

Methoden zur Bauzustandserfassung und -bewertung begehbare Mauerwerkskanäle

M. Lohse, B. Falter, Münster, G. Brüggesch, R. Gitzel, Bremen

Zusammenfassung

Während über die Erfassung und Bewertung des Bauzustands kleinformatiger Abwasserkanäle inzwischen umfangreich berichtet wurde [z. B. 15], liegen über begehbare Kanäle nur wenige Veröffentlichungen vor. Als Teil einer umfassenden Bestandsaufnahme werden Methoden vorgestellt, wie bei Mauerwerkskanälen die Bauzustandserfassung durch Begehungen und ergänzende Untersuchungen erfolgen kann. Ferner werden Verfahren zur Bewertung des Kanalmilieus, der Baustoffverhältnisse und insbesondere der rohrstatischen Tragfähigkeit aufgezeigt. Diese Methoden sind teilweise auf begehbare Kanäle aus anderen Baustoffen übertragbar.

METHODS OF ANALYSIS AND ASSESSMENT OF THE EXISTING CONDITION OF ACCESSIBLE BRICKWORK SEWERS

Summary

Whereas the analysis and valuation of small sewers has been treated comprehensively [for example 15], only few publications exist about accessible sewers. As part of an elaborated inventory, methods will be presented for the registration of brickwork sewers by site visits and supplementary investigations. Further methods for the valuation of the sewer atmosphere, the material properties and the load-carrying capacity are discussed. Parts of these methods are transferable to accessible sewers made of other building materials.

MÉTHODES DE CONTRÔLE ET D'ESTIMATION DE L'ÉTAT DES MURS DANS LES CANALISATIONS PRATICABLES

Résumé

Alors qu'il existe à l'heure actuelle de nombreux rapports concernant le contrôle et l'estimation de l'état des égouts d'eaux usées d'un petit diamètre [ex. 15] nous ne disposons que de peu d'information expérimentales sur les canalisa-

tions d'égouts qui sont praticables. Des méthodes sont présentées telles que, celles qui consistent à prendre en compte une partie d'un vaste inventaire, c'est à dire, en contrôlant l'état des canalisations d'égouts après les avoir parcourues et soumises à des examens complémentaires. Ces données permettent d'estimer le milieu des égouts, les qualités des matériaux de construction et particulièrement la statique des conduites. Ces méthodes peuvent être partie utilisées pour les canalisations praticables construites avec d'autres matériaux.

1. Einführung

Nach bisherigen Hochrechnungen wird davon ausgegangen, daß etwa 20 % sämtlicher Kanalnetztlängen sanierungsbedürftig sind. Wenn auch etwa 80 % des Kanalnetzes Querschnitte mit kleineren Nenndurchmessern als DN 800 aufweisen [13], so verbleiben bei einer Gesamtlänge von etwa 310 000 km öffentliche Abwasserkanäle in den alten Bundesländern [8] etwa 62 000 km, die als begehbare im Sinne der Unfallverhütungsvorschriften einzustufen sind. Zudem betragen die längenspezifischen Investitionskosten teilweise zehn- bis fünfzehnmal mehr als die für nicht begehbare Querschnitte.

Wenn anhaltsweise davon ausgegangen wird, daß von den begehbaren Kanälen nur 10 % erneuerungsbedürftig sind, dann ist bei einer spezifischen Investition von gemittelt 5 000 DM/m eine Gesamtinvestition in Höhe von 20 Mrd. DM erforderlich. Hinzu kommt der entsprechende Investitionsbedarf in den neuen Bundesländern.

In Anbetracht der generellen Kenntnis über erhebliche Schäden in den Abwasserableitungsnetzen und des enormen Vermögenswertes sind die Kommunen gehalten, genaue Kenntnisse über den Bauzustand ihrer Systeme zu erlangen. Für die Untersuchung kleinformatiger Rohre sind inzwischen mehr oder weniger ausgereifte Untersuchungstechniken im Einsatz, wie selbstfahrende Videokameras und Druckprüfungsgeräte.

Der Untersuchungsgrad der begehbaren öffentlichen Kanäle wird für 1990 mit 69 % genannt [13 u. a.]; hieraus ist nicht

erkenntlich, wie umfangreich und methodisch diese Untersuchungen angegangen wurden. Auch verwundert trotz dieses relativ hohen Untersuchungsanteils die geringe darüber zu findende Literatur. In Anbetracht der dringenden Notwendigkeit rascher Untersuchungen zur Abwendung fortschreitender Schäden kann die Ausarbeitung hierfür fehlender Richtlinien, z. B. ATV-Regelwerk, nicht abgewartet werden.

Im Folgenden werden Methoden zur Untersuchung und Bewertung vorgestellt, wie sie in einer norddeutschen Großstadt entwickelt und erprobt wurden. In allen Fällen war grundsätzlich bekannt, daß Schäden vorhanden waren, so daß im wesentlichen der Schadensumfang zu ermitteln war.

Auf die ebenfalls erforderlichen Feststellungen der von den Schäden ausgehenden Gefährdungen infolge Exfiltration und der hydraulischen Funktionsfähigkeit wird im Rahmen dieses Beitrags nicht näher eingegangen.

2. Örtliche Feststellungen

2.1 Vorbereitung

Wegen der erforderlichen Abstimmungen und Sicherheitsvorkehrungen für das mit der Begehung betraute Personal benötigen die Untersuchungen begehbare Kanäle umfangreiche Vorarbeiten. Im wesentlichen sind zu leisten:

- Abstimmung innerhalb des Stadtentwässerungsamtes
- Benachrichtigung der Polizei
- ggf. Veranlassung verkehrsregelnder Maßnahmen mit Einschaltung des Ordnungsamts
- Einsatzplanung (Ort, Zeit, Personal, Fahrzeuge)
- Vorbereitung der Untersuchungsgeräte (Zusammenstellung, Ergänzung von Verbrauchsmaterial, Kalibrierung)
- ggf. Beauftragung spezialisierter Untersuchungsunternehmen (z. B. Firmen zur Bohrkernentnahme, mikrobiologische Institute und Baustofflabors)
- evtl. Herstellung eines Stromanschlusses

2.2 Untersuchungsprogramm

Die Begehungen müssen bezüglich ihres Aufwands einerseits noch wirtschaftlich vertretbar sein, andererseits aber ausreichende Kenntnisse liefern.

Grundsätzlich ist bei begehbaren Kanälen folgende Vorgehensweise zur Schadensermittlung möglich:

- Sehr grobe Orientierung: Einstieg z. B. in jeden zweiten oder dritten Schacht; von dort visuelle Beurteilung der ober- und der unterhalb liegenden Haltung.
- Grobe Orientierung: Einstieg in jeden Schacht, sonst wie vor.
- Grundlegende Zustandsaufnahme: Begehung sämtlicher Haltungen ohne oder mit vorheriger Rohrreinigung.
- Weitgehende Zustandsaufnahme: Begehung sämtlicher Haltungen vor Rohrreinigung; Durchführung einer Rohrreinigung; nochmalige Begehung.
- Weitestgehende Zustandsaufnahme: Begehung sämtlicher Haltungen vor Rohrreinigung; Durchführung einer Rohrreinigung; nochmalige Begehung mit begleitenden Messungen und Festlegung weiterer Untersuchungspunkte.

Wenn mit biogener Schwefelsäurekorrosion [14] zu rechnen ist, stört eine vor der Begehung durchgeführte Kanalreinigung die Erfassung der Angriffsgrade auf den Baustoffoberflächen. Auch die Feststellung des Volumens und der Höhe von Sohlablagerungen ist nach einer Spülung nicht mehr möglich. In diesen Fällen kann es sinnvoll sein, zunächst eine Begehung mit Erfassung ungestörter Verhältnisse vorzunehmen und nach einer Spülung eine zweite Begehung mit Ermittlung weiterer Parameter, Baustoffentnahmen, Fotodokumentation der Schäden, etc. anzuschließen; allerdings ist der dazu erforderliche Aufwand nicht unerheblich.

In allen anderen Fällen ist eine einmalige Begehung nach einer Kanalspülung als ausreichend anzusehen. Die Spülung dient auch der Sicherheit des Personals im Kanalsystem, weil dann keine toxischen Gase, insbesondere Schwefelwasserstoff, aus aufgewühlten Ablagerungen beim Begehen in die Kanalatmosphäre entweichen können. Der zeitliche Abstand zwischen Spülung und Begehung sollte i. a. nur wenige Tage betragen.

Bei zweimaliger Begehung können folgende Feststellungen bei der ersten Begehung getroffen werden:

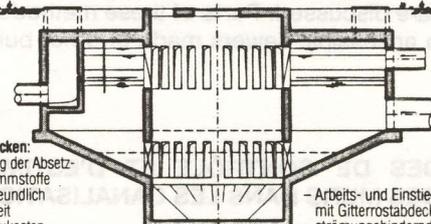
- Ermittlung der Angriffsgrade bei biogener Schwefelsäurekorrosion durch Messung der pH-Werte des Kondensats. Für die Messung haben sich pH-Meßstäbchen bewährt (z. B. Firma Merck)
- Messungen der Temperaturen von Außenluft, Kanalluft und Abwasser, z. B. mit einem Digital-Thermometer mit Meßfühler
- Messungen der Höhe von Sohlablagerungen, z. B. mit einem Hand-Schmutzhöhenmeßgerät [9], ggf. auch unabhängig von der Begehung mit einem selbstfahrenden Schmutzhöhenmeßboot [19].

Nach der Kanalreinigung lassen sich folgende Feststellungen treffen:

- Visuelle Beurteilung der Baustoffoberflächen
- Messungen von Rißbreiten, Rißlängen, Rißtiefen (soweit möglich), Verformungen und dgl. Die Rißtiefenermittlung kann dabei mit dem Tiefenmaß (Rundstab mit 2 mm Durchmesser) einer Schieblehre vorgenommen werden (grundsätzlich wird davon ausgegangen, daß Risse durchgängig sind).

Regenklärbecken RKB

Patent Nr. P 40 25 463.1 angem.



Vorteile der Regenklärbecken:

- Rückhaltung der Absetz- und Schwimmstoffe
- wartungsfreundlich
- kurze Bauzeit
- niedrige Baukosten
- monolithische Bauweise
- Festpreisgarantie
- komplette Erstellung
- Typenstatiken

Konstruktionsmerkmale:

- ständig gefülltes Becken
- befahrbare Decke bis SLW 60
- Olaufrangraum

Arbeits- und Einstiegsöffnungen mit Gitterrostabdeckungen

- strömungshindernde Tauchdielen
- Klar- und Absetzzone
- innenliegender Klarüberlauf
- Drosselung des Beckenabflusses
- Schlammammelraum

VSB Vogelsberger Silo- und Behälterbau

Mühlstr. 9 · 6425 Lautertal-Eichenrod · Tel. (0 66 43) 17 66 · Fax (0 66 43) 87 46

Technisches Büro Süd: Favoritstr. 1 · 7554 Kuppenheim Tel. (0 72 22) 4 87 73 · Fax (0 72 22) 4 89 01

- Messungen von korrosionsbedingten Zerstörungstiefen, soweit die ursprüngliche Baustoffoberfläche als Ausgangsbezugsmaß noch vorhanden ist, z. B. mittels Schieblehre mit Nonius. Weiches Fugenmaterial wurde dazu mittels eines Schraubendrehers mit Körperkraft ausgekratzt.
- Messungen der Abflußtiefe zum Zeitpunkt der Begehung, z. B. als Differenz der zuvor im Schacht ermittelten Rohrhöhe und des mit einem Zollstock feststellbaren Abstandes zwischen Rohrrinnenscheitel und Abwasserspiegel.
- Erfassung von Filtrationen gemäß dem ATV-Merkblatt M 143 [2] und sonstiger Auffälligkeiten.
- Für alle Feststellungen reproduzierbare Lokalisierungsmöglichkeit durch Stationierung und Festlegung im Rohrumfang, z. B. durch Angabe der betrachteten Stelle in Fließrichtung gemäß dem Stundenzeiger einer Analoguhr.
- Herstellung von Fotografien mit Schadstellen und von für die jeweilige Haltung typischen Baustoffflächen; dabei ist bei Verwendung von Blitzlichtgeräten oder anderen Beleuchtungskörpern insbesondere der erforderliche Explosionsschutz zu beachten. Da auf dem gängigen Fotoartikelmarkt angebotene Blitzlichtgeräte in explosionsgeschützter Ausfertigung nach Kenntnis der Verfasser nicht erhältlich sind, ist zuvor eine gründliche Ent- und Belüftung sowie während des Fotografierens die kontinuierliche Kontrolle der Explosionsfähigkeit der Kanalluft mit geeigneten Warn- bzw. Analysegeräten durchzuführen. Auch die fotografierte Stelle ist bezüglich ihrer Station und ihrer Lage im Rohrumfang festzulegen. Ggf. Festlegung fotografischer Beobachtungsfelder zur periodischen Aufnahme, um Veränderungen und ihre Geschwindigkeit ermitteln zu können.
- Ggf. Markierung und Einmessung der Bohrpunkte für Kernbohrungen aus Rohr- und Schachtwänden.
- Ggf. Markierung und Einmessung von Flächen, von denen Abstriche zur mikrobiologischen Untersuchung erfolgen sollen.

2.3 Baustoffkennwerte

2.3.1 Bohrkernentnahme

Für die in Betrieb befindlichen Abwasserkanäle sind Aussagen zur Standfestigkeit der Bauwerke mit guter Zuverlässigkeit nur auf der Grundlage von Baustoffkennwerten möglich, die an entnommenen Bohrkernen ermittelt worden sind.

Die Materialproben können als Bohrkern über die volle Wandungsstärke entnommen werden, wenn keine genauen Kenntnisse über die Wandstärke bestehen; ist die Wandstärke bekannt, reichen für weitere Untersuchungen auch nicht vollständig durchbohrte und abgebrochene Kerne aus.

Für die Baustoffuntersuchungen hat sich ein Durchmesser der Bohrkern von 150 mm bewährt.

Bei den in Betrieb befindlichen Abwasserkanälen sind die Explosionsschutzbestimmungen einzuhalten. Bewährt hat sich die Verwendung einer öhydraulisch angetriebenen Kernbohrmaschine, deren Bohrständer mit dem Vorschubgetriebe mittels einer Spindel im Kanal verkeilt wird. Die Antriebsmaschine und das in der Regel erforderliche Stromaggregat (sofern anderweitig kein Stromanschluß herstellbar

ist) verbleiben an der Oberfläche. Zur Kühlung der Diamantbohrkrone und zum Herausspülen des Bohrmehls ist ein Wasseranschluß erforderlich, der von einem nahegelegenen Hydranten aus hergestellt werden kann; bei Bohrungen in Außengebieten ist die Wasserversorgung auch über einen hochstehenden Wasserbehälter möglich.

Aufgrund der benötigten Schlauchverbindungen (Ölhydraulik, Wasser) und des in der Enge des Kanals schwer zu handhabenden Bohrständers (Gewicht ca. 25 kg) werden die Bohrungen zweckmäßigerweise in unmittelbarer Nähe eines Schachtes durchgeführt. Ist die Einführung der Schläuche über den Schacht nicht möglich (z. B. bei Lage des Schachtes innerhalb von Straßenbahngleisen), können sie eventuell auch durch einen Straßeneinlaufanschluß geführt werden; anderenfalls können die Bohrungen nur in der nächtlichen Betriebsruhe der Straßenbahn durchgeführt werden.

Für Druckfestigkeitsuntersuchungen sind Proben möglichst aus allen Bereichen des Kanalquerschnitts mit kritischen Beanspruchungen, also aus Scheitel, aus dem linken und dem rechten Kämpfer und aus der Sohle zu entnehmen. Besondere Probleme bereitet dabei die Bohrkernentnahme aus der Sohle, die nur bei geringem Abfluß, Abdämmung mit Sandsäcken und Überpumpen des Abwassers durchgeführt werden kann.

Die Anzahl der Bohrkern ist so zu wählen, daß eine zuverlässige statistische Auswertung möglich ist. In Anlehnung an DIN 4051, Tab. 3, sollten etwa 10 Prüfkörper pro gleichformatigem Querschnitt entnommen werden. Ggf. sind die Bereiche Scheitel, Kämpfer und Sohle getrennt zu erfassen, wenn z. B. verschiedene Baustoffe verwendet wurden (Betonsohle) oder die Fugen unterschiedlich stark geschädigt sind.

Die Bohrlöcher werden unmittelbar nach der Bohrkernentnahme mit vorbereiteten Kanalklinkern und schnellhärtendem Kanalbaumörtel wieder verschlossen. Mit Bohrkernentnahmen im Bereich drückenden Grundwassers liegen bei den Verfassern derzeit noch keine Erfahrungen vor.

2.3.2 Bohrkernvorbereitung und Materialprüfung

Nach Einlieferung im Baustoffprüflabor werden die Bohrkern zunächst zur Desinfektion mehrere Stunden im Trockenschrank bei 105 °C aufbewahrt. Anschließend werden die Kanalklinker in Würfel zersägt (z. B. mit ca. 45 mm Kantenlänge) und den Festigkeitsprüfungen unterzogen. Bei Kanalklinkermauerwerk kann die Untersuchung sowohl am gesamten Bohrkern, am Fugenmörtel und/oder am Klinkerstein erfolgen.

2.3.3 Kennwerte für Festigkeitsberechnungen

Für Baustoffbeurteilungen und Festigkeitsberechnungen ist insbesondere die Kenntnis folgender Kennwerte erforderlich:

Klinkerstein:

- Druckfestigkeit $\beta_{D, St}$, ermittelt an Kernbohrungen

Fugenmörtel:

- Säurebeständigkeit nach DIN 4051
- chemische Zusammensetzung
- Druckfestigkeit $\beta_{D, mof}$, ermittelt an Kernbohrungen

Außerdem sind Informationen über Kennwerte zum Verbund zwischen Stein und Mörtel von Nutzen:

- Haftzugfestigkeit β_{HZ} zwischen Stein und Mörtel, ermittelt am 2-Steinprüfkörper
- Haftscherfestigkeit β_{HS} zwischen Stein und Mörtel, ermittelt am 3-Steinprüfkörper

Aus den im Baustofflabor ermittelten Druckfestigkeiten $\beta_{D,St}$ und $\beta_{D,möF}$ erfolgt eine Einstufung in Festigkeitsklassen nach DIN 1053 [3]. Für Kanalklinker dürfte i. d. R. die Steifigkeitsklasse 20 und höher anzusetzen sein, für Mörtel die Gruppen III oder IIIa. Da Kanalklinker mit voller Mörtelfuge gemauert werden (Nachverfugen ist nicht zulässig), sind für die Standsicherheit insbesondere die Druckfestigkeiten in Oberflächennähe von Bedeutung.

Aus den beiden Festigkeitsklassen des Kanalklinkers und des Fugenmörtels wird der Rechenwert der Mauerwerksfestigkeit β_R ermittelt (DIN 1053 Teil 2, Tab. B1). Für sehr hochwertige Kanalklinker wären nach geeigneten Versuchen auch höhere Werte vertretbar.

Schwieriger ist die Ermittlung der Haftzug- und Haftscherfestigkeit an 2- und 3-Steinprüfkörpern. Diese Werte dienen zur Ermittlung der Biegezugfestigkeit $\beta_{BZ,mw\perp}$ senkrecht zur Lagerfuge und $\beta_{BZ,mw\parallel}$ parallel zu Lagerfuge.

Die Normen DIN 1053 [3] und EC 6 [4] ermöglichen die Berücksichtigung der Werte $\beta_{BZ,mw\parallel}$. Werte für $\beta_{BZ,mw\perp}$ sind jedoch nur in EC 6 [4] geregelt und in [17] für in Deutschland verwendete Steine und Mörtel überprüft worden.

Für den aus Versuchen mit verschiedenen Steinen und Mörteln ermittelten Zusammenhang zwischen β_{HZ} und $\beta_{BZ,mw\perp}$ (bzw. zwischen β_{HS} und $\beta_{BZ,mw\parallel}$) werden in [17] Regressionsgleichungen angegeben. Zusammenfassend gilt nach [17] für das Verhältnis $k_{BZ} = \beta_{BZ,mw\perp} / \beta_{BZ,mw\parallel} \approx 0,46$ als Mittelwert aller untersuchten Stein- und Mörtelkombinationen und $k_{BZ} \approx 0,30$ für Steine mit glatter Oberfläche (Kalksandstein, Gasbeton). Kanalklinker wurden in [17] jedoch nicht untersucht.

Damit sind Anhaltswerte für diese nur sehr aufwendig zu bestimmenden Werkstoffkennwerte gegeben. In Zweifelsfällen sollte auf der sicheren Seite $\beta_{BZ,mw\perp} = 0$ angenommen werden [7].

Als weitere Kennwerte werden der Elastizitätsmodul des Mauerwerks mit $E = 9\,000\text{ N/mm}^2$ und die Wichte $\rho = 19\text{ kN/m}^3$ angesetzt. Begrenzte Abweichungen von diesen Werten haben allerdings nur geringe Auswirkungen auf den Standsicherheitsnachweis.

In den Tabellen 1 und 2 sind die ermittelten Druckfestigkeiten für drei untersuchte Kanalstrecken beispielhaft zusammengestellt. Nach DIN 4051 werden bei Prüfungen am ganzen Stein Druckfestigkeiten von im Mittel 45 N/mm^2 (Kleinstwert 40 N/mm^2) gefordert. Vergleichsuntersuchungen an neuen Kanalklinkern wiesen sogar Würfeldruckfestigkeiten von etwa 100 N/mm^2 auf. Bei weit unter den Werten nach DIN 4051 liegenden Druckfestigkeiten kann auf aufwendige chemische Analysen verzichtet werden, da in diesem Fall das Klinkermauerwerk ohnehin nicht mehr als standsicher angenommen werden darf. Die Untersuchungsergebnisse weisen starke Streuungen auf, so daß die Ergebnisse der Tabellen 1 und 2 nicht generell übertragbar sind.

2.4 Mikrobiologische Kennwerte

Zur Beurteilung des Angriffsgrades (nicht des Zerstörungsgrades) bei biogener Schwefelsäurekorrosion kann die Populationsdichte des Thiobacillus thiooxidans als Leitbak-

Kanal	Baujahr	Probenanzahl	Klinkerdruckfestigkeit			Standardabweichung
			Min.	Mittel	Max.	
-	-	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
A-Straße	1916	9	17,3	27,7	37,9	7,1
B-Straße	1900	8	23,7	34,4	46,9	8,2
C-Straße	1901/34	11	11,0	25,4	51,0	12,2

Tabelle 1: Druckfestigkeiten untersuchter Kanalklinkersteine

Kanal	Baujahr	Probenanzahl	Mörteldruckfestigkeit			Standardabweichung
			Min.	Mittel	Max.	
-	-	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
A-Straße	1916	18	6,8	28,4	47,6	11,6
B-Straße	1900	19	3,6	12,7	25,3	5,5

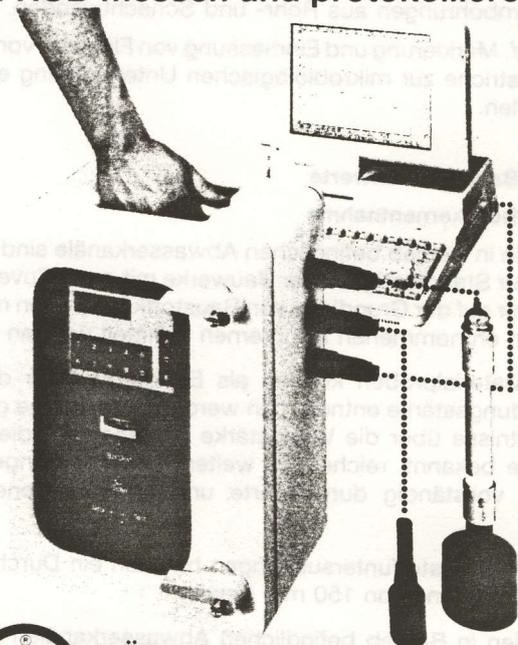
Tabelle 2: Druckfestigkeiten untersuchter Klinkermörtel

terium herangezogen werden [14]. Die Probenahme erfolgt durch Abstrich von der Kanalwandung; nach der Herstellung von Verdünnungsreihen erfolgt eine vierwöchige Bebrütung in einem mikrobiologischen Labor.

3. Dokumentation der örtlichen Feststellungen

Während der Begehung werden die Feststellungen auf ein Diktiergerät gesprochen. Für die Auswertung sind die bautechnischen Merkmale des Kanals zu ergänzen, sofern sie nicht bereits in einer Kanaldatenbank vorliegen; hierfür eignen sich gängige Datenbankprogramme, z. B. dBase III plus. Die Verwaltung der Daten kann z. B. mit 3 Datenbankdateien erfolgen:

Einstau- und Überlaufereignisse im RÜB messen und protokollieren



RÜB-LOG 2

Die Zukunft portabler Meßwerterfassung

Rembe® GmbH · Postfach 1540 · D-5790 Brilon
 Telefon (02961) 7405-20 · Telefax (02961) 507 14
 Teletex 296134 = REMBE · Telex 17296134

Abwasserableitung

- Haltungsdaten (bautechnische Kennwerte)
- Untersuchungsdaten (allgemeine Meßwerte)
- Schadensdaten (detaillierte Schadensauflistung)

Bei der Auswertung werden die zunächst verbal festgestellten Schäden in Schadenskurztexte gemäß dem ATV-Merkblatt M 143, Teil 2 [2] umgesetzt. Bei dem in dem Projekt entwickelten Datenerfassungsverfahren besteht darüber hinaus die Möglichkeit, mit zwei numerischen Zusätzen den Schaden näher zu beschreiben. Zwei Zusätze wurden gewählt, um z. B. bei Rissen sowohl die Länge als auch die Breite zu erfassen.

Über ein Druckprogramm können die erfaßten Daten auf je einem Protokollblatt pro Haltung aufgelistet werden. Aufgrund der Datenvielfalt und der nicht vorhersehbaren Anzahl der Schäden wird hier eine Trennung nach Untersuchungsdaten und Schadensdaten vorgenommen (siehe Bild 1). Diese Vorgehensweise ermöglicht auch die Einbeziehung von Ergebnissen aus groben Zustandsaufnahmen (siehe 2.2) im Rahmen der Untersuchungsdaten ohne detaillierte Schadensauflistung in die Datenbank.

Bei der Auswahl des Datenbankprogramms empfiehlt sich die Verwendung des Programms, das auch sonst beim Stadtentwässerungsbetrieb eingeführt ist. Bei den hier vor-

gestellten Untersuchungen hatte sich der Stadtentwässerungsbetrieb noch nicht für ein bestimmtes Datenbankprogramm festgelegt, weshalb zunächst mit dBase III plus gearbeitet wird. In der jetzt vorliegenden Form können die Daten über Datenschnittstellen einer weiteren Bearbeitung zugänglich gemacht werden.

4. Standsicherheit von gemauerten Kanälen

4.1 Vorbemerkungen

Für neuerlegte Abwasserkanäle werden die erforderlichen Standsicherheitsnachweise seit etwa 1985 nach dem ATV-Arbeitsblatt A 127 [1] geführt. Da dieses Regelwerk einheitliche Lastansätze, bodenmechanische Annahmen und Sicherheitsbetrachtungen für die heute üblichen Werkstoffe — Mauerwerk ausgenommen — verwendet, ist eine Übertragung auch auf gemauerte Kanäle sinnvoll. Dabei sind jedoch einige Besonderheiten von Mauerwerkskanälen zu beachten, die Modifikationen im Rechenverfahren nach A 127 zur Folge haben:

1. Mauerwerkskanäle werden meist als Eiprofil ausgeführt, oder sie haben eine elliptische Form. Im ersten Fall wird oft von der Sohle des Kanals bis über die Kämpfer zweischalig und der Scheitelbereich einschalig gemauert. Zudem kann der Bereich der Sohle durch ein Betonbett verstärkt sein, vgl.

Bild 2. Damit sind die Schnittgrößenbeiwerte für den Standardfall „normales Eiprofil“ (Bild 3, System Ia, vgl. z. B. [16]) nicht verwendbar.

2. Der Nachweispunkt für die Normalspannungen im Kämpfer liegt nicht bei K (wie beim normalen Eiprofil), sondern im Übergangsbereich vom zwei- zum einschaligen Ausbau bei K2 oder bei Ansatz eines Scheitelgelenks bei K3 (Bild 3, Systeme Ib und II). Kann eine Sohlbettung angesetzt werden, so wird der untere Nachweispunkt nach So2 verschoben.

3. Bei Berechnung der Schnittgrößen nach Theorie I. Ordnung ist die Knickgefahr für $h_K/d \leq 10$ nach DIN 1053 in dem um 33% erhöhten Sicherheitsbeiwert $\gamma = 2,67$ berücksichtigt [7].

4.2 Spannungsnachweis

Abhängig von der Ausmitte $e = M/N$ sind vier Fälle zu unterscheiden:

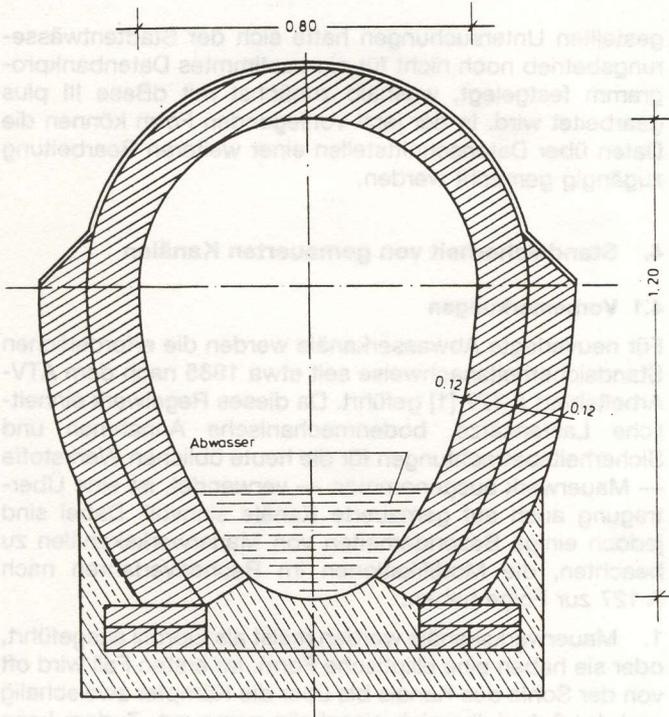
1. Liegt die Normalkraft im Kern des Querschnitts ($e \leq d/6$), so sind die Randdruckspannungen σ_D mit Gl. (1) zu berechnen:

$$\sigma_D = N/A \pm M/W * \alpha_K \quad (1)$$

12.09.90 8.00 Begeher: Gitzel		KT Bremen		KANALISATIONSNETZ A - STADT	
Schadensklasse	4	von Schacht 86848318 nach Schacht 86846341			
Anzahl der Fotos:	10	Straßenschlüssel: 32430			
Außentemperatur	17.0 °C	Straße : A-Straße			
Temperatur Kanalatmosphäre	14.1 °C				
Temperatur Abwasser	17.7 °C				
Abflutiefe	0.07 m				
Rechn. Fließgeschwindigkeit	0.21 m/s				
Sohlagerungen					
Haltungsanfang	0.00 m				
Haltungsmitte	0.00 m				
Haltungsende	0.00 m				
pH-Wert Kondensat	7.0 / 7.0				
Sulfidkonz. Kanalatmosphäre	ppm				
Kernbohrungen					
Stat	Ort	Mat.	Druckfest.	Säurebest.	(DIN 4051)
1.00	O	K	28.4 N/mm ²	7.95 %	
1.00	O	M	47.6		
1.00	O	M	47.3		
1.00	L	K	18.6	3.25	
1.00	L	M	39.2		
1.00	L	M	6.8		
SCHADEN:					
Station	Kurz	1.Zus.	2.Zus.	Foto	Bemerkungen
0.00	G	CM--	0.00	0.10	Fugenkorrosion
31.20	A	RL-O	100.00	0.00	2 Scheitellängsriß
31.20	P	RQ--	0.00	0.00	3 Scheitelquerriß
31.20	A	LZ-L	300.00	0.00	4 Kämpfer leicht deformiert
31.20	P	LV-O	1.00	0.00	Scheitelversatz
31.50	P	UIFR	0.00	0.00	5 Ausfällung
32.20	E	RL-O	0.00	0.00	
32.80	A	RL-R	100.00	0.70	Kämpferlängsriß
32.80	P	WK-U	0.00	0.00	6 Klinkerabplatzung
33.80	E	RL-R	0.00	0.00	
34.20	E	LZ-L	0.00	0.00	
39.50	P	RQ-O	0.00	0.00	7 Scheitelquerriß
39.50	P	VM-R	0.00	0.00	9 Fugenauswaschung
39.50	P	LV-O	1.00	0.00	10 Scheitelversatz
41.40	P	WK-U	0.00	0.00	Klinkerabplatzung
Schacht: 86848318 DOK: 3.42 mN RS: 0.70 mN Schacht: 86846341 DOK: 3.36 mN RS: 0.68 mN Haltungslänge: 45.00 m Gefälle: 0.4 ‰ Profil: EI Höhe/Breite: 1200/ 800 Material: MA Wandstärke: Scheitel: 120 mm Sohle: 150 mm Kämpfer: 240 mm Bauunternehmen: Bauweise : offener Rohrgraben Baujahr: 1916 GW-Stand über Rohrsohle: 0.11 m (Mittelwasser) Ansteh. Boden : Auffüllung, bindiger Boden mit Torflagen Besonderheiten: doppeltes MA bis Kämpferhöhe Einmündungen von Schacht: 86846323 86848317 Allgemeine Beurteilung: Längs- und Querrisse, Klinkerabplatzungen Bemerkungen: Profil gemessen: 1185/850					



Bild 1: Untersuchungsprotokoll [12]



Normales Eiprofil B/H = 800/1200

Bild 2: Mischwasserkanal A-Straße

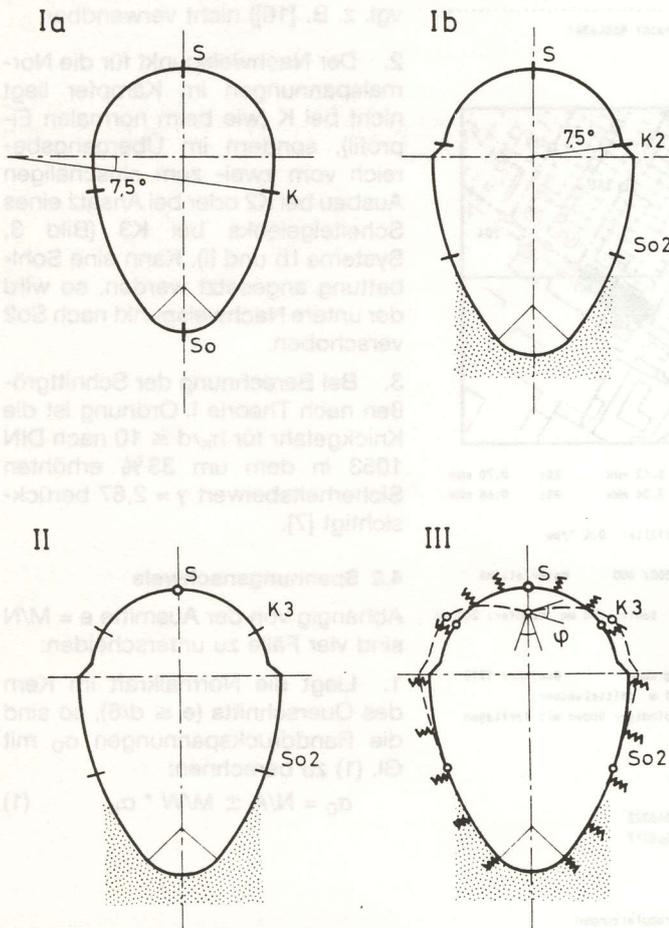


Bild 3: Statische Systeme bei gemauerten Eiprofilen (Beispiel A-Straße)

2. Wegen des in der Regel anzunehmenden Versagens bei Biegezugspannungen (vgl. Anschnitt 2.3.3) erfolgt die Berechnung der Druckspannungen bei $d/6 < e \leq d/3$ mit

$$\sigma_D = \frac{2N}{3 \cdot (d/2 - e)} \cdot \alpha_K \quad (2)$$

3. Der Fall $d/3 < e \leq d/2$ führt zu einer klaffenden Fuge, die die halbe Wanddicke überschreitet. Damit sind größere Verformungen und nach Gleichung (2) für e gegen d/2 über alle Grenzen wachsende Druckspannungen verbunden. Bei Spannungsnachweisen nach DIN 1053 Teil 1 dürfen sich die Fugen rechnerisch höchstens bis zum Schwerpunkt des Querschnitts öffnen.

4. Im Fall $e \geq d/2$ ist bei Ausschluß von Zugspannungen im Querschnitt kein Gleichgewicht möglich. Es kommt zu einem durchgehenden Riß und zur Ausbildung des statischen Systems II nach Bild 3. Theoretisch ist dies auch bei sehr kleinen Biegemomenten der Fall, wenn die zugehörigen Normalkräfte ≥ 0 sind; praktisch wäre ein Gleichgewicht bei Vorhandensein einer — wenn auch relativ geringen — Biegezugfestigkeit noch denkbar.

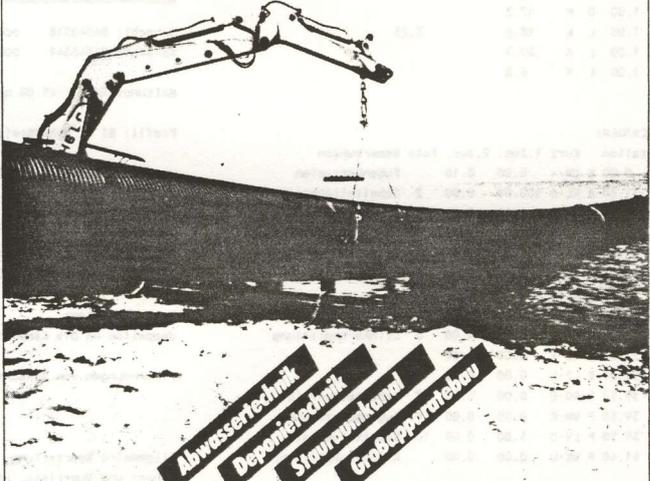
4.3 Ergebnisse von Beispielrechnungen

Am Beispiel eines gemauerten Mischwasserkanals (Bild 2) wird für verschiedene Überdeckungshöhen und Verkehrslasten die Standsicherheit mittels EDV nachgewiesen. Das Programm [10] wurde speziell für Mauerwerkskanäle in Anlehnung an die Vorgehensweise des Arbeitsblattes A 127

**bauku-Technik
auch in
Gewässern**


bauku

Troisdorfer Bau- und Kunststoff Gesellschaft mbH
 D-5276 Wiehl-Drabenderhöhe
 Telefon (0 22 62) 20 81 · Fax (0 22 62) 52 51



Abwassertechnik
 Deponietechnik
 Stauraumkanal
 Großapparatbau

Bitte fordern Sie unter der Telefonnummer (0 22 62) 20 81 kostenloses Informationsmaterial an

entwickelt. Es enthält die oben diskutierten Besonderheiten bei $e > d/6$.

Da Vorberechnungen im Scheitel Ausmitten $e > d/2$ ergeben, wird für die folgenden Untersuchungen ein Scheitelgelenk eingeführt. Die Spannungen werden in den maßgebenden Punkten K3 und So2 nach Gleichung (2) und im Scheitel nach Gleichung (1) berechnet.

Die Tabelle 3 enthält die berechneten Ausmitten und Sicherheiten gegen Erreichen der Mauerwerksdruckfestigkeit $\beta_R = 7,7 \text{ N/mm}^2$. In allen Fällen wird eine Wasserfüllung des Kanals angenommen, dagegen werden Überdeckungen und Verkehrslasten variiert.

Aus Tabelle 3 und Bild 4 geht hervor, daß im Punkt K3 insbesondere bei Verkehrslasten SLW 60 und Überdeckungen unter $h = 1,6 \text{ m}$ und ab $h = 3,9 \text{ m}$ für das gewählte Beispiel zu geringe Sicherheiten vorliegen.

Bei Unterschreiten der „Sicherheit“ 1,0 steigt im Punkt K3 und nachfolgend im Punkt So2 die Gefahr der Rißbildung und der Ausbildung des verschieblichen 5-Gelenksystems (Bild 3, System III).

Überdeck. h	Verkehr P _v	Wasserfüllung γ_w	Ausmitte der Normalkraft			Sicherheit gegen β_R		
			e _S	e _{K3}	e _{So2}	$\gamma_{D,S}$	$\gamma_{D,K3}$	$\gamma_{D,So2}$
m		kN/m ³	cm	cm	cm			
1	0	10	0	1,8	2,8	95,3	39,6	63,9
1	SLW 30	10	0	5,1	9,5	59,2	3,4	11,5
1	SLW 60	10	0	5,8	11,4	47,3	0,5	2,0
2	0	10	0	3,0	5,2	57,0	13,9	33,9
2	SLW 30	10	0	4,3	8,0	47,2	5,6	15,8
2	SLW 60	10	0	4,9	9,3	42,0	3,2	9,1
4	0	10	0	4,2	8,0	33,7	4,3	11,5
4	SLW 30	10	0	4,5	8,8	31,8	3,2	8,7
4	SLW 60	10	0	4,7	9,3	30,5	2,6	7,1
Grenzwerte für e:								
d/3 =			4,0	4,0	8,0			
d/2 =			6,0	6,0	12,0			

Tabelle 3: Zusammenfassung der Berechnungen am System II (Lage der Nachweispunkte S, K3 und So2 vgl. Bild 3)

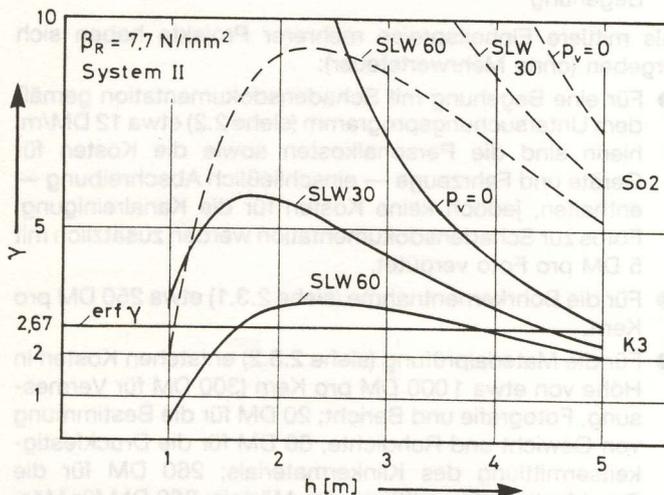


Bild 4: Sicherheiten im Spannungsnachweis in Abhängigkeit von der Überdeckung (Beispiel A-Straße)

Die Berechnung des Spaltwinkels im „Gelenk“ des Punktes S des Systems II ergibt Spaltbreiten von $\Delta s < 0,5 \text{ mm}$. Werden erheblich größere Werte für Δs gemessen, so kann dies ein Hinweis auf die Ausbildung des 5-Gelenksystems III sein. Die zugehörigen Kämpferisse sind im Kanalinneren nicht sichtbar. Ob das Tragsystem III vorliegt, kann u. U. auch über eine Messung der Durchmesseränderungen überprüft werden.

4.4 Resttragfähigkeit

Es ist zu erwarten, daß Nachrechnungen von Mauerwerkskanälen mit Eiquerschnitt nach A 127, DIN 1053 und ggf. EC 6 ähnlich Tabelle 3 und Bild 4 größere Bereiche für h ergeben, in denen die Spannungsnachweise nicht eingehalten werden.

Daß es jedoch häufig nicht zu größeren Schäden und Einstürzen gekommen ist, kann eine Reihe von Gründen haben:

1. Die Überdeckung der Kanäle beträgt meist mehr als 1,5 m.
2. Die lastverteilende Wirkung der Straßendecke und die räumliche Tragwirkung in Kanallängsrichtung reduzieren Spitzenbeanspruchungen in Umfangsrichtung.
3. Die Festigkeiten der Kanalwandung übertreffen u. U. die der Probekörper, die aus Bohrkernen herausgesägt wurden.
4. Bei gut verdichteten Böden mit Erddruckbeiwerten $K_2 \approx 0,5$ sind kleinere Spannungen zu erwarten — verglichen mit dem Erddruckansatz nach Arbeitsblatt A 127.

Bei einem Kanal mit breiten Scheitel- und Sohlrissen ist ein 4- oder 5-Gelenksystem zu unterstellen, das nur noch durch den umgebenden Boden stabilisiert wird — die Resttragfähigkeit dieses Kanals ist als gering einzustufen! In einem solchen Fall ist eine kontinuierliche Beobachtung der Rißbreite z. B. mit Gipsmarken (ggf. auch der Durchmesseränderungen) und bei progressivem Verlauf eine sofortige Sanierung geboten.

5. Bewertung der Ergebnisse

In der Bundesrepublik Deutschland fehlen z. Zt. noch exakte Kriterien zur Beurteilung des Zustandes und des möglichen Gefahrenpotentials defekter Abwasserkanäle.

Um ein systematisches Vorgehen bei der Planung von Maßnahmen für Wartung, Inspektion und Schadensbehebung zu ermöglichen, ist eine Dokumentation der Kanäle, Leitungen und Bauwerke einschließlich ihres Zustandes erforderlich, die über die bekannten Kanalbestandspläne für die Bewertung und Fortschreibung des Vermögens kommunaler Entwässerungseinrichtungen hinausgeht.

Hierfür ist es notwendig, einheitliche Grundlagen für folgende Schwerpunkte zu erarbeiten:

- Schadensbeschreibung und -definition
- Schadensklassifizierung
- Bewertungskriterien in Abhängigkeit der Schadensklassifizierung und der Bedeutung und Lage der einzelnen Haltungen oder Netzbereiche für die Aufstellung von Instandhaltungsstrategien (Festlegung von Prioritäten für die Planung und Durchführung von Maßnahmen der Wartung, Inspektion und Schadensbehebung)

- Dokumentation von Kanalisationen einschließlich ihres Bauzustandes unter Einbeziehung der EDV und GDV.

Mit der Einführung des ATV-Merkblattes M 143, Teil 2, wird den beteiligten Organen (Städte und Gemeinden, Inspektionsfirmen, Ingenieurbüros) erstmalig die Möglichkeit zur einheitlichen Beschreibung der Schäden gegeben. In der Praxis wird es sich erweisen, ob die hier vorgegebenen Inspektionstexte stets eine eindeutige und ausreichende Beschreibung eines Schadens zulassen.

Für den Bereich der Schadensklassifizierung bzw. der Aufstellung einer Prioritätenskala der Schadensbehebung fehlen derzeit noch einheitliche Kriterien und Vorgehensweisen, so daß gegenwärtig unterschiedliche Modelle Anwendung finden.

Für die beschriebenen Kanaluntersuchungen in Mauerwerkskanälen erfolgte eine vereinfachende Klassifizierung [12], wie sie abgestuft für unterschiedliche Schadensklassen in Tabelle 4 definiert ist. Für die Einstufung wurde ein zutreffendes Merkmal in der Schadensklasse mit der höchsten Zahl zugrunde gelegt.

Im Gegensatz zur sonst üblichen Praxis ist bei der Klassifizierung eine Steigerung der Schadensklassenzahl mit der Schwere der Schäden gewählt worden; diese Art der Bewertung weist insofern Vorteile auf, als sie nach oben offen ist und noch schwerer zu bewertende Schäden vorstellbar sind. Sollte jedoch im ATV-Regelwerk ein anderes Klassifizierungsschema eingeführt werden, ist eine Umstellung ohne großen Aufwand möglich.

Für die Einbeziehung in eine EDV-mäßige Bewertung ist noch ein Algorithmus erforderlich, wie er bislang für begehbare Kanäle nicht angeboten wird. Die Entwickler und Anbieter von Klassifizierungsprogrammen mögen diesen Teil als Modul in ihr Angebotspaket mit aufnehmen.

Schadensklasse	Schaden	Fugenrisse		Fugenmörtel auskratzer oder auswaschbar	Klinkerbeschaffenheit	Profildeformation	Grundwasser eintritt	Verwurzelungen
		Breite mm	Tiefe mm					
0	visuell nicht feststellbar	0	0	fest	fest			
1	gering	≤ 1	≤ 5	oberflächlich ritzbar	fest			
2	schwach	≤ 2	≤ 20	≤ 10	gelegene Abplatzungen		tropfend	beginnend
3	mittel	≤ 5	≤ 50	≤ 20	mehrfache Abplatzungen		streichholzstark	ausbreitend
4	stark	≤ 10	≤ 100	≤ 40	verstreut fehlende Klinker	leicht	fingerdick	Wurzeln bis 1 cm Dicke
5	sehr stark	> 10	> 100	> 40	teilweise fehlendes Mauerwerk	deutlich klaffende Fugen	stärker als fingerdick	Wurzeln über 1 cm Dicke

Tabelle 4: Schadensklassen bei Mauerwerkskanälen

6. Untersuchungskosten

Die weiter unten angeführten Kostenangaben basieren auf folgenden Voraussetzungen:

Die für die Kanalbegehungen erforderlichen Ausrüstungen, z.B. Warngeräte, Scheinwerfer, Foto- und Videoausrüstung, werden vom Auftragnehmer gestellt. Sämtliche Geräte müssen den Sicherheitsanforderungen [6] entsprechen. Es muß gewährleistet sein, daß das unter Tage arbeitende Personal über ausreichende Fachkenntnisse verfügt und aus arbeitsmedizinischer Sicht geeignet ist.

Der Auftraggeber leistet folgenden Beitrag:

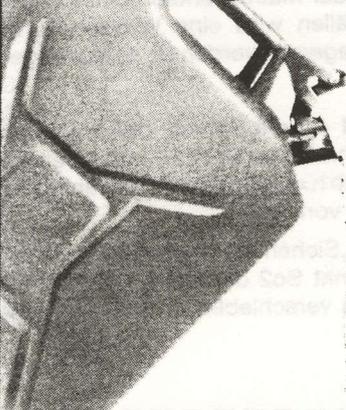
- ggf. erforderliche Kanalreinigung vor der Begehung
- Belüftung in den entsprechenden Kanalhaltungen während der Begehung

Wir machen wieder Wasser aus Ihrem Abwasser!



Rein mechanisch, ohne Strom, ohne Chemie.

NEUTRA-Benzin- und Ölabscheider, Koaleszenzabscheider DIN 1999 Wasserrückgewinnung



- Über 40 Jahre bewährt
- Höchste Reinigungswirkung nach den neuesten Vorschriften.
- Abscheideranlagen für 3 bis 200 l/s.
- Mit Prüfzeichen und Güteüberwachung.
- Schnelle, einfache und sichere Wartung.
- Überzeugendes Kosten-Leistungs-Verhältnis.

COUPON

für Gratis-Infos »NEUTRA 1992«. Auf Postkarte abschicken an:

Zeiss Betonwaren GmbH
 Robert-Gerwig-Str. 11
 D-7760 Radolfzell
 ☎ 07732/3063
 Fax 07732/6463

NEUTRA
 ABSCHIEDETECHNIK

Abscheider-Systeme für kühle Rechner

KA/B4

Besuchen Sie uns auf der Hannover Messe Industrie vom 1.-8. 4. 92: Halle 21, Stand E 17

- Verkehrssicherungsmaßnahmen während der Begehung
- Reinigung von Schutzkleidung und Geräten nach der Begehung

Als mittlere Einheitspreise mehrerer Projekte haben sich ergeben (ohne Mehrwertsteuer):

- Für eine Begehung mit Schadensdokumentation gemäß dem Untersuchungsprogramm (siehe 2.2) etwa 12 DM/m; hierin sind die Personalkosten sowie die Kosten für Geräte und Fahrzeuge — einschließlich Abschreibung — enthalten, jedoch keine Kosten für die Kanalreinigung. Fotos zur Schadensdokumentation werden zusätzlich mit 5 DM pro Foto vergütet.
- Für die Bohrkernentnahme (siehe 2.3.1) etwa 250 DM pro Kern.
- Für die Materialprüfung (siehe 2.3.2) entstehen Kosten in Höhe von etwa 1000 DM pro Kern (300 DM für Vermessung, Fotografie und Bericht; 20 DM für die Bestimmung von Gewicht und Rohdichte; 60 DM für die Druckfestigkeitsermittlung des Klinkermaterials; 260 DM für die Druckfestigkeitsermittlung des Mörtels; 360 DM für Mörtelanalysen)

Abwasserableitung

- Für Standsicherheitsnachweise (siehe 4.) etwa 1 000 bis 2 000 DM pro Nachweis.

Bei zwei bis drei Kernbohrungen pro Untersuchungsquerschnitt (je eine Bohrung aus Scheitel, aus einem Kämpfer und aus der Sohle) und ein Untersuchungsquerschnitt im Abstand von etwa 100 m ergeben sich damit Kosten in Höhe von etwa 50 DM/m (ohne Mehrwertsteuer, Kostenstand

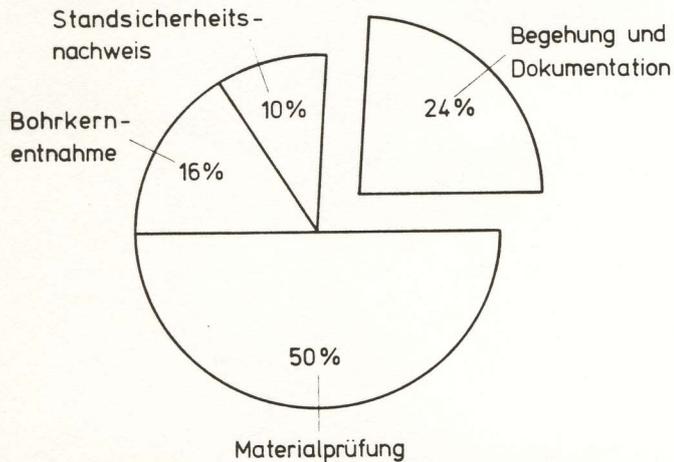


Bild 5: Kostenverteilung bei einer Kanalzustandsaufnahme

P
R
O
D
A
T
K
L

Das Leitsystem zur
- Überwachung
- Führung
- Steuerung
- Archivierung
- Analyse

von Prozessen der Industrie- und Umwelttechnik:

- **PRODAT-KL:** Ein praxiserprobtes PC-System für die Kläranlagen- und Wasserversorgungstechnik
- **PRODAT-LB:** Das Betriebstagebuch von Kläranlagen in frei gestaltbarem Aufbau. Als Einstiegssystem zur zentralen Leittechnik für Kleinanlagen bis zu ca. 200.000 EW ausbaufähig.
- Vom PC zum Netzwerk im Multitasking unter DOS und Window-Technik. Installation im In- und Ausland seit 1984. Fordern Sie ausführliche Unterlagen an, bei:

----- (hier ausschneiden) -----

**Ing. Büro Fechter, Wagnerstr. 7, W-7900 Ulm
Telefon 0731/35514 oder Fax 36640.**

Bitte schicken Sie uns kostenlose Informationen zur PRODAT-Systemreihe:

Name:

Anschrift:

Telefon:

1991), wobei diese spezifischen Kosten regional unterschiedlich zu bewerten sind und nur als grobe Orientierung dienen können.

Literatur

- [1] *ATV-Arbeitsblatt A 127:* Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungskanälen und -leitungen; 2. Aufl. Dezember 1988
- [2] *ATV-Merkblatt M 143:* Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und -leitungen; Teil 2: Optische Inspektionen; Juni 1991
- [3] *DIN 1053 Teil 1 (2.90):* Rezeptmauerwerk, Berechnung und Ausführung, Teil 2 (7.84): Mauerwerk nach Eignungsprüfung, Berechnung und Ausführung
- [4] *EC 6 (Entwurf 7.87):* Gemeinsame einheitliche Regeln für Mauerwerksbauten
- [5] *DIN 4051 (8.76):* Kanalklinker, Anforderungen, Prüfung, Überwachung. Beiblatt (7.65): Anwendungsbeispiele
- [6] *Sicherheitsregeln für Arbeiten in umschlossenen Räumen von abwassertechnischen Anlagen — Betrieb — (GUV 17.6).* Hrsg.: Bundesverband der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand e.V. — BAGUV —, München, 1989
- [7] *Mauerwerk-Kalender 1992.* Ernst & Sohn, Berlin
- [8] *Statistisches Bundesamt:* Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung, Fachserie 19, Reihe 2.1, Stand 1987
- [9] *Dinkelacker, A.:* Weitere Versuche zur Reinigung von Abwasserkanälen mit Hilfe von kugelförmigen Reinigungsgeräten. Max-Planck-Institut für Strömungsforschung, Band 2/1980, Göttingen
- [10] *Falter, B.:* Programm ATV 127 MW, Vorversion 1.1 — Statische Berechnung von gemauerten Kanälen mit Eiprofil nach [1]. Münster 1991
- [11] *Falter, B.:* Wiss. Beratung zur Standsicherheit von gemauerten Mischwasserkanälen (Herbststraße und Gustav-Deetjen-Allee). FH Münster, FB Bauingenieurwesen. 21.2.1991 (unveröffentlicht)
- [12] *Gitzel, R.; Lohse, M.; Falter, B.:* Bauzustandsuntersuchung Mischwasserkanal Herbststraße. Kulturtechnik GmbH, Bremen, 1991 (unveröffentlicht)
- [13] *Keding, M.; van Riesen, S.; Esch, B.:* Der Zustand der öffentlichen Kanalisation in der Bundesrepublik Deutschland. Korrespondenz Abwasser 10/90, S. 1148—1153
- [14] *Lohse, M.:* Schwefelverbindungen in Abwasserableitungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung der biogenen Schwefelsäurekorrosion. Veröffentlichungen des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover, Heft 62, Hannover, 1986
- [15] *Möllers, K.; Kipp, B.:* Zustandsbewertung von Abwasserkanälen und -leitungen. Korrespondenz Abwasser, Heft 5 (1991), S. 596—613
- [16] *Netzer, W.:* Statische Berechnung erdverlegter Rohrleitungen mit genormten Querschnitten. Wilh. Ernst & Sohn, Berlin 1980
- [17] *Schubert, P.; Metzemacher, H.:* Biegezugfestigkeit von Mauerwerk senkrecht und parallel zur Lagerfuge. Forschungsbericht Nr. F 275, Inst. für Bauforschung der RWTH Aachen (1988)
- [18] *Wackernagel, F.:* Gemauerte Abwasserkanäle — betriebliche Erfahrungen, statische Beurteilung und Sanierungsmöglichkeiten. Diplomarbeit FH Münster, FB Bauingenieurwesen 1991
- [19] *Willms, M.:* Untersuchungen zur Ablagerungsreduzierung durch Wulstkugelsatz in einem Abwasserkanal. Dissertation, Georg-August-Universität, Göttingen, 1989