

Selektive Inspektionsstrategie und statistisch/prognostische Sanierungsmodelle

Dr.-Ing. R. Krug, Saarbrücken

1. Problemstellung und Zielsetzung

Gängige Praxis zur Feststellung des baulichen Zustandes von Kanalnetzen ist derzeit die Kanalinspektion durch Kanal-TV. Ergänzend kommen häufig Dichtigkeitsprüfungen hinzu. Zustandsaussagen werden im wesentlichen für zwei Planungszwecke benötigt:

1. Zustandsfeststellung bestimmter Netzelemente (Kanalhaltungen) als Grundlage für die konkrete baureife Sanierungsplanung.
2. Flächendeckende Zustandsübersicht als Grundlage für eine Analyse der Zustands- und Kostenentwicklung sowie des insgesamt erforderlichen Sanierungsumfangs des Kanalnetzes bzw. von Teilnetzen.

Für die baureife Sanierungsplanung nach Punkt 1) ist auf jeden Fall eine aktuelle TV-Inspektion erforderlich. Sanierungsmaßnahmen, die auf der Grundlage mehrerer Jahre alter Inspektionsbefunde geplant werden, können sich bei der Ausführung oft als nicht ausführbar, nicht mehr ausreichend oder als unwirtschaftlich herausstellen, weil sich der Kanalzustand zwischenzeitlich erheblich verschlechtert hat.

Für die flächendeckende Zustandsübersicht nach Punkt 2) kann der bauliche Zustand durch eine Vollerfassung des Netzzustandes oder durch eine selektive Teilerfassung mit repräsentativer Hochrechnung erstellt werden.

Eine Vollerfassung des Netzzustandes nimmt bei großen Kanalnetzen oft einen Zeitraum von 5 bis 10 Jahren in Anspruch. Aussagen über ein durchgängiges Sanierungskonzept und dessen Kosten können dabei erst nach der weitgehend vollständigen Zustandserfassung, also am Ende der flächendeckenden Erstinspektion, getroffen werden. Liegen Selbstüberwachungsverordnungen vor, dürfte dies ca. 10 Jahre nach Beginn der Inspektion sein. Für Bundesländer, die keine planmäßige Inspektion fordern, ist nicht abzuschätzen, wann die Kanalisation vollständig inspiziert sein wird. Wenn schließlich das gesamte Netz inspiziert ist, wird ein Teil der Inspektionsergebnisse bereits veraltet und somit für die Sanierungsplanung nicht mehr ohne weiteres verwertbar sein. Dies bedeutet, daß zu einem ohne Sanierungskonzept die Haushaltsplanung über Jahre hinweg mit entsprechenden Ungenauigkeiten behaftet ist und zum anderen, daß die als sanierungsbedürftig eingestuftten Haltungen in der Regel vor Ausschreibung der Maßnahme wiederholt inspiziert werden müssen.

Im Anschluß an die Ersterfassung des Gesamtnetzes erfolgt die flächendeckende Wiederholungsinspektion. Dabei werden Haltungen unabhängig von ihrem Zustand und ihrer Alterung turnusmäßig erneut untersucht.

Wird die durchschnittliche Lebensdauer von Kanälen (50 – 100 Jahre) [7] zugrundegelegt, sind jährlich etwa 1 – 2 % der Netzlänge von Sanierungsmaßnahmen betroffen. Bei einem Inspektionsvolumen von 10 % der Netzlänge pro Jahr führen also lediglich 10 – 20 % der Inspektionsbefunde unmittelbar zu Sanierungsmaßnahmen, während die restlichen 80 – 90 % der Inspektionsbefunde wegen geringer Priorität zunächst keine Maßnahmen nach sich ziehen. Im Ergebnis führt die wiederholte flächendeckende Zustandsuntersuchung von Kanalnetzen dazu, daß jede Haltung etwa fünf mal inspiziert wird, bevor eine Sanierungsmaßnahme erforderlich wird. Aufgrund dieser Problematik lohnt es sich, effizientere Strategien für Erst- und Wiederholungsinspektion im Rahmen der Eigenüberwachung zu entwickeln.

Eine Möglichkeit ist die Zustandsfeststellung über eine selektive Vorgehensweise bei der Kanalinspektion mit statistischer und prognostischer Auswertung. In Deutschland wurde diese Vorgehensweise bislang kaum zur Zustandsbeurteilung in der Kanalisation angewendet. Im europäischen Ausland wurde die selektive Kanalinspektion bereits seit mehreren Jahren publiziert und angewendet [10]. Die europäische Norm DIN-EN 752, Teil 5, (Nov. 1997) zeigt im Abschnitt 7.5.1 beide Möglichkeiten auf: „Die baulichen Untersuchungen können entweder eine vollständige Untersuchung des Entwässerungssystems oder eine selektive Vorgehensweise umfassen.“

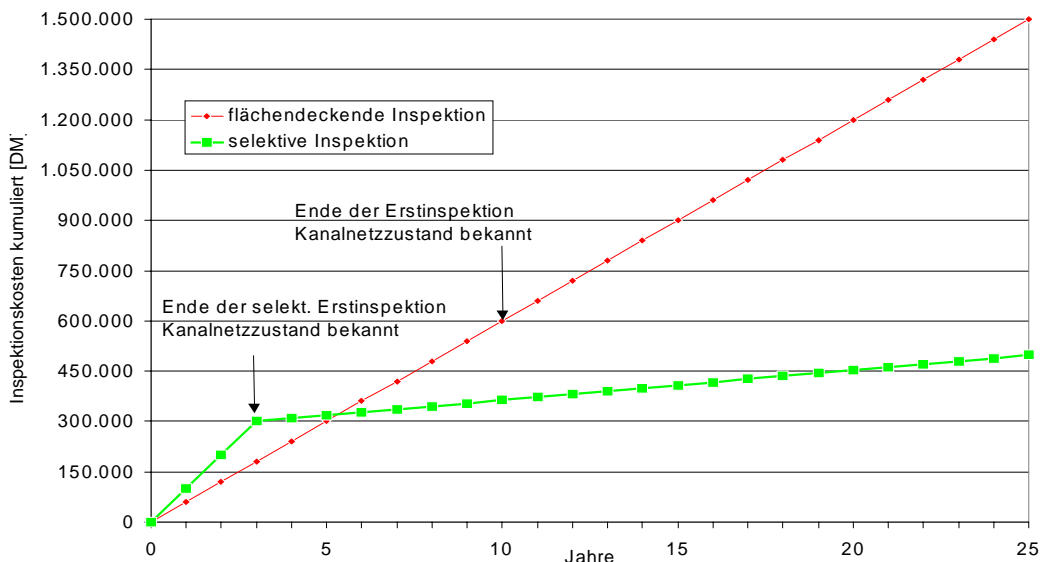


Bild 1: Vergleich der Inspektionskosten für 100 km Kanalnetz bei flächendeckender und selektiver Inspektion

Da zunächst nur Teile des Kanalnetzes untersucht werden, reduziert sich der Inspektionsaufwand erheblich, die Zustandsaussagen stehen schneller zur Verfügung und sind aktueller. Einschließlich der Berücksichtigung von Wiederholungsinspektionen können durch die selektive Inspektion innerhalb von 25 Jahren die Kosten für Kanalinspektionen um 2/3 reduziert werden.

Angewendet wurde das Verfahren bereits für Untersuchungen der Zustands- und Kostenentwicklung der Kanalnetze der VW-Werke in Wolfsburg [2], Braunschweig und Emden.

Dennoch besteht für eine allgemein verbreitete Anwendung noch Forschungsbedarf. Die Grundlagen für ein allgemein anwendbares Verfahren sowie eine eingehende Verifizierung der prognostizierten Zustandswerte sollen in einem vom BMBF geförderten Forschungsvorhaben in Zusammenarbeit mit der RWTH Aachen für die Kanalnetze der Stadt Braunschweig, des Entsorgungsverbandes Saar, der Stadt Ingolstadt und der Gemeinde Marpingen (Saarland) erarbeitet werden.

2. Methode der selektiven Inspektionsstrategie

2.1 Allgemeines

Bei der Methode der selektiven Inspektionsstrategie werden repräsentative Stichproben untersucht und die Ergebnisse auf das Gesamtnetz hochgerechnet. Dabei werden die charakteristische Merkmale des jeweiligen Netzes berücksichtigt, indem die Stichprobenziehung und Hochrechnung der Ergebnisse jeweils für einzelne Netztypen (Schichten) mit gleicher Merkmalsausprägung erfolgt (geschichtete Stichprobe).

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 Grad der Verkehrsbelastung
- örtliche Besonderheiten im Bauablauf und/oder Betrieb (Sorgfalt der Erstellung in Verbindung mit Qualität der Überwachung, Art des Verbaues, Häufigkeit und Art der Wartung, Wartungsdefizite).

Jedes Merkmal (z.B. Entwässerungssystem) kommt in verschiedenen Ausprägungen (RW, SW, MW) vor.

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 (Zementmörteldichtung, Asphalt und andere Vergußmaßen, plastische Dichtbänder bis zu Elastomerdichtungen), Einführung von Normen und Qualitätsrichtlinien.

Eine konkrete Differenzierung erübrigt sich jedoch in der Regel, da diese Merkmale mit einem gewissen Unschärfegrad über das Alter der Kanalhaltungen erfaßt werden. Ebenfalls werden zeitbedingte Veränderungen im Bauverfahren und Herstellungsqualität über das Alter erfaßt.

Zu beachten ist, daß die Anzahl der Schichten mit jedem zusätzlich zu berücksichtigenden Segmentierungsmerkmal um den Faktor der Anzahl der Ausprägungen zunimmt. Bei z.B. 7 Merkmalen à 4 Ausprägungen kann die theoretische Anzahl der Schichten $7^4 = 2401$ betragen. Da jedoch oft nicht jede Ausprägung eines Merkmals mit jeder Ausprägungen eines anderen Merkmals in Kombination auftritt, ist praktisch die Anzahl der Schichten erheblich geringer. Dennoch ist es notwendig, kritisch zu prüfen, ob ein Segmentierungsmerkmal praktisch relevant ist, um die Anzahl der Schichten so gering wie möglich zu halten. Weiterhin ist zu berücksichtigen, für welche der grundsätzlich relevant erscheinenden Segmentierungsmerkmale die Datengrundlage mit vertretbarem Aufwand ermittelt werden kann.

Bei den bisher durchgeführten Projekten betrug letztendlich die Anzahl der Schichten, nach der bei der Prognose differenziert wurde, zwischen 65 und 100.

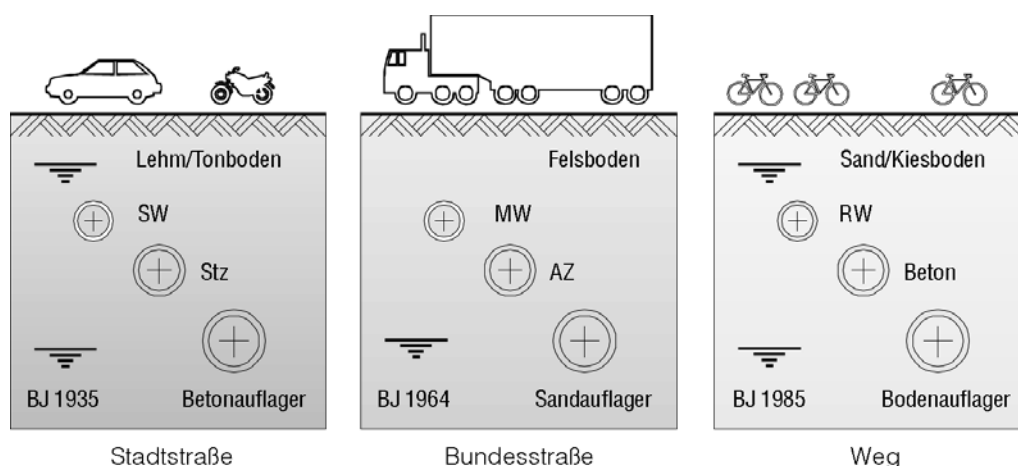


Bild 2: Schichtenbildung mit repräsentativen Merkmalen

2.3 Stichproben der TV-Untersuchung

Die Genauigkeit einer statistischen Aussage hängt generell nicht vom relativen sondern dem absoluten Stichprobenumfang ab. So enthält eine 2%ige Stichprobe aus einer Gesamtheit von 5000 Elementen, das heißt 100 Stück, wesentlich mehr Informationen als eine 20%ige Stichprobe aus 50 Elementen, das heißt 10 Stück.

Stichproben müssen grundsätzlich zufällig und repräsentativ bezüglich der Grundgesamtheit sein. Die Verwendung bereits vorhandener Untersuchungen ist daher sorgfältig zu prüfen. Damit sie als Teil einer repräsentativen Stichprobe verwendet werden können, ist zu überprüfen und abzusichern, daß ihre Auswahl von dem auszuwertenden Merkmal (sprich Kanalzustand) stochastisch unabhängig erfolgt.

Die als Stichproben zu untersuchenden Haltungen werden daher zufällig aus den Netzteilen, die eine entsprechende Schicht repräsentieren, in erforderlicher Anzahl ausgewählt und durch TV-Befahrung inspiziert. Neben der Zufälligkeit der Stichprobe sind dabei auch logistische Aspekte zu berücksichtigen. Eine Inspektion von Haltungen, die einzeln über das ganze Netz verstreut sind, sollte vermieden werden. Vielmehr wird man dabei ganze oder größere Teile von Strängen auswählen, um eine effektive Inspektion zu ermöglichen.

Die Zustandsbewertung und Klassifizierung erfolgt EDV-gestützt nach dem geforderten Klassifizierungsziel. Dieses Ziel kann z.B. entweder die Darstellung der baulichen Priorität (Sanierungsdringlichkeit), eine netzwertbezogene Klassifizierung (technische Wertminderung) oder eine Klassifizierung nach anderen Gesichtspunkten sein. In den beigefügten Diagrammen ist jeweils die Bewertung nach baulicher Priorität mit einer Einteilung in 6 Zustandsklassen (ZK 1: schwerste Schäden, ZK 6: schadensfrei) dargestellt.

2.4 Übertragung der Ergebnisse auf das Gesamtnetz und Auswertung

Die Ergebnisse der Zustandsbewertung der Stichprobe werden anschließend auf die Grundgesamtheit (alle Kanäle) hochgerechnet. An statistischen Zustandsinformationen stehen dann zur Verfügung

- die prognostizierte Zustandsverteilung im Gesamtnetz, in einzelnen Schichten (Netzteilen) oder differenziert nach einzelnen Merkmalen (Bild 3 und 4). Insbesondere die Zustandsverteilung nach einzelnen Merkmalen zeigt, ob die vorab angenommene Abhängigkeit des Kanalnetzzustandes von bestimmten Merkmalen tatsächlich gegeben ist.

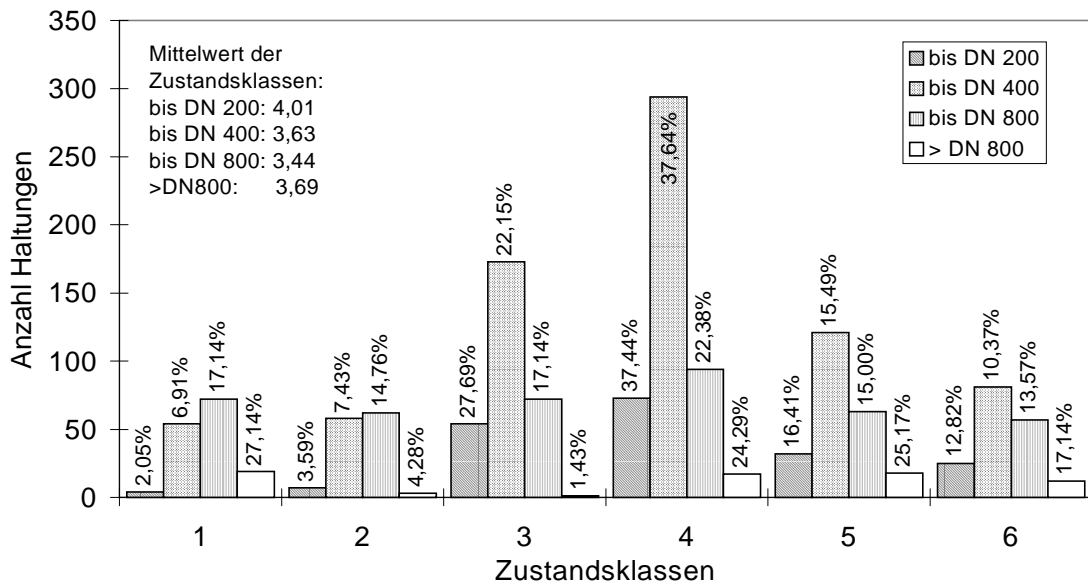
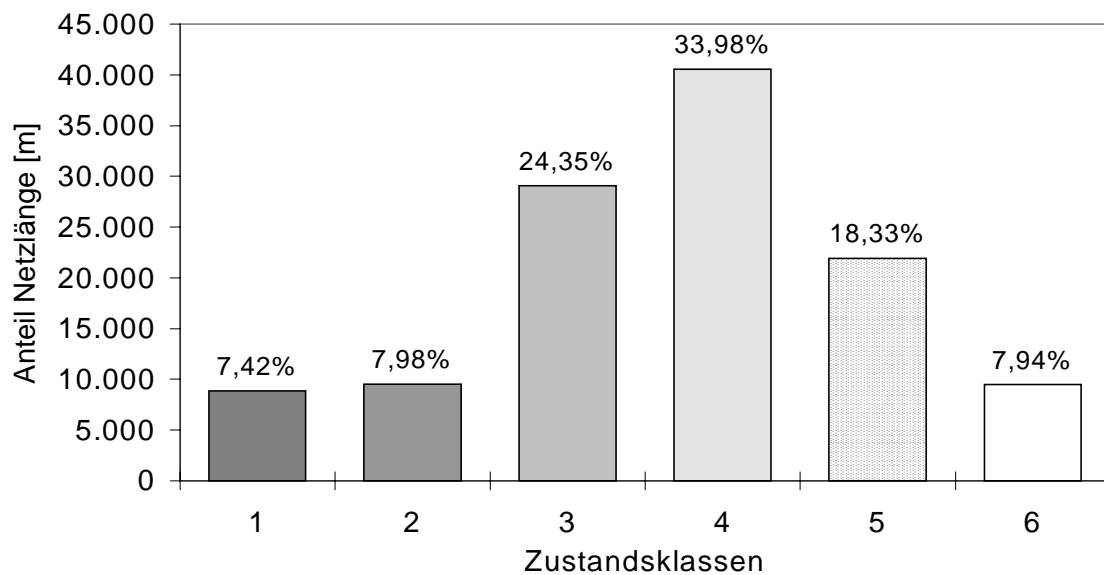


Bild 3: Zustandsklassenverteilung (Prognose) im Gesamtnetz

Bild 4: Zustandsverteilung (Prognose) im Gesamtnetz nach Durchmessergruppen



- haltungsbezogene Schätzwerte bzgl. des Zustandes
 - Ein schichtenspezifischer arithmetischer Mittelwert der Zustandsklasse. Zu diesem Mittelwert existiert ein Vertrauensbereich, der die zulässige Streuung des tatsächlichen Mittelwertes um den prognostizierten Wert in Abhängigkeit des Stichprobenumfanges angibt.
 - Bei schiefen Zustandsverteilungen kann zudem der Medianwert (Zentralwert) berechnet werden. Er gibt die Zustandsklasse an, die von genau 50 % der Haltungen unter- bzw. überschritten wird. Bei starker Schiefe der Verteilung gibt er eventuell ein zutreffenderes Bild als der im folgenden verwendete arithmetische Mittelwert.
 - Ein Mindestzustand für jede Haltung, der mit einer zu definierenden Sicherheit nicht unterschritten wird. Die Ermittlung erfolgt aufgrund der beobachteten Streuung der Zustandsklassen um den Mittelwert.

Beispiel: Die Haltungen der Schicht y weisen eine mittlere Zustandsklasse von $\bar{x} = 3,5$ auf. Der Vertrauensbereich (95%-ige Sicherheit) des Mittelwertes beträgt $\mu = 0,3$. Der Mindestzustand der Haltungen, der mit 95 %-iger Sicherheit nicht unterschritten wird, beträgt $ZK_{min} = 2,1$.

Bild 5 zeigt eine Grafik der Netzanteile in bestimmten Zustandsklassenbereichen für eine 95%-ige Sicherheit. In 33 % des nicht inspizierten Netzes können alle Zustandsklassen von 1 bis 6 vertreten sein. Dieser Anteil ist im vorliegenden Fall verhältnismäßig hoch und war aufgrund der Altersstruktur auch zu erwarten. Er konzentriert sich vor allem aber nicht ausschließlich auf die alten Netzbereiche, die rund 1/3 des Kanalnetzumfanges ausmachen.

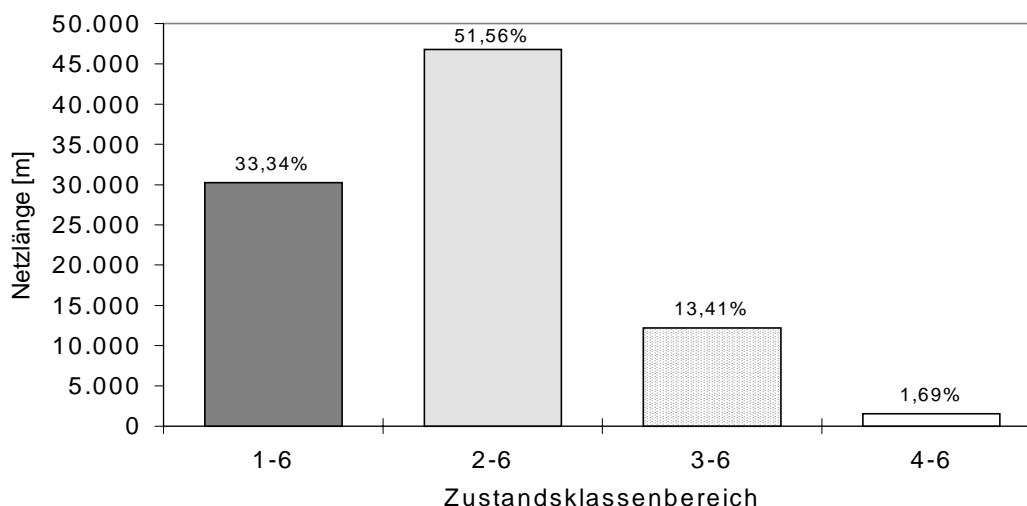


Bild 5: prognostizierter Mindestzustand der nichtinspizierten Kanäle

Rund 51 % des Netzes liegen im Zustandsklassenbereich 2 bis 6. Mit 95%-iger Sicherheit kann hier ausgeschlossen werden, daß in diesem Netzbereich schwere Schäden vorhanden sind, die zu einer Einstufung in Zustandsklasse 1 führen.

Rund 13,4 % bzw. 1,7 % des Netzes liegen im Zustandsklassenbereich 3 bis 6 bzw. 4 bis 6. Schwere Schädigungen, die zu Zustandsklassen 1 und 2 bzw. 1 bis 3 führen, sind in diesen Netzbereichen nicht zu erwarten. Ein kurzfristiger Überwachungs- und Sanierungsbedarf ist hier nicht vorhanden.

3. Planungen auf Basis der Ergebnisse der selektiven Inspektionsstrategie und weitere Vorgehensweise

Für kurzfristige und mittelfristige Haushalts- und Budgetplanungen können nun auf Basis der differenzierten merkmalspezifischen Zustandsverteilungen (Zustandsabhängigkeit von Alter, Profilart und -größe, Rohrmaterial und Lage der Kanäle) für entsprechende technische und finanzielle Rahmenbedingungen

- Anteil unterschiedlicher Sanierungsmethoden in Abhängigkeit von z.B. Zustand, Alter, Größe und Lage der Kanäle
- spezifische Kostenfunktionen für verwendete Sanierungsmethoden in Abhängigkeit von z.B. o.g. Parametern

der erforderliche aktuelle Sanierungsumfang mit Kostenangaben für das Gesamtnetz und Teilnetz ermittelt werden. Für diese Planungen wird zweckmäßigerweise eine Zustandsbewertung und Klassifizierung hinsichtlich der technischen Wertminderung zugrunde gelegt, bei welcher der Gesamtschadensumfang einer Haltung und nicht der stärkste -und eventuell einzigste- Einzelschaden die Klasseneinstufung bestimmt. Die Entwicklung des notwendigen Sanierungsumfanges und der Kostenentwicklung in die Zukunft kann ebenfalls auf der genannten Datenbasis durch Alterungsmodellierung aufgezeigt werden [3, 6].

Desweiteren können Netzübersichten erstellt werden, die den mittleren Zustand der Haltungen je Schicht dokumentiert. Diese Darstellung zeigt vor allem die Größe und Priorität des Sanierungsbedarfes auf.

Auf der Basis des Mindestzustandes, der für jede Haltung angegeben werden kann, kann die Priorität, der Umfang, sowie die zeitliche und örtliche Verteilung der in den nächsten Jahren durchzuführenden TV-Untersuchungen für die konkrete Sanierungsplanung (Inspektionsplan) erarbeitet werden. Dabei werden zielgerichtet zuerst die Haltungen inspiziert, bei denen Schäden der Zustandsklasse 1 (bauliche Priorität) nicht ausgeschlossen sind (95%-Erwartungswert < ZK 2) (→ größte Inspektionsdringlichkeit) und welche die schlechteste mittlere Zustandsklasse (technische Wertminderung) (→ größter Sanierungsbedarf) aufweisen. In entsprechender Folge ist die Inspektionspriorität zu reihen. Längerfristig noch kein Inspektionsbedarf be

steht dann für Haltungen mit Mindestzustand 3 bzw. 4 und entsprechend guter mittlerer Zustandsklasse 4 bzw. 5.

Ebenso wie der mittlere Zustand einer Haltung kann auch der erwartete Mindestzustand jeder Haltung in einer Netzübersicht dargestellt werden und verdeutlicht damit wieder die örtlichen Prioritäten des Inspektionsbedarfes.

4. Wie zuverlässig sind die prognostizierten Aussagen aus der selektiven TV-Inspektion?

Nach der im Jahr 1997 durchgeführten selektiven Inspektion für das VW-Werk Wolfsburg wurden zwischenzeitlich Netzteile komplett inspiziert, einerseits zur konkreten Sanierungsdurchführung und andererseits zur Überprüfung der Zuverlässigkeit der Ergebnisse aus der selektiven Inspektion.

Die Verifizierung erstreckt sich im wesentlichen auf die Einhaltung der prognostizierten statischen Zustandswerte.

Voraussetzung für einen Vergleich ist, daß die aktuellen Zustandsuntersuchungen und die TV-Befahrung zur Stichprobe sowie die Klassifizierung nach den gleichen Beurteilungskriterien erfolgten. Vorgegeben war eine Zustandsbeurteilung in Anlehnung an ATV Merkblatt M143, Teil 2. Die Untersuchungen wurden von unterschiedlichen Firmen durchgeführt, die Schadensansprache durch stichprobenartige Überprüfung der Videofilme und Aufzeichnungen überprüft und durchgängige Mängelbeseitigung gefordert.

Insgesamt 34 Haltungen, die bereits in 1997 als Stichprobe inspiziert wurden, wurden aktuell erneut untersucht. Dies ermöglicht den direkten Vergleich der Untersuchungen und Klassifizierungsergebnisse. Überraschenderweise liefert die neuere Inspektion häufig eine „bessere“ Zustandsklasse als diejenige aus 1997. Insgesamt wird ein um 0,5 Zustandsklassen besserer Zustand erhalten. Der Unterschied resultiert im wesentlichen aus einer unterschiedlichen Angabe der Schadensmaße numerischer Zusatz zum Schadenskürzel), die ja lediglich abgeschätzt werden und die eine notwendige aber je nach Kanalgröße, Kamera, Kamerablickwinkel und Operator eine ziemlich subjektive Angabe darstellen. Die „schärfere“ Beurteilung der Schäden bei der Stichprobe schlägt sich natürlich auf die Prognose nieder. Für eine Verifizierung ist diese systematisch unterschiedliche Beurteilung und der resultierende bessere Kanalnetzstatus der aktuellen Inspektionen von 0,5 Zustandsklassen zu berücksichtigen.

Die Auswertung hinsichtlich der Unterschreitung des erwarteten Mindestnetzstatus (95% Sicherheit) ergab ohne Berücksichtigung der oben genannten Abweichungen, daß von 985 untersuchten Haltungen, bei denen der erwartete Mindestnetzstatus gleich oder besser als Zustandsklasse 2 ist, 33 Haltungen einen schlechteren Zustand aufwiesen, das entspricht einer Unterschreitungsquote von 3,4 %. Bei Bereinigung der aktuellen Inspektion um die systematische Differenz (Abwertung der Bewertung um 0,5 Zustandsklassen) unterschreiten 58

Haltungen den erwarteten Mindestzustand (Unterschreitensquote 5,9 %). Die Fehlerquote liegt also damit im Rahmen der erwarteten Quote von 5%. Dabei war der tatsächliche Zustand maximal eine Klasse schlechter als der erwartete Mindestzustand. Unterschreitungen von 2 und mehr Klassensprüngen traten überhaupt nicht auf. Damit kann ist praktisch ausgeschlossen werden, daß in Netzbereichen, die einen erwarteten Mindestzustand von 3 oder 4 aufweisen tatsächlich Haltungen der Zustandsklasse 1 bzw. 2 auftreten.

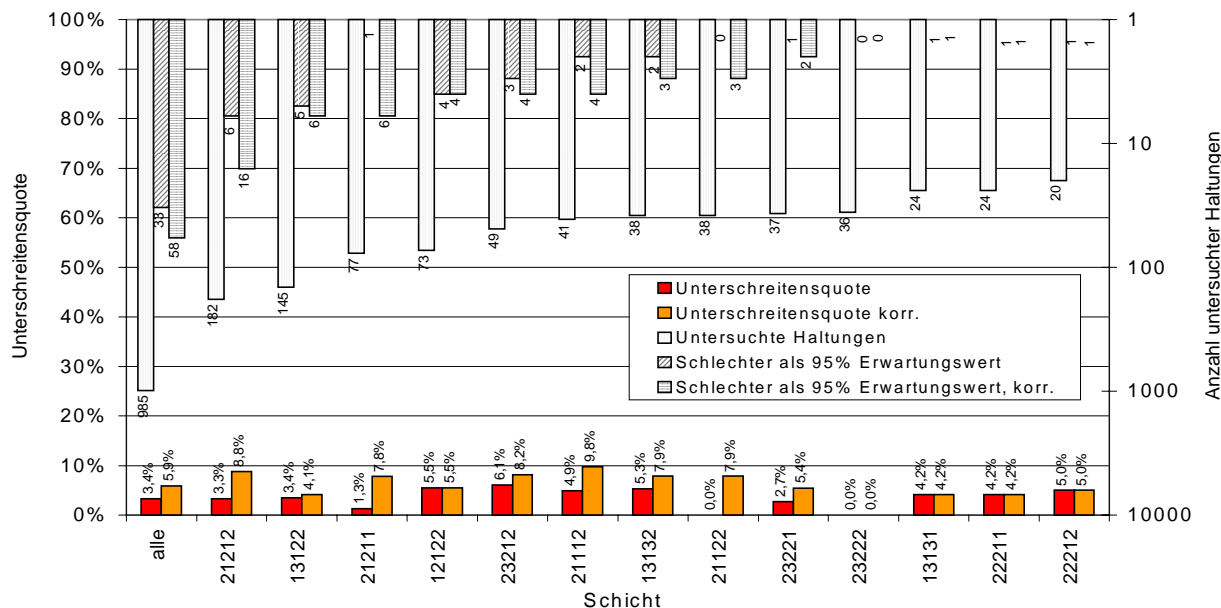


Bild 6: Unterschreitensquote des 95% Erwartungswertes

Bild 6 zeigt die Unterschreitensquote des 95%-Erwartungswertes in Abhängigkeit von der Anzahl der untersuchten Haltungen je Schicht. Ausgewertet werden dabei nur Schichten, bei denen mindestens 20 Haltungen untersucht wurden, da bei kleinerem Untersuchungsumfang keine statistische Aussage mehr getroffen werden kann. Dargestellt sind die Unterschreitensquoten je Schicht beim direkten Vergleich und unter Berücksichtigung der systematischen Abweichung der Klassifizierungsergebnisse. Der Anteil der Unterschreitungen des 95%-Erwartungswertes (korrigierte Bewertung) schwankt zwischen 0% und 9,8 %. Der 95%-Erwartungswert des Mindestzustandes ist damit im Mittel zutreffend, die Fehlerquote der einzelnen Schicht liegt in jedem Fall unter 10 %. Inwieweit die Überschreitung der zulässigen Fehlerquote durch die pauschale Korrektur der Zustandsklassen begünstigt wird, kann in diesem Zusammenhang im einzelnen nicht nachgewiesen werden.

Der zweite statistische Schätzwert des Zustandes, der überprüft wird, ist der Mittelwert der Zustandsklassen. Ohne Bereinigung um die o.g. systematischen Abweichungen infolge der Schadensansprache wird aufgrund der aktuellen TV-Inspektion ein mittlerer Netzzustand von 4,2 erhalten, korrigiert um die systematischen Abweichungen von 3,7. Der aufgrund der selektiven Inspektion prognostizierte mittlere Zustand für die entsprechenden Haltungen beträgt

3,64. Die Abweichung zwischen Prognose und Inspektionsergebnis (korrigierte Werte) beträgt damit nur etwa 0,1 Zustandsklassen.

In Bild 7 sind die Abweichungen der Mittelwerte der Zustandsklassen zwischen Inspektion und Prognose der zulässigen Abweichung (Vertrauensbereich des Prognostizierten Mittelwertes) für die jeweilige Schicht gegenübergestellt. Die Differenzen (Betrag) sind auf der Primärachse (Achsen links/unten) aufgetragen. Auf der Sekundärachse (Achsen rechts/oben) ist der Stichprobenumfang, welcher der Prognose zugrunde lag dargestellt.

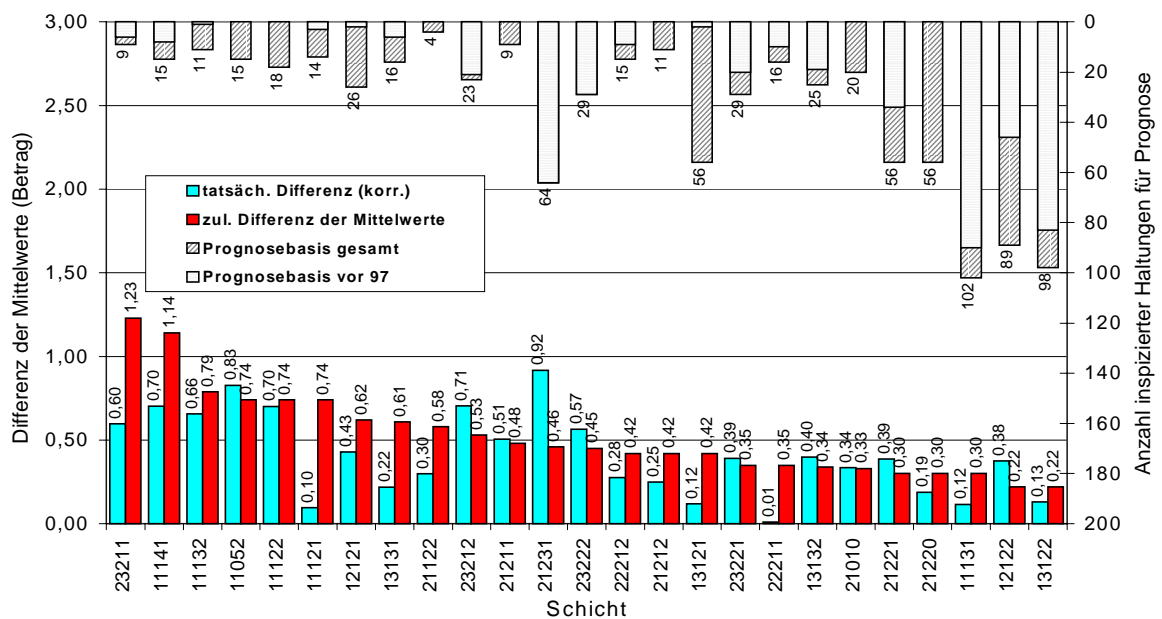


Bild 7: Differenz der Mittelwerte der Zustandsklassen zwischen Inspektion und Prognose

Die zulässige Abweichung der Mittelwerte (Vertrauensbereich) hängt wesentlich ab vom Umfang der Stichprobe für die Prognose. Die tatsächliche betragsmäßige Abweichung liegt zu 60 % in dem berechneten Vertrauensbereich. Auffällig ist, daß in den meisten Fällen, in denen die tatsächliche Abweichung des Mittelwertes außerhalb des Vertrauensbereiches liegt, die Stichprobe, die der Prognose zugrunde lag, zu einem hohen Anteil bereits vorhandene Untersuchungen beinhaltet.

Zu vermuten ist dabei, daß die bereits vorhandenen Untersuchungen der Stichproben doch nicht alle die geforderte „Zufälligkeit“ und stochastische Unabhängigkeit von Ergebnis (Kanalzustand) besaßen. Beispielhaft gezeigt werden kann dies an den Zustandsverteilungen der Schichten 21231 (Bild 8). Auffällig ist der hohe Anteil an ZK 1, der prognostiziert wurde und nicht auftrat. Verfolgt man die Herkunft der Stichprobe, entstammen alle Haltungen dem gleichen Inspektionsauftrag aus 1991 für den örtlich begrenzten Bereich der Hauptverbindungsstraße im Werk.

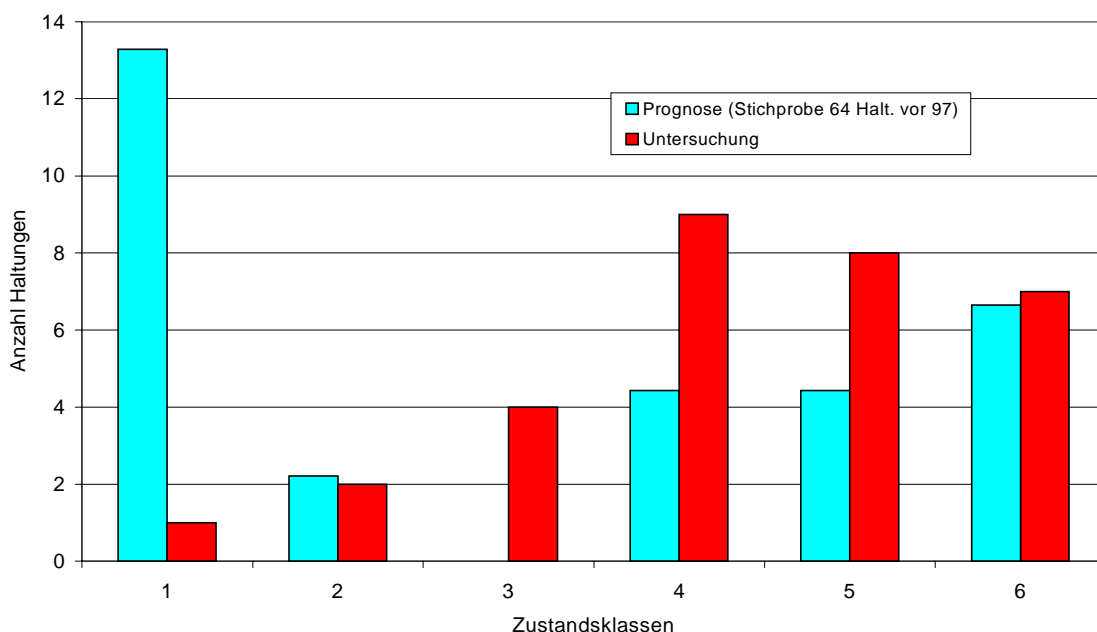


Bild 8: Vergleich der Zustandsklassenverteilung Prognose – Inspektion für Schicht 21231

In ähnlicher Weise gilt dies für die Schichten 23212, 23222, 23221, 13132, 12122, deren Stichproben einen hohen Anteil alter Untersuchungen enthalten.

Die Verwendung alter Untersuchungen, die nicht stochastisch unabhängig vom vermuteten Zustand waren, führt zu deutlich erkennbaren Abweichungen zwischen Prognose und tatsächlichem Kanalzustand. Hier ist noch größere Sorgfalt bei der Prüfung auf „Zufälligkeit“ erforderlich. Eventuell sollte man den Anteil begrenzen.

Abgesehen von diesen Ausreißern liegt die Bandbreite der tatsächlichen Mittelwerte vom prognostizierten Wert zwischen + 0,83 und - 0,60 und damit weitgehend im statistisch zugelassenen Bereich.

Obwohl die Datengrundlage für die Verifizierung aufgrund systematischer Abweichungen nicht optimal war und zudem, wie sich herausstellte, die Datengrundlage der Stichprobe teilweise fehlerbehaftet war, zeigt die Überprüfung eine im Rahmen der geforderten Grenzen liegende Zuverlässigkeit der selektiven Inspektionsstrategie.

5. **Schluß**

Das Verfahren der selektiven Inspektionsstrategie ermöglicht, relativ schnell und mit deutlichen Kostenvorteil gegenüber einer flächendeckenden Inspektion, Zustandsinformation ganzer Netze zu liefern, die Grundlagenplanungen zum Sanierungsumfang sowie kurz- und langfristiger Zustands- und Kostenentwicklungen ermöglichen. Zum anderen werden flächendeckend die konkreten Handlungsschwerpunkte für eine Sanierung und detaillierte Inspektion aufgezeigt.

Die vorgestellten Vergleiche zwischen Prognose und tatsächlichen Inspektionsergebnissen zeigen im Fall der Unterschreitungquote des Mindestzustandes sowie des Mittelwertes der Zustandsklassen Abweichungen, die fehlerbereinigt im Rahmen der vorgegebenen Genauigkeitsgrenzen liegen.

Das Verfahren der selektiven Inspektionsstrategie liefert mit hinreichender Zuverlässigkeit somit auf schnellem Wege brauchbare Zustandsergebnisse, wenn das Verfahren hinsichtlich der zu berücksichtigenden Einflußparameter, der Schichtenbildung und Stichprobennahme sorgfältig durchgeführt wird.

Weitere Absicherungen hinsichtlich der zu berücksichtigenden Einflußmerkmalen, Schichtenbildung und Stichprobenumfang und deren Einfluß auf die Prognoseergebnisse sollen in dem bereits zu Anfang erwähnten Forschungsvorhaben des BMBF erfolgen, mit dem Ziel das Verfahren allgemein anwendbar für eine breite Anwendung zu machen.

Literatur

- [1] DIN EN 752:
Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Teil 5, Nov. 1997
- [2] Hartwig, E; Krug, R.:
Finanzierung und Werterhaltung von Kanälen – Selektive Kanalinspektion im VW-Werk Wolfsburg. Korrespondenz Abwasser 1998 (45), Nr. 8, S. 1483 – 1488.
- [3] Hochstrate, K.; Jansen, K:
Werterhaltung und Finanzierung von Abwasserkanalnetzen durch vorbeugende Instandhaltung. Korrespondenz Abwasser 1996 (43), Nr. 2, S. 284 - 291.
- [4] Hochstrate, K.; Jansen, K.; Schönborn, F.:
Finanzierung und Werterhaltung von Kanälen. Qualitätsprüfung selektiver Inspektionsstrategien nach DIN EN 752-5 durch Genehmigungsbehörden. Korrespondenz Abwasser 1997 (44), Nr. 11, S. 1971 - 1974.
- [5] Hochstrate, K.; Schönborn, F.:
Finanzierung und Werterhaltung von Kanälen - Selektive Kanalinspektionsstrategien. Umwelttechnik aktuell 1996, Nr. 3, S. 249 - 252.
- [6] Krug, R.:
Dynamische Sanierungsstrategien ersetzen klassische Sanierungskonzepte. Abwasserkanäle, Werterhaltung und Finanzierung. Technische Akademie Wuppertal, Weiterbildungsseminar, Nürnberg 1996.
- [7] LAWA:
Leitlinien zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen. LAWA-Arbeitskreis Nutzen-Kosten-Untersuchungen in der Wasserwirtschaft, Herausgeber: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), München 1993
- [8] Reinhard, W.:
Umweltauswirkung defekter Abwasserkanäle - Verwaltungsrechtliche Regelungen. Umwelttechnik aktuell, 1996, Nr. 2, S. 118 - 122.
- [9] Sachs, L.:
Angewandte Statistik - Anwendung statistischer Methoden. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 8. Auflage 1997,
- [10] Snaterse, C.:
Feststellung, Klassifizierung und Behebung von Schäden an Kanälen in den Niederlanden. Vortrag, 2. Internationaler Kongreß Leitungsbau, Hamburg Okt. 1989.