

Selektive Erstinspektion von Kanalisationen

Dipl.-Ing. Karsten MÜLLER, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen;
Dr.-Ing. Roland KRUG, AQUA-Ingenieure GmbH Saarbrücken

Die Inspektion **ausgewählter Stichproben** kann als **wirtschaftliche Alternative** zur **konventionellen** flächendeckenden **Inspektion** von Kanalisationen angesehen werden

Die Inspektion von Kanalhaltungen und Anschlusskanälen dient im Wesentlichen zwei Zielen. Zum einen wird die Inspektion einer Haltung als Grundlage für eine ggf. erforderliche Sanierungsplanung verwendet. Zum anderen soll durch die Inspektion ein Überblick über den Zustand des gesamten Kanalnetzes bzw. aller öffentlichen Anschlusskanäle geschaffen werden, um darauf aufbauend eine Sanierungsstrategie entwickeln zu können. Dies erfolgt in der Regel über eine flächendeckende Erstinspektion und ist dadurch mit erheblichen Kosten und Zeitaufwendungen verbunden /1/.

Als Alternative zu diesem konventionellen Vorgehen wird derzeit durch das Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen (ISA) und die AQUA-Ingenieure GmbH, Saarbrücken, in Zusammenarbeit mit

- der Stadt Braunschweig (groß- und mittelstädtisches Kanalnetz)
- der Gemeinde Marpingen (ländliches Kanalnetz)
- dem Entsorgungsverband Saar (außerörtliche Verbindungssammler)
- der Stadt Ingolstadt (öffentliche Anschlusskanäle)

im Rahmen eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsvorhabens ein Verfahren entwickelt, mit dem der Netzzustand zuverlässig über die Inspektion einer Stichprobe abgeschätzt werden kann. Der Inspektionsumfang beträgt dabei zunächst nur etwa 20 % des Kanalnetzes /2, 3/.

Merkmale

Relevante Einflussmerkmale für den Zustand von Kanalhaltungen sind:

- Baujahr
- Rohrmaterial
- Nennweite und Profiltyp
- Überdeckung des Kanals
- Lage im Verkehrsraum
- Entwässerungssystem
- Boden- und Grundwasserverhältnisse

Planungsgrundlagen für den Sanierungshaushalt der Netzbetreiber stehen damit kostengünstiger und kurzfristiger als bei flächendeckenden Inspektionen zur Verfügung.

Auch bei der selektiven Erstinspektion wird nach und nach das gesamte Kanalnetz erfasst. Im Gegensatz zur konventionellen Vorgehensweise erfolgt die weitere Inspektion des Netzes jedoch gezielt in Abhängigkeit vom prognostizierten Zustand. Hierdurch wird es möglich als sanierungsbedürftig eingestufte Haltungen erst unmittelbar vor der Sanierungsplanung erstmals zu inspizieren.

Die grundsätzliche Eignung dieser Vorgehensweise konnte bereits vereinzelt an industriellen Kanalnetzen, z. B. VW-Werke in Wolfsburg, Braunschweig und Emden, nachgewiesen werden /4/. Um eine Übertragbarkeit dieses Verfahrens auf verschieden strukturierte, kommunale Netze und öffentliche Anschlusskanäle zu ermöglichen, müssen jedoch noch wesentliche Fragen geklärt werden.

Methode der selektiven Erstinspektion

Bei der selektiven Inspektion wird zunächst ein repräsentativ ausgewählter Teil des Kanalnetzes bzw. der Anschlussleitungen inspiziert und klassifiziert. Auf dieser Grundlage können Aussagen sowohl über den Zustand des Gesamtnetzes als auch über den jeder einzelnen Haltung getroffen werden. Im einzelnen erfolgt eine selektive Inspektion in den folgenden Arbeitsschritten (Bild 1):

- Schichtung des Netzes
- Auswahl der zu inspizierenden Stichprobe
- Inspektion und Zustandsklassifizierung der Stichprobe
- statistische Auswertung der Zustandsklassifizierung und Übertragung der Ergebnisse auf die einzelnen Schichten und auf das Gesamtnetz (Prognose).

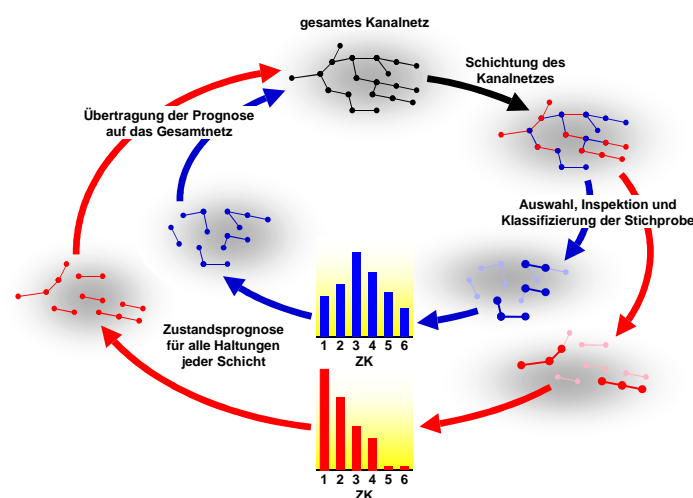


Bild 1: Schematische Darstellung von Schichtenbildung und Zustandsprognose

Schichtung des Netzes

Da kommunale Kanalnetze und öffentliche Anschlusskanäle hinsichtlich der Eigenschaften der Haltungen heterogen sind, ist für eine hochwertige Zustandsprognose eine Unterteilung des Netzes in gleichartige Gruppen erforderlich. Diese sogenannte Schichtung erfolgt dabei grundsätzlich in drei Schritten: Zunächst sind die zustandsbeeinflussenden Merkmale, z. B. Rohrmaterial, für das zu betrachtende Netz zu ermitteln. In einem zweiten Schritt werden diese Merkmale entsprechend den lokalen Gegebenheiten differenziert, z. B. Differenzierung nach Steinzeug- und Betonrohren und Rohren aus sonstigen Materialien. Dabei ist zu beachten, dass aus statistischen Gründen einerseits möglichst homogene und aus wirtschaftlichen Gründen andererseits möglichst wenige Schichten entstehen. Abschließend werden die einzelnen Haltungen den so entstandenen Gruppen zugeordnet. Durch diese Vorgehensweise wird beim angestrebten geringen Stichprobenumfang die Aussagekraft einer Prognose gegenüber einer ungeschichteten Betrachtung deutlich erhöht /5, 6/.

Zusammenfassend sind die derzeit auf Basis von Voruntersuchungen als relevant erachteten und wirtschaftlich erfassbaren, zustandsbeeinflussenden Merkmale (Einflussmerkmale) für kommunale Kanalnetze in Tabelle 1 dargestellt. Einflussmerkmale, die wirtschaftlich nicht erfassbar sind, z. B. Dichtungsmaterial, müssen über entsprechende Differenzierung anderer Einflussmerkmale - im wesentlichen das Baujahr¹⁾ - berücksichtigt werden.

¹⁾ Das Baujahr enthält neben Informationen über das Alter der Haltungen auch die zum Zeitpunkt der Erstellung vorhandenen technischen Standards hinsichtlich der Qualität der Werkstoffe (Festigkeit der Rohre, Muffenausbildung und Dichtsystem) sowie der Bauausführung.

Direkt erfassbare Einflussmerkmale Tab. 1

Tab. 1 Kommunale Kanalnetz und öffentliche Anschlusskanäle

Relevanz	Kommunales Kanalnetz	Öffentliche Anschlusskanäle
Unabhängig von lokalen Randbedingungen zu erfassen	<ul style="list-style-type: none"> • Baujahr • Rohrmaterial • Nennweite/Profil • Lage im Verkehrsraum • Sohlhöhe/Überdeckung • Entwässerungssystem • Sanierungsmaßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Baujahr • Rohrmaterial • Bauweise
In Abhängigkeit von lokalen Randbedingungen unterschiedlicher Relevanz	<ul style="list-style-type: none"> • Hydrogeologische Veränderungen • Belastungsänderungen • Höhe GW-Spiegel relativ zum Kanal • Sohlgefälle • Reinigungsintervalle • betriebliche Rauheit • Abwasserzusammensetzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Überdeckung • Hydrogeologische Veränderungen • Belastungsänderungen • Höhe GW-Spiegel relativ zum Kanal • Entwässerungssystem • Sohlgefälle • betriebliche Rauheit • Abwasserzusammensetzung • Sulfidgehalt des Abwassers

Festlegung der Stichprobe

Die zu inspizierenden Stichproben müssen grundsätzlich zufällig ausgewählt werden. Neben der Zufälligkeit der Stichprobe sind aber auch hier wieder wirtschaftliche bzw. logistische Aspekte zu berücksichtigen: Eine Inspektion von Haltungen, die über das ganze Kanalnetz verstreut sind, ist möglichst zu vermeiden. Die Erfordernisse des Kanalbetriebes werden daher dadurch berücksichtigt, dass sowohl Stränge bestimmter Länge als auch parallel liegende Schmutz- und Regenwasserhaltungen zu Inspektionseinheiten zusammengefasst werden. Die zufällige Stichprobenauswahl basiert dann auf der Grundgesamtheit der Inspektionseinheiten. Im Anschluss an die Inspektion erfolgt die Zustandsklassifizierung der Stichproben, die dann Grundlage für die Prognose und für weitere statistische Betrachtungen ist.

Auswertung der Ergebnisse und Übertragung auf das Gesamtnetz

Prognose

Die Ergebnisse der Zustandsklassifizierung der Stichproben werden anschließend auf die jeweilige Schicht hochgerechnet und auf das Gesamtnetz übertragen. An statistischen Zustandsinformationen stehen somit zur Verfügung:

- prognostizierte Zustandsverteilungen in den einzelnen Schichten und im Gesamtnetz
- haltungsbezogene Schätzwerte bezüglich des Zustandes:
 - ein schichtenspezifischer Vertrauensbereich für bestimmte Zustandsklassen
 - ein Mindestzustand für jede Haltung, der mit einer zu definierenden Sicherheit nicht unterschritten wird

Ergebnis der Schichtenbildung

Kanalnetzes der Gemeinde Marpingen

Für das Kanalnetz der Gemeinde Marpingen konnten für die Schichtung folgende acht Einflussmerkmale berücksichtigt werden:

- Baujahr bzw. Alter
- Rohrmaterial
- Nennweite und Profiltyp
- Entwässerungssystem
- Lage im Verkehrsraum
- Tiefenlage (Überdeckung) des Kanals
- Bodenverhältnisse

Bestimmte Merkmale, insbesondere Alter und Durchmesser der Kanäle, liegen erwartungsgemäß in einer sehr großen Vielzahl an Ausprägungen vor. Beispielsweise ist beim Einflussmerkmal Alter der Kanäle fast jeder Baujahrgang besetzt, so dass in dem untersuchten Kanalnetz für den Zeitraum 1951 (älteste Kanäle) bis 1998 insgesamt 45 Altersstufen existieren. In diesen Fällen ist bei der Differenzierung aus genannten Gründen die Zusammenfassung mehrerer Ausprägungen notwendig. Im vorliegenden Fall werden fünf Gruppen unterschieden (Tabelle 2).

Tab. 2 Differenzierung des Einflussmerkmals „Baujahr“

Gruppe	Zeitraum	Anzahl der Haltungen
1	1951-1959	600
2	1960-1969	797
3	1970-1979	465
4	1980-1989	385
5	1990-1998	271

Bei Berücksichtigung aller acht erfassten Einflussmerkmale entstehen bei entsprechender Differenzierung insgesamt 251 Schichten (Bild 2). Fast 50 % der Netzlänge werden dabei durch die acht Schichten erfaßt, die einen Besatz von mehr als 50 Haltungen haben. Umgekehrt umfassen die Schichten, die einen Besatz von 1 bis 3 Haltungen haben, lediglich rund 7 % des Gesamtnetzes. Da der für die statistische Auswertung erforderliche Stichprobenumfang im wesentlichen unabhängig vom Schichtenbesatz ist, ist der zu betrachtende relative Stichprobenumfang bei kleinen Schichten entsprechend höher. Gegebenenfalls ist hier auch eine vollständige Inspektion bestimmter Schichten erforderlich.

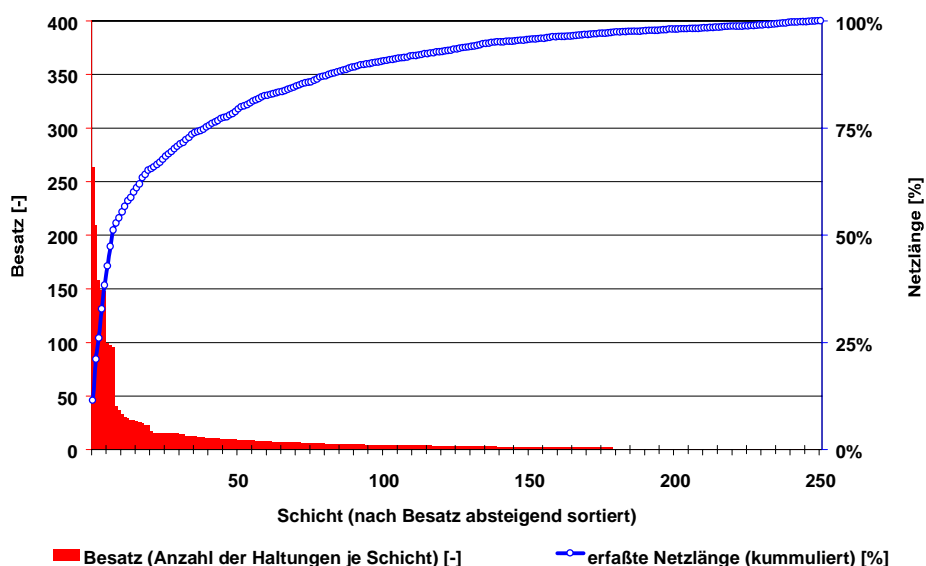


Bild 2 Ursprüngliche Schichtung des Kanalnetzes Marpingen; Besatz und erfasste Netzlänge

Um den Stichprobenumfang gering zu halten, wurden daher mehrere gering besetzte Schichten durch Vernachlässigung eines weniger relevanten Einflussmerkmals zusammengefasst. Dies wurde so lange wiederholt, bis die Schichten einen auf 30 Haltungen festgelegten Mindestbesatz aufwiesen. Im ersten Durchlauf wurde dabei auf die Differenzierung der Bodenverhältnisse verzichtet. In einem weiteren Durchlauf wurde für diejenigen Schichten, die danach noch nicht den erforderlichen Mindestbesatz aufwiesen, auf eine Differenzierung der Lage im Verkehrsraum verzichtet, da die dynamische Belastung einer Haltung eingeschränkt auch über die Tiefenlage erfasst werden kann. Damit wurde die Schichtenanzahl auf 58 reduziert. In Abhängigkeit vom Besatz der Schichten wurde ein Stichprobenumfang zwischen 12 und 15 Haltungen je Schicht ausgewählt. Der mittlere Stichprobenanteil im vorliegenden Netz beträgt damit 17,8 %. Die Anzahl der Schichten sowie deren mittleren Stichprobenanteil in Abhängigkeit von den berücksichtigten Einflussmerkmalen zeigt Bild 3.

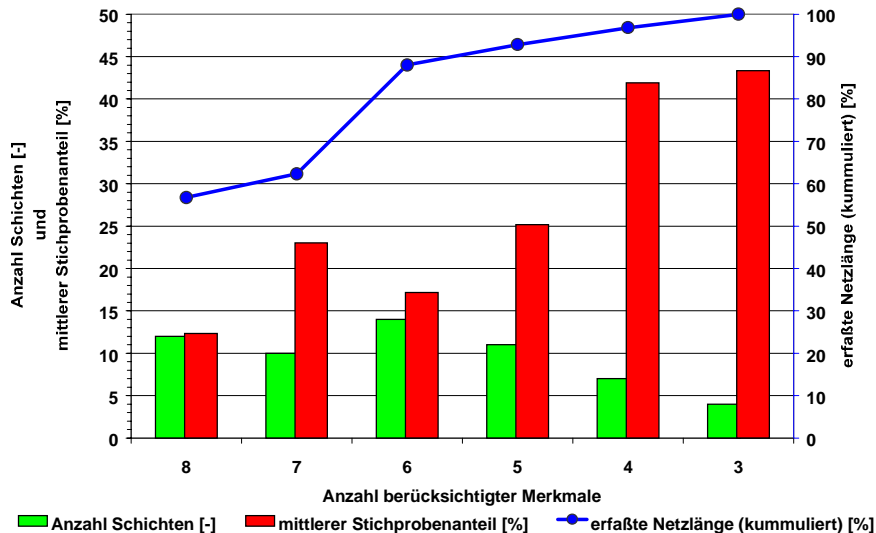


Bild 3 Modifizierte Schichtung des Kanalnetzes Marpingen; Anzahl der Schichten und des Stichprobenumfangs in Abhängigkeit von den berücksichtigten Merkmalen Qualität der Prognose

Die Qualität der Prognose konnte anhand der Daten eines bereits flächendeckend inspizierten Kanalnetzes untersucht werden. Dabei wurden die über jeweils 5 Stichproben verschiedenen absoluten Umfangs (10 - 40 Kanalhaltungen je Schicht) prognostizierte Zustandsklassenverteilung jeder einzelnen Schicht mit den realen Verhältnissen verglichen. Schichten, deren Umfang geringer als der des Sollumfangs der Stichprobe war, wurden vollständig inspiziert. Als Kenngröße für die Qualität der Prognose dient dabei die Standardabweichung, welche die Streuung der über die 5 Stichproben prognostizierten Zustandsklassenverteilung jeder Schicht um die realen Werte beschreibt.

Bild 4 zeigt die Abhängigkeit der Prognosequalität vom Stichprobenumfang. Es wird deutlich, dass je nach Stichprobenumfang für etwa 75-90 % der Prognosen die Standardabweichung 0 % beträgt. Dies sind die Prognosen, bei denen entweder aufgrund der vollständigen Inspektion der Schicht (Schichtbesatz $\leq n$) oder aufgrund von in den Schichten nicht vertretenen Zustandsklassen keine Abweichungen möglich sind. Im weiteren Verlauf der Kurve nimmt die Standardabweichung schnell recht hohe Werte an.

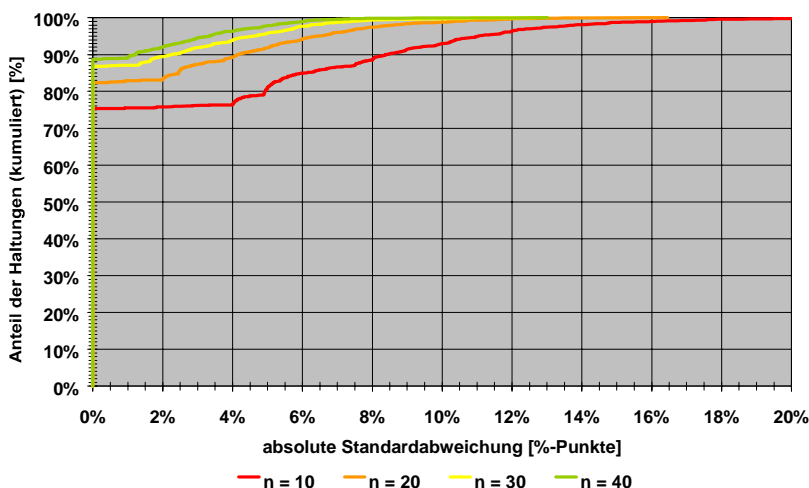


Bild 4 Standardabweichung der Prognose in Abhängigkeit des Stichprobenumfangs

Für die Praxis, wo eine vollständige Inspektion von Schichten durch Zusammenlegung kleinerer Schichten vermieden wird und damit der Anteil der exakt prognostizierten Zustandsklassenverteilung um diesen Anteil verringert wird, kann erwartet werden, dass die Kurve im Bereich der niedrigen Standardabweichungen langsamer ansteigt und bei etwa 90-95 % in die hier dargestellten Kurven übergeht. Die anhand dieser Untersuchungen getroffene Aussage bezüglich des 95%-Quantils (z. B. 95 % der Zustandsklassenverteilung können bei einem Stichprobenumfang von $n = 30$ mit einer Standardabweichung von weniger als 5 %-Punkten prognostiziert werden) der Standardabweichung bleibt damit für die Praxis im Wesentlichen erhalten.

Eine Abhängigkeit der Streuung vom Schichtbesatz kann erwartungsgemäß nur bedingt festgestellt werden (Bild 5). Ebenfalls ist ab einem Stichprobenumfang von etwa 20-30 Haltungen für den Großteil der Schichten keine nennenswerte Verbesserung der Prognose zu erwarten.

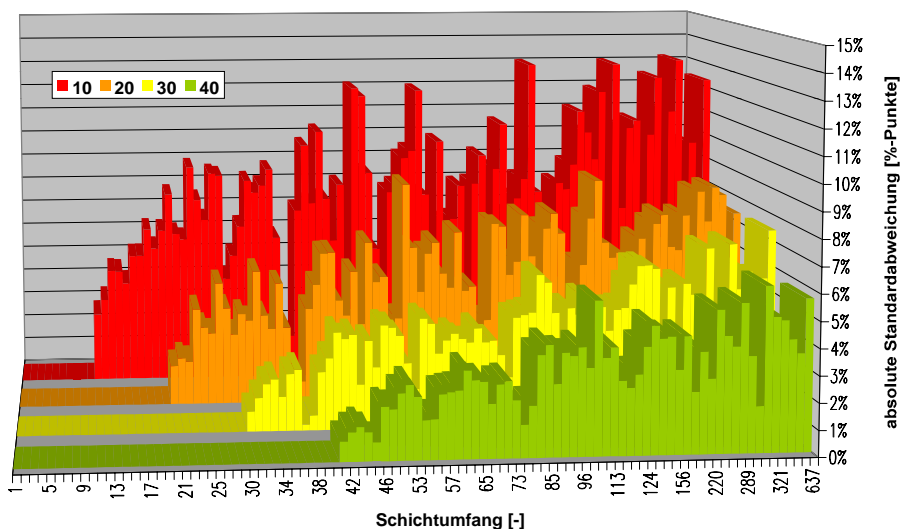


Bild 5 mittlere Standardabweichung der Prognose in Abhängigkeit des Schichtenbesatzes

Um die Qualität der Prognose abschließend beurteilen zu können, wird derzeit untersucht, welche maximale Standardabweichung für eine hinreichend genaue Prognose akzeptiert werden kann. Als wesentlicher Einfluss auf die Qualität der Prognose hat sich die Struktur der Schichten bzw. die Zustandsklassenverteilung innerhalb der Schicht herausgestellt. Derzeit finden diesbezüglich weitere Untersuchungen statt. Ziel ist es, Gemeinsamkeiten "kritischer" Schichten zu ermitteln und damit allgemeingültige Aussagen zu treffen zu können. So wird es bei zukünftiger Anwendung des Verfahrens möglich, diesen Schichten einen erhöhten Inspektionsumfang zuzuweisen. Gegebenenfalls sind diese Schichten auch flächendeckend zu inspizieren.

Zusammenfassung

Die selektive Erstinspektion hat gegenüber der konventionellen Vorgehensweise einer flächendeckenden Inspektion erhebliche zeitliche und wirtschaftliche Vorteile. Die für die Schichtung des Netzes zu erfassenden Einflussmerkmale sind nach derzeitigen Erkenntnissen im Wesentlichen Stammdaten. Sie lassen sich daher in der Regel einfach und damit kostengünstig erfassen. Die Qualität der Prognose konnte anhand eines flächendeckend inspizierten Kanalnetzes durch den Vergleich von Prognosen mit den tatsächlichen Netzzuständen überprüft werden. Sie ist augenscheinlich für weite Bereiche sehr hoch.

KONTAKT

Autoren:

Dipl.-Ing. Karsten MÜLLER

Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen (ISA)

Mies-van der-Rohe-Straße 1

52056 Aachen

Tel.: 0241/80-6159

Fax: 0241/80-99522

Email: mueller@isa.rwth-aachen.de

Sachverständigenbüro für Kanalsanierung

Postfach 10 01 43

66001 Saarbrücken

Tel.: +33-38799-2290

Fax: +33-38799-1486

Email: info@kanal-software.de

Literatur

- /1/ Hochstrate, K.; Schönborn, F.: Finanzierung und Werterhaltung von Kanälen - Selektive Kanalinspektionsstrategien. UTA,. (1996) 3, 249
- /2/ Krug, R.; Müller, K.: Selektive Inspektion als Grundlage für Betrieb, Unterhalt und Sanierung. Vortrag auf der Tagung „Entwicklungen in der Kanalisationstechnik“, Köln 1999
- /3/ Müller, K.: Profitable Prognose. Entsorga Magazin, (2000) 1-2, 25
- /4/ Hartwig, E.; Krug, R.: Finanzierung und Werterhaltung von Kanälen. Selektive Kanalinspektion im VW-Werk Wolfsburg. Korr. Abw. (1998) 8, 1483
- /5/ Hartung, S.: Statistik - Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. R. Oldenbourg Verlag, 10. Aufl. 1995
- /6/ Sachs, L.: Statistische Methoden: Planung und Auswertung. 7. Aufl. Springer-Verlag, Berlin 1993