

Zustandserfassung und Hochrechnung

Dr.-Ing. Karsten Müller

Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen (e.V.)

Mies-van-der Rohe-Str. 17

52056 Aachen

E-mail: mueller@fiw.rwth-aachen.de

1 Einleitung

Die öffentlichen deutschen Kanalisationsnetze haben derzeit eine Gesamtlänge von etwa 450.000 km [3],[27]. Durch chemische, biologische und physikalische Belastungen können insbesondere in Verbindung mit baulichen Unzulänglichkeiten langfristig oder sogar plötzlich Schäden auftreten, die zu Standsicherheitsverlusten und aufgrund entstehender Undichtigkeiten zu Abwasserex- bzw. Grundwasserinfiltration führen können.

Dieses von schadhaften öffentlichen Abwasserkanälen ausgehende Umweltgefährdungspotential war wesentlicher Anlass für die Einführung von Eigenkontrollverordnungen oder entsprechenden Verwaltungsvorschriften, in denen für die jeweiligen Bundesländer gefordert wird, dass u.a. Kanalhaltungen in festgelegten Intervallen zu inspizieren und ggf. zu sanieren sind. Da zudem die Kanalisation für eine Kommune ein erhebliches Anlagevermögen darstellt, ist es allein aus betriebswirtschaftlichen Gründen geboten, einen Wertverlust des Kanalnetzes zu vermeiden. Möglich wird dies durch eine geeignete Instandhaltung, zu der neben der Wartung und Reinigung als zentraler Punkt auch die Inspektion und die Sanierung der Kanalhaltungen gehört.

Die Inspektionen erfolgen gewöhnlich qualitativ mit Hilfe optischer Verfahren [30]. Von besonderer Bedeutung ist dabei die indirekte optische Zustandserfassung mittels Kanalfernsehen. Wesentlicher Grund dafür ist, dass mit vergleichsweise geringem Kostenaufwand bereits detaillierte Erkenntnisse über den Zustand der größtenteils nicht begehbaren Kanalhaltungen gewonnen werden können. Auf diese Weise können Aussagen über die Lage und Ausprägung verschiedenster Schadensbilder getroffen werden. Hinzu kommt, dass Geometrie, Rohrmaterial und Ausführung, Lage sowie Zustand von Anschlüssen erfasst werden können. Gemäß einer Umfrage der ATV [5] liegt mittlerweile ein Inspektionsgrad der öffentlichen deutschen Abwasserkanäle von etwa 75 % vor.

Vor diesem Hintergrund stellen sich aktuell zwei Fragen, die im Weiteren diskutiert werden sollen:

- Mit welcher Qualität werden die baulichen Zustände mit der derzeit verfügbaren Inspektionstechnik erfasst?
- Zu welchen Zeitpunkten ist eine Kanalhaltung im Laufe ihrer Nutzungsdauer hinsichtlich ihres Zustandes zu erfassen?

2 Zustandserfassung

2.1 Überblick

Die derzeit für die optische Inspektion von kommunalen Kanalisationen im nicht begehbaren Nennweitenbereich verwendete Inspektionstechnik besteht gem. ATV-M 143-2 [1] aus folgenden Komponenten:

- Beobachtungs- und Steuereinrichtungen,
- Trägersystem für die Inspektionskamera (Fahrwagen)
- Inspektionskamera sowie
- Bildaufzeichnungsgeräte.

Die Kamerasysteme, die bei der optischen Inspektion Verwendung finden, sind derzeit fast ausschließlich modular aufgebaute Dreh-Schwenkkopf-Kameras, die durch Verwendung von Zoom- oder Wechselobjektiven, der Anpassung von Kamera- und Beleuchtungseinheiten sowie durch den Einsatz entsprechender Steuertechnik an nahezu alle Randbedingungen angepasst werden können (vgl. Bild 1) [30].

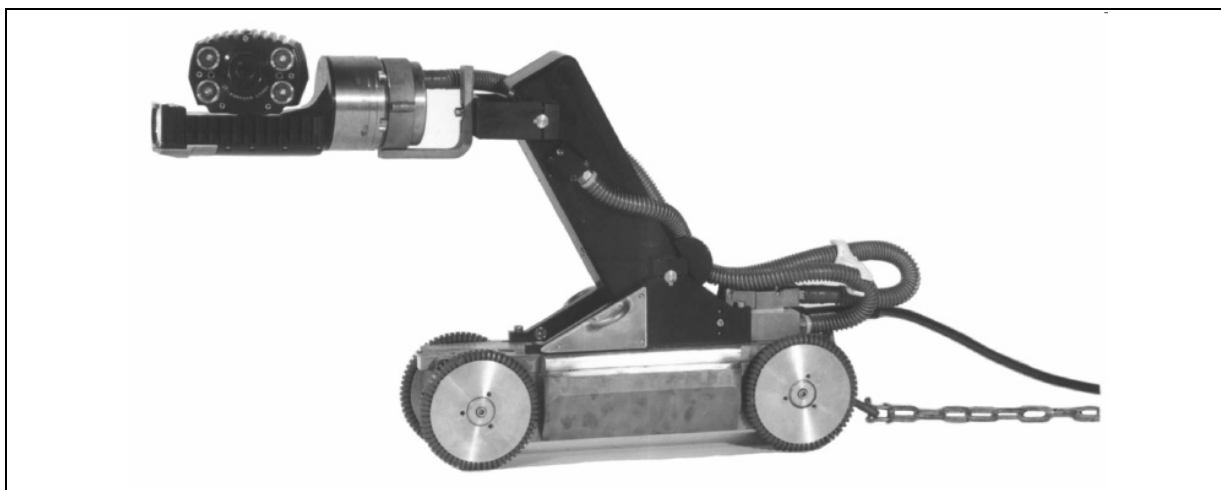


Bild 1: Beispiel einer Dreh-Schwenkkopf-Kamera mit analoger Aufnahmetechnik (Fa. JT-elektronik GmbH) [19]

Als Alternative zu diesen Dreh-Schwenkkopf-Kameras wurde u.a. Ende der neunziger Jahre PANORAMO-System der Fa. IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG entwickelt. Es ist seit 2003 marktreif. Kern des Kamerasystems sind axial angeordnete Fisheye-Objektive mit einem Blickwinkel von über 180°. Im Gegensatz zu allen anderen derzeit eingesetzten Kameratypen werden die Bilder nicht kontinuierlich mittels TV-Kameras erfasst, sondern durch diskrete Fotos in einem definierten axialen Abstand (i.d.R. 5 cm) digital aufgenommen. Die beiden an einer Position S der Kanalhaltung aufgenommenen Fotos in Vor- und Rücksicht werden mittels digitaler Nachbereitung zusammengesetzt, sodass die gesamte Hemisphäre der Haltung von jeder derart erfassten Position mit einem geeigneten Viewer abgeschwenkt werden kann (vgl. Bild 2).

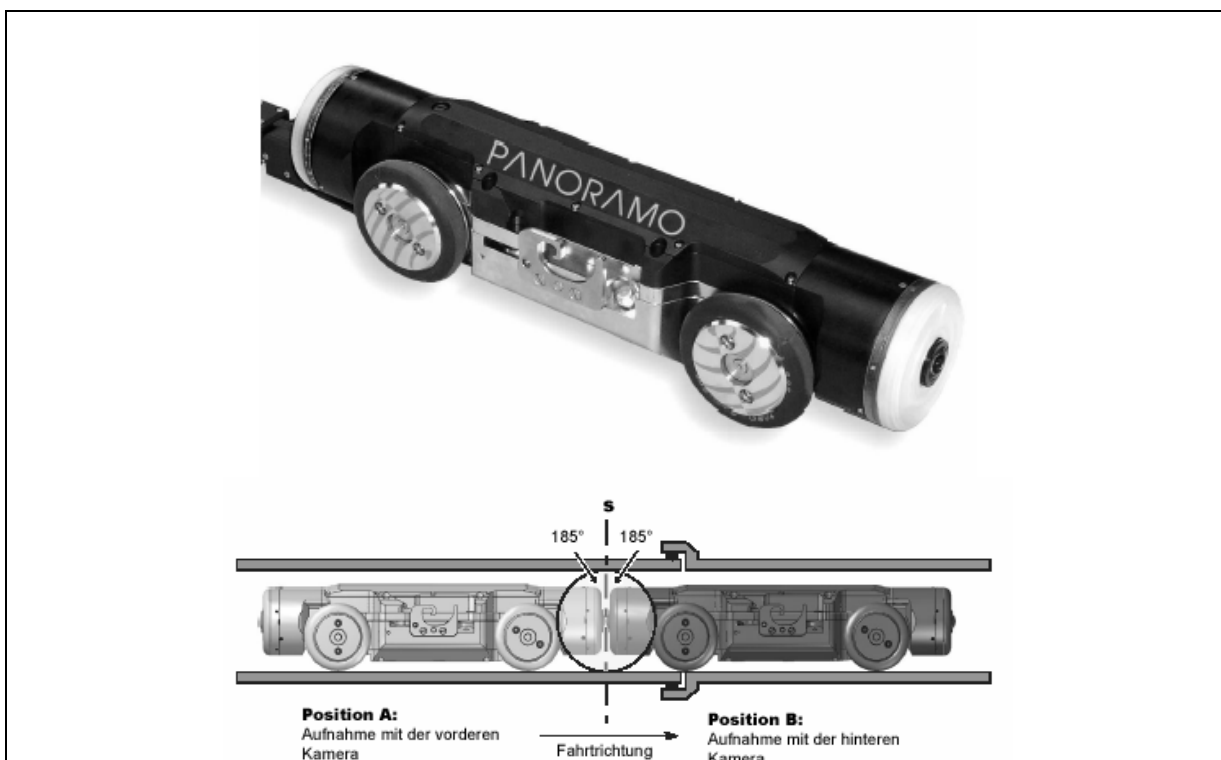


Bild 2: PANORAMO-System der Fa. IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG (Foto und Prinzipskizze) [16],[32]

2.2 Erfassbarkeit von Schadensbildern

Die Erfassbarkeit von Schadensbildern und damit die Qualität der Zustandserfassung wird zum Ersten bestimmt durch die systemimmanenten Möglichkeiten und Grenzen der verwendeten Kamera-, Archivierungs- sowie Visualisierungstechnik (z. B. Beleuchtung, Bildauflösung und -schärfe oder Blickwinkel). Zum Zweiten wird die Qualität der Zustandserfassung dadurch beeinflusst, ob bzw. in welchem Maße die Systeme fehlerhaft bzw. nicht sachgerecht bedient werden (z. B. durch ungenügende Fokussierung bei der Inspektion). Grundsätzlich kann eine mangelhafte Inspektionsqualität dazu führen, dass

- zustandsrelevante Schäden oder sonstige Auffälligkeiten, welche die ordnungsgemäße Funktion des Kanals beeinflussen, übersehen werden,
- Kanalhaltungen unvollständig erfasst werden und
- Schäden bzw. deren Dimension mit wechselnden oder nicht normierten Angaben beschrieben werden.

Die Auswirkungen der beiden sich gegenseitig bedingenden und ggf. auch verstärkenden grundsätzlichen Fehlerquellen auf die Qualität der Protokollierung und der darauf aufbauenden Klassifizierung des Zustandes einer Kanalhaltung, konnten am Rande des Forschungsvorhabens "Entwicklung eines allgemein anwendbaren Verfahrens zur selektiven Erstinspektion von Abwasserkanälen und Anschlussleitungen" [24] für konventionelle Dreh-Schwenkkopf-Kameras abgeschätzt werden [15],[23].

Grundlage für die nachfolgend dargestellten Ergebnisse sind die Protokolle der TV-Inspektionen von insgesamt 307 Kanalhaltungen eines kommunalen Kanalnetzbetreibers, die jeweils innerhalb eines Zeitraumes von weniger als drei Jahren wiederholt inspiziert wurden. Der Mittelwert der

Zustandserfassung und Hochrechnung

Inspektionsintervalle lag bei etwa 14 Monaten. Es kann daher für den Regelfall ausgeschlossen werden, dass die Unterschiede in den Protokollierungen der jeweiligen Kanalinspektionen auf Alterungs- bzw. Abnutzungsprozesse zurückzuführen sind. Die Zustandsklassifizierung der Haltungen erfolgte nach ATV-M 149 [2].

In Bild 3 ist die Verteilung der Differenzen der jeweils aus erster und zweiter Inspektion bzw. Protokollierung resultierenden Zustandsklassifizierungen der jeweiligen Kanalhaltungen dargestellt. Im Idealfall sollte diese Differenz nahe Null liegen und im Mittel aufgrund einer zwischenzeitlich ggf. eingetretenen Zustandsverschlechterung leicht negativ sein. Über 50 % der betrachteten Kanalhaltungen wurden bei den beiden Inspektionen jedoch nicht in die gleiche Zustandsklasse eingestuft, sodass die Differenzen der Zustandsklassen entsprechend positive bzw. negative Werte annehmen. Selbst bei den gleich klassifizierten Kanalhaltungen beruht dieses Ergebnis nur zu etwa einem Drittel (49 Kanalhaltungen) auf identischer Zustandsbeschreibung von Haltungen, die zudem im Wesentlichen schadensfrei waren. Die übrigen 90 Kanalhaltungen wurden zwar in die gleiche Zustandsklasse eingestuft, die Zustandsprotokollierungen wiesen aber z. T. erhebliche Unterschiede auf.

Unterstellt man dieser Streuung eine Normalverteilung, so ergibt sich für die Differenz der Zustandsklassifizierung eine Standardabweichung von $s = 1,34$ ZK. Unter der Annahme, dass diese Inspektionen repräsentativ sind, liegt damit die Differenz der für eine Haltung bei zwei Inspektionen ermittelten Zustandsklassen mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % in einem Konfidenzintervall von etwa $-2,6 \leq \Delta ZK \leq +2,6$. Dies stellt bei einem fünfstufigen Klassifizierungsverfahren eine erhebliche Streuung dar!

Wie weitergehende Analysen der Protokolle zeigen, ist die ermittelte Streuung nicht auf bestimmte ggf. schwer zu erkennende Schadensbilder wie z. B. leichte Lageabweichungen beschränkt. Vielmehr werden mit Ausnahme nicht mängelfreier Stutzen und Anschlüsse, die mit vergleichsweise hohen Übereinstimmungsgrad erfasst werden können, alle Schadensbilder in gleicher Größenordnung fehlerhaft erfasst, wobei eine erhebliche Abhängigkeit des Inspektionsergebnisses vom durchführenden Personal aufgezeigt werden konnte [15].

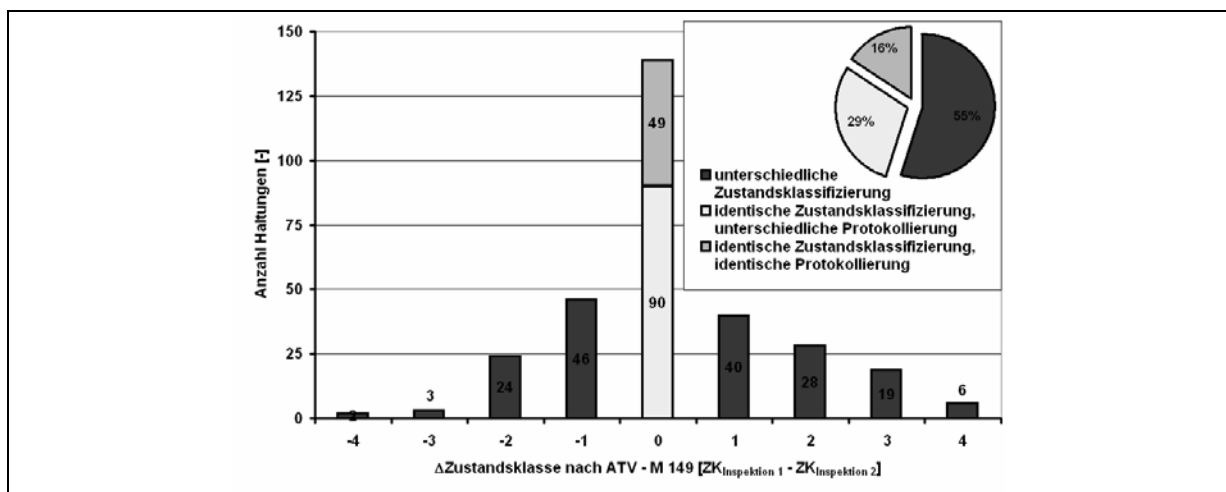


Bild 3: Zustandsklassendifferenzen von 307 doppelt inspezierten Kanalhaltungen [23]

2.3 Fazit und Ausblick

Für die indirekte optische Zustandserfassung von kommunalen Kanalisationen kann derzeit auf drei grundsätzlich unterschiedliche Kamerasysteme zurückgegriffen werden:

- konventionelle Dreh-Schwenkkopfkameras mit analogem Datenfluss,
- Kameras mit einem axial angeordneten Fisheye-Objektiv, analogem Datenfluss und digitaler Nachbereitung sowie (z. B. SSET oder Rico EAB)
- Kameras mit zwei axial angeordneten Fisheye-Objektiven, digitalem Datenfluss und digitaler Nachbereitung (PANORAMO-System).

Die grundsätzliche Erfassbarkeit von Schadensbildern wird bei sorgfältiger (!) Ausführung der Inspektion offensichtlich mit allen derzeit verfügbaren Kamerasystemen in einer ausreichenden Qualität ermöglicht. Wesentliche Unterschiede ergeben sich aber bzgl. der Erfassbarkeit verschiedener Schadensbilder bzw. -ausprägungen sowie bei der Inspektion bestimmter Anlagenteile [6],[10],[32].

Unabhängig vom Kamerasystem und der Abfolge von Inspektion und Protokollierung hat die bedienende und protokollierende Fachkraft einen entscheidenden Einfluss auf die Inspektionsqualität [6],[10],[23],[32]. Verfahren, die hier unterstützend tätig sind, können damit eine Optimierung der Inspektionsqualität bewirken. Ein solcher Weg besteht in der softwaregestützten Protokollierung von Zustandsinformationen auf Basis von Bilderkennungsalgorithmen, die derzeit im Rahmen eines von der DBU geförderten interdisziplinären F&E-Vorhabens für das PANORAMO-System entwickelt werden.

Erste Ergebnisse zeigen, dass Muffen und Anschlüsse bereits jetzt schon mit hoher Genauigkeit detektiert werden können (vgl. Tabelle 1), die Erfassung und Quantifizierung von Schadensbildern ist Gegenstand der sich nun anschließenden Entwicklungsarbeit.

Tabelle 1: Aktueller Stand der Leistung automatischer Bilderkennungsverfahren zur Zustandserfassung von Kanalisationen

| | Test-Datenmaterial | Erkennungsleistung |
|--------------------|---|---|
| Muffendetektion | <ul style="list-style-type: none"> • 422 Referenzbilder • 126 unterschiedliche Kanalhaltungen • 479 Muffen | <ul style="list-style-type: none"> • 475 Muffen korrekt erkannt • Muffen nicht erkannt (falsch-negativ) • 32 Nicht-Muffen erkannt (falsch-positiv) • Erkennungsrate: 99,2% • Fehlerrate: 6,3% |
| Anschlussdetektion | <ul style="list-style-type: none"> • 384 Bilder • 398 Anschlüsse | <ul style="list-style-type: none"> • 285 Anschlüsse korrekt erkannt • 43 Anschlüsse nicht erkannt (falsch-negativ) • 27 Nicht-Anschlüsse erkannt (falsch-positiv) • Erkennungsrate: 86,6% • Fehlerrate: 7,6% |

Unabhängig von einer mit diesen Methoden letztlich erreichbaren geringen Fehlerrate liegt der Vorteil von Bilderkennungsalgorithmen in der Reproduzierbarkeit der Ansprache von Zustandsmerkmalen. Diese Reproduzierbarkeit wird zukünftig von erheblicher Bedeutung sein, wenn verschiedene Inspektionsprotokolle einer Haltung gegenübergestellt und derart Rückschlüsse auf die Zustandsentwicklung bzw. die Restnutzungsdauer einer Haltung getroffen werden sollen.

3 Hochrechnung

3.1 Allgemeines

Die Zustandserfassung bzw. Inspektion von Kanalhaltungen dient neben der Planung von Sanierungsmaßnahmen und der Abnahme von Bau- oder Sanierungsmaßnahmen im Wesentlichen der Erfassung des Zustandes einer Kanalisation als Gesamtheit. Sie ist die Grundlage für die Entwicklung, Aktualisierung und Umsetzung etwaiger Sanierungsstrategien mit dem Ziel eines möglichst geringen finanziellen Aufwandes zur Gewährleistung einer funktionstüchtigen Kanalisation [30].

Derzeit erfolgt die Zustandserfassung von Kanalisationen in aller Regel mittels einer Inspektion in festen Intervallen. Dabei wird zunächst eine flächendeckende Erstfassung der Kanalisation durchgeführt, welche Grundlage für die Entwicklung von Sanierungsstrategien und der Budgetierung der erforderlichen Maßnahmen ist.

Im Anschluss daran erfolgt eine wiederholte flächendeckende Inspektion mit dem Ziel, schleichende Zustandsverschlechterungen in der Kanalisation hinreichend früh zu erkennen und zu lokalisieren, um so geeignete Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Die Intervalle, in denen eine flächendeckende Erst- bzw. Wiederholungsinspektion erfolgt, liegen üblicherweise bei etwa 10 - 20 Jahren.

Die Verbreitung dieses im Weiteren nicht näher erläuterten Vorgehens, das auch "konventionelle Inspektionsstrategie" genannt wird, begründet sich zum einen mit den vielerorts geltenden Eigenkontrollverordnungen der Bundesländer. Weiterhin ist die flächendeckende Inspektion gegenüber anderen Vorgehensweisen einfacher zu planen und umzusetzen.

Ungeachtet solch rechtlicher Vorgaben besteht die Möglichkeit, in Abhängigkeit des jeweils erwarteten Zustandes die zu inspizierenden Kanalhaltungen gezielt auszuwählen. Aus verschiedenen Gründen sollte die Selektion der Kanalhaltungen auf Basis einer repräsentativen Stichprobe erfolgen. Dabei kann der aktuelle Kanalnetzzustand kurzfristig und kostengünstig mit hinreichend genauer Sicherheit abgeschätzt (hochgerechnet) werden. Dementsprechend können Handlungsschwerpunkte für die weitergehende Inspektion sicher definiert werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, aufbauend auf den Ergebnissen der Inspektion dieser Kanalhaltungen, ein Sanierungskonzept zu erarbeiten und den erforderlichen Sanierungsbedarf zu budgetieren, sodass die Finanzierung der gegebenenfalls erforderlichen Sanierung schon vor der weitergehenden Inspektion sichergestellt ist.

Die selektive Erstinspektion war Gegenstand des umfassend dokumentierten Forschungsvorhabens "Entwicklung eines allgemein anwendbaren Verfahrens zur selektiven Erstinspektion von Abwasserkanälen und Anschlussleitungen" [24],[25]. Auf Grund dessen soll im Weiteren nicht näher auf die dort entwickelte Methodik eingegangen werden. Grundsätzlich kann diese Inspektionsstrategie auch im Rahmen einer Wiederholungsinspektion angewandt werden. Lediglich die Frage, in welchen Zeiträumen eine Aktualisierung der Stichprobeninspektion sinnvoll ist, war noch zu untersuchen. Vorgehensweise und Ergebnisse der Betrachtungen werden in Abschnitt 4 erläutert.

Ein weiterer Ansatz für die Entwicklung von Inspektionsstrategien beruht auf der Anpassung von Inspektionsintervallen an eine prognostizierte Zustandsentwicklung von Kanalhaltungen

(ausfallprognoseorientierte Inspektionsstrategie). Die Zustandsentwicklungsprognose kann dabei grundsätzlich auf der Basis einer flächendeckenden Inspektion oder der Inspektion einer repräsentativen Stichprobe erfolgen. Auf diese Inspektionsstrategie wird nachfolgend näher eingegangen.

3.2 Ausfallprognoseorientierte Inspektion

3.2.1 Allgemeines

Grundidee der ausfallprognoseorientierten Inspektionsstrategie ist, dass Kanalhaltungen, wie andere technischen Objekte, eine mittels statistischer Methoden beschreibbare Lebensdauer besitzen.

Dabei ist allgemein unter der Lebensdauer eines Objektes die Zeit zwischen dessen Inbetriebnahme und dessen Ausfall zu verstehen [7]. Für Kanalhaltungen kann als Ausfallzeitpunkt der Zeitpunkt definiert werden, an dem die Haltung einen Zustand erreicht hat, der eine investive Sanierung erforderlich macht. Ergänzend können allgemein Zeitpunkte ermittelt werden, bei denen ein Übergang in eine beliebige schlechtere Zustandsklasse erwartet wird.

Bei angenommener exakter Kenntnis des Ausfallzeitpunktes kann eine Inspektionsstrategie grundsätzlich derart entworfen werden, dass eine Inspektion der Haltungen idealerweise zum Zeitpunkt ihres Ausfalls erfolgt. Die Inspektionsergebnisse können dann sowohl zur Sanierungsplanung als auch zur Beschreibung des Gesamtnetzzustandes verwendet werden und die Inspektion von schadensfreien Haltungen vermieden werden. Die für eine Ausfallprognose allgemein erforderliche Datenbasis, nämlich Alter und Zustand der Kanalhaltungen ist entweder mittels konventioneller flächendeckender oder selektiver Inspektion zu erheben. Insofern kann die ausfallprognoseorientierte Inspektionsstrategie nur in Kombination mit einer dieser beiden Strategien umgesetzt werden.

Die statistischen Verfahren zur Ermittlung der Lebensdauer technischer Objekte wurden Mitte der achtziger Jahre durch Herz und Hochstrate modifiziert und auf den Bereich kommunaler Infrastrukturnetze, nämlich der Wasserversorgungsnetze der Technischen Werke Stuttgart, übertragen [8],[9],[11] und sukzessive weiterentwickelt. Etwa zehn Jahre später erfolgte die konkrete Übertragung der von Herz entwickelten Lebensdauerverteilung auf kommunale Kanalisationen mit dem Ziel, effiziente Sanierungsstrategien zu entwickeln. Ebenfalls erfolgte eine kommerzielle Umsetzung dieser Herangehensweise in Form einer Software (AQUA-WertMin® V. 2.0) [13],[14].

Eine Übertragung dieser Methodiken zum Zwecke der Inspektionsplanung erfolgte mit Veröffentlichung des Leitfadens "für kostenminimierende Instandhaltung von Kanalnetzen" des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden Württemberg im Dezember 2000 [22]. Damit wurde für das Land Baden Württemberg eine als "Prognosegestützte Inspektionsplanung" bezeichnete ausfallprognosen-orientierte Inspektionsstrategie ungeachtet bislang nicht beantworteter Detailfragen als mögliche Herangehensweise eingeführt.

Zur Klärung dieser Detailfragen erfolgt im Weiteren eine Diskussion der Anwendbarkeit dieser Methodiken für den speziellen Fall kommunaler Kanalisationen.

3.2.2 Ermittlung von haltungsindividuellen Inspektionsintervallen

Die derzeit verwendete Methodik zur Ermittlung von Inspektionsintervallen auf Basis von Lebensdauerverteilungsfunktionen werden z. B. durch Baur [4] oder Hochstrate [12] vorgestellt. Hierbei werden auf Basis der Zustandsklassenverteilung eines jeden Jahrganges die Ausfallwahrscheinlichkeitsfunktionen angenähert (vgl. Bild 4).

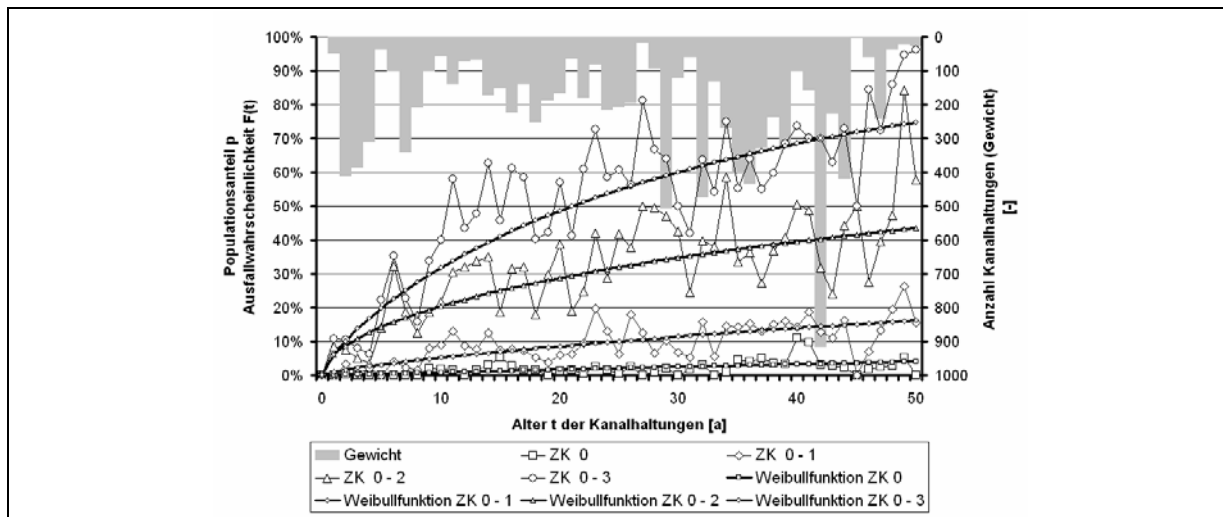


Bild 4: Beispiel für den empirisch ermittelten Verlauf der über verschiedene Zustandsklassenbereiche definierten Ausfälle, deren Annäherung durch eine WEIBULLverteilung sowie Gewichte der einzelnen Jahrgänge

In einem zweiten Schritt werden aus den durch die Weibullverteilung dargestellten Ausfallwahrscheinlichkeiten die Überlebenswahrscheinlichkeiten ermittelt. Die so erstellten Kurven werden in aller Regel als "Zustandsübergangsfunktionen" bezeichnet (vgl. Bild 5).

Auch wenn diese Darstellung oft dafür verwendet wird, Zustandsentwicklungsprognosen für einzelne Haltungen vorzunehmenⁱ, so sind doch lediglich Aussagen für eine in einem bestimmten Alter erwartete Populationsverteilung innerhalb einer repräsentativen Stichprobe (z. B. gesamte Kanalisation oder größere Netzbereiche) zulässigⁱⁱ. Dies gilt auch bei der Ermittlung der Zustandsübergangswahrscheinlichkeiten unter Ansatz von hier nicht näher erläuterten Markov- oder Semi-Markovprozessen (vgl. z. B. [20]).

ⁱ Vgl. hierzu das Ablesebeispiel in Bild 5 (Pfeile): Für eine Kanalhaltung, die im Alter von 10 Jahren in Zustandsklasse 3 eingestuft wird, wird unterstellt, dass sie spätestens im Alter von 28 Jahren in Zustandsklasse 2 übergeht.

ⁱⁱ So kann gem. Bild 5 (vertikale Linie) vermutet werden, dass bei einem Alter von 50 Jahren etwa 25 % der betrachteten Kanalhaltungen in ZK 4, 32 % in ZK 3, 27 % in ZK 2, 12 % in ZK 1 und 4 % in ZK 0 eingestuft werden.

Zustandserfassung und Hochrechnung

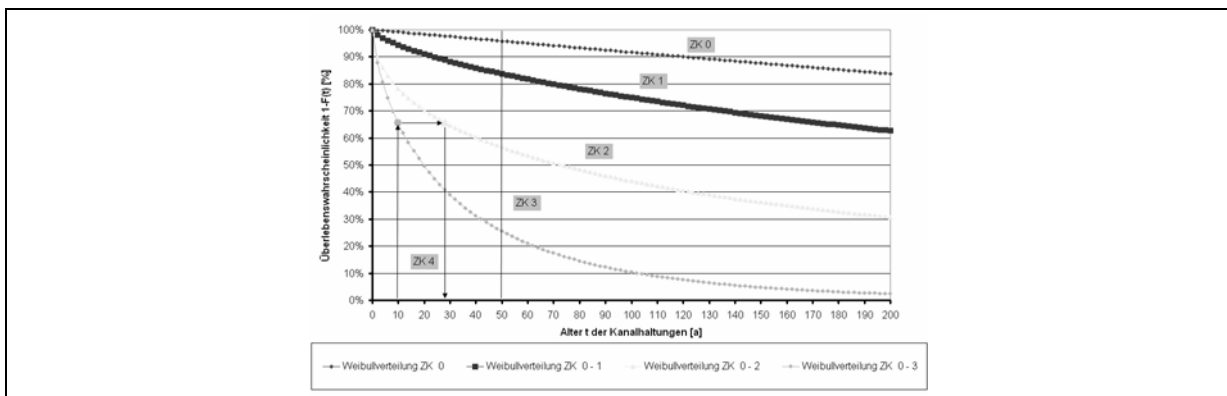


Bild 5: Darstellung der Überlebenswahrscheinlichkeiten der WEIBULLverteilung (vgl. Bild 4), der zugehörigen Zustandsklassenbereiche sowie einer angenommenen Zustandsentwicklung (Ablesebeispiel Pfeile); (ergänzt nach BAUR [4] und HOCHSTRATE [12])

Ein Grund ist, dass insbesondere für prioritätsorientierte Zustandsklassifizierungssysteme lediglich die Aussage getroffen werden kann, dass die betrachtete Kanalhaltung innerhalb eines gegebenen Zeitintervalls entweder in der ursprünglichen Zustandsklasse verweilt oder aber mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit für die Kanalhaltung eine beliebige schlechtere Zustandsklasse annimmt. Die Verteilung der Wahrscheinlichkeiten ist dabei unbekannt (vgl. Bild 6). Verfahren, diese Verteilungsfunktion zu ermitteln, werden z. B. durch Zielichowski-Haber [34] oder Korving [21] beschrieben. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass mehrere Wiederholungsinspektionen der zu untersuchenden Einheiten vorgenommen wurden, was dieses Verfahren wiederum für die Festlegung von Inspektionsintervallen von Kanalhaltungen unpraktikabel macht.

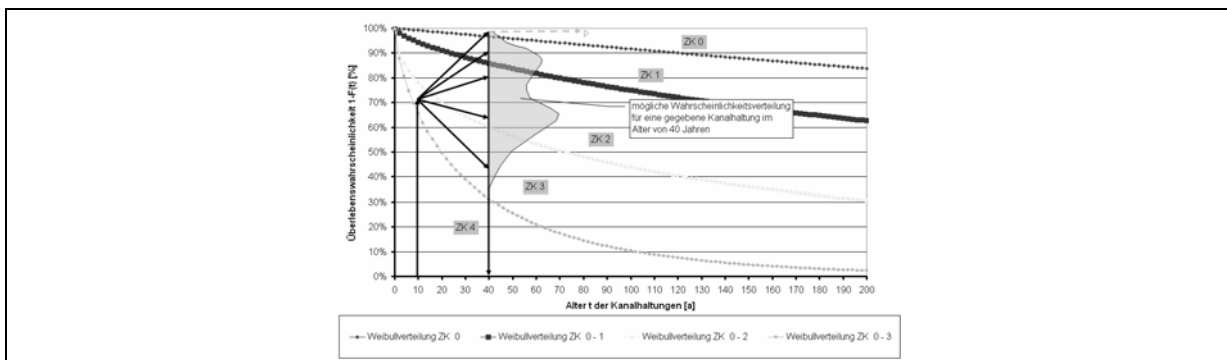


Bild 6: Überlebenswahrscheinlichkeiten der dargestellten WEIBULLverteilung (vgl. Bild 4), der zugehörigen Zustandsklassenbereiche sowie einer möglichen Wahrscheinlichkeitsverteilung der Zustandsklassenentwicklung und daraus resultierende mögliche Zustandsklassen des Betrachteten Individuums

Neben der oben dargestellten Problematik bleibt bei der derzeitigen Methodik einer haltungsindividuellen Zustandsentwicklungsprognose zusätzlich folgender Sachverhalt unberücksichtigt: Ähnlich wie bei der Hochrechnung von Populationsverteilungen erfolgt auch bei der Hochrechnung der Zustandsentwicklung durch die gewählte Funktion eine idealisierte Abschätzung der tatsächlichen Verhältnisse. Die Ungenauigkeiten dieser Abschätzungen lassen sich abhängig von der gewählten Verteilungsfunktion grundsätzlich unter der Voraussetzung ermitteln, dass der genaue Ausfallzeitpunkt der betrachteten Stichprobe bekannt ist, also das Ausfallgeschehen der Stichprobe exakt beobachtet wird. Es können Vertrauensgrenzen ermittelt werden, zwischen denen die tatsächliche Verteilungsfunktion mit gegebener Sicherheit liegt [33]. Diese Voraussetzung ist im

speziellen Fall der Zustandserfassung von Kanalisationen nicht gegeben und daher die jeweilige Vertrauensgrenze mit konventionellen Methoden nicht bestimmbar.

Zur Abschätzung der Zustandsentwicklung von Kanalhaltungen wurde aus diesen Gründen eine neue Herangehensweise entwickelt, die Ergebnisse liefert, welche auf der sicheren Seite liegen [17]. Dabei wird zunächst für jeden Jahrgang die obere Grenze des Konfidenzintervalls des Populationsanteils ausgefallener Kanalhaltungen π_0 ermittelt. Die Parameter der gewählten Weibullverteilung werden anschließend derart bestimmt, dass die Summe der Quadrate der Abweichungen zwischen den oberen Grenzen der Konfidenzintervalle der einzelnen Jahrgänge und der Ausgleichsfunktion minimiert wird. Verdeutlicht sei dieses Verfahren durch die folgenden Abbildungen (s. Bild 7 bis Bild 10):

- Datenbasis für die Ermittlung der Ausgleichsfunktion sind die jahrgangsabhängigen Populationsanteile der Zustandsklassenbereiche sowie die Anzahl der jeweils in einem Jahrgang vorliegenden Kanalhaltungen bzw. das Gewicht des Jahrganges (s. Bild 7).

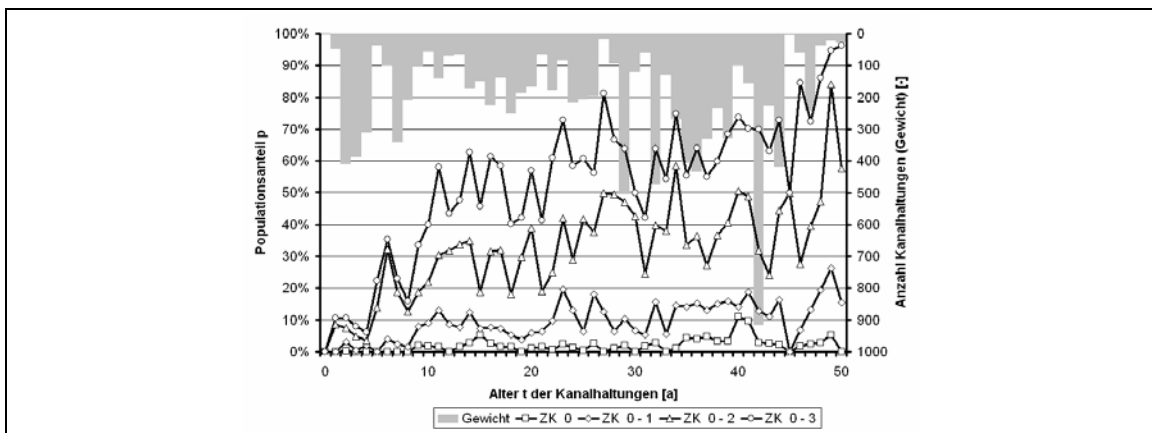


Bild 7: Beispiel für den empirisch ermittelten Verlauf der über verschiedene Zustandsklassenbereiche definierten Ausfälle sowie Gewichte der einzelnen Jahrgänge

- Aufbauend hierauf wird für jeden Jahrgang die obere Grenze des Konfidenzintervalls π_0 ermittelt (s. Bild 8). Der Verlauf der oberen Grenzen der Konfidenzintervalle und zugehöriger Verteilungsfunktionen ist in Bild 9 dargestellt.

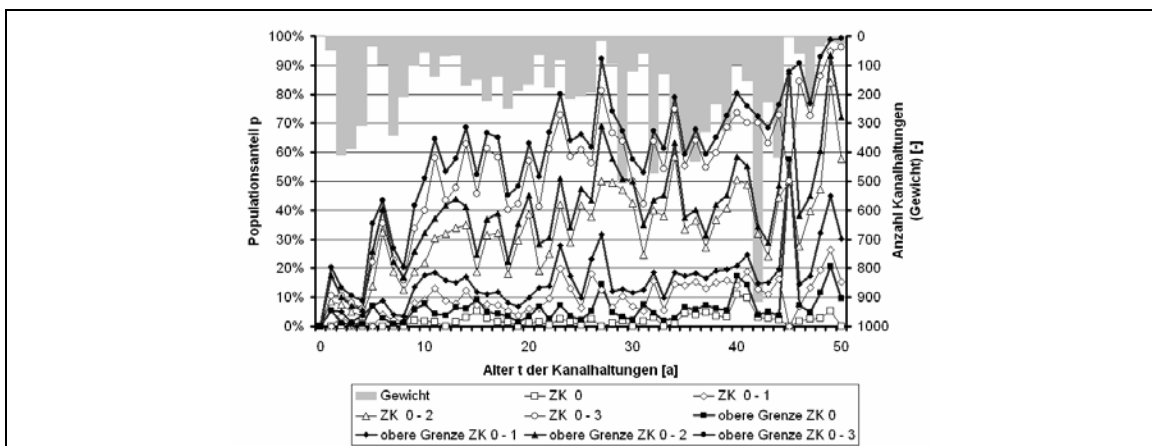


Bild 8: Beispiel für den empirisch ermittelten Verlauf der über verschiedene Zustandsklassenbereiche definierten Ausfälle sowie Gewichte der einzelnen Jahrgänge und zugehörige obere Grenzen der Konfidenzintervalle

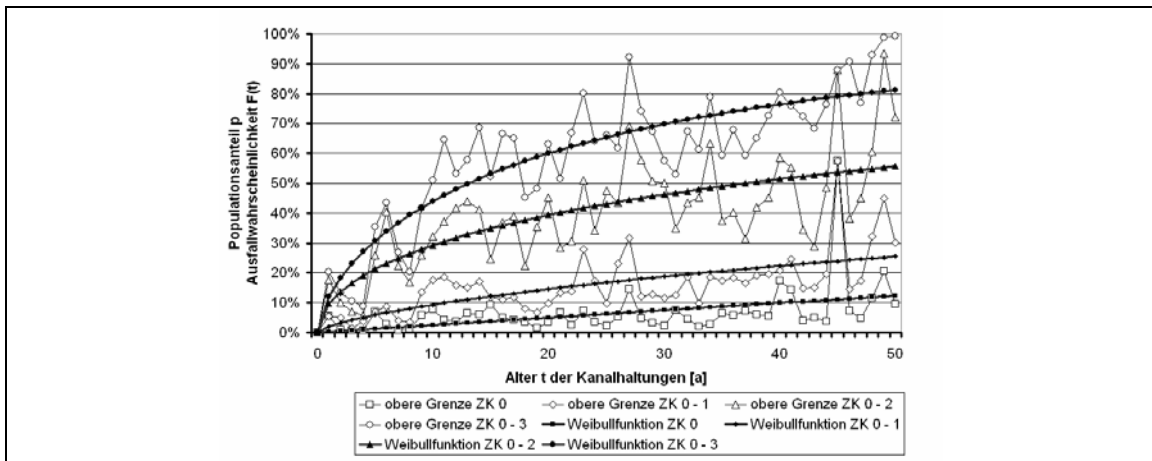


Bild 9: Beispiel für den Verlauf der oberen Grenzen der Konfidenzintervalle und zugehörige WEIBULL-Verteilung

- In Bild 10 wird der Verlauf der so ermittelten Weibullverteilung und die tatsächlich ermittelten Werte für die verschiedenen Zustandsklassenbereiche sowie das Gewicht der einzelnen Jahrgänge dargestellt. Deutlich wird, dass insbesondere bei den interessanten Zustandsklassenbereichen 0 bzw. 0-1 die gemessenen Werte in aller Regel unterhalb der auf der sicheren Seite liegenden Abschätzung liegen. Auch bei den anderen Zustandsklassenbereichen liegt ein Großteil der tatsächlich erfassten Werte unterhalb der Kurve, da sich Überschreitungen in der Regel bei den weniger stark besetzten Jahrgängen einstellen.

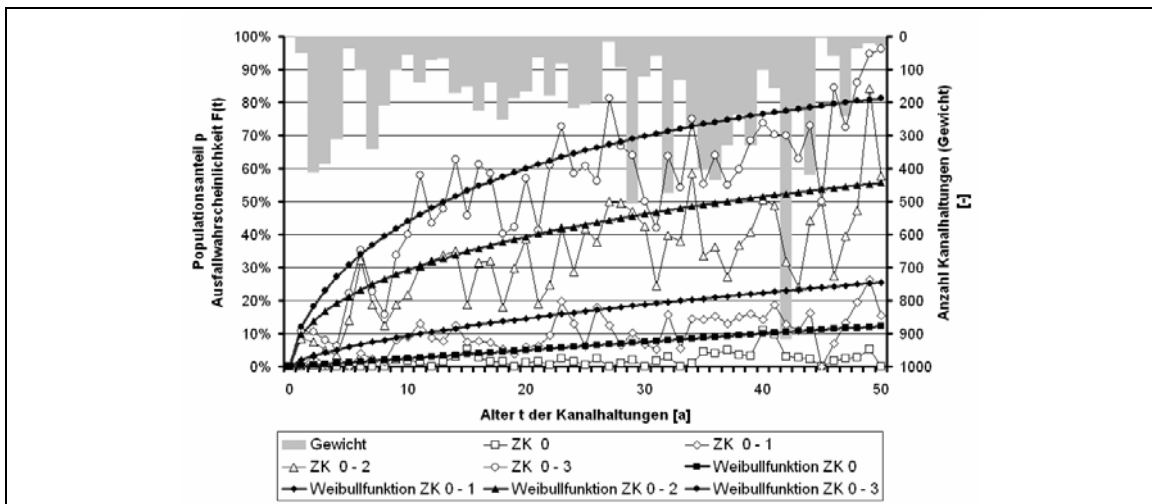


Bild 10: Beispiel für den empirisch ermittelten Verlauf der über verschiedene Zustandsklassenbereiche definierten Ausfälle, Gewichte der einzelnen Jahrgänge und die durch die oberen Grenzen der Konfidenzintervalle laufende WEIBULL-Verteilung

Durch Festlegung des Interventionsklassenbereiches und des maximalen Anteils der Kanalhaltungen, die in diesem Interventionsklassenbereich liegen sollen, lässt sich der ideale Inspektionszeitpunkt über das Alter der Kanalhaltungen durch Umformen der entsprechenden Verteilungsfunktion analytisch oder iterativ bestimmen.

4 Gegenüberstellung verschiedener Strategien

4.1 Allgemeines

Ziel der nachfolgenden Betrachtungen ist, verschiedene Inspektionsstrategien bzw. deren sinnvolle Kombinationen gegenüber zu stellen und zu bewerten.

Um die Grenzen für einen wirtschaftlich sinnvollen Einsatz der verschiedenen Inspektionsstrategien zu ermitteln, werden diese Betrachtungen auf vier ähnlich strukturierte Kanalisationen unterschiedlicher Größe bezogen. Die Gegenüberstellung der Inspektionsstrategien erfolgt anhand eines numerischen Modells, mit dem die Zustandsentwicklung der bestehenden Kanalhaltungen, die Sanierung sowie die Zustandsentwicklung der sanierten Kanalhaltungen abgebildet werden.

4.2 Bewertungskriterien

Strategien für die Inspektion von Kanalhaltungen sollten so gestaltet sein, dass damit die für die Erstellung von Sanierungsstrategien erforderliche Datenbasis möglichst wirtschaftlich, also mit geringem Inspektionsumfang, gewonnen werden kann und die Verweilzeit der Haltungen in einem kritischen Zustand minimiert wird. Des Weiteren sollte, sofern ein Kanalbetrieb die Inspektion nicht z. B. an ein Unternehmen vergibt, die Auslastung der Geräte bzw. des Personals möglichst konstant sein. Auch dieser Aspekt fließt in die Bewertung der Inspektionsstrategie ein.

4.3 Modellbeschreibung und Ablauf der Modellierung

Die Modellierung der Wirkung verschiedener Inspektionsstrategien erfolgte in zwei Schritten. Zunächst wurde für jeden Zeitschritt und jede Altersstufe die Sollzustandsklassenverteilung sowie die absolute Differenz zwischen Istzustandsklassenverteilung, die sich aus der jeweils aktuellen Zustands-klassenverteilung ergibt, und der Sollzustandsklassenverteilung ermittelt. Hieraus konnte jeweils die Anzahl der Haltungen eines jeden Jahrganges ermittelt werden, die in eine neue Zustandsklasse zu überführen waren. Durch jeweils zufällige Auswahl der zu überführenden Haltungen war gewährleistet, dass Klassensprünge über mehrere Stufen im realistischen Umfang abgebildet wurden.

Nachdem die Zustandsklassen der Haltungen derart für einen Zeitschritt ermittelt wurden, erfolgte die Modellierung der Inspektion und der Sanierung der Haltungen in Form von Erneuerungsmaßnahmen. Die Auswahl der zu inspizierenden Haltungen erfolgt abhängig von Strategie und strategieabhängig festzulegenden Eingangsparametern.

4.4 Konzept der vergleichenden Bewertung von Inspektionsstrategien

Gemäß den Bewertungskriterien weist eine Inspektionsstrategie für eine gegebene Kanalisation dann eine hohe Güte auf, wenn folgende charakteristischen Werte klein werden:

- Inspektionsrate (IR),
- relativer Fehler der Abschätzung der Populationsanteile der Interventionsklassen (x),
- Populationsanteil in den Interventionsklassen (P) sowie
- Verweilzeit der Haltungen in den Interventionsklassen (T).

Zustandserfassung und Hochrechnung

Die vergleichende Bewertung der Eignung der Strategien für die einzelnen Kanalisationen erfolgt derart, dass zunächst für die jeweilige Strategie (vgl. Tabelle 2) über dem sich der Erstinspektion anschließenden Zeitraum das arithmetische Mittel der charakteristischen Werte ermittelt wird.

Tabelle 2: Datenbasis für die vergleichende Beurteilung der Inspektionsstrategien

| Inspektionsstrategie | Bemerkung |
|----------------------|---|
| S1 | Inspektionsstrategie in Anlehnung an die Eigenkontrollverordnung Baden-Württemberg, 2001 [28] |
| | Inspektionsstrategie in Anlehnung an die Selbstüberwachungsverordnung Kanal Nordrhein-Westfalen, 1995 [29] |
| | Inspektionsstrategie in Anlehnung an die Eigenkontrollverordnung Sachsen, 1994 [26] |
| S2 | Konventionelle flächendeckende Erstinspektion in Kombination mit einer ausfallprognoseorientierten Wiederholungsinspektion |
| S3 | Selektive Erst- und Wiederholungsinspektion in Kombination mit einer flächendeckenden weitergehenden Erst- und Wiederholungsinspektion in festen Intervallen |
| S4 | Selektive Erst- und Wiederholungsinspektion in Kombination mit einer flächendeckenden weitergehenden Erstinspektion und einer ausfallprognoseorientierten Wiederholungsinspektion |

Im zweiten Schritt wird jede der Strategien der Inspektionsstrategie in Anlehnung an die Selbstüberwachungsverordnung Kanal Nordrhein-Westfalen (S1) gegenübergestellt:

Auf der Abszisse der entsprechenden Diagramme wurde der Quotient der Inspektionsrate

$$(Q_{IR} = \frac{\text{Mittelwert}_{IR_{S_n}}}{\text{Mittelwert}_{IR_{S_4}}}) \text{ aufgetragen.}$$

Auf der Ordinate wurden für den Interventionsklassenbereich ZK 0 - 1 folgende Quotienten aufgetragen:

- $Q_P = \frac{\text{Mittelwert}_{P_{S_n}}}{\text{Mittelwert}_{P_{S_4}}}$
- $Q_X = \frac{\text{Mittelwert}_{X_{S_n}}}{\text{Mittelwert}_{X_{S_4}}}$
- $Q_T = \frac{\text{Mittelwert}_{T_{S_n}}}{\text{Mittelwert}_{T_{S_4}}}$

Die so entstehenden Punktwolken können für die einzelnen Parameter jeweils durch Funktionen der Form $y = a \cdot x - b$ ($a, b > 0$) i.d.R. mit hoher Genauigkeit approximiert werden. Diese Funktionen werden ergänzend angezeigt. Liegt die derart ermittelte Kurve unterhalb der ebenfalls dargestellten Funktion $y = 1/x$ ($= x^{-1}$), ist die Güte der Inspektionsstrategie bzgl. des entsprechenden Parameters höher als bei der Standardinspektionsstrategie S4 und umgekehrt. Je weiter die Regressionsfunktion somit im dritten Quadranten liegt, desto wirtschaftlicher ist die Inspektionsstrategie gegenüber der Strategie S4, da mit geringerem Inspektionsaufwand die gleiche Güte erreicht wird (s. Bild 11).

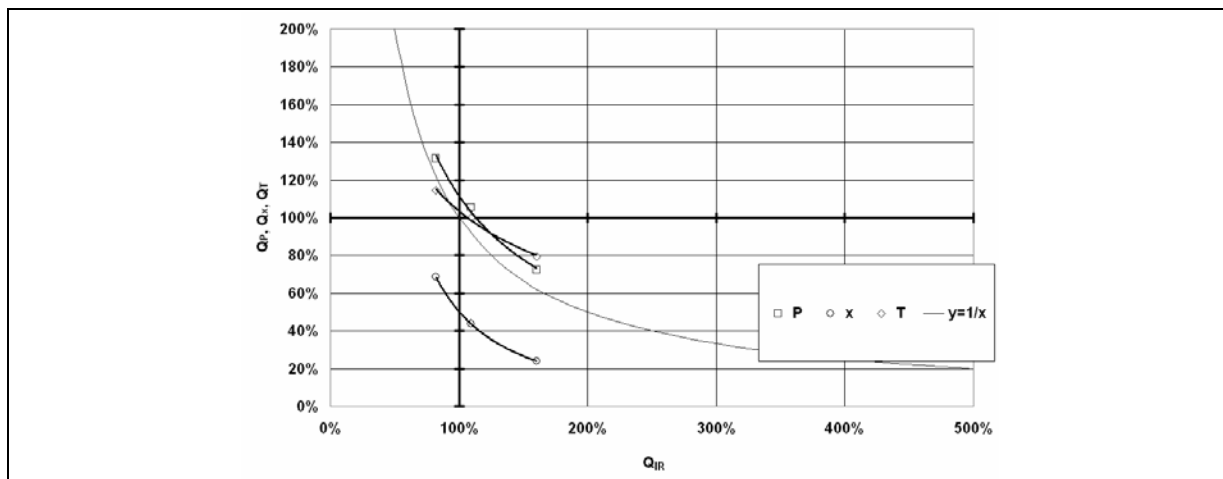


Bild 11: Beispiel für die Abhängigkeit der untersuchten Gütekriterien von der Inspektionsrate, (selektive Erst- und Wiederholungsinspektion in Kombination mit einer flächendeckenden weitergehenden Erst- und Wiederholungsinspektion in festen Intervallen)

Ergänzend flossen wirtschaftliche und logistische Überlegungen in die vergleichende Bewertung der Inspektionsstrategien ein.

4.5 Ergebnisse der vergleichenden Bewertung von Inspektionsstrategien

Die allgemein übertragbaren Ergebnisse der Gegenüberstellung können für die einzelnen Inspektionsstrategien wie folgt zusammengefasst werden:

- **Konventionelle flächendeckende Erst- und Wiederholungsinspektion nach Eigenkontroll- bzw. Selbstüberwachungsverordnung (S1):**

Unabhängig von Netzgröße und Struktur sowie netzspezifischer Zustandsentwicklung kann bzgl. der verschiedenen konventionellen Inspektionsstrategien die folgende Aussage getroffen werden: Eine Verdopplung des Inspektionsintervalls führt näherungsweise zu einer Verdopplung

- des Populationsanteils P der Interventionsklassen,
- des relativen Fehlers der Abschätzung der Populationsanteile x sowie
- der mittleren Verweilzeit der Haltungen in den Interventionsklassen T.

Diese Inspektionsstrategien können damit als gleichwertig eingestuft werden.

- **Konventionelle flächendeckende Erstinspektion in Kombination mit einer ausfallprognoseorientierten Wiederholungsinspektion (S2):**

Im Rahmen dieser Inspektionsstrategie wird vorab ein Vorgabewert für den maximalen Populationsanteil der Zustandsklassen 0 und 1 definiert. Eine Überschreitung des Vorgabewertes für den maximalen Gesamtpopulationsanteil konnte unabhängig von Netzgröße, Zeitraum der Erstinspektion und Vorgabewert nicht festgestellt werden. Die maximalen Populationsanteile liegen in aller Regel nach Abschluss der Erstinspektion bei etwa 50 % des Vorgabewertes. Es darf damit angenommen werden, dass über das entwickelte Verfahren zur Kalibrierung der Verteilungsfunktion haltungsspezifische Inspektionszeitpunkte ermittelt werden, die auf der sicheren Seite liegen.

Die Kalibrierung der Verteilungsfunktion erfolgt nach Abschluss der flächendeckenden Erstinspektion und unter Vernachlässigung der Zustandsentwicklung der inspizierten Haltungen

innerhalb des Zeitraumes der Erstinspektion. Dies führt dazu, dass mit verlängertem Zeitraum der Erstinspektion der Populationsanteil der Haltungen in der Interventionsklasse grundsätzlich zunehmend unterschätzt und damit die Kalibrierung ungenauer wird. Ein nennenswert negativer Einfluss des Zeitraumes der Erstinspektion auf die Güte der Strategie konnte jedoch nicht festgestellt werden.

Durch Anwendung der konventionellen flächendeckenden Erstinspektion in Kombination mit einer ausfallprognoseorientierten Wiederholungsinspektion kann damit bereits für die Kanalisationen kleinerer Kommunen ab etwa 30.000 bis 80.000 angeschlossenen Einwohnern die Voraussetzung dafür geschaffen werden, dass sich der Netzzustand gegenüber einer konventionellen Inspektionsstrategie günstiger entwickelt. Hinzu kommt, dass die Abschätzbarkeit des Gesamtnetzzustandes mindestens dem durch eine konventionelle Inspektion erreichbaren Standard entspricht. Abhängig von nicht spezifizierbaren Randbedingungen kann die Abschätzung des Gesamtnetzzustandes aber auch mit deutlich höherer Qualität erfolgen. Erhebliche Vorteile bietet diese Inspektionsstrategie dann, wenn aus Gründen des Bestand- sowie des Grundwasserschutzes in erster Linie das Ziel verfolgt wird, die Verweilzeiten der Haltungen in den kritischen Zustandsklassen zu minimieren.

- **Selektive Erst- und Wiederholungsinspektion in Kombination mit einer flächendeckenden weitergehenden Erst- und Wiederholungsinspektion in festen Intervallen (S3):**

Der Vorteil dieser Strategie gegenüber den anderen betrachteten Strategien ist, dass der relative Fehler der Abschätzung des Gesamtnetzzustandes unabhängig von der Netzgröße lediglich bei etwa 50 % des durch konventionelle Inspektion erreichbaren Wertes liegt und zudem auch in der Praxis mittels statistischer Verfahren quantifiziert werden kann. Damit wird bereits für kleine Kommunen ab etwa 10.000 Einwohnern eine sichere Grundlage z. B. für die Abschätzung des erforderlichen Sanierungsbedarfes oder auch für die Wertermittlung der Kanalisation geschaffen. Hinzu kommt, dass diese Inspektionsstrategie konform mit dem in den Selbstüberwachungs- bzw. Eigenkontrollverordnungen definierten Rahmen ist und dort ohne Ausnahmeregelungen umsetzbar ist.

- **Selektive Erst- und Wiederholungsinspektion in Kombination mit einer flächendeckenden weitergehenden Erstinspektion und einer ausfallprognoseorientierten Wiederholungs-inspektion (S4):**

Da diese Inspektionsstrategie gegenüber den vorgenannten Strategien keine Vorteile aufweist, ist ein sinnvoller Anwendungsbereich für die selektive Erst- und Wiederholungsinspektion in Kombination mit einer flächendeckenden weitergehenden Erstinspektion und einer ausfallprognoseorientierten Wiederholungsinspektion nicht erkennbar.

5 Zusammenfassung

Strategien für die Inspektion von Kanalhaltungen sollten so gestaltet sein, dass die Funktionstüchtigkeit eines Entwässerungssystems bei gleichzeitig möglichst geringem Wartungs- und Sanierungsaufwand sichergestellt werden kann. Da die Inspektion auch

Zustandserfassung und Hochrechnung

- der Schaffung von Planungsgrundlagen für ggf. erforderliche weitergehende Untersuchungen oder Sanierungsmaßnahmen,
- der Beantwortung von Gewährleistungs- bzw. Beweissicherungsfragen für die Abnahme von Bau- oder Sanierungsmaßnahmen sowie
- der Erfassung des Zustandes einer Kanalisation als Gesamtheit z. B. zur Abschätzung des insgesamt erforderlichen Sanierungsumfangs oder als Grundlage zur Wertermittlung

dient, sind diese Aspekte bei der Entwicklung von Inspektionsstrategien entsprechend zu berücksichtigen. Hinzu kommt, dass die Zustandserfassung wirtschaftlich, in Einklang mit den a.a.R.d.T. und den jeweils geltenden rechtlichen Regelungen erfolgen soll.

Zusammenfassend sind damit für die Entwicklung von Inspektionsstrategien folgende Fragen zu beantworten:

- Welche technischen Verfahren sind für die optische Zustandserfassung und die Bewertung einzusetzen?
- Zu welchen Zeitpunkten ist eine Haltung eines Entwässerungssystems im Laufe ihrer Nutzungsdauer hinsichtlich ihres Zustandes zu untersuchen?

Derzeit sind dafür drei grundlegend verschiedene Systeme verfügbar, die sich im unterschiedlichen Maße etabliert haben. Dies sind

- konventionelle Dreh-Schwenkkopfkameras mit analogem Datenfluss,
- Kameras mit einem axial angeordneten Fisheye-Objektiv, analogem Datenfluss und digitaler Nachbereitung sowie
- Kameras mit zwei axial angeordneten Fisheye-Objektiven, digitalem Datenfluss und digitaler Nachbereitung.

Ergebnisse von Feldversuchen zeigen, dass Kamerasysteme, die mit axial angeordneten Fisheye-Objektiven arbeiten, unter bestimmten Randbedingungen deutlich höhere Inspektionsleistungen und ggf. auch Inspektionsqualitäten bieten können als konventionelle Dreh-Schwenkkopfkamerasysteme. Bei der Vielfalt der in einer Kanalisation auftretenden Rohrmaterialien, Querschnittsprofile und Schadensbilder wird man in naher Zukunft allerdings trotzdem nicht auf die konventionellen Kamerasysteme verzichten können, da axiale Kamerasysteme in ihrer Flexibilität stark eingeschränkt und bauartbedingt nicht in jeder nichtbegehbaren Haltung einer Kanalisation einsetzbar sind. In Abhängigkeit von Netzstruktur und vorhandenen personellen sowie technischen Ressourcen erscheinen daher verschiedene Kombinationen neuartiger und konventioneller Kamerasysteme bzw. eine alleinige Verwendung konventioneller Systeme sinnvoll.

Vor dem Hintergrund der erheblichen Bedeutung der Zustandsbeschreibung für die weitere Inspektions- und Sanierungsplanung besteht in der Sicherstellung einer ausreichenden Zustandserfassungsqualität ein erheblicher Entwicklungsbedarf. Ein sich derzeit abzeichnender Lösungsansatz für diese Problematik liegt in der Einführung einer softwaregestützten Protokollierung von Zustandsinformationen auf Basis von Bilderkennungsalgorithmen.

Unabhängig von einer mit diesen Methoden letztlich erreichbaren geringen Fehlerrate liegt der Vorteil von Bilderkennungsalgorithmen in der Reproduzierbarkeit der Ansprache von Zustandsmerkmalen.

Diese Reproduzierbarkeit wird zukünftig von erheblicher Bedeutung sein, wenn verschiedene Inspektionsprotokolle einer Haltung gegenübergestellt und derart Rückschlüsse auf die Zustandsentwicklung bzw. die Restnutzungsdauer einer Haltung getroffen werden sollen.

Neben der Auswahl geeigneter technischer Verfahren ist im Rahmen einer Inspektionsstrategie festzulegen, wann eine Kanalhaltung im Laufe ihrer Nutzungsdauer zu inspizieren ist. Dabei ist zu unterscheiden zwischen einer Erstinspektion, die im Wesentlichen dem Aufbau eines hinreichenden Kenntnisstandes über den Zustand der Kanalhaltungen sowie der Kanalisation als Gesamtheit dient und in Deutschland mittlerweile weitgehend abgeschlossen ist, und der Wiederholungsinspektion, die der kontinuierlichen Aktualisierung dieses Wissens dient.

Die nun anstehende Wiederholungsinspektion einer Kanalisation kann entweder in festen Intervallen mittels konventioneller flächendeckender Strategien, oder aber mittels angepasster Strategien erfolgen, also einer selektiven oder einer ausfallprognoseorientierten Inspektionsstrategie.

Durch eine normierte Gegenüberstellung der Strategien wurden Zielerreichungspotentiale der einzelnen Strategien ermittelt. Ergänzend wurden Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen durchgeführt und logistische Aspekte diskutiert.

Durch Anwendung der konventionellen flächendeckenden Erstinspektion in Kombination mit einer ausfallprognoseorientierten Wiederholungsinspektion kann bereits für Kanalisationen ab einer Länge von etwa 100 km und damit für Kommunen einer Größe ab etwa 32.000 angeschlossenen Einwohnern die Grundlage für eine gegenüber einer konventionellen Inspektionsstrategie deutlich besseren Kanalnetzzustandsentwicklung geschaffen werden. Hinzu kommt, dass die Abschätzbarkeit des Gesamtnetzzustandes mindestens dem durch eine konventionelle Inspektion erreichbaren Standard entspricht. Erhebliche Vorteile bietet diese Inspektionsstrategie somit dann, wenn aus Gründen des Bestand- sowie des Grundwasserschutzes in erster Linie das Ziel verfolgt wird, die Verweilzeiten der Haltungen in den kritischen Zustandsklassen zu minimieren. Für kleinere Kanalisationen empfiehlt sich die Anwendung konventioneller flächendeckender Inspektionsstrategien.

6 Literatur

- [1] ATV Inspektion, Sanierung und Erneuerung von Entwässerungskanälen und Leitungen
ATV-Merkblatt M 143, Teil 2: Optische Inspektion, 1991
- [2] ATV Zustandserfassung, -klassifizierung und -bewertung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden
ATV-Merkblatt M 149, 1999
- [3] ATV-DVWK Zahlen zur Abwasser- und Abfallwirtschaft
ATV-Informationen, Hennef 1996
- [4] Baur, R. Developing a Decision Framework for Sewer Network Rehabilitation
17th European Junior Scientist Workshop,
Dresdner Beiträge zum Stadtbauwesen, Lehrstuhl Stadtbauwesen,
Technische Universität Dresden, 2003
- [5] Berger, C.
Lohaus, J.
Wittner, A.
Schäfer, R. Der Zustand der Kanalisation in der Bundesrepublik Deutschland
Ergebnisse der ATV-Umfrage 2001
Korrespondenz Abwasser, 2002, H. 3, S. 302
- [6] CEITEC Evaluation of SSET: The Sewer Scanner & Evaluation Technology
Hrsg.: CEITEC (CERF innovation center serving the engineering and construction industries),
CERF Report: #40551, 2001
- [7] Hartung, J. Statistik
Lehr- und Handbuch der Statistik
R. Oldenbourg Verlag München Wien, 10. Auflage, 1995
- [8] Herz, R.
Hochstrate, K. Erneuerungsstrategien für städtische Infrastrukturnetze
Jahrbuch für Regionalwissenschaft, Hrsg.: Vorstand der Gesellschaft für
Regionalforschung e.V. (Deutschsprachige Gruppe der Regional Science Association), Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, 1996
- [9] Herz, R. Alterung und Erneuerung von Infrastrukturbeständen - ein Kohortenüberlebensmodell
Jahrbuch für Regionalwissenschaft, Hrsg.: Vorstand der Gesellschaft für
Regionalforschung e.V. (Deutschsprachige Gruppe der Regional Science Association), Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, 1993/1994
- [10] Hilpert, R.
Kramer, D. Auswertung des Einsatzes der PANORAMO-Kameratechnik bei den Berliner Wasserbetrieben
Interne Expertise der Berliner Wasserbetriebe, 2004 (unveröffentlicht)
- [11] Hochstrate, K. Alterung und Erneuerung städtischer Erschließungsnetze
Arbeitsbericht des Instituts für Städtebau und Landesplanung, Universität Karlsruhe, 1986
- [12] Hochstrate, K. Zustandsbewertung nach Sanierungspriorität, Substanzwert und Funktionsgerechtigkeit als Grundlage einer prognosegestützten Inspektion und einer vorausschauenden Sanierungsplanung
6. Internationaler Kongress Leitungsbau, Hamburg, 2000
- [13] Hochstrate, K.
Jansen, K.
Schönborn, F. Finanzierung und Werterhaltung von Kanälen - Qualitätsprüfung selektiver Inspektionsstrategien nach DIN EN 752-5 durch Genehmigungsbehörden
Korrespondenz Abwasser, 1997, H. 11, S. 1971

Zustandserfassung und Hochrechnung

- [14] Hochstrate, K.
Schönborn, F. Finanzierung und Werterhaltung von Kanälen - Selektive Inspektionsstrategien
Umwelttechnologie Aktuell 1996, H. 3, S. 249
- [15] Hüben, S. Einflüsse auf die Qualität der Zustandsklassifizierung von Kanalhaltungen
Diplomarbeit am Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen (unveröffentlicht), 2002
- [16] IBAK Homepage der Fa. IBAK Helmut Hunger GmbH & Co. KG
<http://www.ibak.de>
- [17] Imhoff, L.
Beutner, E. Persönliches Gespräch
am Institut für Statistik und Wirtschaftsmathematik der RWTH Aachen,
7.2003
- [18] iPEK Spezial-TV Homepage der Fa. iPEK Spezial-TV GmbH & Co KG, Österreich
<http://www.ipek.at>
- [19] JT-elektronik Homepage der Fa. JT-elektronik GmbH, Deutschland
<http://www.jt-elektronik.de>
- [20] Kleiner, Y. Scheduling Inspection and Renewal of large Infrastructure Assets
Journal of Infrastructure Systems, 12.2001, S. 136
- [21] Korving, H. Impact of Failures of Sewage Pumps on Serviceability of Sewer Systems
17th European Junior Scientist Workshop,
Dresdner Beiträge zum Stadtbauwesen, Lehrstuhl Stadtbauwesen,
Technische Universität Dresden, 2003
- [22] Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg Leitfaden für kostenminimierende Instandhaltung von Kanalnetzen
Baden-Württemberg, 2000
- [23] Müller, K. Strategien der Zustandserfassung von Abwasserkanälen
Entwicklungen in der Kanalisationstechnik, Köln, 2004
- [24] Müller, K.
Dohmann, M. Entwicklung eines allgemein anwendbaren Verfahrens zur selektiven Erstinspektion von Abwasserkanälen und Anschlussleitungen
Abschlussbericht Teil A: wissenschaftliche Untersuchungen
Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen (ISA), 12/2002,
<http://www.isa.rwth-aachen.de>
- [25] Müller, K.
Dohmann, M. Entwicklung eines allgemein anwendbaren Verfahrens zur selektiven Erstinspektion von Abwasserkanälen und Anschlussleitungen
Abschlussbericht Teil C: Handlungsanleitung
Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen (ISA), 12/2002,
<http://www.isa.rwth-aachen.de>
- [26] N.N. Verordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landesentwicklung über Art und Häufigkeit der Eigenkontrolle von Abwasseranlagen und Abwassereinleitungen (EigenkontrollVO) vom 7. Oktober 1994
(SächsGVBl. Nr. 58 vom 14.11.1994, S. 1592)
- [27] N.N. Kanalsanierung in Deutschland bedarf Investitionen von 45 Mrd €
Europäischer Wirtschaftsdienst EUWID Wasser und Abwasser,
H. 15, 2002, S. 3
- [28] N.N. Verordnung des Ministeriums für Umwelt und Verkehr über die Eigenkontrolle von Abwasseranlagen (EKVO) vom 20. Februar 2001

- GBI. Baden-Württemberg Nr. 7, 3.2001, S. 309
- [29] N.N. Verordnung zur Selbstüberwachung von Kanalisationen und Einleitungen von Abwasser aus Kanalisationen im Mischsystem und im Trennsystem (SüwV Kan) vom 16. Januar 1995
GV.NW. Nr. 10,v02.1995, S. 4
- [30] Stein, D. Instandhaltung von Kanalisationen
Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, 3. Auflage, 1999
- [31] Stein, D.
Brauer, A.
Broziewski, A. Optische Zustandserfassung von Kanalisationen - volldigital oder analog?
Korrespondenz Abwasser, 2005, H. 3, S. 259
- [32] Stein, D.
Körkemeyer, K.
Brauer, A. Vergleichende Analyse des neuartigen PANORAMO Inspektionssystems mit den Standardverfahren zur Inspektion von Abwasserleitungen und -kanälen am Beispiel des ARGUS 4-Kamerasystems
Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH, Bochum, 2004
- [33] VDA Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie
Zuverlässigkeitssicherung bei Automobilherstellern und Lieferanten, Teil 2
Hrsg.: Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA),
3. Auflage 2000
- [34] Zielichowski-
Haber, W. Updating Failure Information for Pipeline Network
17th European Junior Scientist Workshop,
Dresdner Beiträge zum Stadtbauwesen, Lehrstuhl Stadtbauwesen,
Technische Universität Dresden, 2003