

# Selektive Inspektion als Grundlage für Betrieb, Unterhalt und Sanierung

K. Müller (Aachen) und R. Krug (Saarbrücken)

## 1. Problemstellung und Zielsetzung

Aussagen über den Zustand von Kanalnetzen werden im wesentlichen für zwei Planungsziele benötigt:

1. als Grundlage für die konkrete baureife Sanierungsplanung (einzelne Haltung)
2. als Grundlage für eine Analyse der Zustands- und Kostenentwicklung sowie des insgesamt erforderlichen Sanierungsumfangs von Kanalnetzen bzw. von Teilnetzen (flächendeckende Übersicht)

Für die baureife Sanierungsplanung ist auf jeden Fall eine aktuelle Inspektion der betreffenden Kanalhaltung 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, da sich der Zustand der entsprechenden Haltung zwischenzeitlich erheblich verschlechtert haben kann.

Für eine flächendeckende Zustandübersicht kann der bauliche Zustand durch eine

- Vollerfassung des Netzzustandes oder durch eine
- Repräsentative Inspektion selektiver Haltungen mit anschließender Hochrechnung auf das Gesamtnetz festgestellt werden.

Die Vollerfassung des Netzzustandes, die üblicherweise durch sequentielle Inspektion der Ortsteile erstellt wird, nimmt in Bundesländern, in denen Selbstüberwachungsverordnungen eingeführt sind, etwa zehn Jahre in Anspruch. Für Bundesländer, die keine planmäßige Inspektion fordern, ist nicht abzuschätzen, wann die Kanalisation vollständig inspiziert sein wird.

Aussagen über ein durchgängiges Sanierungskonzept und dessen Kosten können erst nach der weitgehend vollständigen Zustandserfassung, also gegen Ende der flächendeckenden Erstinspektion, getroffen werden. Dann aber ist ein erheblicher Anteil der Inspektionsergebnisse bereits veraltet und somit nicht ohne weiteres für die Sanierungsplanung verwertbar. Dies bedeutet, dass zum einen ohne Sanierungskonzept die Haushaltsplanung über Jahre hinweg mit entsprechenden Ungenauigkeiten behaftet ist und zum anderen, dass die als sanierungsbedürftig eingestuften Haltungen in der Regel vor Ausschreibung der Maßnahme erneut inspiziert werden müssen.

Setzt man die Lebensdauer von Kanälen mit 50 – 100 Jahren [5] an, sind jährlich etwa 1 – 2 % der Netzlänge zu sanieren. Bei einem Inspektionsvolumen von jährlich 10 % der Netzlänge führen also lediglich 10 – 20 % der Inspektionsbefunde unmittelbar zu Sanierungsmaßnahmen, während die restlichen 80 – 90 % der Inspektionsbefunde wegen geringer Priorität zunächst keine Sanierungsmaßnahmen nach sich ziehen. Die flächendeckende Zustandsuntersuchung von Kanalnetzen führt somit dazu, dass jede Haltung etwa fünf bis zehn mal inspiziert wird, bevor eine Sanierungsmaßnahme erforderlich wird. Zusammenfassend ist festzustellen, dass die derzeit übliche flächendeckende Inspektion des Kanalnetzes ohne repräsentative und prognostische Auswertung eine kostenintensive und ineffiziente Strategie ist [4].

Abweichend davon kann durch die Zustandsuntersuchung einer repräsentativen Stichprobe im Umfang von etwa 20 % des Gesamtnetzes der aktuelle Sanierungsbedarf sehr genau abgeschätzt werden. Durch die stichprobenartige Ersterfassung des Netzzustandes und dessen repräsentativer Hochrechnung stehen zuverlässige Planungsgrundlagen nicht nur erheblich kostengünstiger, sondern auch bereits nach einem Zeitraum von etwa drei Jahren zur Verfügung.

In einzelnen Projekten an industriellen Kanalnetzen (z.B. VW-Werke in Wolfsburg, Braunschweig und Erden) konnte die grundsätzliche Eignung der selektiven Erstinspektion und Zustandsprognose nachgewiesen werden. Hier wurden durch diese Vorgehensweise die Inspektionskosten um 75 % reduziert [3]. Für eine verbreitete Anwendung in kommunalen Kanalnetzen besteht allerdings noch erheblicher Forschungsbedarf. Die Grundlagen für ein allgemein anwendbares Verfahren sowie eine eingehende Verifizierung der prognostischen Zustandswerte werden derzeit durch das ISA der RWTH Aachen und die AQUA-Ingenieure GmbH, Saarbrücken, in einem vom BMBF geförderten Forschungsvorhaben („Entwicklung eines allgemein anwendbaren Verfahrens zur selektiven Erstinspektion von Abwasserkanälen und Anschlusskanälen“) für unterschiedlich charakterisierte Kanalnetze sowie für Anschlusskanäle erarbeitet.

## **2. Rechtlicher Rahmen**

Abwasseranlagen sind gemäß WHG § 18 b so zu errichten und zu betreiben, dass die Anforderungen an das Einleiten von Abwasser eingehalten werden. Angaben zum Betrieb von Kanälen sind z. B. in der DIN-EN 752 festgelegt. Demnach sind unter anderem die Erhaltung des baulichen Bestandes sowie die Wasserdichtheit des Entwässerungssystems sicherzustellen [2]. Entsprechend sind schadhafte Kanäle und Anschlussleitungen vom Betreiber bei Bedarf zu sanieren.

Zur Ermittlung von Sanierungsbedarf und –umfang von Kanälen und Leitungen ist zunächst eine Zustandserfassung der betreffenden Haltungen erforderlich. Diese erfolgt zur Zeit im wesentlichen über eine TV-Inspektion. Die Häufigkeit der Inspektion eines Kanalnetzes wird, sofern Bestimmungen vorhanden sind, in den jeweiligen Selbstüberwachungsverordnungen der Länder festgelegt. Zusammenfassend sind diese Regelungen in Tabelle 1 dargestellt. Festzu-

halten ist, dass in allen Ländern Ausnahmeregelungen vorhanden sind, die eine selektive Vorgehensweise bei entsprechender Genehmigung grundsätzlich ermöglichen.

In den übrigen Bundesländern wird im allgemeinen in Anlehnung an das WHG des Bundes festgelegt, dass der ordnungsgemäße Betrieb von Abwasseranlagen von den Betreibern sichergestellt werden muss.

Land	Umfang der Kanalinspektion	Ausnahmeregelung
<b>Baden-Württemberg</b> Eigenkontrollverordnung, 1989	Überprüfung der Dichtigkeit einschließlich der Schachtbauwerke alle zehn Jahre mit den jeweils in Betracht kommenden Verfahren.	Die Wasserbehörde kann für die Eigenkontrolle einer Abwasseranlage im Einzelfall Abweichungen von den Bestimmungen dieser Verordnung zulassen, wenn eine einwandfreie Kontrolle auf andere Weise gewährleistet ist.
<b>Bayern</b> Eigenüberwachungsverordnung, 1995	TV-Inspektion sofort bei Kanälen - über 40 Jahre - mit Risikoabwasser - mit Hinweisen auf Schäden - Einzugsgebiet der Wassergewinnung  Wiederholungsinspektion alle fünf Jahre.	Die Kreisverwaltungsbehörde kann im Einzelfall Ausnahmen von dieser Verordnung zulassen, wenn auf andere Weise eine einwandfreie Überwachung gewährleistet ist.
<b>Hessen</b> Abwassereigenkontrollverordnung, 1993	TV-Inspektion mindestens alle zehn Jahre.	Die Wasserbehörde kann für die Eigenkontrolle einer Abwasseranlage im Einzelfall Ausnahmen von den Bestimmungen dieser Verordnung zulassen, wenn eine hinreichende Kontrolle der Anlage gewährleistet ist.
<b>Nordrhein-Westfalen</b> Selbstüberwachungsverordnung Kanal, 1995	TV-Inspektion binnen 10 Jahren und jährlich 10 % des Netzes.	Die Befugnis der zuständigen Behörde, von dieser Verordnung abweichende Anordnungen zu treffen, bleibt unberührt. Die zuständige Wasserbehörde kann den Umfang der Selbstüberwachung auch verringern.
<b>Rheinland-Pfalz</b> Landesverordnung über die Eigenüberwachung von Abwasseranlagen, 1990	TV-Inspektion in regelmäßigen Zeitabständen.	Die Wasserbehörde kann für die Eigenüberwachung einer Abwasserbehandlungsanlage in Härtefällen Ausnahmen von den Bestimmungen dieser Verordnung zulassen, wenn eine hinreichende Überwachung der Anlage gewährleistet ist.
<b>Sachsen</b> Eigenkontrollverordnung 1994	TV-Inspektion mindestens alle 10 Jahre, bei Neubauten nach 15 Jahren, Turnus kann in WSG verkürzt werden.	In begründeten Ausnahmefällen kann die zuständige Wasserbehörde auf Antrag widerruflich Abweichungen vom Umfang der Eigenkontrollpflicht zulassen, wenn eine einwandfreie Kontrolle auf andere Weise gewährleistet ist.

**Tabelle 1: Rechtsgrundlage der Kanalinspektion in den Bundesländern**

Bei den Anschlusskanälen hängt die Verantwortlichkeit für den ordnungsgemäßen Betrieb von der jeweiligen Ortssatzung ab. Hier gibt es z. B. folgende Regelungen [1]:

- Sammler und Anschlussleitungen bis zum Übergabepunkt (meist die Revisionsöffnung im Keller) in der Verantwortlichkeit des Betreibers (z. B. Hamburg und Berlin);
- Sammler und Anschlussleitungen bis zur Grundstücksgrenze in der Verantwortung des Betreibers, ab Grundstücksgrenze in der Verantwortung des Anliegers;
- Sammler in der Verantwortung der Betreiber, gesamte Anschlussleitung in der Verantwortung der Anliegers (z. B. Nürnberg).

Auch bei den Anschlusskanälen steht einer selektiven Vorgehensweise rechtlich grundsätzlich nichts entgegen.

### **3. Methodik der selektiven Erstinspektion und Forschungsbedarf**

#### **3.1 Allgemeines**

Bei der Methode der selektiven Inspektionsstrategie wird zunächst ein repräsentativ ausgewählter Teil des Kanalnetzes bzw. der Anschlussleitungen inspiziert und bewertet. Auf dieser Grundlage können Aussagen sowohl über den Zustand des Gesamtnetzes als auch über den jeder einzelnen Haltung getroffen werden. Die charakteristischen Merkmale des jeweiligen Netzes werden berücksichtigt, indem die Stichprobenauswahl und Hochrechnung der Zustandsbewertung jeweils für einzelne Haltungstypen mit gleicher Merkmalsausprägung, den sogenannten Schichten, erfolgt.

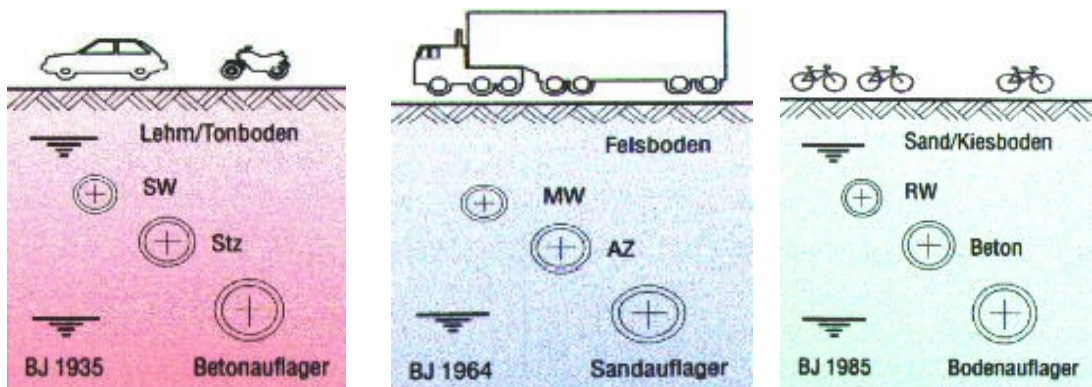
#### **3.2 Schichtung des Netzes**

Zur Einteilung des Kanalnetzes in Schichten kommen zunächst alle verfügbaren Haltungsmerkmale in Betracht, die Einfluss auf den Kanalzustand erwarten lassen, wie zum Beispiel:

- Rohrdimension und Profilart
- Rohrmaterial und Verlegeart
- Boden- und Grundwasserverhältnisse
- Entwässerungssystem und Abwasserart (häuslich, gewerblich/industriell)
- Alter bzw. Baujahr
- Tiefenlage der Kanäle und Grad der Verkehrsbelastung

Darüber hinaus ergeben sich aus der historischen Entwicklung der Rohrmaterialien bestimmte Schadensbilder. Zu nennen sind hier z. B. die verschiedenen Formen der Muffenbildung

von Betonrohren (Falzmuffen, Glockenmuffen), Dichtungen (Zementmörteldichtung, Vergussmassen, plastische Dichtbänder, Elastormerdichtungen) oder die Einführung von Normen und Qualitätsrichtlinien. Inwieweit diese Merkmale durch das Baujahr der Haltung hinreichend berücksichtigt werden, ist im Rahmen der Untersuchungen zu klären.



**Bild 1: Beispiel einer Schichtenbildung mit repräsentativen Merkmalen**

Die Anzahl der Schichten nimmt mit jedem zusätzlich zu berücksichtigenden Segmentierungsmerkmal um den Faktor der Anzahl der Ausprägungen zu. Bei z. B. 7 Merkmalen à 4 Ausprägungen beträgt die theoretische Anzahl der Schichten  $7^4=2401$ . Da die Genauigkeit einer statistischen Aussage generell nicht vom relativen, sondern vom absoluten Stichprobenumfang abhängt (Eine 2%ige Stichprobe aus einer Gesamtheit von 5000 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.

Bei den betrachteten industriellen Kanalnetzen zeigte sich, dass nicht jeder der theoretisch möglichen Kombination in der Praxis auch auftritt. Die Anzahl der zu untersuchenden Schichten lag bei diesen Projekten bei 65 bis 100 [3]. An dieser Stelle ist daher für die allgemeine Anwendbarkeit zu untersuchen,

- ob ein Segmentierungsmerkmal praktisch relevant ist und
- für welche der grundsätzlich relevant erscheinenden Segmentierungsmerkmale die Datengrundlage mit vertretbarem Aufwand ermittelt werden kann.

### 3.3 Festlegung der Stichprobe

Stichproben müssen grundsätzlich zufällig und repräsentativ bezüglich der Grundgesamtheit sein. Die als Stichproben zu untersuchenden Haltungen werden daher zufällig aus den Netzteilen, die eine entsprechende Schicht repräsentieren, in erforderlicher Anzahl ausgewählt und inspiziert. Neben der Zufälligkeit der Stichprobe sind allerdings auch logistische Aspekte zu berücksichtigen. Eine Inspektion von Haltungen, die einzeln über das ganze Kanalnetz verstreut

sind, ist zu vermeiden. Hierfür wird im Rahmen des o. g. Projektes ein geeigneter Algorithmus entwickelt.

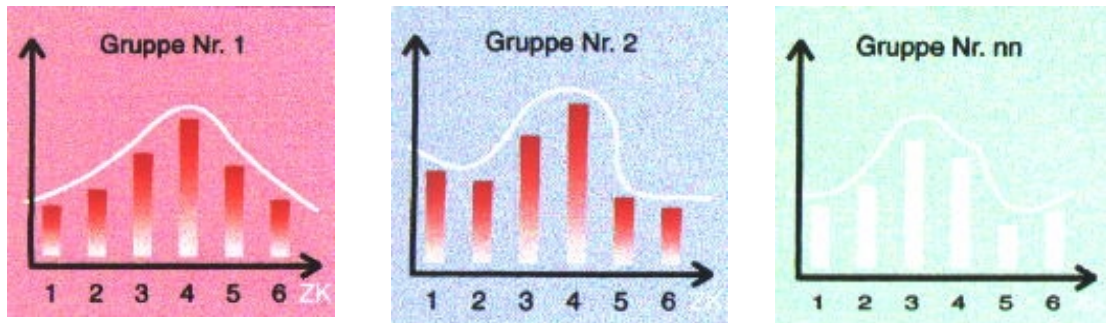
Außerdem ist an dieser Stelle zu prüfen, ob bereits vorhandene Inspektionsergebnisse verwendet werden können. Hierbei ist zum einen zu gewährleisten, dass die Auswahl der für die Prognose verwendeten Inspektionsergebnisse unabhängig vom Kanalzustand erfolgt. Zum anderen hat sich gezeigt, dass Schadensbeschreibungen, die von unterschiedlichen Inspektionsfirmen zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführt wurden, unabhängig von einer gegebenenfalls aufgetretenen Schadensveränderung, nicht unbedingt gleichwertig sind, da z. B. die Schadensmaße (numerischer Zusatz zum Schadenskürzel) lediglich abgeschätzt werden können und damit eine subjektive Angabe darstellen. Hier sind gegebenenfalls vergleichende Inspektionen erforderlich, um die vorhandenen Ergebnisse ineinander überführbar zu machen. Eine Anleitung zur Vorgehensweise der Verwendung vorhandener Inspektionsergebnisse für die selektive Vorgehensweise wird im Rahmen dieses Projektes ebenfalls erarbeitet.

Im Anschluss an die Inspektion erfolgt die Zustandsbewertung.

### **3.4 Übertragung der Ergebnisse auf das Gesamtnetz und Auswertung**

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

- *Prognostizierte Zustandsverteilung im Gesamtnetz, in einzelnen Schichten (Netzteilen) oder differenziert nach einzelnen Merkmalen*  
Insbesondere die Darstellung der Zustandsverteilung nach einzelnen Merkmalen zeigt, ob die vorab angenommene Abhängigkeit des Kanalnetzstatus von diesen Merkmalen tatsächlich gegeben ist.
- *Haltungsbezogene Schätzwerte bzgl. des Zustandes*
  - *Ein schichtenspezifischer arithmetischer Mittelwert bzw. Median der Zustandsklasse*  
Zu diesem Mittelwert existiert ein Vertrauensbereich, der die zulässige Streuung des tatsächlichen Mittelwertes um den prognostizierten Wert in Abhängigkeit des Stichprobenumfangs angibt. Bei schiefen Zustandsverteilungen kann zudem der Medianwert berechnet werden. Er gibt die Zustandsklasse an, die von genau 50 % der Haltungen unter- bzw. überschritten wird.
  - *Ein Mindestzustand für jede Haltung, der mit einer zu definierenden Sicherheit nicht überschritten wird*  
Die Ermittlung erfolgt aufgrund der zu beobachtenden Streuung der Zustandsklassen um den Mittelwert.



**Bild 2: statistische Auswertung der Untersuchungsergebnisse bei der selektiven Inspektion**

Zur Entwicklung eines allgemein anwendbaren Verfahrens ist an dieser Stelle eine Verifizierung der Prognose erforderlich. Hierfür werden ausgewählte Teilgebiete des Kanalnetzes der Projektpartner flächendeckend inspiziert und die Prognose mit den tatsächlich ermittelten Zustandsklassen verglichen. Trifft eine Prognose nicht im erforderlichen Maße zu, sind die Ursachen zu klären und die entsprechenden Arbeitsschritte mit modifizierten Ansätzen zu wiederholen, bis die Prognose zutrifft.

Die Erfahrungen und Ergebnisse werden anschließend dahingehend aufbereitet, dass eine allgemein anwendbare Vorgehensweise aufgestellt werden kann. Im einzelnen werden die Anforderungen an die Datenbasis, effizientes Vorgehen bei der Schichtenbildung und die Prognose sowie deren Interpretation detailliert in Form eines Leitfadens dargestellt. Zusätzlich erfolgt eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, welche die sinnvollen Einsatzgebiete dieser Vorgehensweise darstellt. Hierbei werden Fragen geklärt wie z. B.

- Mindestgröße des Kanalnetzes
- Notwendigkeit des Vorhandenseins digitaler Daten

#### 4. Zusammenfassung

Das Verfahren der selektiven Inspektion ermöglicht es, relativ schnell und mit deutlichem Kostenvorteil gegenüber einer flächendeckenden Inspektion, Zustandsinformationen ganzer Kanalnetze zu erfassen. Die flächendeckende Überprüfung der Zustandsprognosen verschiedener industrieller Kanalnetze zeigt, dass die nach diesem Verfahren prognostizierten Zustandsklassen hinreichend genau sind, wenn das Verfahren hinsichtlich der zu berücksichtigenden Einflussparameter, der Schichtenbildung und Stichprobennahme sorgfältig geprüft wird.

Für die Erarbeitung eines allgemein anwendbaren Verfahrens (kommunale Kanalnetze) sind weitergehende Untersuchungen notwendig, die im Rahmen des vom BMBF geförderten Pro-

jektes „Entwicklung eines allgemein anwendbaren Verfahrens zur selektiven Erstinspektion von Abwasserkanälen und Anschlusskanälen“ im wesentlichen folgende Punkte klären sollen:

- Welche Merkmale des Kanalnetzes sind zu welchen Kosten verfügbar?
- Welche Merkmale sind vernachlässigbar, relevant oder unabdingbar?
- Wie groß ist die Mindestanzahl der zu inspizierenden Haltungen?  
(Mindestgröße der qualifizierten Stichprobe)
- Wie wirkt sich der Umfang einer Stichprobe auf Qualität der Prognose aus?
- Unter welchen Voraussetzungen (z. B. Mindestgröße des Kanalnetzes) ist dieses Verfahren wirtschaftlich sinnvoll?
- Untersuchung des Optimums der Prognosequalität aus dem Verhältnis Anzahl der Einflussmerkmale und Anzahl der Stichproben?
- Durch welche statistischen Verteilungskurven werden die Zustandsverteilungen im Kanalnetz am besten repräsentiert?



## Literatur

- [1] Dilg, R.:  
Sanierung von Hausanschlussleitungen, gwf, Abwasser Special 137, 1996, S. S7
  
- [2] DIN-EN:  
Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, DIN-EN 752, 1995 - 1997
  
- [3] Hartwig, E; Krug, R.:  
Finanzierung und Werterhaltung von Kanälen – Selektive Kanalinspektion im VW-Werk Wolfsburg, Korrespondenz Abwasser, Heft 8, 1998, S. 1483
  
- [4] Hochstrate, K.; Schönborn, F.:  
Finanzierung und Werterhaltung von Kanälen - Selektive Kanalinspektionsstrategien. Umwelttechnik aktuell, H. 3, 1996, S. 249
  
- [5] LAWA:  
Leitlinien zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen, Herausgeber: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, 1994