

# Selektive Inspektionsplanung und prognostische Sanierungsstrategien für Abwassernetze

Rolf Baur

Technische Universität Dresden

**Kurzfassung:** Aus empirischen Zustandsdaten werden mit Hilfe eines Kohortenübergangsmodells für ein teilinspiziertes Abwassernetz Zustandsübergangsfunktionen berechnet. Mit diesen kann die Alterung bzw. die Zustandsentwicklung des Netzes prognostiziert werden. Es wird gezeigt, wie der Inspektions- und Sanierungsbedarf für ein Abwassernetz berechnet werden kann. In einem Beispiel wird erläutert, wie das Ergebnis der Zustandsprognose neben der selektiven Inspektionsplanung die Berechnung und die vergleichende Bewertung von Sanierungsstrategien ermöglicht.

**Keywords:** Abwassernetze, Alterung, Inspektionsplanung, Kanalisation, Prognose, Sanierung, Sanierungsbedarf, Sanierungsstrategie, Zustandsbewertung

## 1 Einleitung

Aus den Augen, aus dem Sinn: Die Abwasserkanäle sind, vor allem in den Innenstädten, oft bereits an die 150 Jahre alt und weisen zum Teil erhebliche Schäden auf. Doch häufig sind es nicht die ältesten, meist gemauerten Kanäle, die die größten Sorgen bereiten (Bild 1): gerade auch Abwasserkanäle jüngeren Datums befinden sich manchmal in einem alarmierenden Erhaltungszustand. Dieser kann auf vielfältige Art hervorgerufen worden sein, z.B. durch schlechteres Baumaterial, mangelhafte Bauausführung oder stärkere Belastungen.

Die Betreiber von Abwasseranlagen, zu denen die Kanalnetze gehören, sind nach geltendem Recht gezwungen, jährlich rund 10% ihres Kanalnetzes selbst zu kontrollieren (in Deutschland geschieht dies z.B. nach den Eigenkontrollverordnungen der Länder auf Grundlage des WHG). Bei manchem Netz hat dies unter Umständen die unangenehme Folge, dass mehr Schäden entdeckt werden, als mit dem vorgesehenen Sanierungsbudget behoben werden können. Dies lässt sich natürlich nicht dadurch vermeiden, dass die vorgeschriebene Haltungs-  
länge

zwar mit der Kamera befahren, die Ergebnisse aber nicht ausgewertet werden oder die Inspektion auf solche Kanäle gelenkt wird, von denen man ausgehen kann, dass sie sich ohnehin in einem unbedenklichen Zustand befinden. Ziel sollte aber sein, gerade die Kanäle zu untersuchen, von denen man ausgehen kann, dass sie sich bereits dem Ende ihrer Nutzungsdauer nähern. Dazu ist es notwendig, den Verlauf der Zustandsverschlechterung der einzelnen Haltungen zu prognostizieren.



Bild 1: Sandsteinübermauerter Kanal unter dem Wiener Platz in Dresden  
(Foto: Lehrstuhl Stadtbauwesen)

Mit Hilfe der Kanalinspektion können die Schäden in Abwasserkanälen erkannt und beurteilt werden. Nach wiederholten Inspektionen lässt sich dann auch der zeitliche Verlauf der Zustandsverschlechterung abschätzen. In der einen Haltung muß dringend durch Reparatur ein Einzelschaden behoben werden, andere Haltungen müssen gar auf der ganzen Länge saniert werden. Mit den gängigen Verfahren wird der Versuch einer umfassenden Zustandsbewertung durch die Gewichtung von Einzelschäden und Streckenschäden unternommen. Im Hinblick auf die Dringlichkeit der Sanierung werden schweren Einzelschäden zurecht eine besondere Bedeutung bei der Substanzwerterhaltung zugemessen. Zur Beurteilung des Aufwands für die Substanzwerterhaltung ist dies aber nicht ganz unproblematisch, da punktuelle Reparaturen unter Umständen mit einem Bruchteil des für die ganze Haltung erforderlichen Budgets durchgeführt werden können. Die Methoden der Bewertung und Zustandsklassifizierung mit den Fragen nach der Substanzwerterhaltung und der Substanzwerterhaltung sollen aber nicht Gegenstand dieses Beitrags sein.

Die Eingangsdaten in das Modell sind vielmehr Bestandsdaten von Haltungen, die bereits mit einem vorhandenen Klassifizierungsmodell bewertet worden sind. Mit Hilfe der Zustandsprognose soll die Netzentwicklung abgeschätzt werden und das Sanierungsbudget verstetigt werden, so dass es auch weniger abhängig von zufälligen Inspektionsbefunden wird. Für diesen Beitrag ergeben sich dadurch zwei Schwerpunkte:

- (1) Wie lässt sich durch die Inspektion eines Teilnetzes, z.B. bei begrenzt verfügbaren Informationen, bereits ein vorläufiges Urteil über den Zustand aller Haltungen eines Abwassernetzes fällen, und wie kann diese Einschätzung für eine künftige selektive Inspektionsplanung genutzt werden?
- (2) Wie können die Mittel abgeschätzt werden, die langfristig aufzubringen sind, um das Kanalnetz in einem geforderten Zustand zu erhalten?

Zunächst soll gezeigt werden, wie mit Zustandsübergangsfunktionen die Alterung von Kanalhaltungen beschrieben werden kann. Auf der Grundlage einer begrenzten Anzahl inspizierter Haltungen werden die Alterungsfunktionen mit einer repräsentativen Datenmenge geeicht, womit später der Zustand des Gesamtnetzes berechnet und die weitere Entwicklung prognostiziert werden kann. Es wird gezeigt, wie mit Hilfe der Zustandsübergangsfunktionen ein gezielter, selektiver Inspektionsplan erstellt werden kann. Anschließend werden exemplarisch für ein Abwassernetz drei Sanierungsszenarien auf der Basis der prognostizierten Zustandsverschlechterung des Netzes entwickelt: Reparatur-, Substanzwerterhaltungs- und Mindestzustandsstrategie.

## **2 Bedarfsprognose und Alterungsmodell für Kanalnetze**

Das Ziel der Bedarfsprognose ist es, mit den bekannten Zustandsdaten die wahrscheinliche Zustandsentwicklung des Kanalnetzes zu bestimmen und so die erforderlichen Mittel zur Sanierung abschätzen zu können.

### **2.1 Bedarfsprognose**

Das Grundkonzept der Bedarfsprognose und Strategieentwicklung ist nach Herz und Krug (2000) in Bild 2 wiedergegeben und soll hier knapp skizziert werden. Ausgangslage sind die Bestandsdaten des Netzes mit Baujahr, Länge und

gegebenenfalls Zustandsinformationen der Haltungen. Zur weiteren, nach Kanaltypen differenzierten Betrachtung, können zusätzliche Informationen zu Material, Lage, Funktion u.a. zweckmäßig sein (Baur und Hörold 2001). Nach der Inspektion wird der Zustand der Abwasserkanäle bewertet. Aus den Mindestanforderungen an das Kanalnetz leitet sich sowohl die Notwendigkeit von Inspektionen als auch der Sanierungsbedarf ab.

Das Kohortenüberlebensmodell, auf dem der prognostische Teil der Software AQUA-WertMin aufbaut, wurde an der Universität Karlsruhe entwickelt (Herz/Hochstrate 1987). Die Übergänge von Kanalhaltungen in schlechtere Zustände werden darin mit Alterungs- bzw. Zustandsübergangsfunktionen beschrieben (Herz 1985), die auf der Grundlage von klassifizierten Inspektionsergebnissen aus der Kanalbefahrung geeicht werden. Mit den empirisch gewonnenen Übergangsfunktionen wird das Kanalnetz Jahr für Jahr in die Zukunft fortgeschrieben und es gehen in jedem Jahr bestimmte Anteile eines Baujahrgangs in die nächst schlechtere Zustandsklasse über. Erreichen Haltungen einen haltungsindividuell festlegbaren, nicht mehr akzeptierten Zustand, so werden diese Längen als Sanierungsbedarf im betreffenden Jahr ausgewiesen. Hierfür stehen verschiedene Handlungsoptionen zur Verfügung: Die Sanierung kann hinausgeschoben werden, so dass ein paar Jahre weiter nur Einzelschäden repariert werden, die Haltung kann komplett oder nur teilweise saniert werden, sie kann in offener oder geschlossener Bauweise durch einen neuen Kanal ersetzt oder nur renoviert werden, und dafür stehen wiederum eine Reihe unterschiedlicher Technologien zur Verfügung, unter der die geeignetste zu wählen ist (Plenker 2000).

Mit dem Ergebnis der Modellrechnung unter Berücksichtigung der Sanierungsoptionen, und den ökonomischen Eingabegrößen erhält man dann die Entscheidungskriterien für die Bewertung und Auswahl von Sanierungsstrategien. Die geeignete Strategie findet man in einem interaktiven Prozess, indem die Wirkungen einer gewählten Strategie auf die Zustands- und Kostenentwicklung neu berechnet und dann gegebenenfalls korrigiert wird.

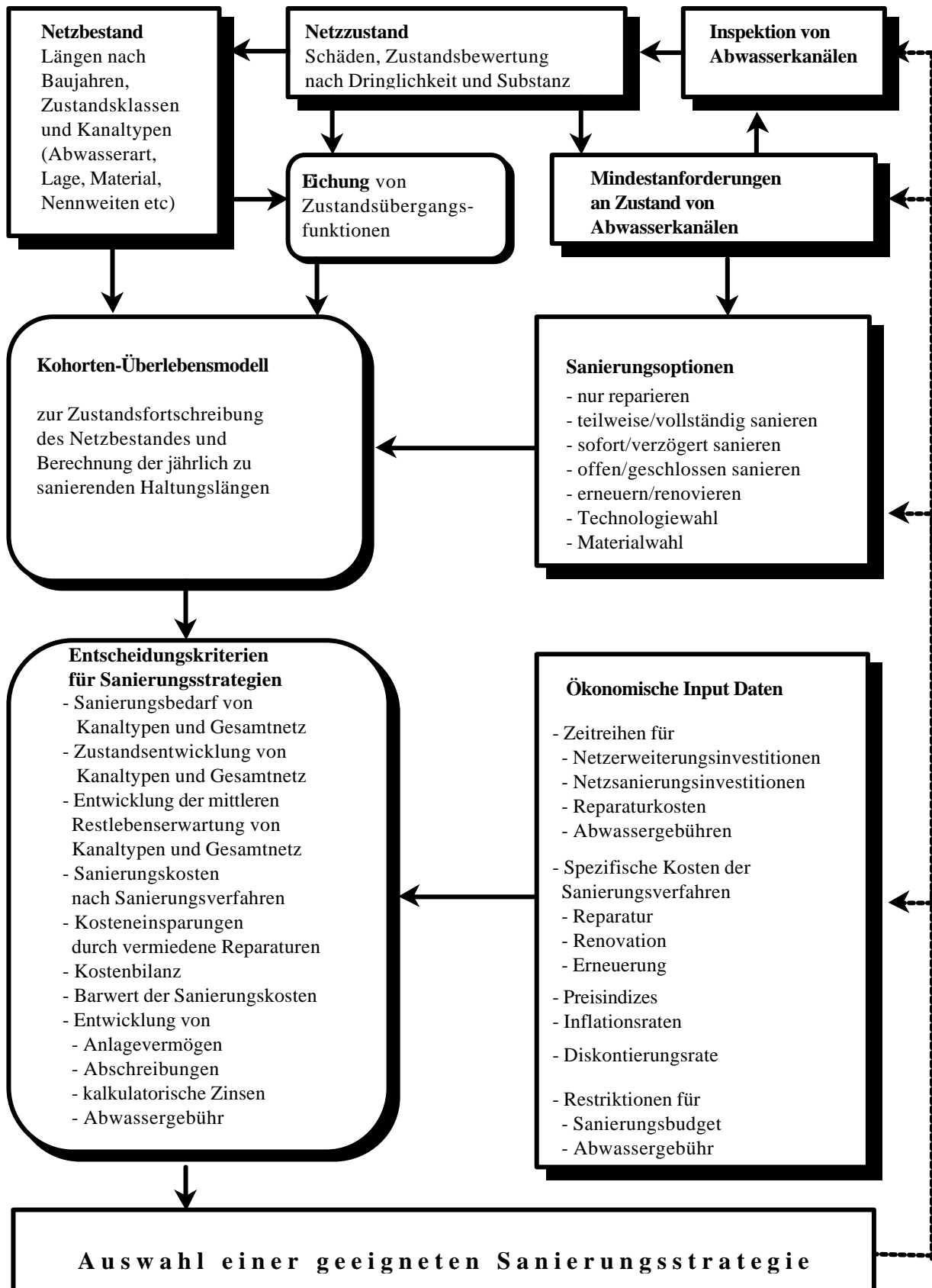


Bild 2: Analyserahmen zur Erkundung von Sanierungsbedarf und Sanierungsstrategien für Abwassernetze (Herz und Krug, 2000)

## 2.2 Alterungsmodell

In der Regel werden Kanalhaltungen, je nach Klassifizierungsmodell, mit dem Ergebnis aus der Inspektion in 4 bis 6 Zustandsklassen eingeteilt, beginnend mit der besten, in der sich Haltung im neuwertigen Zustand befinden, bis zur schlechtesten Zustandsklasse, in der ein Kanal unbrauchbar und einsturzgefährdet ist. Die Haltungen, die einer bestimmten Zustandsklasse zugeordnet sind, haben ein mittleres Alter. Im Modell wird angenommen, dass die Zeitspanne, die sich eine Haltung in einer Zustandsklasse aufhält, eine Zufallsgröße darstellt. Die Altersverteilung jeder Zustandsklasse, der Übergangszeitpunkt in die nächst schlechtere Zustandsklasse und die Übergangsrate sind dabei mathematisch verknüpft (Herz, 1995).

Die Zustandsübergangsfunktionen  $R(x)$  beschreiben den Anteil der Haltungen eines Jahrgangs, die im Alter von  $x$  Jahren noch nicht in schlechtere Zustände übergegangen sind. Ohne hier detailliert auf die von Herz (1985) beschriebenen mathematischen Zusammenhänge eingehen zu wollen, sei an dieser Stelle nur die Gleichung für die Zustandsübergangsfunktionen angegeben:

$$R(x) = (\mathbf{A}+1)/(\mathbf{A}+e^{\mathbf{B}(x-\mathbf{C})})$$

mit

- $R(x)$  Anteil der Haltungen eines Jahrgangs, die im Alter von  $x$  Jahren noch nicht in schlechtere Zustände übergegangen sind
- $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}$  Parametervektoren (der Zustandsklassen (ATV 1999))
- $\mathbf{A}$  Vektor der Alterungsparameter ( - ) bei  $a_i = 0$  altersunabhängige Übergangsrate
- $\mathbf{B}$  Vektor der Übergangsparameter (1/Jahre) Übergangsrate in hohem Alter, mit  $0 < b_i < 1,0$
- $\mathbf{C}$  Vektor der Resistenzzeit (Jahre)

Aus dieser Formel lässt sich mit  $t_{50} = \mathbf{B}^{-1} \ln(\mathbf{A}+2)$  der Median bzw. die Halbwertszeit HWZ ableiten. Das ist das Alter, in welchem die Hälfte aller Haltungen eines Verlegejahrgangs eine schlechtere Zustandsklasse erreicht haben wird, während sich die andere Hälfte noch in der besseren Zustandsklasse oder darüber befindet. Die Aufenthaltsdauer einer Haltung in einer Zustandsklasse hängt aber natürlich auch davon ab, wie die Zustandsklassen definiert sind!

Die Übergangsfunktionen werden bestimmt, indem nach der *Methode der kleinsten Quadrate* Ausgleichsfunktionen durch die empirisch ermittelten Anteile der Haltungen in den Zustandsklassen berechnet werden. Die Parameter der Zustandsübergangsfunktionen müssen für jedes Kanalisationsnetz mit dem aktuellen Inspektionsbefund neu geeicht werden (Bild 3).

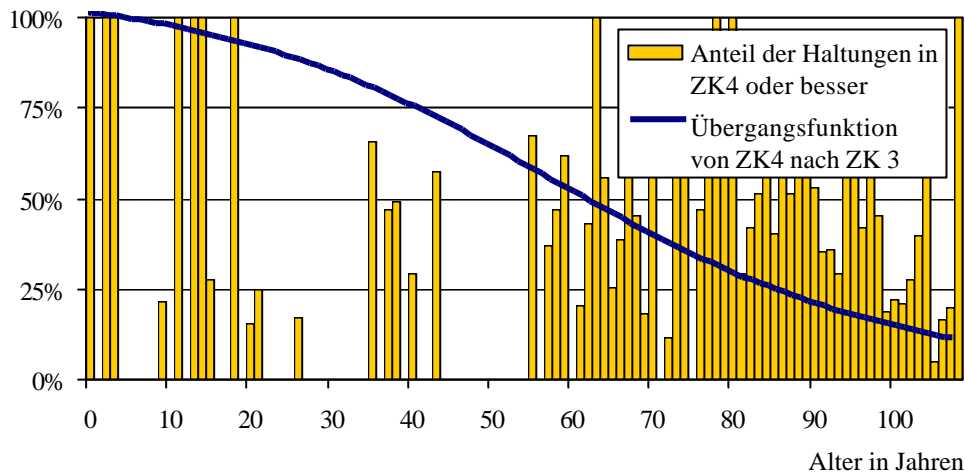


Bild 3: Eichung der Zustandsübergangsfunktion von ZK4 nach ZK3

Auf diese Weise lassen sich für das gesamte Kanalnetz Übergangsfunktionen für alle Übergänge in schlechtere Zustandsklassen entsprechend dem verwendeten Klassifizierungsmodell bestimmen. Sie bilden die Grundlage der Abschätzung des Zustands noch nicht inspizierter Kanäle und die Schätzung der Restnutzungsdauer bei wiederholter Inspektion.

### 3 Fallstudie

In einer Fallstudie wird für Daten des Dresdner Abwassernetzes ausgehend von vorhandenen Bestandsdaten eine Zustandsprognose erstellt und darauf aufbauend eine Sanierungsstrategie entwickelt. Es handelt sich aber ausdrücklich um eine Studie nicht um eine Untersuchung des gesamten Kanalnetzes der Dresdner Stadtentwässerung.

#### 3.1 Repräsentativer Datensatz

Die Erfassung aller Stamm- und Grunddaten sowie der Inspektionsbefunde und Zustandsbewertungen erfordern einen sehr hohen zeitlichen und finanziellen

Aufwand. Die Bewertung des Kanalnetzes mit AQUA-WertMin ist allerdings bereits mit einer repräsentativen Stichprobe möglich (AQUA-Ingenieure 2001). Für das Einzugsgebiet der Stadtentwässerung Dresden waren zum Zeitpunkt der Untersuchung nur für 4,6% der Kanallänge die für eine Untersuchung mit dem Programm erforderlichen Daten verfügbar. Diese Kanäle sind natürlich nicht repräsentativ für das gesamte Dresdner Abwasserkanalnetz. Die Ermittlung einer repräsentativen Stichprobe ist jedoch erforderlich um von der Stichprobe auf die Gesamtheit hochrechnen zu können. Die statistische Auswertung basiert auf einer systematischen Quotenauswahl aus diesen Datensätzen. Auch wenn, wie im vorliegenden Fall, die verfügbaren Daten keine zufällige Auswahl aus der Grundgesamtheit darstellen, wird mit der systematischen Quotenauswahl dafür gesorgt, dass einige für den Alterungsprozeß wichtige, charakteristische Eigenschaften des Kanalnetzes in der Stichprobe angemessen repräsentiert sind.

Die Quotenauswahl der vorhandenen Daten erfolgte in sieben Schichten nach Material und Bauperiode. Die untersuchte Stichprobe umfasste 37,8 km Kanalnetzlänge (Baur und Hörold 2001), deren Quoten aus Bild 4 ersichtlich sind.

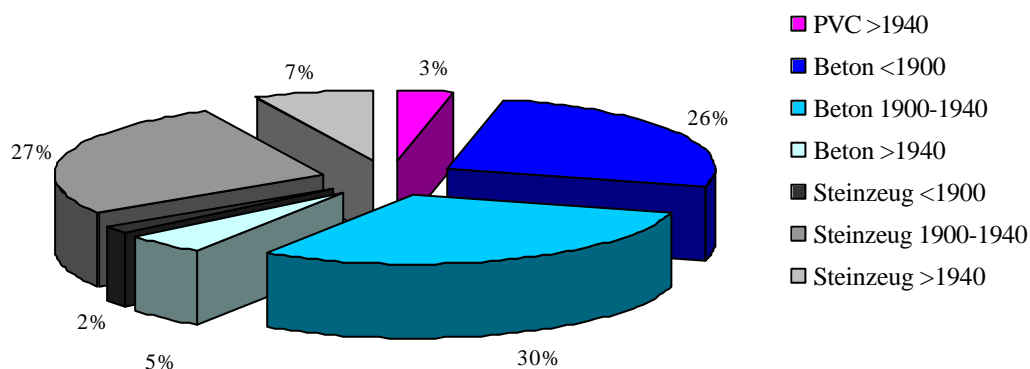


Bild 4: Quoten der Stichprobe

### 3.2 Inspektionsplanung und Zustandsprognose

Der untersuchte Haltungsbestand weist ein recht hohes Durchschnittsalter von über 60 Jahren auf und befindet sich in einem relativ schlechten Zustand. Bild 5 zeigt die Verteilung der Baujahre und den Zustand der untersuchten Stichprobe, worin sich auch deutlich die Perioden unterschiedlicher Entwicklung und Bautätigkeit der Stadt abzeichnen.



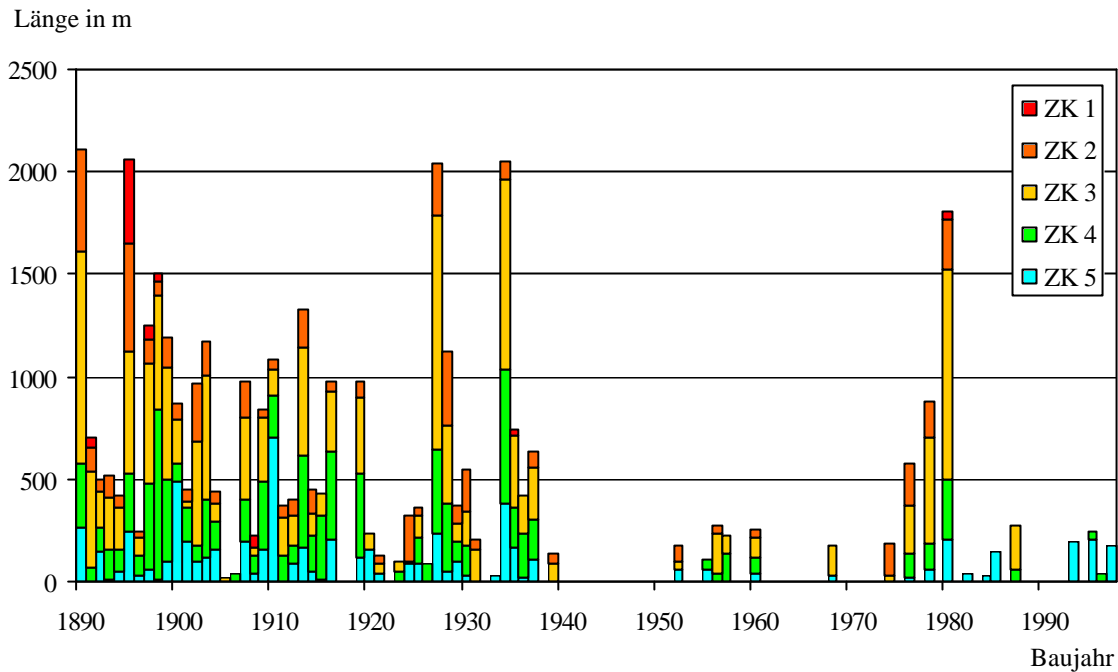


Bild 5: Baujahr und Zustandsverteilung der Haltungen in absoluten Längen

Aus den bekannten Baujahren und der Zustandsverteilung der Haltungen sind die in Bild 6 dargestellten Übergangsfunktionen für die Daten des Dresdner Abwassernetzes geeicht worden. Mit Hilfe der so berechneten Übergangsfunktionen lässt sich der künftige Zustand des Netzes prognostizieren und ein haltungsindividueller Inspektionsplan entwickeln.

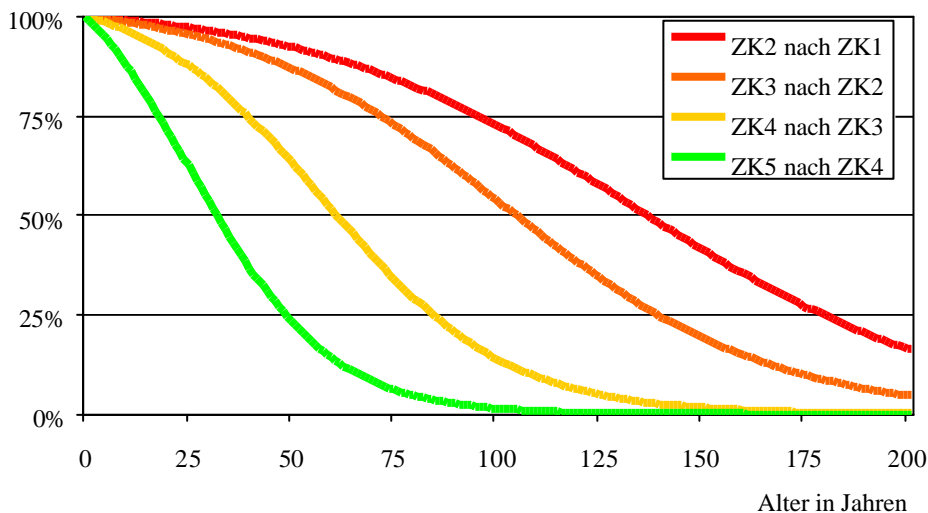


Bild 6: Zustandsübergangsfunktionen (Baur und Hörold 2001)

Aus den Zustandsübergangsfunktionen kann abgelesen werden, dass 50% aller Kanäle des untersuchten Netzes mehr als 100 Jahre alt werden, bis sie die

Zustandsklasse 2 erreicht haben. Jede einzelne Haltung erreicht diesen Zustand in einem individuellen Alter, das über oder unter 100 Jahren liegen kann. Aus dem bekannten Inspektionsergebnis, dem Inspektionsjahr und dem Verlegejahr einer Haltung lässt sich der Übergang in eine kritische Zustandsklasse aber berechnen. Wie dies mit Hilfe der Zustandsübergangsfunktionen geschieht, dazu ein kleines Ableser-Beispiel: Der kritische Zustand einer Haltung sei individuell auf Zustandsklasse 2 festgelegt worden. Die Haltung stammt aus dem Jahre 1938, ist mit 62 Jahren also etwa so alt wie der Netzdurchschnitt und befindet sich nach dem aktuellen Inspektionsergebnis in Zustandsklasse 4.

Das Programm berechnet nun, wie in Bild 7 dargestellt, die Alterungsgeschwindigkeit (sie beträgt im Mittel für eine 62jährige Haltung in ZK 4 ca.30%) und die Restlebenserwartung der Haltung bis zum Erreichen der für sie kritischen Zustandsklasse 2 (im Alter von ca.130 Jahren, also in rund 70 Jahren).

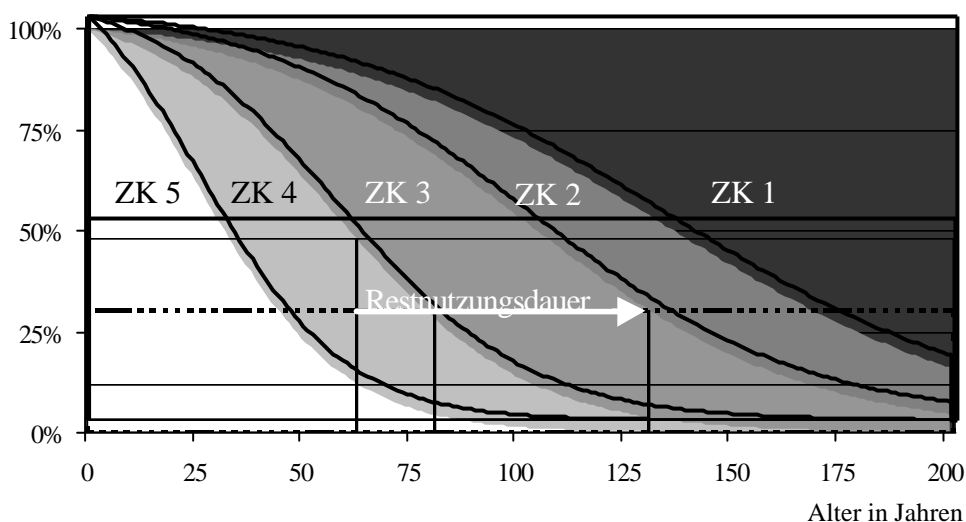


Bild 7: Bestimmung der Alterungsgeschwindigkeit

Damit ergibt sich nun die Möglichkeit einer selektiven Inspektionsplanung unter Berücksichtigung der individuellen Alterungsgeschwindigkeiten. Ein Inspektionsplan kann so aufgestellt werden, dass mit einem zeitlichen Vorlauf von 5 oder 10 Jahren die Haltungen inspiziert werden, von denen erwartet werden kann, dass sie sich vor dem Übergang in eine kritische Zustandsklasse befinden.

Auch ohne das Ergebnis einer vorausgegangenen Befahrung und Zustandsbewertung einer Haltung kann die Erstinspektion der Kanäle gezielter durchgeführt werden. Durch die Bildung von Kanaltypen werden merkmalspezifische Alterungsfunktionen berechnet und ins Verhältnis zu den für

das Gesamtnetz berechneten Übergangsfunktionen gesetzt. Die so berechneten, minimalen mittleren Nutzungsdauern der Haltungen werden zur Unterstützung bei der selektiven Erstinspektion herangezogen (Baur und Hörold 2001).

Wird der Zustand des Netzes mit den empirisch für das Gesamtnetz berechneten Übergangsfunktionen Jahr für Jahr in der Zukunft fortgeschrieben, ohne dass eine grundlegende Sanierung von Kanälen erfolgt, verschlechtert sich der Gesamtzustand des Kanalnetzes zusehends. Je schlechter der Zustand der Kanäle ist, um so häufiger treten Schäden auf, die dringend repariert werden müssen. Bild 8 zeigt die bis zum Jahr 2080 prognostizierte Zustandsentwicklung für die Beispieldaten.

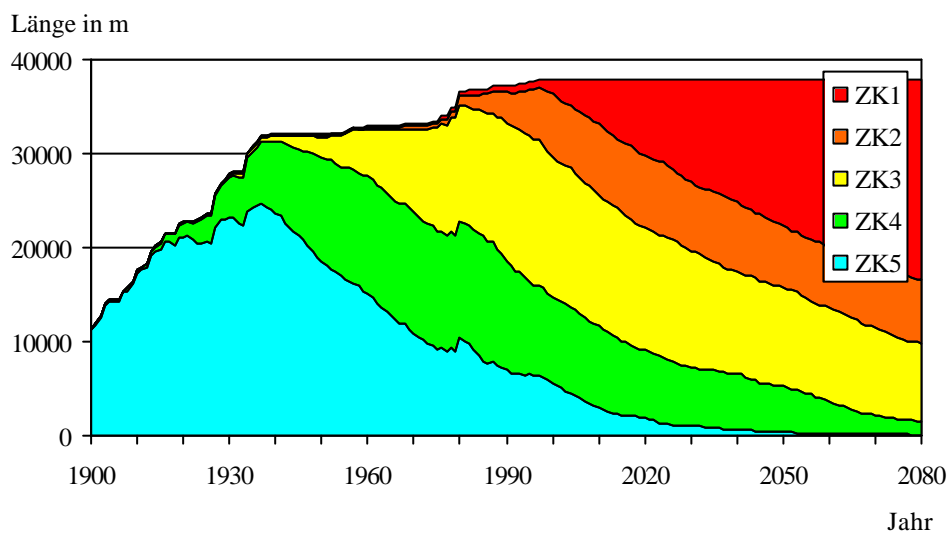


Bild 8: Prognostizierte Zustandsentwicklung

## 4 Entwicklung einer Sanierungsstrategie

Nachdem ausgehend vom aktuellen Netzzustand Zustandsübergangsfunktionen geeicht worden sind, wurde für das Netz über einen gewählten Zeitraum eine Zustandsprognose erstellt. Die Prognose ist Ausgangspunkt für drei mögliche Sanierungsstrategien, die hier berechnet werden sollen. Für die Strategieberechnungen wurden folgende Annahmen getroffen:

## 4.1 Annahmen

Jeder Zustandsklasse kann ein durchschnittlicher Einheitspreis für Reparaturkosten zugeordnet werden. Im vorliegenden Beispiel wurde davon ausgegangen, dass Schäden, die zu einer Einstufung in die Zustandsklassen 5 und 4 führen, nicht reparaturbedürftig sind, also auch keine Kosten verursachen. Für Schäden an Haltungen in den Zustandsklassen 3 bis 1 sind die folgenden, jährlichen Durchschnittskosten festgesetzt worden:

Schäden in ZK 3     20 DM/J\*m

Schäden in ZK 2     75 DM/J\*m

Schäden in ZK 1     130 DM/J\*m

Erneuerte Kanalhaltungen werden einheitlich über eine Nutzungsdauer von 80 Jahren abgeschrieben. Die Nutzungsdauer eines renovierten Kanals wird auf 40 Jahre angesetzt.

Im Zuge der Berechnung von Sanierungsstrategien können unter anderem zwei Fragestellungen beantwortet werden: (1) Wie wird sich der Zustand des Netzes bei einem vorgegebenen Budget in den kommenden Jahren entwickeln? (2) Wie groß ist der Finanzierungsbedarf, wenn sich die Zustandsentwicklung des Netzes in einem gewünschten Rahmen bewegen soll, z.B. ein Mindestzustand erreicht bzw. der aktuelle Zustand erhalten bleiben soll? Die Kosten für Erhalt und Erneuerung des Abwassernetzes setzen sich dabei aus Reparaturkosten, Abschreibung der Neuinvestition und kalkulatorischem Zins der Investition zusammen.

## 4.2 Sanierungsstrategien

Als Beispiel, wie künftige Aufwendungen für den Erhalt des Abwassernetzes abgeschätzt werden können, sind unter Berücksichtigung der Zustandsprognose hier drei Szenarien für Sanierungsstrategien gerechnet worden.

Es wurden für jede Strategie zwei Strategiephasen definiert: Von heute bis zum Jahr 2010, und nach 2010 bis zum Prognosehorizont im Jahr 2080. In allen Strategiephasen beträgt der Anteil der Erneuerungskosten an den Sanierungsinvestitionen 75%, der Anteil für die kostengünstigere aber weniger langlebige Renovation 25%.

### Strategie 1: Reparatur

Die Reparaturstrategie wird auch als die „Feuerwehrstrategie“ bezeichnet. Es wird davon ausgegangen, dass immer nur die dringenden Schäden repariert werden, eine grundlegende Ersatzerneuerung oder Renovation der Haltungen aber nicht durchgeführt wird. Dadurch fallen keine Investitionskosten an und das Ergebnis entspricht daher der Zustandsprognose für „Nichts tun“. Die Zustandsverschlechterung drückt sich auch in den stark ansteigenden Reparaturkosten aus.

### Strategie 2: Substanzwerterhaltung

Bei dieser Strategie wird der Finanzierungsbedarf für das Abwassernetz so bestimmt, dass der aktuelle Substanzwert des Netzes erhalten bleibt, das heißt es tritt keine Verschlechterung, aber auch keine substanzielle Verbesserung des Erhaltungszustands ein.

### Strategie 3: Mindestzustand

Das vorliegende Netz befindet sich in einem relativ schlechten Zustand, so dass es wünschenswert erscheint, den Zustand dauerhaft zu verbessern und auf einem Niveau zu erhalten. Ziel ist es, das Budget auf einem Niveau so zu verstetigen, dass sich keine Kanäle mehr in den Zustandsklassen 2 und 1 befinden.

Dadurch ergeben sich folgende jährliche Investitionskosten für die drei Sanierungsstrategien:

	2000 – 2009	2010 - 2080
Strategie 1	0 DM	0 DM
Strategie 2	200 000 DM	170 000 DM
Strategie 3	400 000 DM	350 000 DM

Das Ergebnis der Berechnungen ist auf den folgenden Seiten abgebildet. Bild 9 zeigt die Zustandsentwicklung für die drei Strategien. In Bild 10 sind die dazugehörigen jährlich anfallenden Reparaturkosten, Abschreibungen und kalkulatorischen Zinsen für die drei Strategien dargestellt.

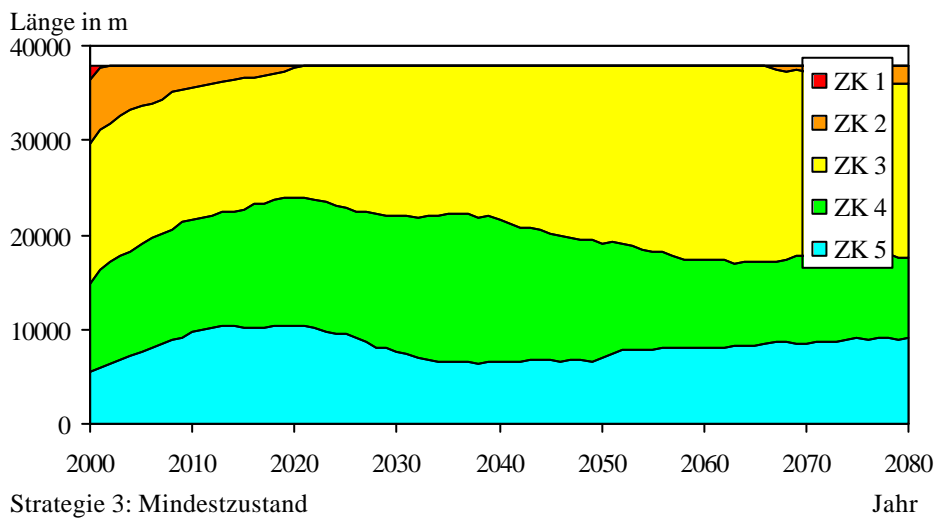
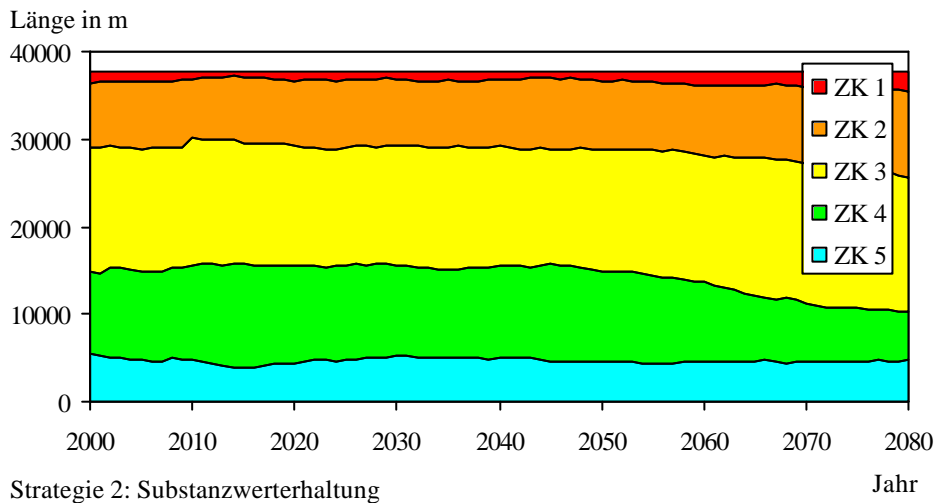
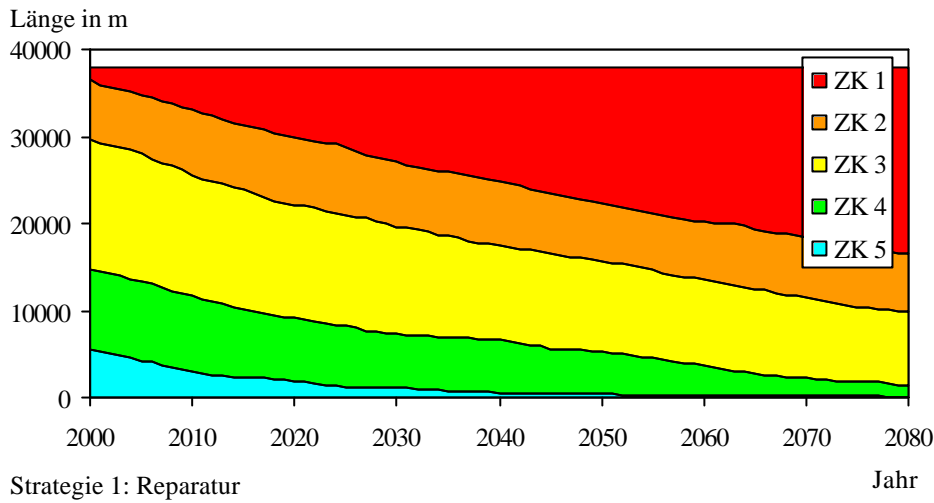
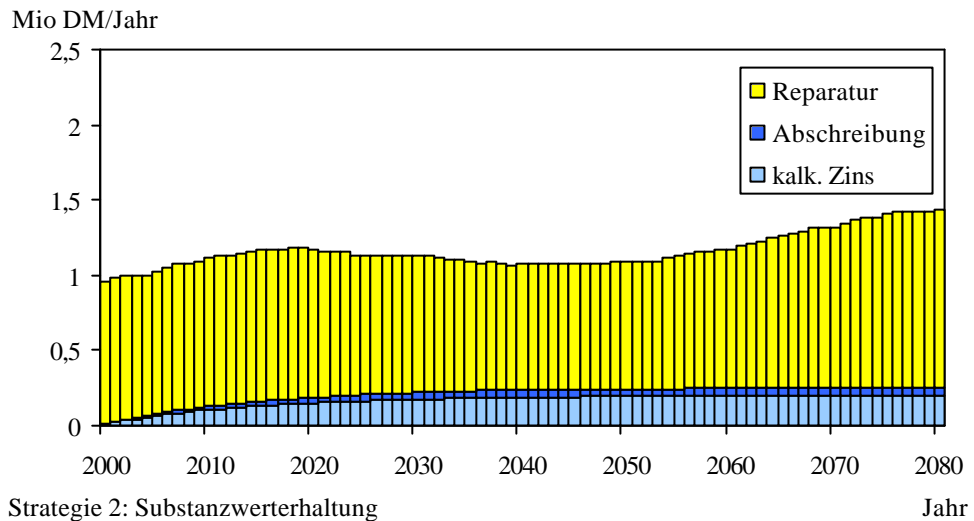
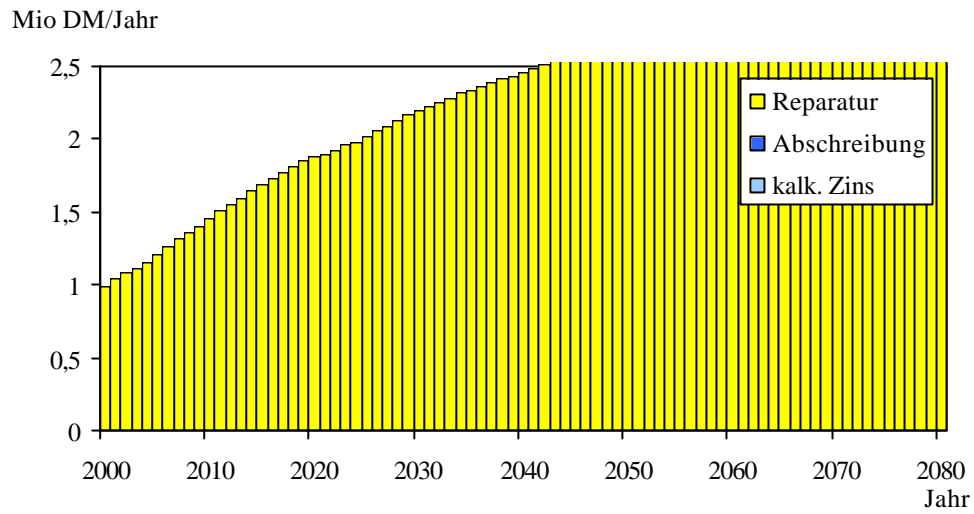
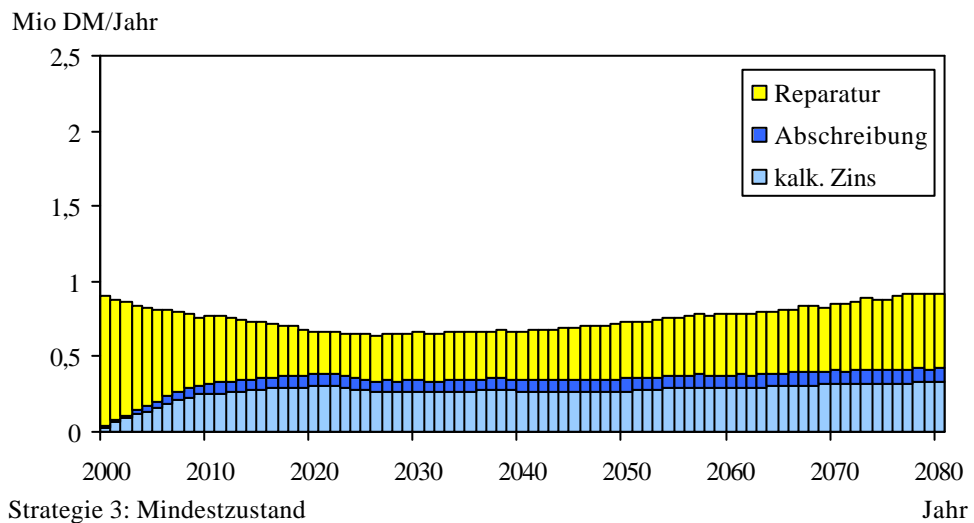


Bild 9: Prognostizierter Zustand des Kanalnetzes



Strategie 2: Substanzwerterhaltung



Strategie 3: Mindestzustand

Bild 10: Jährliche Reparaturkosten, Abschreibungen und kalkulatorische Zinsen

### **4.3 Ergebnis**

Die jährlichen Reparaturausgaben in Höhe von 1 Mio. DM im Ausgangsjahr 2000 steigen bei der Feuerwehrstrategie im Prognosezeitraum und darüber hinaus kontinuierlich an, entsprechend der Zustandsverschlechterung des Netzes, wenn keine grundlegende Sanierung des Netzes erfolgt (Strategie 1). Nach Strategie 2, der Zustandserhaltungsstrategie, können die Gesamtausgaben auf einem leicht erhöhten Niveau des Ausgangsjahres gehalten werden, wobei in diesem Fall ein geringer Sockelbetrag durch Abschreibung und kalkulatorische Zinsen hinzukommt. In Strategie 3 verschwinden die Zustandsklassen 1 und 2 fast vollständig aus dem Netz, wodurch sich die Reparaturkosten in den folgenden Jahren auch drastisch verringern. Es tritt nicht nur eine deutliche Verbesserung des Erhaltungszustands ein, sogar die Gesamtausgaben liegen bei dieser Strategie noch unter dem Budget der Strategie 2.

Die Abwägung zwischen den vorgestellten Sanierungsstrategien fällt für die Ergebnisse der Fallstudie eindeutig zu Gunsten der Strategie 3 aus: Trotz der höchsten Investitionskosten kann neben den geringsten Gesamtkosten eine dringend erforderliche Zustandsverbesserung der Kanäle erzielt werden. In weitergehenden Parameterstudien kann beispielsweise noch geklärt werden, ob sich durch veränderte Anteile für Erneuerung und Renovation ein verbessertes Ergebnis erreichen ließe.

## **5 Zusammenfassung**

In einer Fallstudie wurde die Anwendung des Kohortenüberlebensmodells und der Zustandsübergangsfunktionen, eingebettet in die Software AQUA-WertMin, demonstriert. Das Modell, das auch Grundlage eines Programms zur Bestimmung des Erneuerungsbedarfs von Wasser- und Gasrohrnetzen ist (KANEW 2001, Herz 1999), ermöglicht individuell für einzelne Haltungen eine Prognose der Zustandsverschlechterung. Die auf empirischen Daten aufbauende Prognose der Übergangszeitpunkte in schlechtere, nicht mehr akzeptierbare Zustände wird in eine selektive Inspektionsplanung umgesetzt.

Durch eine Parameterstudie konnte gezeigt werden, wie mit Hilfe des Modells Schritt für Schritt eine Sanierungsstrategie entwickelt werden kann. Es wurde angesprochen, dass das Modell auch zu weitergehenden Untersuchungen



herangezogen werden kann, so ist beispielsweise durch die Bildung von Kanaltypen eine gezieltere, selektive Erstinspektion des Kanalnetzes möglich.

Angesichts der Langlebigkeit von Abwassernetzen und der in immer größeren Mengen zur Verfügung stehenden Daten, ist es durchaus angebracht, sich über die statistische Auswertung und Verwendung dieser Daten Gedanken zu machen. Anstatt weiterhin nur mit einer Feuerwehrstrategie auf entdeckte Schäden zu reagieren, bietet das vorgestellte Modell die Möglichkeit, vorausschauend auf mögliche Entwicklungen des Netzes zu reagieren.

ATV (2001) Sanierungsstrategien für öffentliche Kanäle, Arbeitsbericht der ad-hoc-Arbeitsgruppe der ATV „Sanierungsstrategien“, Stand März 2001.

ATV - M 149 (1999) Zustandserfassung, -klassifizierung und -bewertung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden. Hennef: GFA.

ATV - A 133 (1996) Erfassung, Bewertung und Fortschreibung des Vermögens kommunaler Entwässerungseinrichtungen. Hennef: GFA.

AQUA WertMin Software: [www.aqua-ingenieure.de](http://www.aqua-ingenieure.de)

Baur, R. und S. Hörold (2001) Verbesserte Inspektionsplanung durch Alterungsprognose von Abwasserkanaltypen. KA - Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall. zur Veröffentlichung angenommen.

Baur, R. und A. Kerk (2000) Erneuerungsbedarfsprognosen für alternde Kanalisationssysteme. KA - Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 47, 2, 203-206.

Baur, R. und R. Herz (1999) Service Life Management of Water Mains and Sewers. Proceedings of the 13<sup>th</sup> European Junior Scientist Workshop. Dresden: Technische Universität. 222 S.

Ellerhorst, S., M. Schröder und B. Wöffen (2000) Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen zur Schadensbehebung im öffentlichen Kanalnetz. KA - Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 47, 5, 674-680.

Hartwig, E. und R. Krug (1999) Selektive Inspektionsstrategie und statistisch/prognostische Sanierungsmodelle. Korrespondenz Abwasser Jg.46, 11, S. 1703-1708.

Hartwig, E. und R. Krug (1998) Finanzierung und Werterhaltung von Kanälen. Selektive Kanalinspektion im VW-Werk Wolfsburg. Korrespondenz Abwasser Jg.45, 8, S. 1483-1488.

Herz, R. und R. Krug (2000) Sanierungsbedarf und Sanierungsstrategien für Abwasserkanäle. Beitrag zum 11. Leipziger Bau-Seminar.

Herz, R. (1999) Erneuerungsbedarf kommunaler Wasserrohrnetze in den östlichen Bundesländern. Ergebnisse einer Untersuchung. gwf Wasser Abwasser 140, 13, 54-60.

Herz, R. (1985) Alterung und Erneuerung von Infrastrukturbeständen - ein Kohortenüberlebensmodell. Jahrbuch für Regionalwissenschaft 14/15, 5-29.

Herz, R. und K. Hochstrate (1987) Erneuerungsstrategien für städtische Infrastrukturnetze. Jahrbuch für Regionalwissenschaft Jg.8, S. 67-105.

- Hochstrate, K. (2000) Zustandsbewertung nach Sanierungspriorität, Substanzwert und Funktionsgerechtigkeit als Grundlage einer prognosegestützten Inspektion und einer vorausschauenden Sanierungsplanung. In: Tagungsband des 6. Internationalen Kongress Leitungsbau, 538-547. Hamburg: CCH.
- Hochstrate, K. (1999) Zustandswertorientierte Zustandsklassifizierung von Kanälen - Das Bietigheimer Modell. Korrespondenz Abwasser 46, 2, 213-217.
- Hochstrate, K., K. Jansen und F. Schönborn (1997) Finanzierung und Werterhaltung von Kanälen – Qualitätsprüfung selektiver Inspektionsstrategien nach DIN EN 752-5 durch Genehmigungsbehörden. Korrespondenz Abwasser Jg.44, 11, S. 1971-1974.
- Hochstrate, K. und K. Jansen (1996) Werterhaltung und Finanzierung von Abwasserkanalnetzen durch vorbeugende Instandhaltung. Korrespondenz Abwasser Jg.43, 2, S. 284-291.
- Hotz, R und R. Müller-Winterstein (1996) Was sollen, was können Modelle zur Zustandserfassung und -bewertung von Kanalnetzen leisten? Eine Alternative: das „Pforzheimer Modell“. Korrespondenz Abwasser 43, 1, 24-40.
- KANEW Software: [www.tu-dresden.de/biwiss/stadtbau/KANEW.html](http://www.tu-dresden.de/biwiss/stadtbau/KANEW.html)
- Krug, R. (2000) Selektive Inspektion - ein wirtschaftliches Verfahren für kurzfristig erzielbare Zustandsaussagen für strategische Planungen. Beitrag zum 11. Leipziger Bau-Seminar.
- Müller, K. und Krug, R. (1999) Selektive Inspektion als Grundlage für Betrieb, Unterhalt und Sanierung. 3.Tagung „Entwicklungen in der Kanalisationstechnik“, Köln
- Plenker, T. (2000) Systematische Auswahl von Sanierungsverfahren für Abwasserkanäle. Beitrag zum 11. Leipziger Bau-Seminar.
- Reidenbach, M. (1988) Aus den Augen aus dem Sinn? Zur Erhaltung der städtischen Kanalisation. Bauwelt, 492-496.
- Stein, D. und W. Niederehe (1998) Instandhaltung von Kanalisationen. 3. Aufl. Berlin: Ernst & Sohn.
- Wagner, W. (2000) Stellenwert der Nutzungsdauer von Abwasseranlagen unter Kostengesichtspunkten. KA - Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 47, 7, 1036-1047.

Dipl.-Ing. Rolf Baur  
Lehrstuhl Stadtbauwesen, Fakultät Bauingenieurwesen  
Technische Universität Dresden, D – 01062 Dresden  
Tel. +49-351-463 2383  
Fax +49-351-463 7730  
[rolf.baur@mailbox.tu-dresden.de](mailto:rolf.baur@mailbox.tu-dresden.de)