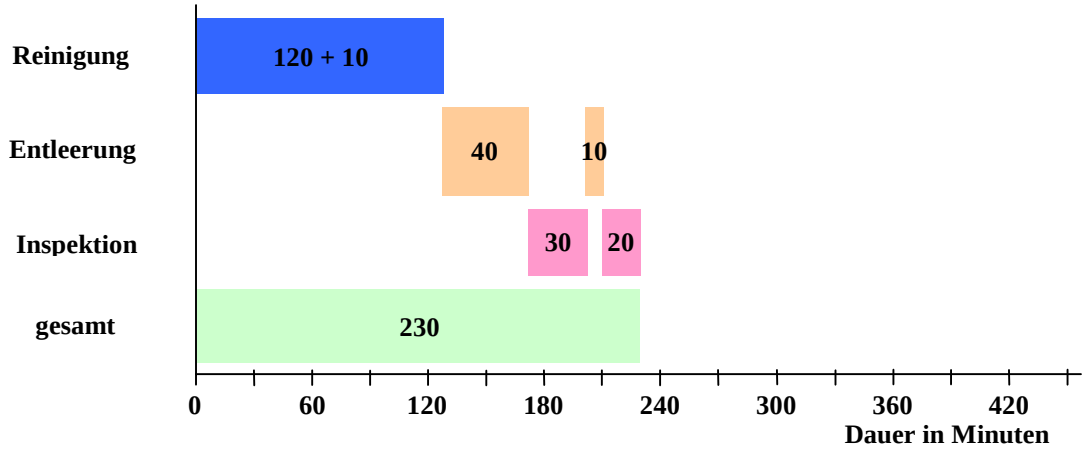


Abbildung 113: Zeitaufwand für den Betriebsprozess Dükerinspektion; Pilotmaßnahme Ratingen; ohne Baustelleinrichtung, Rüstzeiten und Pausen

4.2.3 Arnsberg

Anlass der Maßnahme

Die Stadt Arnsberg, Stadtentwässerung betreibt einen Düker, der die Ruhr unterquert und auch bei Trockenwetter hohe Abflussmengen führt. Der Düker ist ein Teilstück des Sammelkanals Möhnetal. Dieses führt von der alten Verbandskläranlage des Ruhrverbandes, Neheim zur neuen Ruhrverbandskläranlage Neheim. Das Mischwasser kommt in einem Stahlbetonkanal (DN 1200) im Dükeroberhaupt an, wird im Schacht senkrecht nach unten geführt und unterquert in einem aufsteigenden Ast über eine gewickelte PE-Rohrdükerleitung DN 700 die Ruhr. Im Dükerunterhaupt vergrößert sich der Rohrquerschnitt auf einen in Stahlbeton ausgeführten Kanal DN 1300. An der tiefsten Stelle des Schachtes befindet sich ein Pumpensumpf in dem sich Ablagerungen ansammeln sollen und aus dem die Entleerung des Dükers erfolgen kann. Für die Reinigung mit Hilfe von Ejektoren stellte dieser Pumpensumpf allerdings ein Problem dar. Die Ejektoren für die Reinigung sind mit Kufen ausgestattet und können sich in dem Pumpensumpf verfangen. Auf der alten Kläranlage Neheim besteht beim Absperren des Kanals die Möglichkeit das Mischwasser in ein Becken umzupumpen und somit das Zeitfenster für die Inspektion zu vergrößern. Im Vorfeld dieses Vorhabens wurde auf der Unterhauptseite ein Zufahrtsweg sowie

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

ein geschotterter Platz für die HD-Fahrzeuge gebaut. In Abbildung 114 ist ein Längsschnitt des Dükers dargestellt. Die Dükerrohrlänge beträgt ca. 50 Meter.

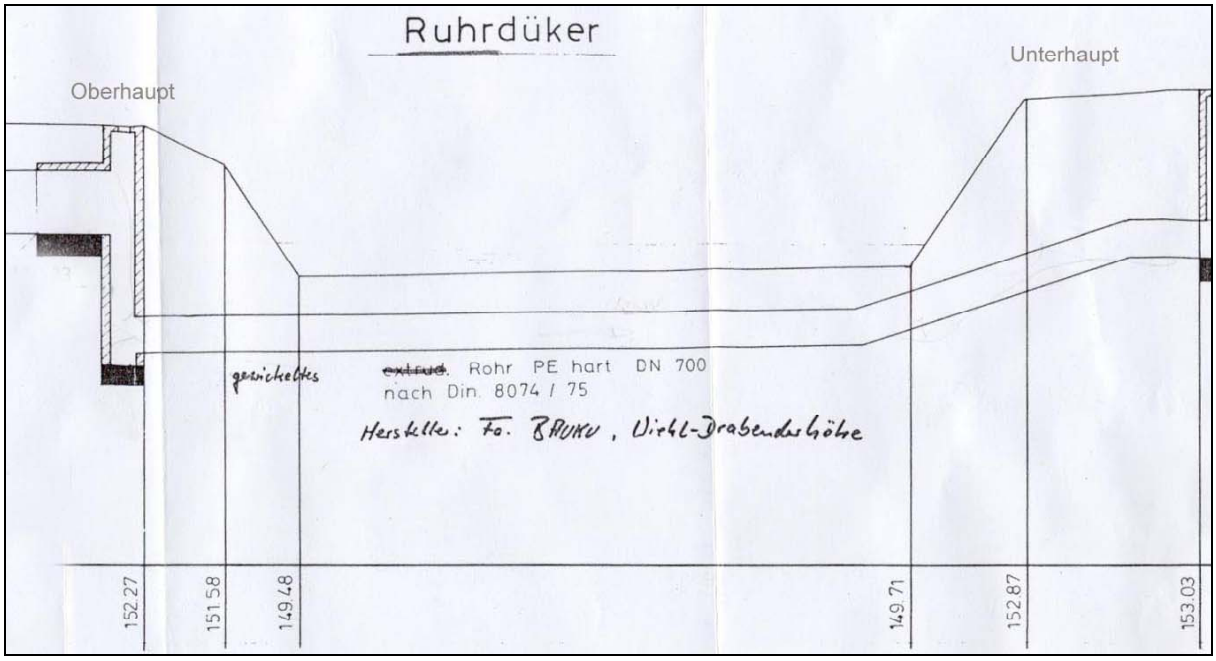


Abbildung 114: Längsschnitt des Ruhrdükers aus dem Jahre 1982

Folgende HD-Fahrzeuge wurden eingesetzt:

1. Ein Kombifahrzeug mit einem 16 m^3 Behälter und 160 m Schlauchlänge. Die Hochdruckpumpe liefert 330 l/min bei 170 bar Druck an der Pumpe.
2. Ein Kombifahrzeug mit einem 12 m^3 Behälter und 160 m Schlauchlänge. Die Hochdruckpumpe liefert 330 l/min bei 170 bar Druck an der Pumpe.
3. Ein Kombifahrzeug mit einem 8 m^3 Behälter und 120 m Schlauchlänge. Die Hochdruckpumpe liefert 330 l/min bei 170 bar Druck an der Pumpe.

Desweiteren wurden ein Ejektor Aqua 1000 für die Reinigung eingesetzt. Zum Pumpen wurden die Ejektoren Aqua 2000, C16, C12 verwendet. Zusätzlich kam eine sogenannte DIA-Pumpe zum Einsatz, mit der die zurückgestaute Vorflut in ein Becken umgepumpt werden konnte.

Der Ablauf der gesamten Maßnahme wurde begleitet und dokumentiert und ist im Folgenden chronologisch dargestellt.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

1. Reinigung des Dükers

08.00 h Zuerst wird am Dükeroberhaupt und -unterhaupt die Maßnahme vorbereitet. Dazu werden auf beiden Seiten die Hochwasserschachtabdeckungen wie in Abbildung 115 dargestellt entfernt. Auf der Oberhauptseite wird Fahrzeug Nr. 3 stationiert, da ein größeres Fahrzeug aufgrund der örtlichen Gegebenheiten auf dieser Seite nicht eingesetzt werden kann (vgl. Abbildung 117). Während der gesamten Maßnahme wird dieses Fahrzeug durch eine externe Pumpe mit Ruhrwasser befüllt. Auf der Auslaufseite werden die HD-Fahrzeuge 1 und 2 stationiert (s. Abbildung 118). Hier wurde im Vorfeld der Maßnahme ein geschotterter Zuweg sowie eine geschotterte Standfläche für die Fahrzeuge (s. Abbildung 116) geschaffen.

Abbildung 115: Öffnen des Dükerunterhauptes

Abbildung 116: Schotterstraße

Abbildung 117: Blick vom Unterhaupt auf das Oberhaupt

Abbildung 118: Blick von Oberhaupt auf das Unterhaupt

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

10.20 h Der Kanal wird ein erstes Mal abgeschiebert und die mögliche Einfahrlänge für die HD-Düse bestimmt, um ein Verfangen des für die Reinigung eingesetzten Ejektors am Pumpensumpf zu verhindern. Dazu wird eine rundumstrahlende Spüldüse (s. Abbildung 119) von der Auslaufseite in den Düker eingefahren. In dem stehenden Wasser des Dükeroberhauptes kann die ankommende Düse anhand von Wasserbewegung erkannt werden. Die Düse wird von dort 3 Meter zurückgezogen. Diese Schlauchlänge wird als Einfahrlänge bestimmt und mit einer Markierung am HD-Schlauch gekennzeichnet.

Abbildung 119:Eingesetzte rundumstrahlende Spüldüse

10.40 h Die Dükerreinigung unter Berücksichtigung der Einfahrlänge beginnt. Zum Lösen von verfestigten Ablagerung auf der Sohle wird die rundumstrahlende Spüldüse zunächst bei abgesperrtem Kanal durch das Dükerrohr gefahren. Nachdem die Düse den Düker viermal durchfahren hat, muss das Spülfahrzeug Treibwasser aus der Ruhr saugen, um den Behälter wieder zu befüllen. Danach wird weiter mit der rundumstrahlenden Düse gereinigt. Der Schieber an der alten Kläranlage wird geöffnet und eine dunkle Verfärbung des Abwassers infolge des Lösens von Ablagerungen ist feststellbar.

12.00 h Die Reinigung mit Hilfe eines Ejektors Aqua 1000 beginnt (s. Abbildung 120). Über das Dükerunterhaupt wird der Düker in 4 Durchgängen gereinigt. Die transportierten Ablagerungen sind gut zu erkennen, wenn der Ejektor jeweils im aufsteigenden Ast kurz vor dem Unterhaupt ankommt.

Abbildung 120: Aqua 1000 an HD-Schlauch angeschlossen

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Aufgrund der hohen Zulaufmengen zum Düker steht nur ein kurzes Zeitfenster für die Inspektion zur Verfügung. Aus diesem Grunde wird nach der Dükerreinigung der genaue Ablauf für die Entleerung und Inspektion mit dem Betriebspersonal besprochen und die Verantwortlichkeiten festgelegt (s. Abbildung 121).

Abbildung 121: Vorbesprechung für die Entleerung und Inspektion

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

2. Entleerung und Inspektion des Dükers

11.45 h Nach dem zweiten Spülvorgang wird die “Ejektorkette” wie in Abbildung 122 dargestellt auf der Seite des Dükerunterhauptes zum Leerpumpen vorbereitet. Dazu wird ein 14 Meter langes Schlauchstück zwischen Aqua 2000 und C16 gekuppelt. Auf der anderen Seite des C16 wird ein 15 Meter langes Schlauchstück angeschlossen. Eine Schlauchkette aus 6 zusammengeschlossenen 3-Meter-Schlauchelementen wird ebenfalls vormontiert.

Abbildung 122: Ejektorkette besstehend aus zwei Ejektoren und Schläuchen

12.25 h Um die vorbereiteten Saugejektoren in den Düker bzw. in den Kanal einführen zu können, wird zuerst der Kanal abgeschiebert. Ohne die störende Strömung werden die Ejektoren Aqua 2000 (s. Abbildung 123) und C 16 (s. Abbildung 124) mit den angeschlossenen Schläuchen in den Düker eingeschoben (s. Abbildung 125). Die vormontierte Schlauchkette wird in den Ablaufkanal eingeschoben. Beide Teile werden danach im Schacht verbunden.

Abbildung 123: Aqua 2000 an Saugschlauch angeschlossen

Abbildung 124: Ejektor C 16 zwischen zwei Schläuchen

Abbildung 125: Betriebspersonal schiebt die “Ejektorkette” in das Dükerrohr

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

12.00 h Während auf der Auslaufseite die Saugejektoren in den Düker eingeschoben werden, kann der Schlamm aus dem Pumpensumpf abgepumpt werden. Ein Gemisch aus Ablagerungen und Abwasser wird mit dem Tiefsaugejektor C12 ca. 5 Minuten lang abgesaugt.

12.55 h Um für die Inspektion ein möglichst großes Zeitfenster zur Verfügung zu haben, wird der Schieber vor der Entleerung noch einmal geöffnet und das bereits aufgestaute Abwasser fließt ab. Während dessen wird der abgesaugte Schlamm wieder in das Dükeroberhaupt abgelassen. Die starke Strömung verhindert ein erneutes Absetzen im Pumpensumpf.

13.55 h Nachdem das rückgestaute Abwasser abgeflossen ist, wird der Schieber wieder geschlossen. Gleichzeitig wird, um die Rückstauzeit zu erhöhen, mit einer durch Verbrennungsmotor betriebenen Pumpe (DIA-Pumpe, s. Abbildung 126) Wasser aus dem Kanal in ein Becken gepumpt (s. Abbildung 127). Die Ejektorkette wird aktiviert und der Düker wird vom Dükerunterhaupt aus leergepumpt. Bereits nach 10 Minuten ist der Düker so weit entleert, dass die beiden Ejektoren nur noch Luft ansaugen und sich der Wasserspiegel im Schacht des Oberhauptes nicht mehr ändert. Der Schieber kann – vermutlich aufgrund von Verschmutzungen - im ersten Ansatz nicht ganz geschlossen werden. Aus diesem Grund pumpen die Ejektoren weiter bis 14.40 h. Zu diesem Zeitpunkt fließt fast kein Abwasser mehr zu.

Abbildung 126: DIA-Pumpe am Becken

Abbildung 127: Becken der alten Kläranlage

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

14.45 h Als die Ejektoren am Dükerunterhaupt kein Wasser mehr fördern, wird am Dükeroberhaupt begonnen, das restlichen Abwasser mit dem Ejektor C12 aus dem Pumpensumpf in das Fahrzeug Nr. 3 zu pumpen (s. Abbildung 128). Währenddessen werden die Ejektoren auf der Auslaufseite ausgebaut, damit die Inspektion beginnen kann.

Abbildung 128: Leerpumpen des Einlaufschachtes

14.46 h Nach 5 Minuten ist der komplette Düker mit Hilfe der Ejektors C 12 entleert. Die Inspektionskamera wird in den Schacht des Unterhauptes eingesetzt (s. Abbildung 129). Diese Zeit wird genutzt, um an dem Schacht anhaftende Ablagerungen zu entfernen und aus dem Pumpensumpf Steine zu entnehmen (Abbildung 130). Um 15.00 h hat die Kamera den Düker durchfahren, sodass um 15.15 h, nach der Räumung der Schächte, die Schieber wieder geöffnet werden können.

Abbildung 129: Herablassen der Kamera

Abbildung 130: Reinigung des Einlaufschachtes

Zusammenfassung

Der auch bei Trockenwetter hohe Zufluss zum Ruhrdüker stellte bei dieser Pilotmaßnahme eine besondere Schwierigkeit dar. Für die Inspektion des Dükerrohres stand deshalb nur ein kleines Zeitfenster zur Verfügung. Durch das alleinige Absperren des Zulaufs hätte die Inspektion nicht erfolgreich durchgeführt werden können. Dieses Problem konnte durch Nutzung eines Beckens der ehemaligen Kläranlage als Rückstaubecken gelöst werden. Mit Hilfe einer zusätzlichen Pumpe (DIA-Pumpe) konnte der Zulauf soweit verringert werden, dass ein ausreichendes Zeitfenster für die Inspektion zur Verfügung stand. Die eingesetzten Geräte und Fahrzeuge können nicht weiter reduziert werden. In Abbildung 131 ist der Zeitaufwand der Maßnahme in Arnsberg für den Gesamtprozess der Dükerinspektion bestehend aus Reinigung, Entleerung und

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Inspektion dargestellt. Die Angaben beinhalten nicht den Aufwand für die Baustelleneinrichtung, Rüstzeiten und Pausen. Mit 120 Minuten hat die Dükerreinigung den größten Anteil an dem Gesamtprozess eingenommen. Der Düker wurde in 55 Minuten entleert und in 15 Minuten inspiziert. Mit der Inspektion konnte bereits während der Entleerung begonnen werden, so dass die Zeit für die Vorflutsicherung – sie berechnet sich aus Zeit für die Entleerung plus Zeit für die Inspektion – mit ca. 1,0 Stunden angegeben werden kann.

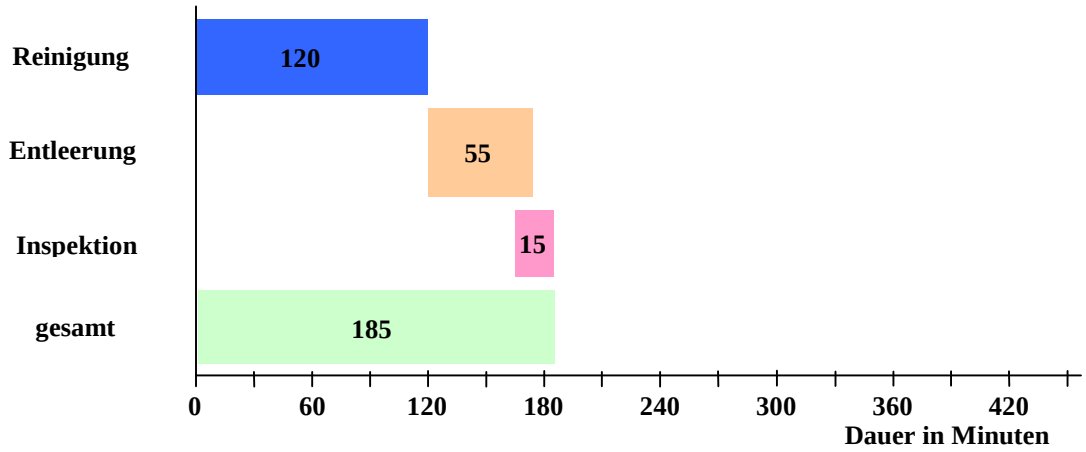


Abbildung 131: Zeitaufwand für den Betriebsprozess Dükerinspektion; Pilotmaßnahme Arnsberg; ohne Baustelleinrichtung, Rüstzeiten und Pausen

4.2.4 Oberhausen

Anlass der Maßnahme

Der Düker an der Einbleckstraße in Oberhausen wird von der Emschergenossenschaft betrieben. Er unterquert den Rhein-Herne-Kanal. Die Abteilung Stadtentwässerung der Wirtschaftsbetriebe Oberhausen (WBO) wurde von der Emschergenossenschaft beauftragt den Düker zu inspizieren. Im März 2004 wurde der Düker im Rahmen der Pilotmaßnahme gereinigt und mit einer Kamera inspiziert. Es handelt sich um einen Mischwasserdüker DN 1000. Das Dükerrohr ist aus beschichtetem Stahl und hat eine Länge von 91 Metern. Der im Dükeroberhaupt ankommende Stahlbetonkanal DN 1300 wird auf den oben beschriebenen Querschnitt reduziert, unterquert den Rhein-Herne-Kanal und erweitert sich im Dükerunterhaupt auf einen Rohrquerschnitt DN 1300. Dieser Stahlbetonkanal leitet das Abwasser direkt weiter bis zur Emscher. Durch die Emschergenossenschaft wird der Düker, wie in ATV-DVWK-A 157 vorgeschlagen [5] in regelmäßigen Abständen durch Schwallspüllung gereinigt. Das hierfür benötigte Wasser wird aus einem dem Düker vorgelagerten Becken einer stillgelegte Kläranlage entnommen, das als Teich angelegt ist. In Abbildung 132 ist ein Längsschnitt des Dükers dargestellt. Die Zeichnung stammt aus dem Jahre 1959. Der Düker entspricht nicht mehr vollständig der Darstellung. Er wurde im Zuge einer Verbreiterungsmaßnahme des Rhein-Herne-Kanals auf der Auslaufseite umgebaut. Der aufsteigende Ast ist jetzt steiler. Die Gesamtlänge des Dükers wurde jedoch nicht verändert.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

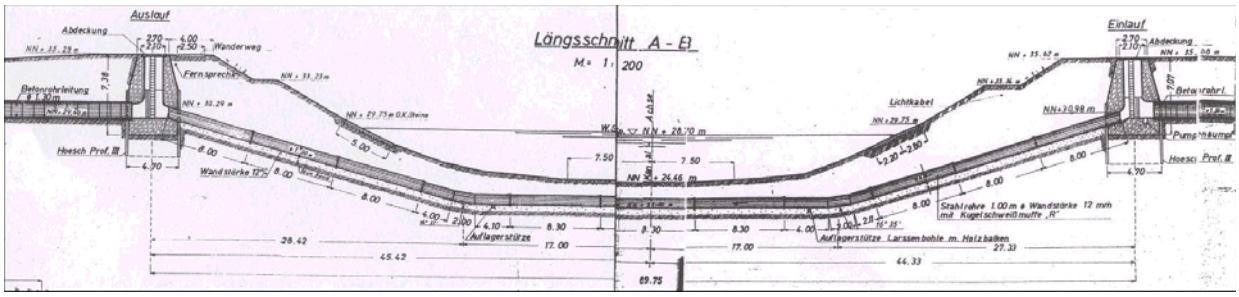


Abbildung 132: Längsschnitt des Dükers Einbleckstrasse, aus dem Archiv des Wasser- und Schifffahrtsamts Duisburg-Meiderich von 1959

Der Ablauf der gesamten Maßnahme wurde begleitet und dokumentiert und ist im Folgenden chronologisch dargestellt.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

1. Reinigung des Dükers (1.Tag)

07.45 h Am Dükerober- und -unterhaupt wird die Maßnahme von Mitarbeitern der Emschergenossenschaft und der WBO vorbereitet. Der Zugang zum Dükerunterhaupt wird geöffnet (Abbildung 133).

Abbildung 133: Öffnen des Dükerunterhauptes

08.20 h Danach wird mit Hilfe eines Radladers die Abdeckplatte vom Dükeroberhaupt entfernt. Im Oberhaupt befinden starke Ablagerungen sowie ein Kantholz, das ein Abflusshindernis darstellt. Die Ablagerungen sowie das Kantholz werden händisch entfernt (vgl. Abbildung 134).

Abbildung 134: Einstieg in das Dükeroberhaupt

08.40 h Nach diesen Vorarbeiten kann mit der Reinigung begonnen werden. Als erstes wird auf der Auslaufseite ein Sohlenreiniger in den Schacht eingesetzt (s. Abbildung 135). Der Sohlenreiniger konnte den Düker allerdings nicht durchqueren. Um 09.00 h wird der Sohlenreiniger durch eine rundumstrahlende Düse ersetzt und die Reinigung fortgesetzt.

Abbildung 135: Einsetzen des Sohlenreinigers in das Dükerunterhaupt

09.45 h Nach der Vorreinigung mit einer rundumstrahlenden Düse wird erneut die Sohlenreinigungsdüsen eingesetzt. Diese durchfährt ohne Probleme das gesamte Dükerrohr. Nach mehreren Spüldurchgängen mit dem Sohlenreiniger wird vom Oberhaupt eine rundumstrahlende Spüldüse bis zum Dükerunterhaupt befördert.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

10.40 h Die rundumstrahlende Düse wird am Dükerunterhaupt aus dem Schacht entnommen und durch einen Ejektor Aqua 3000 ersetzt. An den Ejektor werden die HD-Schläuche des am Oberhaupt sowie des am Unterhaupt stehenden HD-Fahrzeuges angeschlossen und von beiden Fahrzeugen betrieben (s. Abbildung 136). Ab 10.40 h durchfährt der Ejektor, jeweils von einem HD-Fahrzeug gezogen, während das andere Fahrzeug auf Freilauf steht, das Dükerrohr. Dieses „Spülbürstenprinzip“ hat den Vorteil, dass die doppelte Treibwassermenge in den Ejektor eingespeist wird und sich somit die beschleunigte Wassermenge im Dükerrohr vergrößert. Des Weiteren besteht die Möglichkeit den Ejektor von zwei Seiten zu ziehen, sodass dieser sich nicht festsetzen kann.

Abbildung 136:Austausch der Düse durch den Ejektor mit beidseitigem Anschluss

bis 12.30 h Während des Spülvorgangs wird aus dem Teich (s. Abbildung 137) der alten Kläranlage, immer dann, wenn der Ejektor in Richtung Dükerunterhaupt gezogen wird, zusätzlich Wasser in den Kanal abgelassen, sodass sich der Wasserstrom stark erhöht (s. Abbildung 138). In den Phasen, in denen kein Wasser zugegeben wird, kann man die transportierten Ablagerungen im Auslaufschacht sehen (s. Abbildung 139).

Abbildung 137: Als Teich genutztes Becken der alten Kläranlage

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Abbildung 138: Blick in das Dükerunterhaupt während der Reinigung

Abbildung 139: In das Dükerunterhaupt transportierte Ablagerungen

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

2. Entleerung und Inspektion des Dükers (1.Tag)

13.00 h Vor die Entleerung des Dükers unter Einsatz des Ejektors Aqua 2000 wird ein Probelauf mit Kanalwasser durchgeführt, um die Funktionstauglichkeit unter Verwendung eines verfügbaren und vergleichsweise kleinen Schlauches DN 80 (normalerweise DN 100) zu testen. Dazu wird der Ejektor Aqua 2000 an den Schlauch angeschlossen und mit Wasser des Rhein-Herne-Kanals betrieben. In Abbildung 140 kann man die austretende Wassermenge sehen.

Abbildung 140: Probelauf mit dem Saugejektor, Aqua 2000

13.15 h Nach dem Probelauf wird der Ejektor Aqua 2000 in den Düker eingeschoben bzw. mit Hilfe einer am Ejektor befestigten rundumstrahlenden Düse vom Einlaufbauwerk aus gezogen (s. Abbildung 141). Auf diese einfache Art können auch längsstabile Schläuche zusammen mit dem Ejektor an den tiefsten Punkt des Dükers gezogen werden.

Abbildung 141: Einsetzen des Saugejektors in das Dükerunterhaupt

ab 13.20 h Es wird mit dem Abpumpvorgang begonnen. Das abgepumpte Wasser wird in den Ablaufkanal in Richtung Emscher gepumpt (s. Abbildung 142). Um zu verhindern, dass Wasser aus dem Ablaufkanal in den Düker zurückläuft, wird der Schlauch über die bei der Reinigung entstandenen Ablagerungen hinweg in den Ablaufkanal geschoben.

Abbildung 142: Abgepumptes Wasser im Ablaufkanal zur Emscher

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Der Abpumpvorgang beginnt bereits vor der Sperrung des Kanals. Da die abgepumpte Menge größer ist als die Zulaufmenge, sinkt der Wasserspiegel im Düker bereits in dieser Phase.

14.00 h Nach Beginn der Abpumpvorgangs wird mit dem Absperren am Dükeroberhaupt begonnen. Die Absperrung erfolgt mit einer Mehrdimensionsblase (s. Abbildung 143 und Abbildung 144), die mit einem vor Ort hergestellten Verbau gesichert wird (s. Abbildung 145). Um 14.25 h dichtet die Blase den Kanal komplett ab.

Abbildung 143:Dichtblase vor dem Einsetzen in den Kanal

Abbildung 144: Ablassen der Dichtblase in den Einlaufschacht

Abbildung 145: Im Kanal eingesetzte Dichtblase mit Verbau

14.45 h Während des Abpumpvorgangs wird die Inspektionkamera vom Oberhaupt aus in den Düker eingesetzt (s. Abbildung 146). Aufgrund des Restwassers im Düker wurde die Inspektion allerdings abgebrochen.

Abbildung 146: Einsetzen der Kamera

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

16.15 h Um 14.50 h fördert der Ejektor Aqua 2000 kein Wasser mehr. Der Wasserstand stagniert, was durch die Inspektion bestätigt wird. Es wird angenommen, dass der Ejektor verstopft ist. Gegen 16.15 h werden der Abpumpvorgang beendet, die Gerätetechnik vorerst zurückgebaut und in einer Nachbesprechung mögliche Fehler diskutiert. Eine Verstopfung des Ejektors kann nicht festgestellt werden.

Fazit 1. Tag

Durch Kontrolle der Pläne und Vergleich mit den Leistungskennwerten des Ejektors Aqua 2000 konnte das Überschreiten der maximalen Förderhöhe dieses Ejektors als Grund für den Abbruch der Maßnahme ermittelt werden. Diese Grenze wird durch die Beobachtung der Pumpenleitung, auch ohne Kenntnis der Dükertiefe, bestimmt. Die Pumpenleitung beginnt beim Erreichen der Fördergrenze zu schlagen. Die Förderleistung am Auslauf ist beim Hereinschieben des Ejektors in den Düker zu kontrollieren. Zur Erhöhung der Druckhöhe soll einen zweiter Ejektor, der C 16 zwischengeschaltet werden und so eine Ejektorkette zum Einsatz kommen. Damit diese nicht an Rohrversätzen hängen bleibt, wird der Ejektor C 16 in der Werkstatt der WBO mit zusätzlichen Kufen ausgestattet. Die Ejektorkette wird wie folgt aufgebaut: Ejektor Aqua 2000, 1/3 Schlauchlänge, Ejektor C 16 und anschließend Schlauch bis in den Auslaufkanal.

2. Tag

ab 08.00 h Der Düker wird, wie bereits am Vortag, gereinigt. Die Reinigung erfolgt zuerst mit dem Sohlenreiniger (Abbildung 147) und danach mit dem Aqua 3000 (Abbildung 148).

Abbildung 147: Sohlenreiniger

Abbildung 148: Ejektor Aqua 3000

12.00 h Nach einer Dükerreinigung am Vormittag wird die Dichtblase analog zum Vorgehen am ersten Tag eingesetzt und der Düker so abgesperrt.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

ab 12.45 h

Nun wird die Ejektorkette, bestehend aus Ejektor Aqua 2000, 14 m Schlauch, Ejektor C 16 und weiteren Schläuchen, zusammengebaut und in das Dükerrohr eingeführt. Abbildung 149 zeigt den Zusammenbau der Ejektorkette. In Abbildung 150 ist der Ejektor C 16 mit anmontierten Schläuchen dargestellt. In Abbildung 151 ist zu erkennen, wie der Ejektor C 16 in den Schacht eingeführt wird.

Abbildung 149: Aqua 2000 mit Schlauch

Abbildung 150: Anschluss C 16 zwischen zwei Schläuche

Abbildung 151: Einsetzen der Ejektoren

13.00 h

Das Wasser im Düker wird abgepumpt. Beginnt das in den Auslaufkanal ragende Schlauchstück zu schlagen, wird offensichtlich Luft angesaugt. Der Ejektor läuft trocken. Die Ejektorkette wird dann weiter in das Dükerrohr hineingeschoben und weitere Schlauchstücke angekuppelt. (s. Abbildung 152). In Abbildung 153 ist das Ende der Pumpenleitung zu erkennen. Das Wasser spritzt aus einer Leitung DN 100 in den Auslaufkanal DN 1300. Ein Zurücklaufen des Abwassers wird durch eine Sandsackbarriere im Auslaufkanal verhindert.

Abbildung 152:3 m Schlauchstück zum Ankuppeln im Kanal

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Abbildung 153: Aus dem Düker abgepumptes Wasser

13.55 h Mit der Inspektion wird begonnen. Das Dükerrohr ist bis zur Hälfte entleert. Die Ejektoren werden abgestellt, um die Inspektion zu ermöglichen. Es wird befürchtet, dass schlagende HD-Schläuche die Inspektionskamera treffen können.

14.12 h Die Inspektionskamera steht vor dem Wasser. Die Ejektoren beginnen damit, das Restwasser abzupumpen Die Inspektionskamera kann dem sinkenden Wasserspiegel folgen.

14.15 h Die Ejektoren pumpen kein Wasser mehr ab, das Schlauchende schlägt. Der Düker ist leer.

14.25 h Die Kamera ist vom Dükerunterhaupt aus zu sehen. Die Kamera wird zurückgezogen und die Inspektionseinheit zum Dükerunterhaupt umgesetzt.

15:00 h Der aufsteigende Ast des Dükerrohres ist inspiziert. Die Kamera wird zurückgezogen und der Rückbau der Absperrung beginnt.

15:45 h Die Dichtblase wird entleert und die Vorflut wiederhergestellt.

Schlussfolgerungen

Mit Hilfe der Ejektoren lassen sich auch lange Düker, hier als Beispiel mit einer Länge von 90 m, entleeren. Es sollte auf die Verwendung von Pumpenleitungen geachtet werden, die zum einen so flexibel sind, dass sie sich in die Bauwerke einfädeln lassen und zum anderen so druckstabil sind, dass sie sich möglichst bis zum Tiefpunkt des Dükers schieben lassen. Infolge der Reibung können auch längsstabile Pumpenleitungen, in Abhängigkeit von der Bauform der Dükerrohres (Gefälle, Rohrwerkstoff etc.), nicht mehr geschoben werden. In einem solchen Fall kann beispielsweise eine, von der anderen Dükerseite eingebrachte rundumstrahlende Düse an dem Ejektor angebracht werden. Der Hochdruckschlauch wird dann als Zugseil eingesetzt und die Ejektorkette so an die tiefste Stelle des Dükerrohres gezogen.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Desweiteren hat sich der Einsatz von drei Meter langen Schlauchstücken als praxisgerecht herausgestellt. Die Stücke lassen sich gut transportieren und können, versehen mit Schnellkupplungen (z.B. System Storz) schnell zu einem Rohrstrang zusammengefügt werden.

Im Rahmen dieser Pilotmaßnahme musste eine Ejektorkette aus zwei Ejektoren und dazwischen montierten Schläuchen eingesetzt werden. Ab einem Höhenunterschied von vier Metern zwischen der Sohle des Ablaufkanals und dem tiefsten Punkt im Dükerrohr ist der Einsatz von zwei Ejektoren sinnvoll. Ein schnelles Abpumpen der Abwassers aus dem Ejektorrohr wird dadurch gewährleistet.

Für die Maßnahme wurden von Seiten der Emschergenossenschaft zwei Mann Betriebspersonal eingesetzt. Von Seiten der WBO wurden an beiden Tagen drei Reinigungsfahrzeuge mit jeweils 2 Mann Besatzung und ein Rüstfahrzeug, das mit einem Mann besetzt war, eingesetzt.

In Abbildung 154 ist der Zeitaufwand der Baumaßnahme Oberhausen (1. Tag) für den Gesamtprozess Dükerinspektion bestehend aus Reinigung, Entleerung und Inspektion für den ersten Tag dargestellt. Die Angaben beinhalten nicht den Aufwand für die Baustelleneinrichtung, Rüstzeiten und Pausen. Mit 230 Minuten hat die Kanalreinigung den größten Anteil an dem Gesamtprozess eingenommen. Der Düker konnte am ersten Tag nur zum Teil entleert werden. Die vollständige Entleerung sowie die Inspektion fanden am nächsten Tag (2. Tag) statt (vgl. Abbildung 155)

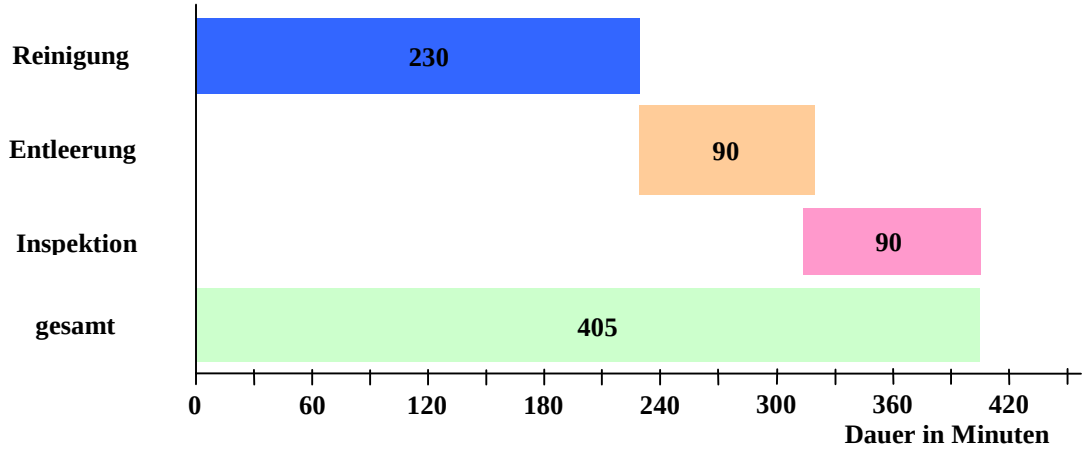


Abbildung 154: Zeitaufwand für den Betriebsprozess Dükerinspektion; Pilotmaßnahme Oberhausen (1. Tag); ohne Baustelleinrichtung, Rüstzeiten und Pausen

In Abbildung 155 ist der Zeitaufwand der Pilotmaßnahme Oberhausen (2. Tag) für den Gesamtprozess Dükerinspektion bestehend aus Reinigung, Entleerung und Inspektion für den ersten Tag dargestellt. Die Angaben beinhalten nicht den Aufwand für die Baustelleneinrichtung, Rüstzeiten und Pausen. An diesem Tag wurde der Düker insgesamt 195 Minuten lang gereinigt. Die Reinigung nahm auch hier den größten Anteil an dem Gesamtprozess ein. Der Düker konnte innerhalb von 75 Minuten komplett entleert werden. Die Inspektion dauerte 30 Minuten. Die Zeit für die Vorflutsicherung ergibt sich somit zu ca. zwei Stunden.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

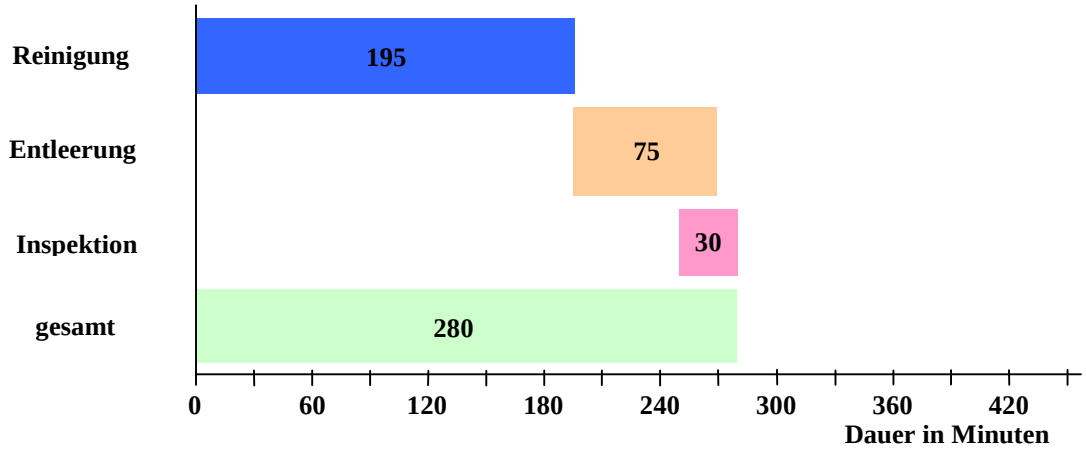


Abbildung 155: Zeitaufwand für den Betriebsprozess Dükerinspektion; Pilotmaßnahme Oberhausen (2. Tag); ohne Baustelleinrichtung, Rüstzeiten und Pausen

4.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Der Aufwand für den Gesamtprozesses der Dükerinspektion leitet sich für jeden Einzelfall aus den Kosten für die folgenden Teilprozesse und den Wechselwirkungen zwischen diesen Prozessen ab:

- 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 platziert werden,
- Dükerinspektion, z.B. durch eine Kamerabefahrung.

Im Rahmen der drei durchgeführten Dükerinspektionen sowie auf Grundlage der Erfahrungen weiterer Betreiber konnte festgestellt werden, dass eine Inspektion von Dükern grundsätzlich unter Einsatz von Ejektoren für die Reinigung und Entleerung des Dükers sowie die Vorflutsicherung möglich ist. Dies gewinnt vor dem Hintergrund an Bedeutung, dass 98 % der in [3] befragten Netzbetreiber die Vorflutsicherung als Haupthindernis für die Inspektion eines Dükers angesehen hatten. Beim **Absperren** der Dükeräste unter Rückstau seien die maximal möglichen Inspektionszeiträume für die TV-Befahrung zu kurz. Das **Überleiten** des Abwassers verursache einen zu hohen technischen, wirtschaftlichen und organisatorischen Aufwand und werde aus diesen Gründen von den befragten Betreibern grundsätzlich nicht eingesetzt. Das **Durchleiten** des Abwassers mittels Schlauch oder Rohrleitung sei für den Einsatz in Freispiegelleitungen ausgelegt und daher bei Dükern nicht anwendbar.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Dennoch konnte bei den drei im Rahmen des Projektes durchgeführten Dükerinspektionen das alleinige Absperren des Zuflusses bereits die Vorflutsicherung gewährleisten. Der wesentliche Grund hierfür ist in den bedeutend günstigeren Betriebsprozessen zu sehen. Dies wird insbesondere mit Blick den Einzelaufwand der Teilprozesse deutlich, denn die Zeit für die Vorflutsicherung setzt sich aus den Komponenten Enleerung plus Inspektion des Dükers zusammen:

Vorflutsicherungszeit t_V = Entleerungszeit t_E + Inspektionszeit t_I .

Der Prozess der Dükerreinigung wird dabei nicht berücksichtigt, da eine Reinigung des Dükers sinnvoller Weise während des normalen Betriebes der vollgefüllten Dükerleitung durchgeführt werden sollte.

In Abbildung 113, Abbildung 131, Abbildung 154 und Abbildung 155 sind die effektiven Zeiten für die Reinigung, Entleerung und Inspektion der Düker in Ratingen, Arnsberg und Oberhausen dargestellt, d.h. ohne Baustelleneinrichtung sowie Rüstzeiten, z.B. für das Positionieren des Inspektionsfahrzeugs. In Abhängigkeit von der Dükerlänge und dem Durchmesser des Dükerrohres lagen die Zeiten für die Vorflutsicherung durch Absperren zwischen 30 Minuten für ein Dükerrohr DN 300 mit einer Länge von 24 m (vgl. Abbildung 113) und ca. 2 Stunden für ein Dükerrohr DN 1000 mit einer Länge von 91 m (vgl. Abbildung 155). Aufgrund dieser kurzen Absperrzeiten konnte die Vorflut bei allen drei Dükern durch Absperren gesichert werden. Als zeitlich kritisch hat sich nur die Inspektion in Arnsberg dargestellt. Hier musste zusätzlich zur Absperrung des Dükerrohres ein Teil der Vorflut in ein Becken einer alten Kläranlage abgepumpt werden. Durch diese Maßnahme sowie einen Beginn der Inspektion noch während des Entleerungsvorganges konnte auch dieser Düker durch Absperren abwasserfrei gehalten werden.

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass durch den Einsatz von Ejektoren eine Entleerung der Dükerrohre auf einfache Weise, mit bestehender Technik und in angemessener Zeit möglich ist. Auch ohne detaillierte Kostenaufstellung ist zu erwarten, dass die Wirtschaftlichkeit in der Regel gegeben sein wird. Ein Überleiten des Abwassers, mit dem damit verbundenen hohen technischen, wirtschaftlichen und organisatorischen Aufwand scheint nur noch in Ausnahmefällen notwendig. Auch dann kann sich aber der Einsatz von Ejektoren zum Durchleiten des Abwasserstromes als wirtschaftlich sinnvolle Alternative anbieten. In jedem Fall hängt eine Kostenbewertung allerdings von den örtlichen Randbedingungen und verfügbaren Ressourcen ab. Kostenvorteile ergeben sich insbesondere dann, wenn Ejektoren auch zu anderen Reinigungs- und Pumpzwecken im Rahmen des Kanal- oder Kläranlagenbetriebs eingesetzt werden.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

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. 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 [3]. 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 1) 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 2). In den Gesprächen wurde allerdings

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

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 Bericht 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.

Zunächst wurde der **Stand der Technik** mit Blick auf die zu inspizierenden Bauwerke, die Düker, zusammengestellt. Es zeigte sich, dass in ATV-DVWK-A 157 [5] 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. 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, wurde eine kurze Übersicht über die unterschiedlichen Arten der Vorflutsicherung sowie über die hierfür einsetzbare Technik gegeben. Einen dritten Schwerpunkt bildeten die im Mittelpunkt des Vorhabens stehenden Ejektoren. Ejektoren, bzw. Geräte die nach dem Ejektorprinzip arbeiten, sind z.T. aus anderen Anwendungen bekannt. In den Ejektoren wird ein Treib-Medium eingesetzt, um ein zweites Medium zu beschleunigen. So arbeiten beispielsweise Wasserstrahlpumpen und Sandstrahlgeräte nach diesem Funktionsprinzip. Im Abwasserbereich

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

bzw. im Kanalbetrieb sind Ejektoren bisher kaum bekannt, obwohl gerade die für die Kanalreinigung eingesetzten Hochdruckreinigungsfahrzeuge mit ihren hohen Betriebsdrücken und Literleistungen, als ideale Energieträger anzusehen sind. Auch liegen keine Kenndaten zur Leistungsfähigkeit von Ejektoren als Abwasserpumpe vor.

Vor diesen Hintergrund wurde in **Laborversuchen** (vgl. Abschnitt 3) die Leistungsfähigkeit von drei ausgewählten Ejektordüsen ermittelt. Eingesetzt wurden die Ejektoren Aqua 2000, C 16 und C 12 der projektbeteiligten Firma Quest, Herford. 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. Es zeigte sich, das 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 Rohrinnendurchmesser 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.

Um den **Praxiseinsatz** der Ejektoren im Bereich der Kanalreinigung aber auch als Pumpe dokumentieren zu können, wurden zum einen Netzbetreiber befragt, die über Erfahrungen mit der Ejektortechnik verfügen. Zum anderen wurde der Einsatz der Ejektortechnik zur Vorflutsicherung an Dükern bei drei nordrhein-westfälischen Netzbetreibern praktiziert.

Die längsten Erfahrungen mit Ejektoren finden sich beim Kanalbetrieb der Stadtentwässerung Göttingen. 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. 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 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. Das Problem der Verstopfung des Ejektorrohres durch große Steine wurde dagegen von den meisten Netzbetreibern bestätigt. Abhilfe können Bügel vor dem Ejektoreingang bringen. Eine Sonderanwendung stellt der Einsatz eines Ejektors vom Typ

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

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 den 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. 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 aus dem Düker herausgespült. Bei den Maßnahmen fiel auf, dass nur ein Düker, der Ruhrdüker in 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 [3] befragten Netzbetreiber, dass beim **Absperren** 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 Absperren gesichert werden. Ein **Überleiten** des Abwassers, das mit einen 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.

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 platziert 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

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

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.

6 Fazit und Ausblick

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 lösbare 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 Dükerreinigung auf solche Zeitpunkte zu

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

legen, bei denen eine hohe Durchflussmenge durch den Düker zu erwarten ist. Das kann bei Mischwasserdükern beispielsweise während eines Regenereignisses sein.

- Speziell für die Dükerreinigung 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 Düker 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 (vgl. Abbildung 81).
- 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 Arbeitssicherheitanforderungen 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

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

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, sprungartige 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.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

- 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 Rückstauvolumen 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 Gesamtprozesses 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 Absperrelemente? Kann zusätzliches

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

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 Veranwortlichkeiten 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.

Für die Planung des Gesamtprozesses Dükerinspektion sollten folgende Einflussfaktoren berücksichtigt werden:

Durch die örtliche **Lage des Düker** wird die Zugänglichkeit der Ein- und Auslaufbauwerke festgelegt. Im Rahmen einer Begehung sind Durchfahrtshöhen, Durchfahrtsbreiten und eventuelle Gewichtsbeschränkungen zu berücksichtigen. Desweiteren ist die Art des zu unterquerenden Bauwerks wichtig. Daraus ergibt sich die beispielsweise die Verfügbarkeit von Treibwasser aus einem unterquerten Fließgewässer. Ansonsten kann das Treibwasser noch aus Hydranten oder aus dem Kanal entnommen werden. Die Kosten für die Inspektionsmaßnahme sind weiterhin vom Umfang der Verkehrssicherung abhängig und können die Inspektionskosten sogar übersteigen. Zum Schluss sollte zur Beschleunigung des Reinigungsprozess die Verfügbarkeit von zusätzlichen Transportwasser im Kanal eingeschätzt werden. Dieses kann

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

durch Rückstau im Kanal oder durch die gezielte Zugabe von Wasser aus einem Sonderbauwerk (Regenrückhaltebecken o. ä.) erfolgen.

Aus den **Netzdaten** lassen sich Informationen über die Dükerart (z.B. einzügig oder zweizügig), die Dükerkennwerte wie Länge und Querschnitt und die bauliche Ausführung von Dükeroberhaupt und Dükerunterhaupt ermitteln. Des Weiteren sollte das oberhalb des Dükers liegende Kanalnetz berücksichtigt werden. Insbesondere Sonderbauwerke im Zulauf können die Inspektionsmaßnahme durch Abschlag großer Abwassermengen gefährden. Darüber hinaus kann aus der Kenntnis des Netzes und den dazugehörigen Abflusskennwerten die Zeit für die Vorflutsicherung abgeschätzt werden.

Zum Schluss sollten die für den Einsatz notwendigen **Geräte** zusammengestellt und auf Funktionsfähigkeit getestet werden. Im einzelnen sind dies die HD-Spülfahrzeuge, die Ejektoren, das Absperrmaterial wie Dichtblasen oder Sandsäcke, die Pumpenschläuche mit den dazugehörigen Kupplungen, Reduzierstücke für HD-Schläuche, Feuerwehrschläuche, Standrohr und Funkgeräte.

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 weiter verringert werden.

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

7 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] Bosseler, B.; Gronau, U.: Erfahrungsbericht „Inspektion und Reinigung von Dükern“. IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur; Gelsenkirchen, Juli 2002

[4] Vischer D.; Huber A.: Wasserbau - Hydrologische Grundlagen, Elemente des Wasserbaus, Nutz- und Schutzbauten an Binnengewässern. Springer Verlag; 5. Auflage, 1993

[5] ATV-DVWK-A 157: Bauwerke der Kanalisation. November 2000

[6] Hartmann A.; Gern S.: Sedimentationsmessungen in Kanälen als Grundlage für die Reinigungsplanung. Tagung - Entwicklung in der Kanalisationstechnik; Köln, September 1999

[7] Lautrich, R.: Der Abwasserkanal - Handbuch für Planung, Ausführung und Betrieb. Verlag Paul und Parey, 4. Auflage 1980

[8] Das Spülpumpensystems. Firmeninformation der Fa. Scandicell, 2002

[9] DIN 4045: Abwassertechnik, Begriffe. Beuth-Verlag, Dezember 1985

[10] Stein, D.: Instandhaltung von Kanalisationen; 3. Auflage; Verlag Ernst & Sohn; Berlin 1998

[11] Homepage der Fa. D R E X L; http://www.rohrreinigung-geraete.com; Stand 01.12.2002

[12] Homepage der. Fa. MÜLLER Umwelttechnik GmbH & Co KG; http://www.mueller-umwelt.de; Stand 01.12.2002

[13] Firmeninformation der Fa. Beck GmbH, 74906 Bad Rappenau, 2002

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

[14] Homepage des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR); http://www.bbr.bund.de/bauwesen/umweltschutz/abwasservorflut.htm; Stand 28.05.2004

[15] Firmeninformation der Fa. Bernhard Schmidt, Hennef, 2002

[16] Homepage der Fa. ANA-Verfahrenstechnik GmbH, Merseburg; http://www.ana-gmbh.com; Stand 14.05.2004

[17] Homepage der freiwilligen Feuerwehr Bickenbach; http://www.feuerwehr-bickenbach.de/wstrahl.htm; Stand 28.05.04

[18] Homepage der Fa. Quest Kommunal- und Industriebedarf, Herford; http://www.quest-kommunal.de; Stand 28.05.2004

[19] Lorenzen A.; Störner S.: Handbuch „Sanfte und präventive Verfahren der Kanalreinigung“. Seminarunterlagen 2002

[20] Homepage der Fa. Baggerman B.V., NL-6040 AD Roermond; http://www.btr.nl; Stand 02.05.2004

[21] Homepage der Fa. Industriebedarf CASTAN GmbH, Ludwigsburg; http://www.industriebedarf-castan.com; Stand 02.05.2004

© 2004 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH