

Selektive Inspektionsstrategie und statistisch/prognostische Sanierungsmodelle

Edgar Hartwig (Wolfsburg) und Roland 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. Auf die Problematik des großen Zeitbedarfs und der hohen Kosten für eine flächendeckende TV-Inspektion wurde bereits in [2] hingewiesen.

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 [1, 2, 10]. 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 zwei Drittel reduziert werden (Bild1).

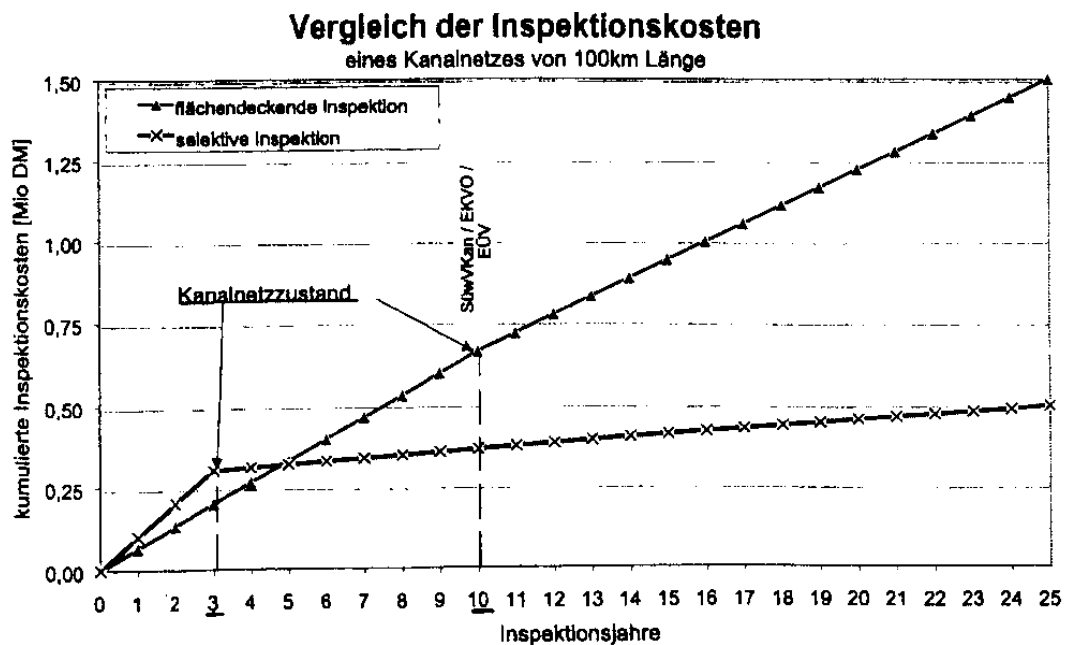


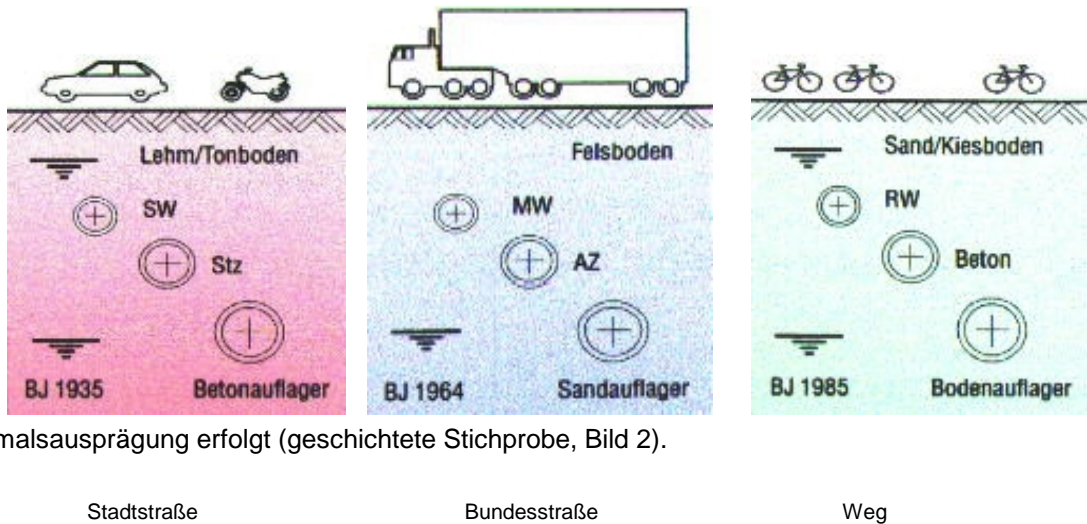
Bild 1: Vergleich der Inspektionskosten für 100 km Kanalnetz bei flächendeckender und selektiver Inspektion

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 Bundesministerium für Bildung und Forschung (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

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 Merk-



malsausprägung erfolgt (geschichtete Stichprobe, Bild 2).

Bild 2: Schichtenbildung mit repräsentativen Merkmalen

Als Ergebnis der selektiven Inspektionsstrategie stehen dann für die Grundgesamtheit (alle Kanäle) an statistischen Zustandsinformationen zur Verfügung

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

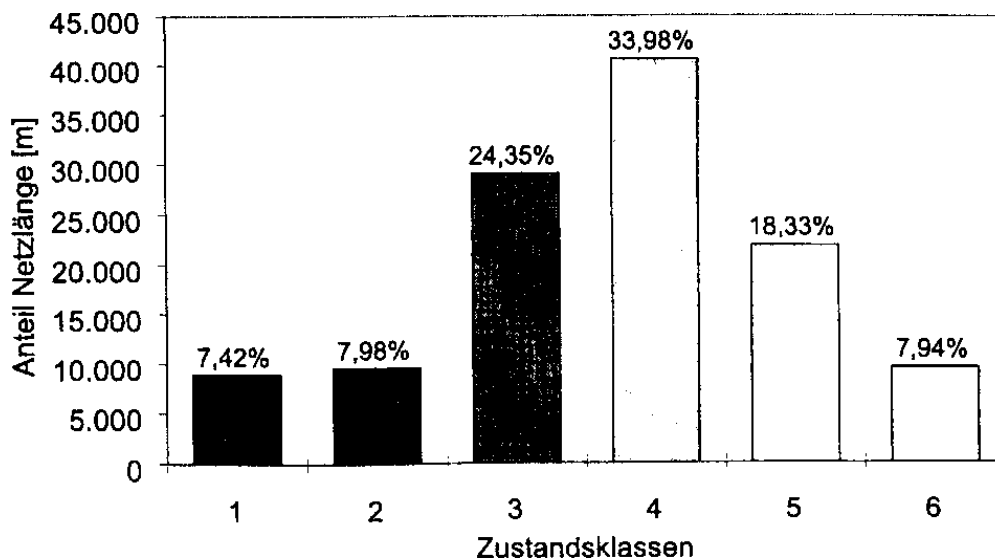


Bild 3: Zustandsklassenverteilung (Prognose) im Gesamtnetz

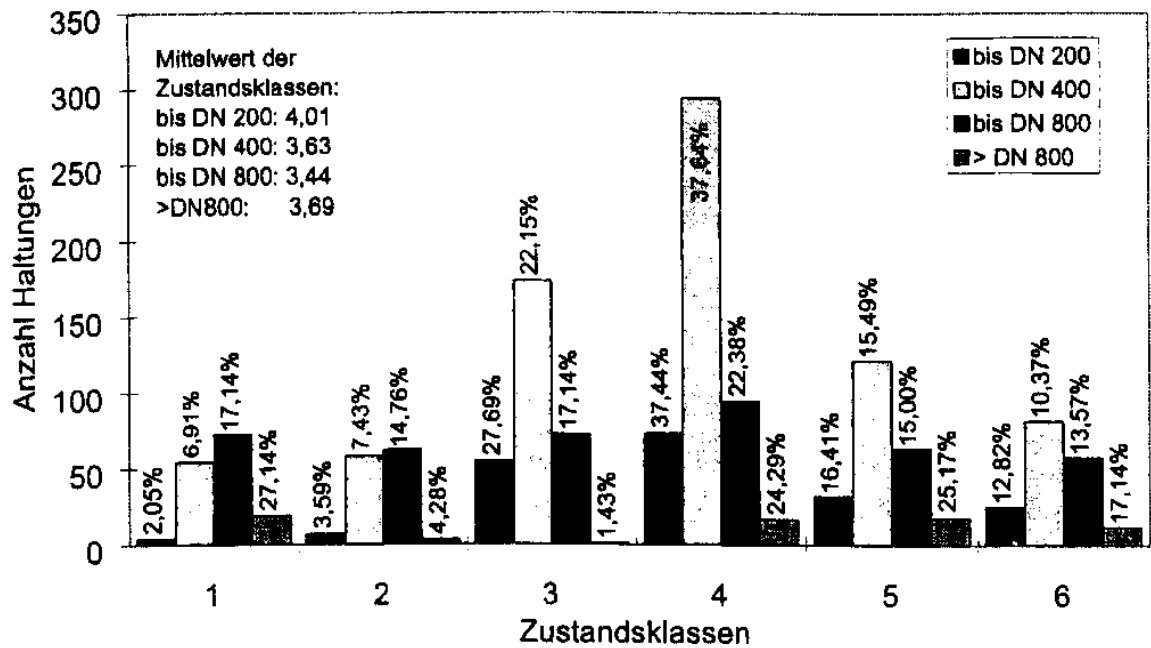


Bild 4: Zustandsverteilung (Prognose) im Gesamtnetz nach Durchmessergruppen

- 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% Sicherheit) des Mittelwertes beträgt $\mu = 0,3$. Der Mindestzustand der Haltungen, der mit 95% Sicherheit nicht unterschritten wird, beträgt $ZK_{min} = 2,1$.

Bild 5 (anzufordern bei der Firma AQUA Ingenieure GmbH) zeigt eine Grafik der Netzanteile in bestimmten Zustandsklassenbereichen für eine Sicherheit von 95%. 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 ein Drittel des Kanalnetzumfangs ausmachen.

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.

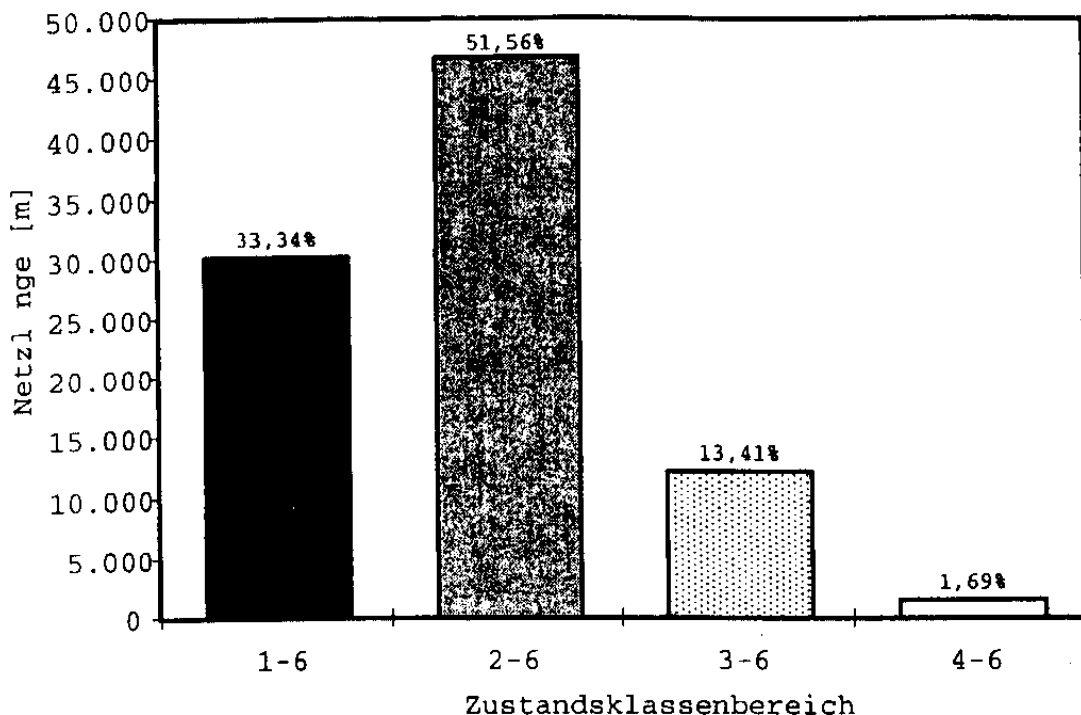


Bild 5: Prognostizierter Mindestzustand der nicht inspizierten Kanäle

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

Für kurzfristige und mittelfristige Haushalts- und Budgetplanungen kann 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. oben genannten 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].

Des Weiteren 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, können 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 besteht 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 das Merkblatt ATV-M 143, 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 sind diese systematisch unterschiedliche Beurteilung und der resultierende bessere Kanalnetzzustand 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 (Unterschreitungsquote 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 zwei und mehr Klassensprüngen traten überhaupt nicht auf. Damit kann praktisch ausgeschlossen werden, daß in Netzbereichen, die einen erwarteten Mindestzustand von 3 oder 4 aufweisen tatsächlich Haltungen der Zustandsklasse 1 bzw. 2 auftreten.

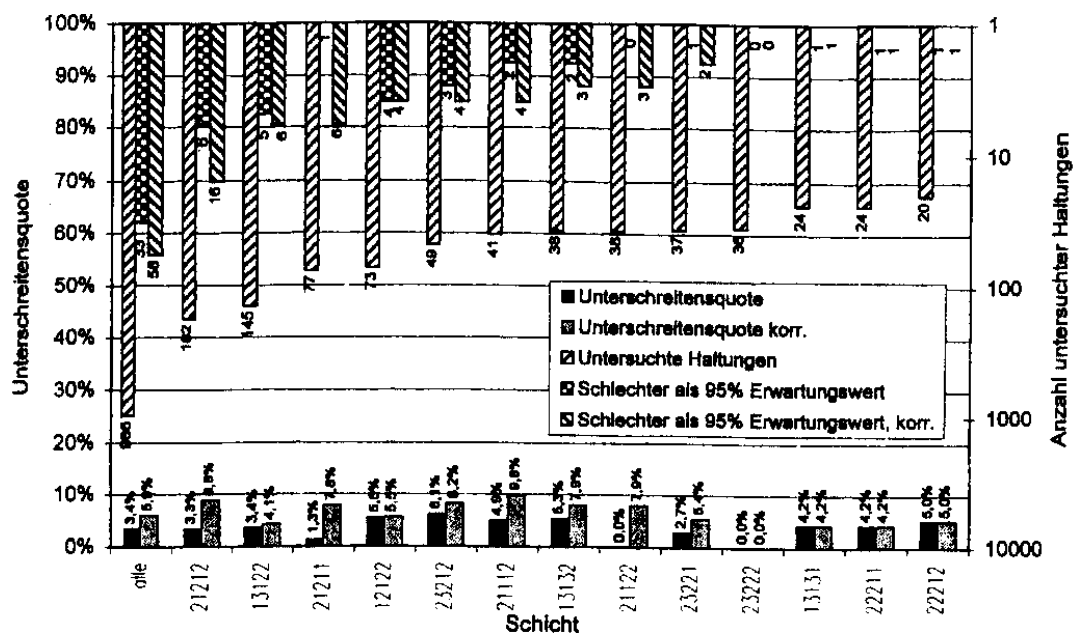


Bild 6: Quote der Unterschreitungen des 95%-Erwartungswertes

Bild 6 zeigt die Unterschreitungsquote 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 oben genannten systematischen Abweichungen infolge der Schadensansprache wird aufgrund der aktuellen TV-Inspektion ein mittlerer Netz-zustand 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 (zu Beziehen bei der Firma AQUA Ingenieure GmbH) 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.

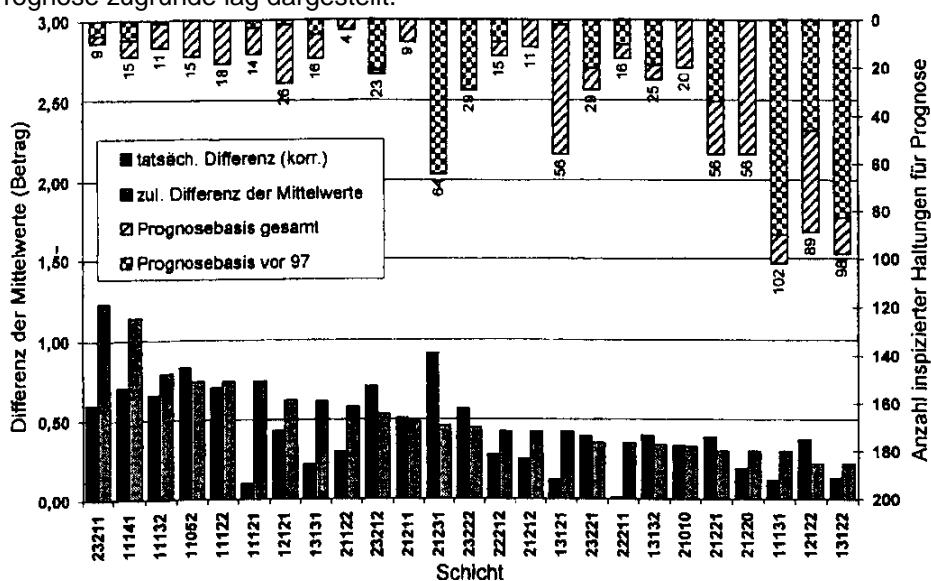


Bild 7: Differenz der Mittelwerte der Zustandsklassen zwischen Inspektion und Prognose

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 beinhaltete.

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

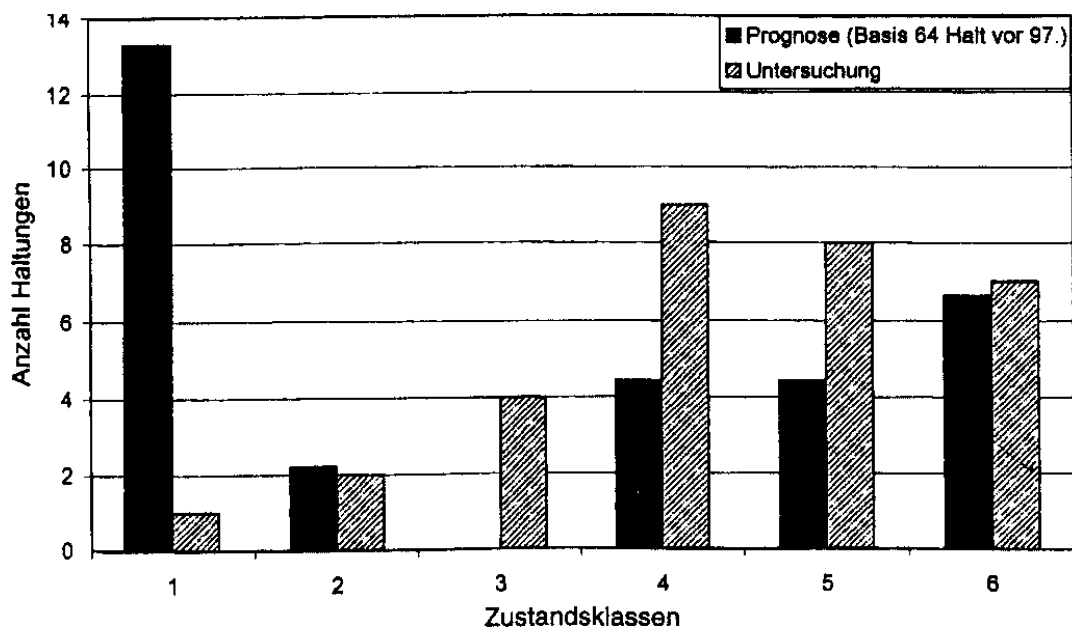


Bild 8: Vergleich der Zustandsklassenverteilung laut Prognose und nach Inspektion für Schicht 21231

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.

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.