

Selektive Kanalinspektion - ein wirtschaftliches Verfahren für kurzfristig erzielbare Zustandsaussagen für strategische Planungen

1. Einleitung

Das Management eines Kanalnetzes erfordert nicht nur Entscheidungen, ob oder wann der Kanal in einer bestimmten Straße saniert wird, sondern vor allem auch flächendeckende, auf das gesamte Kanalnetz bezogene Analysen des Zustandes, des Sanierungsumfanges und insbesondere des Finanzbedarfes [6].

Für diese Planungen ist eine flächendeckende Übersicht über den baulichen Zustand des Kanalnetzes erforderlich.

Hier sind zwei Vorgehensweisen möglich, die auch in der DIN-EN 752-5 [3] aufgezeigt werden:

- vollständige, flächendeckende Untersuchung des Entwässerungsnetzes durch TV-Inspektion
- stichprobenartige Inspektion ausgewählter Kanalhaltungen mit anschließender Hochrechnung des Zustandsergebnisses auf das gesamte Kanalnetz (selektive Kanalinspektion)

Die flächendeckende Inspektion eines Kanalnetzes ist in der Regel ein Vorhaben, das sich über mehrere Jahre erstreckt. Die Eigenkontrollverordnungen vieler Bundesländer gestatten hier Zeiten von in der Regel 10 Jahren. Zuverlässige Aussagen über den Zustand des Netzes und die Erstellung eines übergeordneten Sanierungskonzeptes als Mittel des Kanalmanagements sind erst gegen Ende der Inspektion möglich.

Vorteile bietet hier die selektive Inspektion. Hier wird eine repräsentative Stichprobe im Umfang von ca. 10 % bis 20 % des Gesamtnetzes durch TV-Befahrung untersucht. Die gewünschten Zustandsaussagen stehen somit bereits nach relativ kurzer Zeit von 1 bis 2 Jahren für strategische Planungen für das Kanalnetz zur Verfügung. Zudem können im Anschluß an die selektive Inspektion gezielt Sanierungsschwerpunkte ermittelt und inspiziert werden. Die Finanzmittel für eine objektbezogene TV-Inspektion können damit effektiver eingesetzt werden und unnötige Mehrfachinspektionen vermieden werden.

Die selektive Kanalinspektion wurde bereits für verschiedene Kanalnetze angewandt [4] [2] und wird derzeit in einem vom BMBF geförderten Forschungsvorhaben an den Kanalnetzen der Kommunen bzw. Verbände Braunschweig, Marpingen/Saarland, Entsorgungsverband Saar und Ingolstadt (Hausanschlußkanäle) hinsichtlich Grundlagen, Vorgehensweise und Zuverlässigkeit untersucht [8].

2. Verfahren der selektiven Zustandsuntersuchung

2.1 Allgemeines

Die Vorgehensweise, von repräsentativen Stichproben auf die Grundgesamtheit zu schließen, ist als Hochrechnung allgemein bekannt und ist eine bei Wahlprognosen, amtlichen Statistiken, Markt- und Meinungsforschungen häufig genutzte Methode der beurteilenden Statistik.

Die Grundgesamtheit, im vorliegenden Fall ein bestimmtes Kanalnetz, wird durch eine größere Anzahl typischer Merkmale charakterisiert, die in unterschiedlicher Ausprägung auftreten können. Aus definierten Gruppen von Haltungen (sogenannten Schichten), die jeweils gleiche Merkmalsausprägungen aufweisen, werden bei dieser Methode dann Stichproben untersucht und deren Zustandsergebnis auf die Gesamtheit der Schicht respektive das Gesamtnetz hochgerechnet.

2.2 Schichtung des Netzes

Zur Einteilung des Gesamtnetzes in Schichten kommen alle verfügbaren Haltungsmerkmale in Betracht, die Einfluß auf den Kanalnetzzustand erwarten lassen, wie zum Beispiel

- Rohrdimension und Profilart
- Rohrmaterial und Verlegeart
- Boden- und Grundwasserverhältnisse
- Entwässerungssystem und Abwasserart (häuslich, gewerblich/industriell, aggressiv)
- Alter
- Tiefenlage der Kanäle und Lage im Verkehrsraum
- örtliche Besonderheiten im Bauablauf und/oder Betrieb (Sorgfalt der Erstellung in Verbindung mit Qualität der Überwachung, Art des Verbaus, Häufigkeit und Art der Wartung, Wartungsdefizite).

Außer der bloßen Differenzierung nach einzelnen Merkmalen (z.B. Rohrmaterial) steht die historische Entwicklung bestimmter Materialeigenschaften im Zusammenhang mit bestimmten Schadenstypen und damit dem Kanalzustand. Zu nennen sind hier die historische Entwicklung der Muffenausbildung von Betonrohren (Falzmuffen-Glockenmuffen), Dichtungen (Zementmörteldichtungen, Asphalt und andere Vergussmassen, plastische Dichtbänder bis zu Elastomerdichtungen), Einführung von Normen und Qualitätsrichtlinien. Eine konkrete Differenzierung erübrigt sich jedoch in der Regel, diese Merkmale im Wesentlichen über das Alter der Kanalhaltungen erfaßt werden. Ebenfalls werden zeitbedingte Veränderungen im Bauverfahren und Herstellungsqualität über das Alter erfaßt.

Bei den o.g. und gegebenenfalls weiteren Einflußmerkmalen ist zu berücksichtigen, ob und mit welchem Aufwand die einzelnen Merkmale erhoben werden können. Dies trifft insbesondere auf den letztgenannten Punkt „örtliche Besonderheiten“ zu, der kaum flächendeckend über die gesamte Geschichte des jeweiligen Kanalnetzes recherchiert werden kann. Zudem muß praktischerweise die Anzahl der Merkmale begrenzt werden, da jedes Merkmal jeweils in mehreren Ausprägungen auftritt und die Anzahl von Schichten durch die Kombination rapide ansteigt. So werden bei z.B. sieben Merkmalen mit je vier Ausprägungen theoretisch bereits bis zu $7^4 = 2.401$ Schichten erhalten.

Welche Merkmale im einzelnen zu berücksichtigen sind, hängt von zwei Faktoren ab

- dem Aufwand, mit dem ein bestimmter Parameter (z.B. flächendeckend ein Grundwasserstand) ermittelt werden kann. Steht nicht bereits ein hinreichend dichtes Netz an Grundwassermeßstellen zur Verfügung, muß von vornherein auf die Berücksichtigung dieses Merkmals verzichtet werden.

Ebenso sind örtliche Besonderheiten im Bauablauf (gute oder schlechte Ausführung) flächendeckend nicht erfaßbar.

- bei einigen der genannten Merkmale ist gegebenenfalls kein praktischer Einfluß auf den Kanalzustand nachweisbar, bzw. der Einfluß wird durch denjenigen anderer Einflüsse überdeckt.

Laß [7] stellt bei ihren Untersuchungen am Kanalnetz Braunschweig z.B. einen geringen Einfluß der Verkehrsbelastung fest. Zum gleichen Ergebnis kommen auch Baur und Hörold [2] bei ihren Untersuchungen.

Ausführlichere Untersuchungen zu der Relevanz von Merkmalen werden zur Zeit auch im Rahmen des genannten Forschungsvorhabens durchgeführt. Erste Ergebnisse werden in [7] diskutiert.

Da die Genauigkeit einer statistischen Aussage generell nicht vom relativen, sondern vom absoluten Stichprobenumfang abhängt (Eine 2%-ige Stichprobe aus einer Gesamtheit von 5.000 Elementen enthält deutlich mehr Informationen als eine 20%-ige Stichprobe aus einer Gesamtheit von 50 Elementen), ist die Anzahl der Schichten möglichst gering zu halten.

Nicht jede der theoretisch möglichen Kombination von Merkmalen tritt in der Praxis auch auf, so dass sich hierdurch bereits die Anzahl der Schichten verringert. Charakteristisch ist, dass in der Praxis bereits durch wenige, große Schichten ein Großteil des Netzes erfaßt wird. Ca. 50 % aller Schichten umfassen allerdings nur noch 1 bis 2 Kanalhaltungen.

Für das Kanalnetz Braunschweig (1.200 km) wurden insgesamt 10 Einflußmerkmale berücksichtigt. Hierdurch ergab sich durch die Kombination aller Merkmalsausprägungen eine Gesamtanzahl von rund 3.400 Schichten. Den erwähnten charakteristischen Zusammenhang zeigt **Bild 1**. Durch 170 Schichten werden bereits 50 % des Netzes erfaßt. Rund 1.700 Schichten sind nur mit 1 bis 2 Haltungen besetzt.

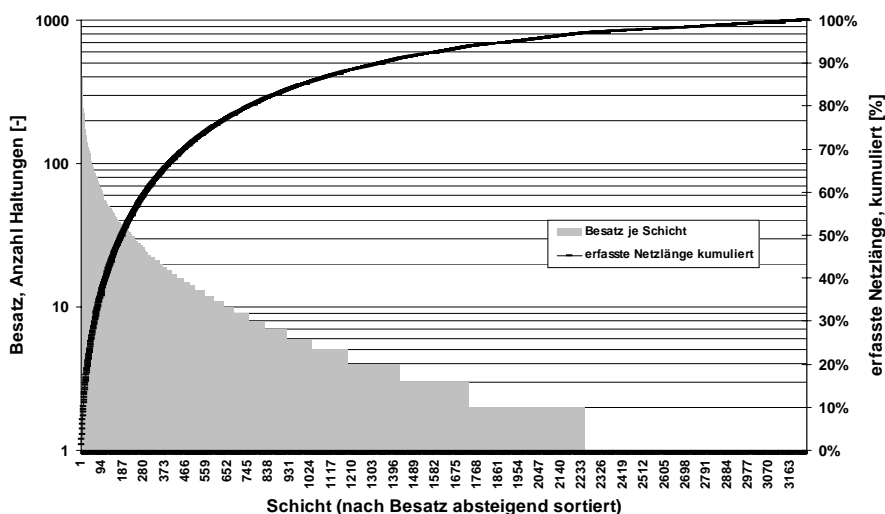


Bild 1: Besatz der Schichten und Anteil am Netzzumfang

Durch die Vernachlässigung von einzelnen Einflußmerkmalen werden daher mehrere Schichten zusammengefaßt, um so die Schichtenanzahl zu begrenzen. Letztendlich wurden 239 Schichten mit einem Besatz zwischen 150 und 490 Haltungen gebildet. Es kann davon ausgegangen werden, dass nach einer Analyse der Relevanz von Einflußmerkmalen einige vernachlässigbar sind und sich damit die Schichtenanzahl noch erheblich reduzieren läßt.

In einem zweiten Teilprojekt für ein ländliches Kanalnetz von 75 km (Gemeinde Marpingen) wurden bei der Berücksichtigung von 8 Merkmalen 59 Schichten erhalten.

2.3 Festlegung der Stichproben

Stichproben müssen grundsätzlich zufällig und repräsentativ bezüglich der Grundgesamtheit sein. Die als Stichproben zu untersuchenden Haltungen werden zufällig aus den Netzteilen, die eine entsprechende Schicht repräsentieren, in erforderlicher Anzahl ausgewählt und inspiziert.

Die Anzahl der erforderlichen Stichproben je Schicht hängt dabei von der erwarteten Streuung der Meßwerte, der gewünschten Zuverlässigkeit der Ergebnisse (je höher die Stichprobe desto zuverlässiger ist das Ergebnis) und der vorgesehenen Auswertung (welche Art von Informationen erhalten werden soll) ab. Der Stichprobenumfang betrug bei dem Kanalnetz Braunschweig rund 10 % des Netzes, bei dem kleineren, ländlichen Netz Marpingen rund 16 % des Netzes.

Neben der Zuverlässigkeit der Stichprobe sind allerdings auch logistische Aspekte zu berücksichtigen. Eine Inspektion von Haltungen, die einzeln über das ganze Kanalnetz verstreut sind, ist zu vermeiden. Nach einem vorgegebenen Algorithmus werden für die Stichprobenziehung zusammenhängende Kanalstränge mit mehreren hundert Metern Länge ausgewählt und die Haltungen aus unterschiedlichen Schichten enthalten.

Die TV-Inspektion der als Stichprobe ausgewählten Kanalhaltungen für das Netz Braunschweig wird derzeit noch durchgeführt. Auswertbare Ergebnisse liegen noch nicht vor. Die Inspektion für das ländliche Kanalnetz Marpingen ist dagegen bereits abgeschlossen und die Zustandsuntersuchungen sind bewertet und klassifiziert.

2.4 Übertragung auf das Gesamtnetz

Die Ergebnisse der Zustandsklassifizierung der Stichprobe werden dann auf die Grundgesamtheit, das heißt das gesamte Kanalnetz hochgerechnet. Die verfügbaren statistischen Zustandsinformationen werden an dem Beispiel des untersuchten ländlichen Kanalnetzes aufgezeigt.

Die Zustandsklassifizierung erfolgte in einem 6-stufigen System unter dem Gesichtspunkt der Dringlichkeit der Schadensbeseitigung (bauliche Priorität).

Klasse	Handlungsbedarf
1	umgehend
2	kurzfristig
3	mittelfristig
4	langfristig
5	kein Handlungsbedarf
6	keine Mängel

Tabelle 1: Definition der Zustandsklassen nach Dringlichkeit

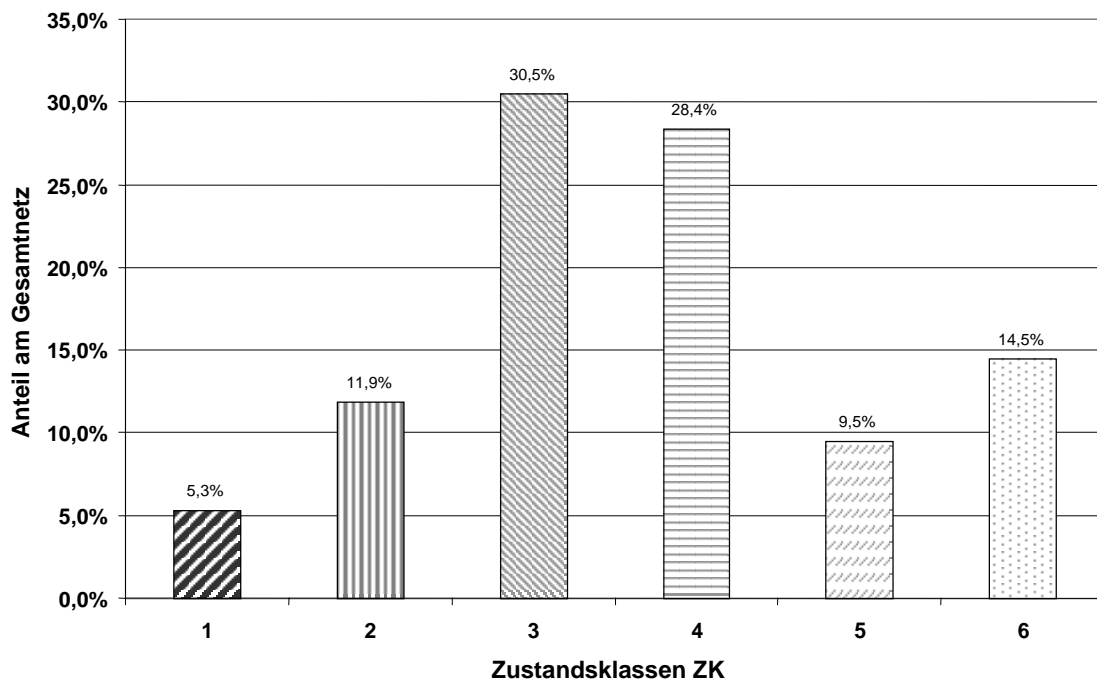


Bild 2: prognostizierte Zustandsverteilung im Gesamtnetz

Bild 2 zeigt die prognostizierte Zustandsverteilung nach der Hochrechnung für das gesamte Kanalnetz. Entsprechend der Definition der Zustandsklassen ist eine Sanierungserfordernis für ca. 17 % der Kanalhaltungen (ZK1 und 2) vorhanden. Auf Basis dieser relativen Verteilung bzw. den entsprechenden Längenanteilen je Zustandsklasse sowie der dahinterliegenden Altersverteilung sind jetzt Alterungsprognosen und die Erarbeitung von Sanierungs- und Finanzierungsstrategien möglich [6].

Detaillierter sind schichtenbezogene Zustandsverteilungen (**Bild 3**). Hieraus lassen sich schichtenspezifische statistische Schätzwerte wie arithmetischer Mittelwert oder Median der Zustandsklassen mit entsprechenden Vertrauensbereichen berechnen.

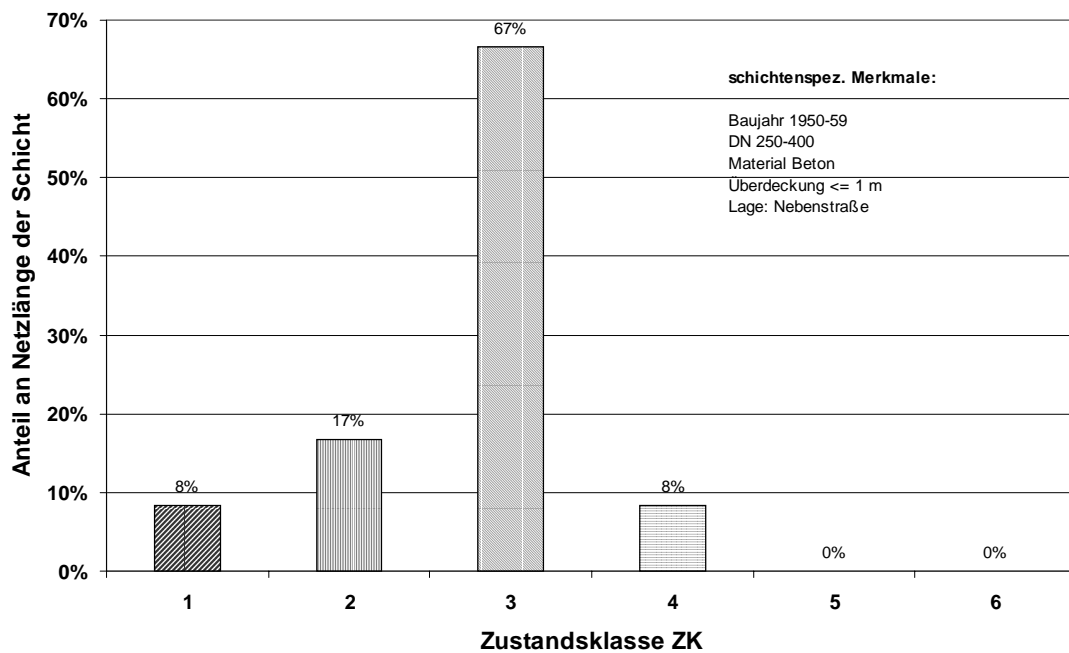


Bild 3: Beispiel der prognostizierten Zustandsverteilung für eine Schicht

Die Gegenüberstellung von derartigen statistischen Schätzwerten für Schichten, die sich lediglich in einem Merkmal (z.B. Tiefenlage/Überdeckung des Kanals) unterscheiden zeigt, ob netzspezifische Abhängigkeiten des Zustandes von dem Merkmal vorliegen:

Baujahr	Überdeckung (Tiefenlage)			
	1-2 [m]		2-4 [m]	
	MW	SF	MW	SF
1950-59	3,5	0,29	2,7	0,15
1960-69	3,7	0,54	3,4	0,32
1970-79	3,3	0,55	3,3	0,14
1980-89	4,1	0,33	3,2	0,64

MW: arithmetischer Mittelwert der Zustandklasse

SF: Standardfehler des Mittelwertes

Tabelle 2: Mittelwert der Zustandklasse bezogen auf das Merkmal Tiefenlage des Kanals

Diese Aufstellung zeigt über alle Altersklassen die gleiche tendenzielle Abhängigkeit des Mittelwertes der Zustandsverteilung von der Tiefenlage. Der mittlere Zustand der Kanäle mit 2 bis 4 m Überdeckung ist durchschnittlich um 0,5 Zustandsklassen schlechter als bei Kanälen geringerer Überdeckung. Der Einfluß der Tiefenlage ist dabei ausgeprägter und eindeutiger als derjenige des Kanalalters. Ähnliche Auswertungen über die Relevanz von einzelnen Merkmalen können für die meisten Merkmale durchgeführt werden.

Für die einzelnen Haltungen des Kanalnetzes können die jeweiligen schichtenspezifischen Schätzwerte des Zustandes angegeben werden. Es sind dies der arithmetische Mittelwert der

Zustandsklasse bzw. bei schiefen Zustandsverteilungen der Medianwert. Er gibt die Zustandsklasse an, die von genau 50 % der Haltungen unter- bzw. überschritten wird.

Von besonderer praktischer Bedeutung ist ein Mindestzustand für jede Haltung, der mit einer zu definierenden Sicherheit nicht unterschritten wird. Er kennzeichnet, ob für eine bestimmte Schicht ausgeschlossen werden kann, dass sie Haltungen mit Schäden beinhaltet, die z.B. in die Einstufung ZK1 führen und somit ein sofortiger Handlungsbedarf besteht. Diese Schichten stehen bei weiteren TV-Inspektionen dann prioritätsmäßig an erster Stelle, um die konkreten Schäden feststellen und beseitigen zu können.

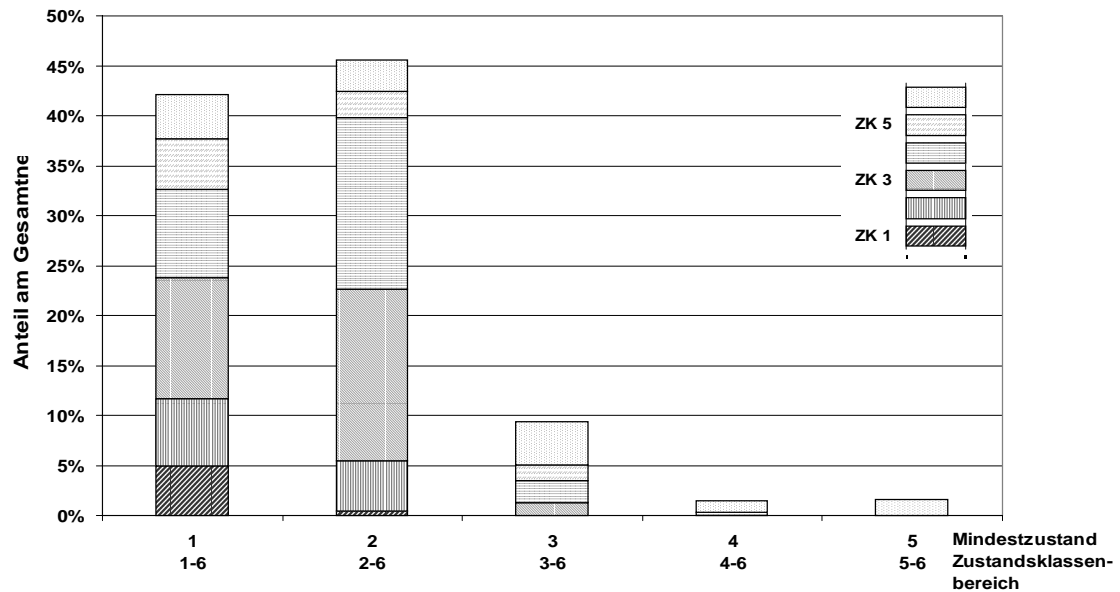


Bild 4: Kanalnetzanteile mit definiertem Mindestzustand und prognostizierten Zustandsanteilen

Den prozentualen Anteil von Haltungen dieser Schichten am Gesamtnetz zeigt **Bild 4**. Die Darstellung dieser statistischen Werte bestätigt die konkrete Beobachtung der Stichproben, nach der für 29 von 58 Schichten mindestens 5 % der Haltungen in Zustandsklasse 1 liegen.

Ca. 42 % des Netzes (Mindestzustand 1) beinhalten Haltungen aller Zustandsklassen 1 bis 6. In diesen Netzteilen sind fast alle (mit 95%-iger Sicherheit) Haltungen der Zustandsklasse 1 enthalten. Diese Netzteile sind nun bekannt und sollten vordringlich inspiziert werden, um die Schäden konkret festzustellen und beseitigen zu können. Die „Trefferquote“ an kurzfristig sanierungsbedürftigen Kanälen (ZK1 und 2) beträgt hier ca. 28 %. Die TV-Befahrung ist daher deutlich effektiver, als wenn sie ohne Kenntnis dieser Schwerpunkte erfolgt (mittlere Trefferquote 17 %).

Ca. 45 % des Netzes (Mindestzustand 2) beinhalten Haltungen der Zustandsklassen 2 bis 6. Hier sind mit 95%-iger Sicherheit keine Kanäle der Zustandsklasse 1 mehr enthalten, allerdings enthält dieser Netzabschnitt noch rund 10 % Haltungen der Zustandsklasse 2, so dass dieser Block im Anschluß zu inspizieren ist.

Für den übrigen Netzbereich (ca. 17 %) mit Mindestzustand 3 und besser besteht zur Zeit kein Inspektions- und Handlungsbedarf.

Für eine weitere Methode für eine verbesserte Inspektionsplanung auf Grund von Alterungsprognosen wird noch mal auf [2] verwiesen.

3. Zuverlässigkeit der Aussagen selektiver Zustandsuntersuchungen

Im Rahmen des genannten Forschungsvorhabens werden neben den TV-Inspektion der Stichproben zusätzliche Haltungen und Netzteile untersucht. An den Ergebnissen dieser zusätzlichen Inspektionen werden die zuvor durch die Prognose erhaltenen Ergebnisse überprüft. Diese Untersuchungen sind zur Zeit noch in Bearbeitung. Dennoch werden für einige Schichten die Ergebnisse für Prognose und TV-Inspektion gegenübergestellt.

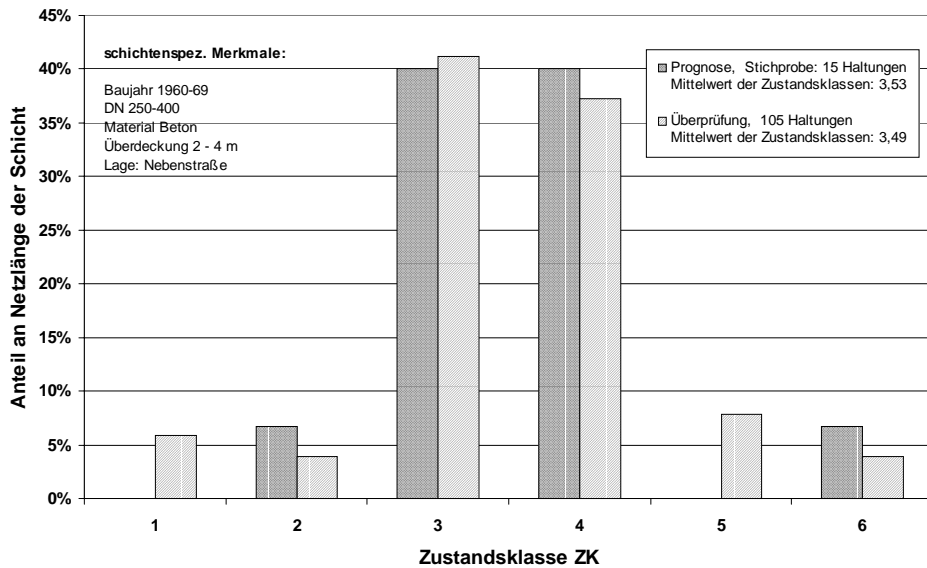


Bild 5: Vergleich der prognostizierten und durch Inspektion festgestellten Zustandsverteilung einer Schicht

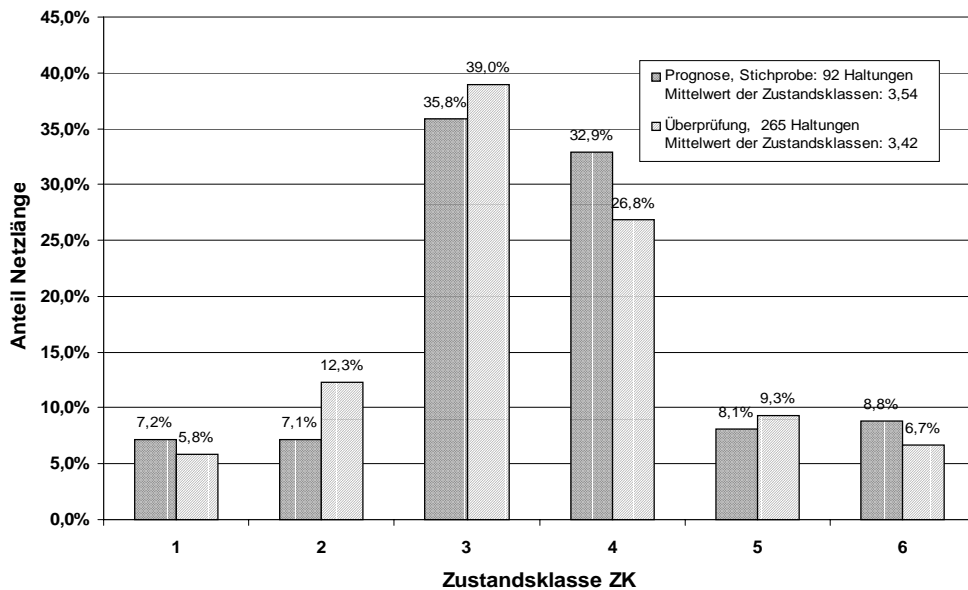


Bild 6: Vergleich der prognostizierten und durch TV-Inspektion festgestellten Zustandsverteilung der überprüften Schichten

Aus insgesamt fünf Schichten wurden weitere Inspektionen mit einem Umfang zwischen 33 Haltungen (90 % der Schicht) und 105 Haltungen (55 % der Schicht) je Schicht durchgeführt. **Bild 5** zeigt die Ergebnisse der Überprüfung für eine Schicht mit sehr charakteristischer Zustandsverteilung. Die Charakteristik wurde bereits durch eine Stichprobe von 15 Haltungen erstaunlich zutreffend prognostiziert. Die Differenz der Mittelwerte der Zustandsklassen zwischen Prognose und Überprüfung beträgt lediglich 0,04 Zustandsklassen. Bei den anderen Schichten treten Differenzen der Mittelwerte bis zu 0,3 Zustandsklassen auf.

Den Vergleich zwischen Prognose und Überprüfung für alle fünf Schichten zeigt **Bild 6**. Durch die Überlagerung der einzelnen Schichten werden die vorhandenen Differenzen weitgehend ausgeglichen und eine insgesamt gute Übereinstimmung zwischen Prognose und Inspektion erhalten. Die Differenz der Mittelwerte der Zustandsklassen beträgt lediglich 0,1 Zustandsklassen.

4. Zusammenfassung

Über eine selektive Inspektionsstrategie ist es in relativ kurzer Zeit möglich, eine Zustandsübersicht über ein komplettes Kanalnetz für strategische Planungen zu erhalten, da für diese Aussage lediglich ca. 10 % bis 20 % des Kanalnetzes inspiziert werden müssen.

Die Vorgehensweise und die zu berücksichtigenden Randbedingungen werden erläutert. Erste Ergebnisse aus einem vom BMBF geförderten, derzeit noch laufenden Forschungsvorhaben werden vorgestellt. Vergleiche zwischen prognostizierten und durch TV-Befahrung erhaltenen Zustandsergebnissen werden gezeigt. Die dargestellten Zustandsverteilungen von Prognose und Inspektion zeigen einen deutlich ähnlichen Verlauf. Über den gesamten, durch weitere Inspektionen überprüften Netzbereich liegt die mittlere Abweichung zwischen Prognose und Inspektion bei ca. 0,1 Zustandsklassen.

Mit dem vorgestellten Verfahren können somit schnell und wirtschaftlich mit hinreichender Genauigkeit die notwendigen Zustandsinformation für Sanierungsstrategien für Kanalnetze, das heißt die Feststellung des erforderlichen Sanierungsumfanges, des Alterungsverhaltens und des notwendigen Finanzbedarfs zur Sanierung und Instandhaltung, bereitgestellt werden.

Literaturhinweise

- [1] ATV: Sanierungsstrategien für öffentliche Kanäle, Arbeitsbericht der ad-hoc Arbeitsgruppe der ATV „Sanierungsstrategien“, Stand August 2000

- [2] Baur, R.; Hörold, S.: Verbesserte Inspektionsplanung durch Alterungsprognosen für Kanaltypen, vorgesehen in Korrespondenz Abwasser, 1. Quartal 2001

- [3] DIN-EN 752: Entwässerungssystem außerhalb von Gebäuden, Teil 5, November 1997

- [4] Hartwig, E.; Krug, R.: Finanzierung und Werterhaltung von Kanälen - Selektive Kanalinspektion im VW-Werk Wolfsburg, Korrespondenz Abwasser, 1998 (45), Nr. 8, Seite 1482 - 1488

- [5] Hartwig, E.; Krug, R.: Selektive Inspektionsstrategie und statistisch/prognostische Sanierungsmodelle, Korrespondenz Abwasser 1999 (46), Nr. 11, S. 1703 - 1708

- [6] Herz, R.; Krug, R.: Sanierungsbedarf und Sanierungsstrategien für Abwassernetze. 11. Leipziger Bauseminar, Oktober 2000

- [7] Laß, K.: Selektive Inspektion kommunaler Abwasserkanäle. Ermittlung von Einflußfaktoren für die Qualität von Zustandsprognosen. Diplomarbeit am Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISA) der RWTH Aachen, 2000.

- [8] Müller, K.; Krug, R.: Selektive Inspektion als Grundlage für Betrieb, Unterhaltung und Sanierung. 3. Tagung „Entwicklungen in der Kanalisationstechnik“, Köln, September 1999

- [9] Müller, K.: Profitable Prognose. Zuverlässige Daten über den Sanierungsbedarf per selektive Kanalinspektion. Entsorga-Magazin, 1/2 2000, Seite 25 - 29