

Sanierungsbedarf und Sanierungsstrategien für Abwassernetze

1. Einleitung

Die Kanalinspektion bringt es an den Tag: Der Zustand mancher Kanalhaltungen ist besorgniserregend, erfordert dringend eine Sanierungsmaßnahme, die Reparatur eines Einzelschadens oder gar die Sanierung des gesamten Kanals. Für den Kanalbetreiber, der sein jährliches Inspektionssoll von rund 10 % der Netzlänge erfüllen will, hat dies unter Umständen die unangenehme Folge, dass weit mehr Kanalhaltungen höchster Dringlichkeit entdeckt werden, als mit dem vorgesehenen Sanierungsbudget tatsächlich saniert werden können. Diese Situation sollte man nicht dadurch vermeiden, dass die Kanalinspektion, sobald das Sanierungsbudget erreicht ist, eingestellt oder auf Kanäle umgeleitet wird, von denen man erwarten kann, dass sie noch in gutem Zustand sind. Vielmehr sollte von vorneherein der Sanierungsbedarf richtig eingeschätzt und ein entsprechendes Budget bereit gestellt werden.

Gegenstand dieses Beitrags ist die längerfristige Abschätzung der Mittel, die erforderlich sind, um ein Kanalnetz in einem definierten Mindestzustand zu halten: die jährlich zu erwartenden Reparaturkosten und Investitionskosten für die Renovation und Erneuerung von Kanalhaltungen. Dazu sind die Kanalhaltungen zu ermitteln, die im jeweiligen Jahr voraussichtlich am Ende ihrer Nutzungsdauer angelangt sein werden, d.h. den definierten Mindestzustand nicht mehr erfüllen und deshalb saniert werden müssen. Mit Hilfe einer Prognose der Entwicklung des Netzzustands soll das Budget für Kanalsanierungen begründet, verstetigt und von den Zufälligkeiten der Inspektionsbefunde befreit werden. Zugleich soll eine Sanierungsstrategie gefunden werden, die den Vermögenswert des Kanalisationsnetzes durch Investitionen in die Sanierung von Abwasserkanälen, wenn schon nicht erhöht, so doch wenigstens erhält.

Die Entwässerungsbetriebe verfügen inzwischen über Kanaldatenbanken, in denen unter anderem auch Inspektionsbefunde den einzelnen Kanalhaltungen zugeordnet werden. Diese Informationsfülle, die ständig wachsende Informationsflut, ruft förmlich nach einer statistischen Aufbereitung und Auswertung, um den Alterungsprozess der Abwasserkanäle und -netze zu beschreiben und für die Entwicklung von Sanierungsstrategien nutzbar machen. Es wirkt geradezu anachronistisch, wenn heute immer noch nach Art der Feuerwehr nur reagiert und repariert wird, nachdem der Schaden eingetreten ist, und entdeckt wurde. Etwas mehr Weitsicht ist möglich und der Langlebigkeit unserer Entwässerungssysteme durchaus angemessen.

Wir benötigen eine prognostische Sanierungsstrategie, die auf empirischen Zustandsbefunden beruht.

Dabei spielt natürlich auch eine Rolle, wie der Zustand der Abwasserkanäle gemessen bzw. bewertet wird. Die gängigen Verfahren [2,12,13,19] versuchen eine möglichst umfassende Zustandsbewertung durch Gewichtung von Einzelschäden und Schäden mit Längsausdehnung unterschiedlicher Schwere, wobei dem schwersten Einzelschaden im Hinblick auf die Dringlichkeit der Sanierung zurecht besondere Bedeutung beigemessen wird. Dies ist jedoch insofern nicht ganz unproblematisch, als Einzel-

schäden mit einem Bruchteil der Sanierungskosten behoben werden können, die erforderlich sind, um die gesamte Kanalhaltung zu sanieren. Aus der Zustandsbewertung eines Kanals kann also nicht unmittelbar auf die Sanierungskosten geschlossen werden, denn für eine aufwändige Renovation oder Erneuerung ist das gesamte Erscheinungsbild der Kanalhaltung entscheidend. Doch die Problematik der Zustandsbewertung nach Dringlichkeit oder Substanzsicherung [12,13] soll hier nicht weiter behandelt werden.

Im Hinblick auf die Budgetprognose und Werterhaltung der Abwassernetze beschränken sich die folgenden Ausführungen auf Aussagen über das gesamte Kanalnetz. Zum Sanierungsbedarf einzelner Kanalhaltungen [2,5,12,13], zur Inspektionsplanung [5,15,17,18], Zustandserfassung und -bewertung [2,12,19] sowie zur Wahl des am besten geeigneten Sanierungsverfahrens [20] wird auf andere Beiträge verwiesen.

2. Grundkonzept der Bedarfsprognose und Strategieentwicklung

Das Grundkonzept der Bedarfsprognose und Strategieentwicklung für Abwassernetze ist in **Bild 1** schematisch dargestellt. Ausgangspunkt einer Sanierungsbedarfsprognose ist der Bestand an Abwasserkanälen nach Art, Umfang, Zustand und Alter. Im Hinblick auf unterschiedliches Alterungsverhalten erscheint es zweckmäßig, Regen-, Schmutz- und Mischwasserkanäle kleinerer und größerer Nennweiten nach den Werkstoffen Mauerwerk, Steinzeug, Beton und Kunststoff zu unterscheiden. Auch das Herstellungsjahr der Abwasserkanäle ist in der Regel bekannt oder kann anhand der Bebauung wenigstens mit einer Genauigkeit von 5 Jahren den einzelnen Kanalhaltungen zugeordnet werden. Das Alter eines Kanals spielt allerdings für die Prognose des Sanierungsbedarfs nur insofern eine Rolle, als der Zustand des Kanals sich mit dem Alter nicht verbessert, sondern mehr oder weniger schnell verschlechtert. Mit welcher Geschwindigkeit sich der Zustand eines Kanaltyps verschlechtert, wird aus den Inspektionsbefunden berechnet. Zustandsbewertungen liegen jedoch in der Regel nicht für das gesamte Netz, sondern nur für Teilabschnitte vor und stammen aus unterschiedlichen Jahren, sind möglicherweise auch mit unterschiedlichen Erfassungstechniken und Zustandsbewertungsverfahren ermittelt worden. Dies erschwert die Aktualisierung und Hochrechnung auf das Gesamtnetz.

Durch eine Querschnittsanalyse der Zustandswerte von Abwasserkanälen zum jeweiligen Inspektionszeitpunkt lassen sich, differenziert nach Kanaltypen, empirische Alterungsfunktionen, Zustandsübergangsfunktionen ermitteln, die dann zur Fortschreibung des Netzzustands benutzt werden. Die Länge der Kanäle, die im jeweiligen Prognosejahr in den definierten Mindestzustand übergehen, stellen den Sanierungsbedarf des jeweiligen Jahres dar. Mit Hilfe von Einheitskosten für verschiedene Sanierungsverfahren werden die Sanierungslängen dann in Geldeinheiten umgerechnet.

Der Betreiber eines Kanalnetzes kann für Teilbereiche verschiedene Anforderungen an den Mindestzustand der Abwasserkanäle formulieren und unterschiedliche Sanierungsstrategien verfolgen, um diese Ziele zu erreichen. Dabei sind die Auswirkungen auf das Anlagevermögen und die langfristige Zustandsentwicklung des Netzes zu beachten. Er kann die aufwändige Renovation und Erneuerung von Abwasserkanälen hinausschieben und nur die nötigsten Reparaturen durchführen, mit der Konsequenz, dass die Anzahl der Reparaturen steigt und der Vermögenswert nebst Abschreibungen sinkt.

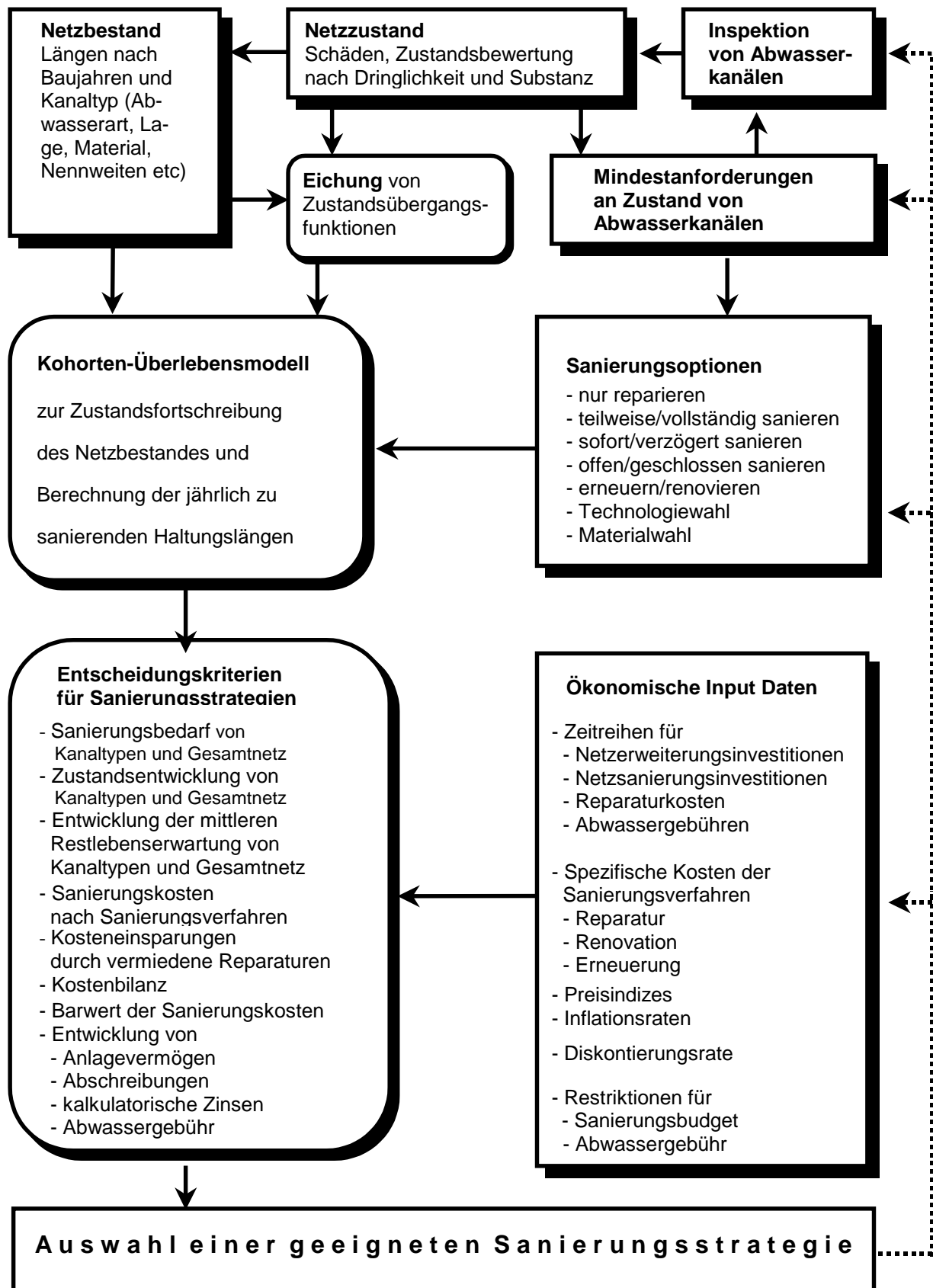


Bild 1 Analyserahmen zur Erkundung von Sanierungsbedarf und Sanierungsstrategien für Abwassernetze

Der Netzbetreiber kann die sanierungsbedürftigen Abwasserkanäle nach Möglichkeit renovieren, oder, mit höherem Aufwand, durch neuwertige, besonders langlebige Rohre ersetzen. Auch eine vorbeugende Kanalsanierung könnte Bestandteil der Sanierungsstrategie sein, wobei Abwasserkanäle renoviert werden, bevor ihr Zustand sich so weit verschlechtert, dass nur noch eine sehr aufwändige Ersatzerneuerung infrage kommt. Entscheidungen über den Zeitpunkt und die Art der Sanierung werden zwar im konkreten Einzelfall, nach erneuter Inspektion, getroffen, sie lassen sich jedoch auch im Rahmen der langfristigen Unternehmensplanung auf der Netzebene in die Prognosen mit einbeziehen.

Bei einer ökonomischen Bewertung unterschiedlicher Strategien stehen auf der Kostenseite direkte und indirekte Reparaturkosten und Sanierungsinvestitionen, die früher oder später in unterschiedlicher Höhe anfallen, auf der Nutzenseite die durch die Sanierung vermiedenen Reparaturkosten und die Abschreibungen, die steuerlich geltend gemacht werden können und in die Berechnung kostendeckender Abwassertarife eingehen. Auch die Veränderung des Anlagevermögens bzw. Restbuchwertes sowie der mittleren Restnutzungsdauer des Kanalnetzes kann zur vergleichenden Bewertung von Sanierungsstrategien herangezogen werden. Dagegen lässt sich der ökonomische Nutzen aus der Dichtheit sanierter Abwasserkanäle allenfalls bei konkreten Einzelprojekten bewerten.

Die beste Sanierungsstrategie für ein Abwassernetz lässt sich nicht durch ein formales Optimierungsverfahren, sondern nur durch systematisches Abwägen von Vorteilen und Nachteilen verschiedener Strategien finden, die bestimmte Ziele unter vorgegebenen Randbedingungen erfüllen.

3. Ein Alterungsmodell für Kanalnetze

Kernstück dieses Ansatzes ist ein Alterungsmodell, das an der Universität Karlsruhe entwickelt [10,11] und mittlerweile in zwei Software Paketen implementiert ist: AQUA-WertMin für Abwassernetze [4] und KANEW [16] für Netze der Gas- und Trinkwasserversorgung [7].

Der Alterungsprozess wird mit einem Kohortenüberlebensmodell beschrieben, im Falle von zustandsklassifizierten Abwasserkanälen mit einem Kohortenübergangsmodell in schlechtere Zustände. Kohorten sind hier Baujahrgänge von Abwasserkanälen, die zweckmäßigerweise in Kanaltypen untergliedert werden, die sich hinsichtlich ihres Alterungsverhaltens deutlich unterscheiden, z.B. nach Material und Nennweite, Aggressivität des Abwassers, Tiefenlage, Grundwasserabstand etc. Auch innerhalb solcher "alterungs-homogenen" Kanaltypen wird es immer Kanalhaltungen geben, deren Zustand sich mehr oder weniger langsam verschlechtert. Nach vielen Jahren sind einige noch in sehr gutem Zustand, andere weisen Einzelschäden auf, die dringend repariert werden müssen, und andere sind schon so verschlissen, dass die gesamte Kanalhaltung renoviert oder erneuert werden muss. Die Kanalinspektion bringt es an den Tag. Mit Hilfe der Inspektionsbefunde und daraus abgeleiteter Zustandskennziffern können für das jeweilige Kanalnetz sogenannte Zustandsübergangsfunktionen ermittelt werden. Von besonderem Interesse ist hierbei die Übergangsfunktion in den nicht mehr zulässigen Zustand, die eigentliche Überlebensfunktion, denn diese beendet die Nutzungsdauer des Abwasserkanals.

Die Überlebensfunktion gibt an, wie viel Prozent eines Jahrgangs ein bestimmtes Alter erreicht. Dem entspricht eine Häufigkeitsverteilung bzw. eine Wahrscheinlichkeitsdichte der Nutzungsdauer. Hieraus lässt sich eine Formel dafür ableiten, welcher Teil des jeweils noch vorhandenen Bestands in einem bestimmten Alter ausscheidet bzw. die Zustandsklasse wechselt. Dieser Anteil ist zunächst sehr gering und nimmt allmählich mit der Alterung zu. Auch der Erwartungswert für die Restnutzungsdauer bis zum Erreichen des definierten Mindestzustands lässt sich aus dieser einen Funktion ableiten. Ohne an dieser Stelle näher auf die Mathematik eingehen zu wollen, sei doch wenigstens die Gleichung für die Zustandsübergangsfunktionen angegeben:

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

mit

$y(x)$ Anteil der Kanalkohorte, der sich im Alter von x Jahren noch in einem definierten Mindestzustand befindet

A,B,C Parameter (Vektoren der Zustandsklassen[2])

A Alterungsvektor (...) bei $a_i = 0$ altersunabhängige Übergangsrate

B Ausfallvektor (1/Jahre) = Übergangsrate in hohem Alter, mit $0 < b_i < 1,0$

C Resistenzzeitvektor (Jahre) = Alter bis zu dem sich alle Kanäle im definierten Mindestzustand befinden

Die Eichung der Parameter für das jeweilige Kanalnetz und jeweilige Zustandsklassifikation erfolgt nach dem Prinzip der minimalen häufigkeitsgewichteten quadratischen Abweichungen. **Bild 2** zeigt eine Kurvenschar von 4 Zustandsübergangsfunktionen, deren Parameter mit Daten des Dresdner Kanalnetzes bestimmt wurden [5].

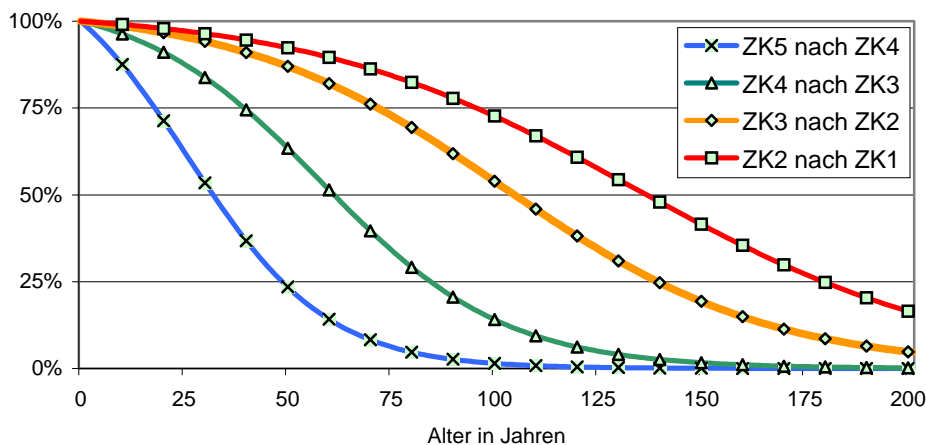


Bild 2 Übergangsfunktionen in schlechtere Zustände

Derartige Zustandsübergangsfunktionen, gegebenenfalls differenziert nach Kanaltypen, bilden die Ausgangsbasis für eine Zustandsschätzung noch nicht inspizierter Kanalhaltungen sowie eine verbesserte Schätzung der Restnutzungsdauer bei wiederholter Inspektion, z.B. im Rahmen einer selektiven Inspektionsplanung [5,12,18].

4. Fallbeispiel: Sanierungsstrategie für ein industrielles Kanalnetz

Die Anforderungen an Industrieunternehmen, die sich aus Umweltschutzaspekten stellen, erstrecken sich nicht nur auf den unmittelbaren Produktionsbereich, sondern auch auf die Infrastruktur der Werke. Hierzu zählt auch der Betrieb und Unterhaltung des Kanalnetzes. Für ein industrielles Kanalnetz von 120 km Länge wurden auf der Grundlage einer Zustandsfeststellung durch eine selektive Kanalinspektion mehrere Szenarien für die langfristige Entwicklung des Kanalnetzstatus bei unterschiedlichen Instandhaltungsstrategien untersucht und aufgezeigt. Im folgenden werden für drei Strategievarianten die Ausgangsbedingungen, Sanierungs- und Netzzustandsziele sowie die erforderlichen, zielabhängigen Sanierungsaufwendungen und deren finanzieller Auswirkungen vorgestellt.

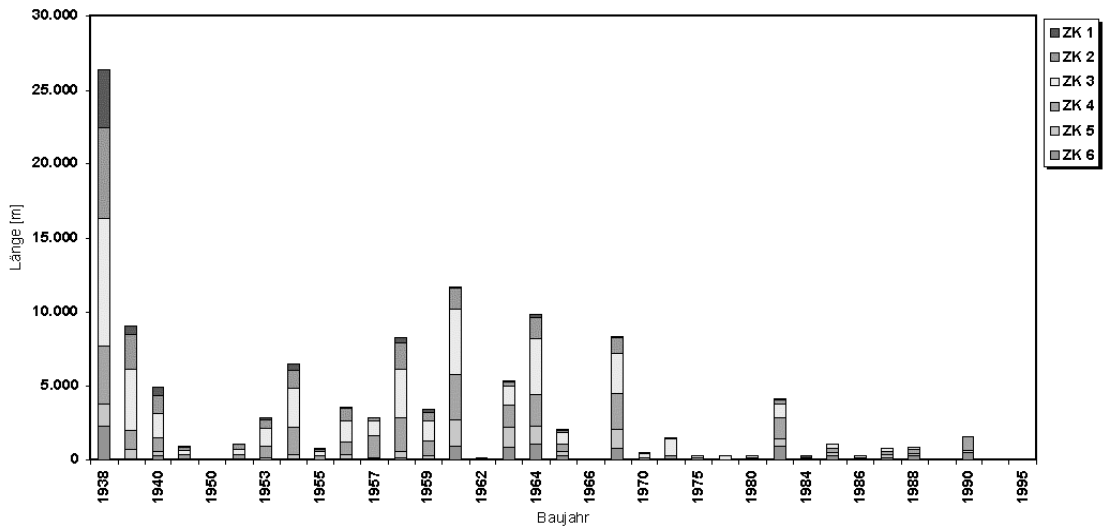
4.1 Ausgangszustand und Zustandsprognose für den Nullfall

Das Kanalnetz des Werkes umfasst zur Zeit rund 120 km Hauptkanäle. Zu ca. 30 % wurde das Netz bereits bei der Werksgründung in den 30-er Jahren erstellt. Ein weiterer Ausbauschub bis auf etwa 90 % der heutigen Größe erfolgte - ähnlich wie bei kommunalen Netzen - bis gegen Ende der 60-er Jahre. Das maximale Alter der Kanäle beträgt somit rund 60 Jahre. Die Entwässerung erfolgt hier im Trennsystem, wobei Schmutzwasserkanäle fast ausschließlich in Steinzeug, Regenwasserkanäle in Beton erstellt wurden.

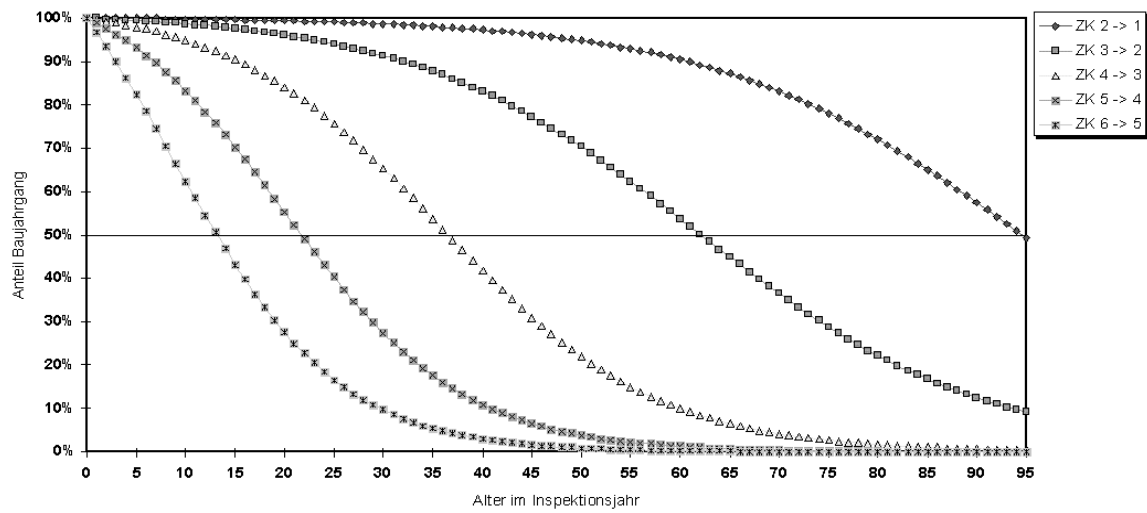
Als Grundlage für die strategischen Untersuchungen wurden die Ergebnisse der Zustandsuntersuchungen in einem sechsstufigen System nach den Kriterien einer Substanzwertminderung (technische Wertminderung) klassifiziert. Hierbei liegt der Schwerpunkt auf einer Berücksichtigung aller Schäden in einer Haltung, so dass jeweils der mittlere Gesamtzustand der Haltung beschrieben wird.

Bei Haltungen der Zustandsklasse 1 ist ein sehr schlechter Gesamtzustand gegeben, bedingt durch schwere Schäden über große Längenteile der Haltung. Der „Nutzungsvorrat“ der Haltung ist praktisch aufgezehrt. Im weiteren beschreibt die Skala als Zustandsklasse 3 eine mittlere Schädigung der Haltung bzw. starke, aber lokal begrenzte Schäden. Sanierungsbedürftige Schäden werden in dieser Klasse zweckmäßigerweise in der Regel durch Reparaturmaßnahmen behoben. Zustandsklasse 6 enthält mangelfreie Kanäle.

Die Verteilung der Zustandsklassen auf die einzelnen Baujahrgänge zeigt das oberste Diagramm in **Bild 3**. Bereits hier ist erkennbar, dass mit zunehmendem Alter der Anteil der schlechteren Zustandsklassen am Baujahrgang zunimmt. Dieser Zusammenhang führt zu den Zustandsübergangsfunktionen (**Bild 3**, Mitte). Charakteristisch sind hier die Halbwertzeiten. Im vorliegenden Fall zeigen sie, dass 50 % der Kanäle nach rund 60 Jahren eine Zustandsklasse von 2 oder schlechter aufweisen (ZK 3 → 2). Nach rund 95 Jahren befinden sich 50 % der Kanäle bereits in Zustandsklasse 1 (Zustandsübergangsfunktion ZK 2 → 1).

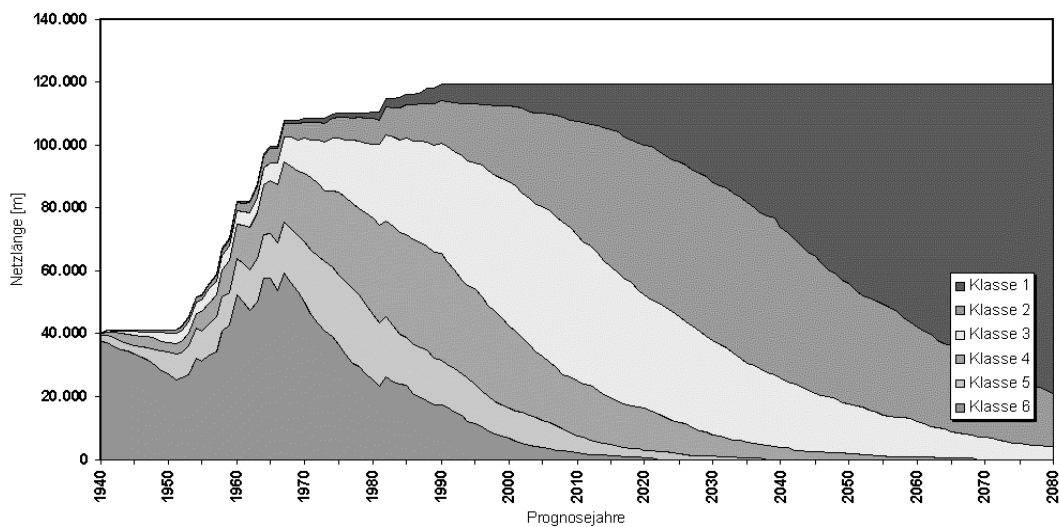


Baujahr- und Zustandsverteilung (absolute Längen)



Kanalnetzspezifische Zustandsübergangsfunktionen

Halbwertszeiten: 11, 21, 36, 62, 95 Jahre



Alterungsprognose Kanalnetzzustand

Bild 3 Ausgangszustand, Zustandsübergangsfunktionen, Zustandsentwicklung Nullfall

Diese netzspezifischen Zustandsübergangsfunktionen kennzeichnen das Alterungsverhalten des Kanalnetzes und ermöglichen eine Prognose der kontinuierlichen Zustandsverschlechterung, wenn keine Sanierungsmaßnahmen für das Kanalnetz ergriffen werden (**Bild 3**, unten). Erkennbar ist auch die allmähliche Zustandsverschlechterung bis zu der am Stichtag festgestellten Zustandsverteilung in den Klassen 1 bis 6. Nach der Prognose würde ohne Gegenmaßnahmen der Anteil dringlich sanierungsbedürftiger Kanäle (Zustandsklasse 1 und 2) von derzeit rund 27 km auf rund 42 km im Jahr 2010 anwachsen, was einem Zuwachs von 55 % entspricht. Dies unterstreicht die Bedeutung einer vorausschauenden, mittel- bzw. langfristig angelegten Sanierungsstrategie.

4.2 Sanierungsstrategien für das Abwassernetz des Fallbeispiels

Als Ziel einer langfristigen Kanalstandhaltung ist in technischer Hinsicht ein Sollzustand des Netzes zu erreichen bzw. einzuhalten [1], der wie folgt definiert wurde:

- Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit und Standsicherheit
- Betrieb eines dauerhaft dichten Kanalnetzes, so dass Umweltgefährdungen durch Exfiltrationen ausgeschlossen sind und gesetzliche und behördliche Auflagen erfüllt sind.

Als unmittelbarer Planungszeitraum werden 30 Jahre angesehen, wobei die weitere Entwicklung allerdings nicht vollständig außer acht bleiben darf.

Es wird vorausgesetzt, dass - mit entsprechendem finanziellem Aufwand - eine Sanierung durchweg durch alle drei Verfahrenstypen, Reparatur, Renovation und Erneuerung erfolgen kann.

Hierauf aufbauend werden drei Strategien für eine Kanalsanierung und -unterhaltung untersucht:

Strategie 1 Reparaturstrategie

Bei dieser Strategie erfolgt keinerlei Ersatzvornahme durch Erneuerung oder Renovation von Haltungen. Die Beseitigung der Schäden, so dass der zuvor definierte Sollzustand erreicht und eingehalten wird, erfolgt ausschließlich durch ständig wiederkehrende Instandsetzungsmaßnahmen. Damit wird der Alterungsprozess und die fortschreitende technische Wertminderung nicht aufgehalten. Lediglich die Beurteilung des baulichen Zustandes verbessert sich.

Strategie 2 Substanzwerterhaltungsstrategie

Bei Beachtung des Zieles, den technischen Sollzustand zu erreichen und beizubehalten, werden investive Maßnahmen - Erneuerung und Renovation - soweit durchgeführt, dass

- die Zustandsklasse 1 innerhalb von 2 Jahren abgebaut ist und
- der derzeit vorhandene Substanzwert (der technische Wert) des Kanalnetzes zukünftig beibehalten wird. Dies bedeutet, dass sich das Verhältnis der einzelnen Zustandsklassen im Netz über die Zeit nicht ändert.

Die weitergehend erforderlichen Schadensbeseitigungsmaßnahmen in der Zustandsklasse 2 zur Sicherstellung eines dauerhaft dichten Kanalnetzes werden durch laufende Reparaturmaßnahmen, deren jährliche Kosten berechnet werden, getätigt.

Strategie 2 Mindestzustandsstrategie

Untersucht werden soll der Umfang der erforderlichen Investitionen durch Erneuerung und Renovation sowie die Kostenentwicklung unter der Vorgabe, innerhalb der nächsten 10 Jahre die Zustandsklasse 1 und 2 vollständig abzubauen und diesen Kanalnetzzustand langfristig beizubehalten. Als Mindestzustand im Kanalnetz wird daher die Zustandsklasse 3 definiert.

Für die Erarbeitung der einzelnen Instandhaltungsszenarien wurde von folgenden Ansätzen für die Erneuerung, Renovation und Reparatur ausgegangen:

Nach der Eichung beträgt die Halbwertszeit bis zum Erreichen der Zustandsklasse 1 rund 95 Jahre. Für die Erneuerung von Kanälen wird sicherheitshalber eine mittlere Nutzungsdauer von nur 80 Jahren angesetzt. Für Renovationen wird häufig eine Nutzungsdauer von 40 bis 50 Jahren angegeben. Im vorliegenden Fall wird der untere Wert, also 40 Jahre, angesetzt. Die Kosten für Renovation und Erneuerung wurden für das örtliche Preisniveau differenziert nach Rohrdurchmesser und Tiefenlage ermittelt. Hieraus ergab sich ein mittleres Kostenverhältnis von 0,53 zwischen Renovation und Erneuerung (800,- DM/m zu 1500,- DM/m).

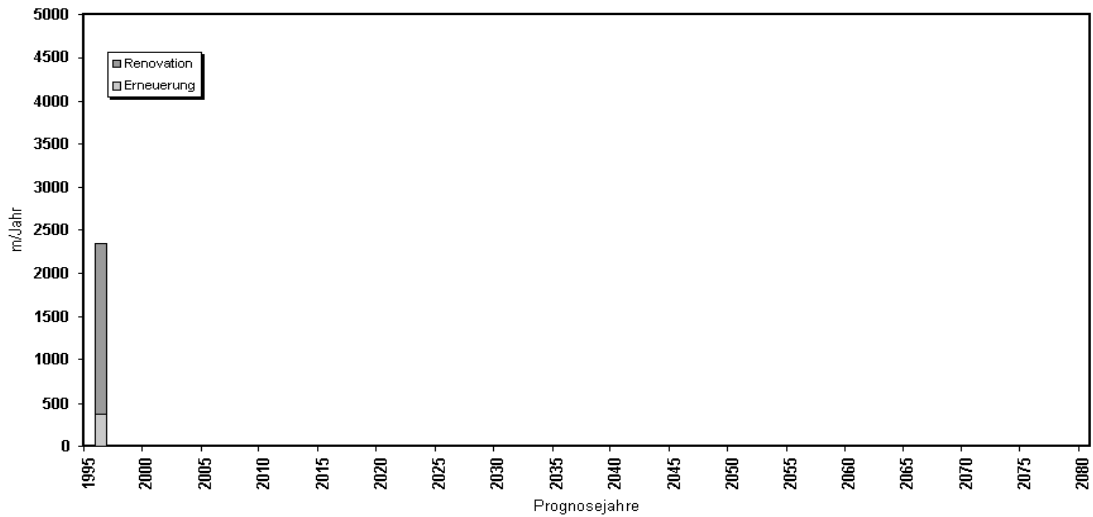
Renovation und Erneuerung stellen Investitionsmaßnahmen dar, die über einen betriebswirtschaftlich vorgegebenen Zeitraum abgeschrieben werden. Reparaturmaßnahmen sind dagegen in der Regel nicht als substanzwertverbessernd anzusehen. Sie stellen vielmehr laufende Unterhaltungsaufwendungen dar, die nicht abgeschrieben werden. Je nach Zustandsklasse wurden folgende jährliche spezifische Reparaturkosten für das Kanalnetz ermittelt, die für die „sanierungsrelevanten“ Zustandsklassen angesetzt werden:

- für Kanäle in Zustandsklasse 1: 126,-- DM/m-a
- für Kanäle in Zustandsklasse 2: 71,-- DM/m-a

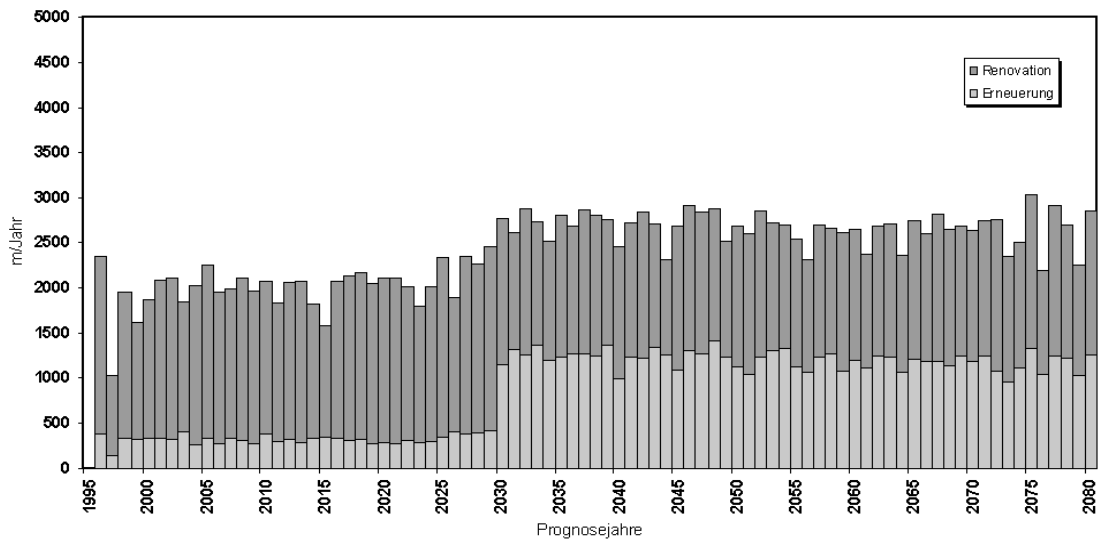
Die Ergebnisse der drei Simulationsvarianten sind in den **Bildern 4 bis 6** dargestellt. Dabei zeigt das jeweils oberste Diagramm die Ergebnisse der Reparaturstrategie, das mittlere diejenigen der Substanzwerterhaltungsstrategie und das untere diejenigen der Mindestzustandsstrategie.

Die zur Zielerreichung jährlich notwendigen Sanierungsleistungen in Meter Kanalnetz für die einzelnen Strategien zeigt **Bild 4**. Daraus resultiert eine Zustandsentwicklung des Kanalnetzes über die nächsten Jahrzehnte, die in **Bild 5** dargestellt ist.

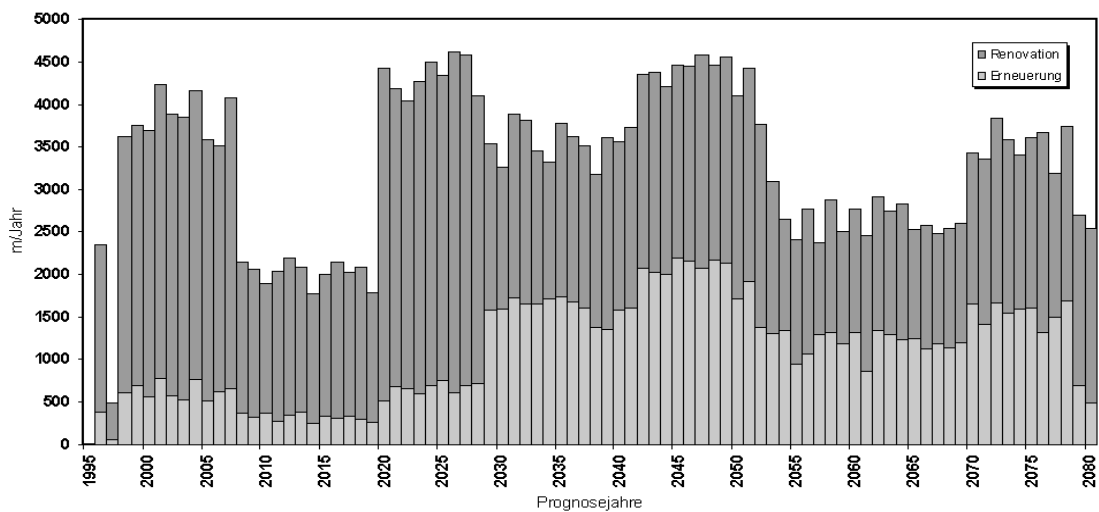
Da bei der Reparaturstrategie außer einer bereits im Jahr 1995 vorgenommenen Renovation keine weiteren Investitionen erfolgen, wird der Substanzwert des Netzes ständig abnehmen und der Zustand (technische Wertminderung) wird sich ungestört verschlechtern.



Strategie 1: Reparaturstrategie

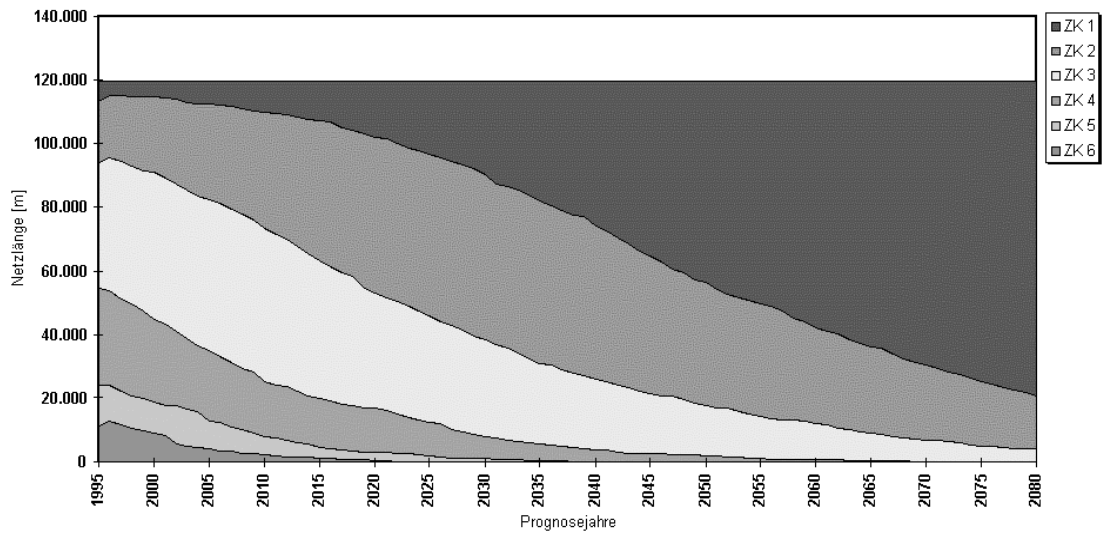


Strategie 2: Substanzwerterhaltung

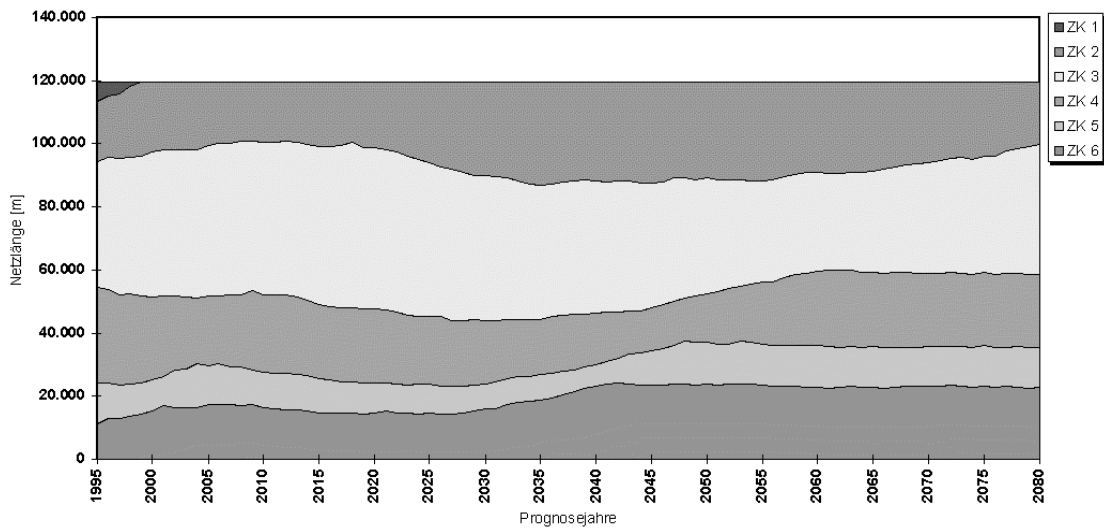


Strategie 3: Mindestzustand ZK3

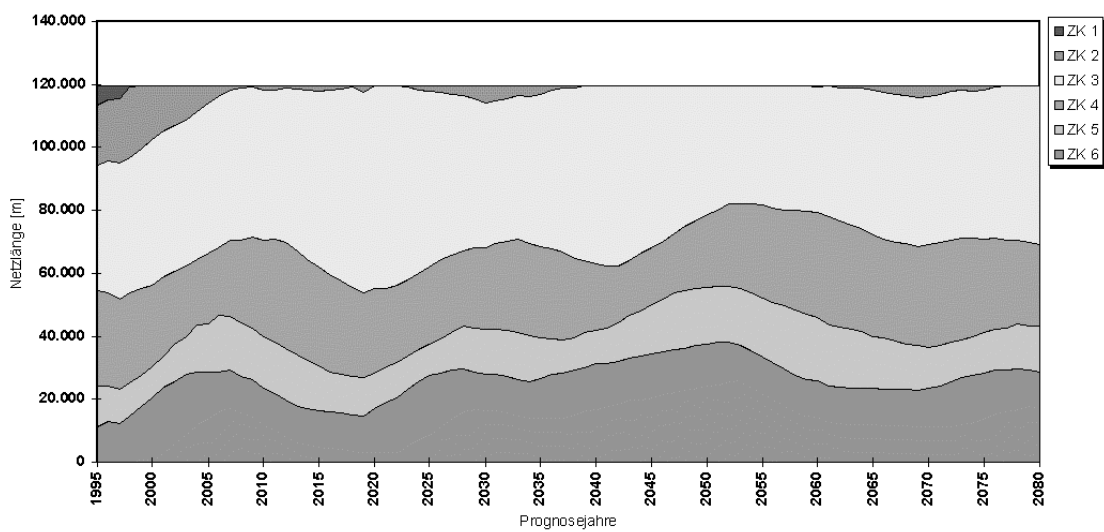
Bild 4 Jährliche Renovations- und Erneuerungsleistungen



Strategie 1: Reparaturstrategie



Strategie 2: Substanzwerterhaltung



Strat. 3: Mindestzustand ZK3

Bild 5 Zustandsentwicklung des Kanalnetzes

Bei der Substanzwerterhaltungsstrategie wird, wie angestrebt, die schlechteste Zustandsklasse 1 in den nächsten 10 Jahren abgebaut sein. Der dann erreichte Zustand wird langfristig beibehalten, die Anteile der Haltungen in den jeweiligen Zustandsklassen 2 bis 6 bleiben weitgehend unverändert. Die jährlich erforderliche Sanierungsleistung beträgt im Durchschnitt rd. 1800 m. Ab etwa dem Jahr 2030 ist ein Anstieg der Sanierungsleistung auf etwa 2500 m/a zu erwarten.

Bei der Strategie 3, Abbau der Zustandsklassen 1 und 2 in den nächsten 10 Jahren und anschließend Einhaltung von Mindestzustand 3, ist in den ersten 10 Jahren ein starker Investitionsschub mit einer Sanierungsleistung von rund 3.500 m Kanal pro Jahr erforderlich. Hierdurch stellt sich langfristig ein stärker schwankender Anteil an Kanälen in der besten (ZK6) und schlechtesten Zustandsklasse (ZK3) ein. Dies erfordert periodisch stark schwankende Sanierungsleistungen.

Mehrere durchgeführte Berechnungen mit unterschiedlich hohem Anteil an Erneuerung und Renovation an der jährlichen Sanierungsleistung zeigen, dass trotz der geringeren Nutzungsdauer der Renovation die langfristige Kostenentwicklung bei der Renovation der Kanäle niedriger ist als bei einer Erneuerung. Es wird daher bis zum Jahr 2030 verstärkt eine Sanierung durch Renovation vorgesehen. Da in der Praxis in manchen Fällen eine Renovation nicht möglich sein wird oder aufgrund bestimmter Randbedingungen nicht zur Anwendung kommen kann, wird ein Anteil von rund 15 % an der jährlich vorgesehenen Sanierungsleistung für eine Erneuerung angesetzt. Dies entspricht im Investitionsbudget einen Anteil von rund 25 %.

Bei den Strategien 2 und 3 ist um das Jahr 2020 bis 2030 eine deutliche Zunahme der erforderlichen jährlichen Sanierungsleistung zu erkennen. Dies ist bedingt durch

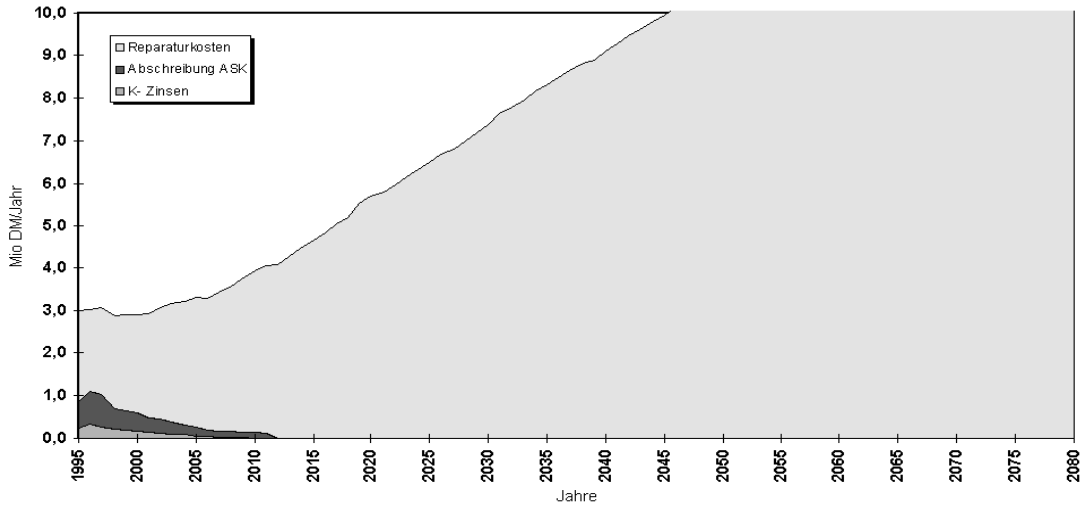
- den in dieser Zeit verstärkten Ausfall der in den 60-er Jahren erstellten Kanäle (ca. 60 % des Netzes) und
- dem Zusammenfallen mit dem verstärkt beginnenden Ausfall der bis heute und in den nächsten Jahren erstmalig renovierten Kanäle.

Die Frage, ob bzw. wie und mit welchem Aufwand renovierte Kanäle nach Ablauf der Nutzungsdauer erneut renoviert werden können, ist nicht mit Sicherheit zu beantworten. Bei der Simulation der einzelnen Sanierungsstrategien wurde diese Möglichkeit grundsätzlich zugelassen. Aus der genannten Problematik wurde jedoch ab dem Jahr 2030 ein erhöhter Anteil an Erneuerung von ca. 40 % der jährlichen Sanierungsleistung vorgesehen, was einem Anteil von ca. 60 % des Investitionsbudgets entspricht.

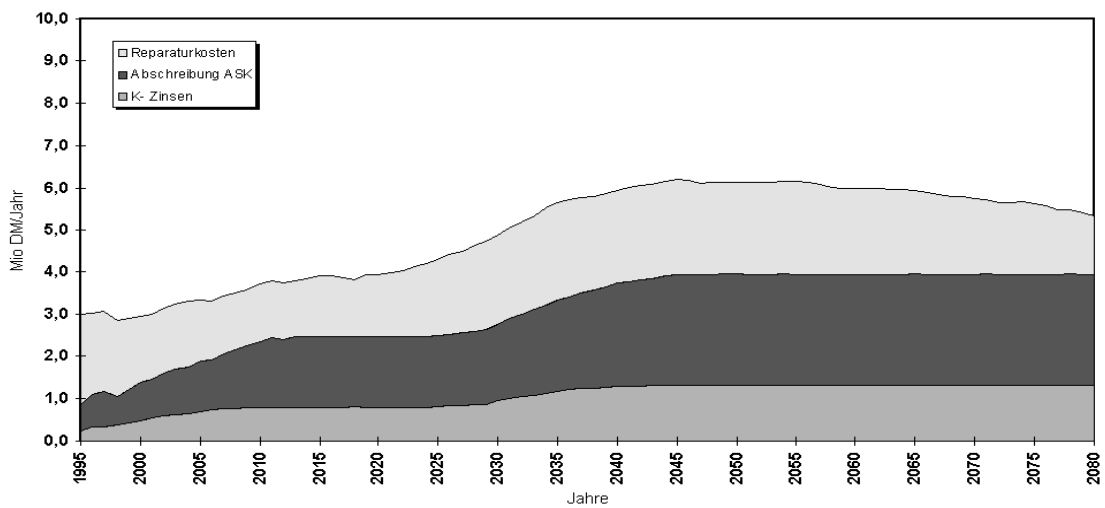
Zur Beurteilung der betriebswirtschaftlich günstigsten Vorgehensweise sind nicht die jährlichen Ausgaben und Investitionen maßgebend, sondern die betriebswirtschaftliche Betrachtung der Kostenentwicklung für den Betrieb des Kanalnetzes. Die maßgebenden Bestandteile an diesen Kosten sind

- die Abschreibung auf die getätigten Investitionen
- Verzinsung oder kalkulatorische Verzinsung des Anlagekapitals
- jährliche Unterhaltskosten (Reparaturkosten).

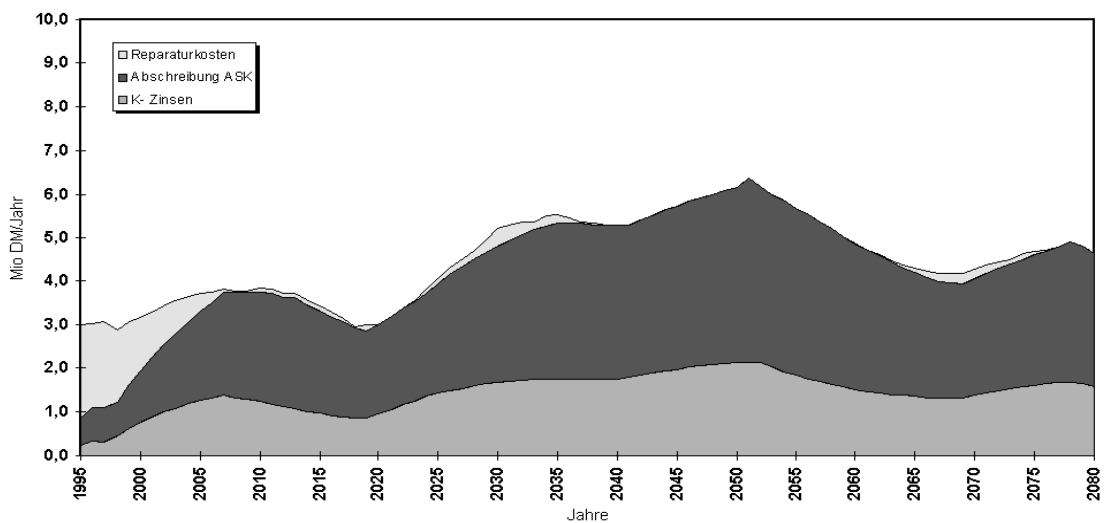
Diese Gesamtkosten mit den jeweils unterschiedlich hohen Anteilen an den genannten Kostenarten zeigt **Bild 6**.



Strategie 1: Reparaturstrategie



Strategie 2: Substanzwerterhaltung



Strategie 3: Mindestzustand ZK3

Bild 6 Jährliche Reparaturkosten, Abschreibungen und kalkulatorische Zinsen

Bei der Reparaturstrategie wird ein jährlich steigender Aufwand für Instandsetzungen notwendig, um das in technischer Hinsicht vorgegebene Ziel, den Sollzustand, zu gewährleisten. Der Anteil an Abschreibungen und Zinsen verschwindet bis zum Jahr 2010 vollständig, während die jährlichen Reparaturkosten bis zum Jahr 2030 auf rund 8 Mio. DM steigen. Die Frage, inwieweit es ab einem gewissen Zustand der Kanäle noch technisch möglich ist, stets wiederkehrende Reparaturen durchzuführen, bleibt hier außen vor.

Bei Strategie 2 (Substanzwerterhaltung) steigen die Abschreibungen und kalkulatorischen Zinsen entsprechend der jeweiligen Investitionsschübe ständig an. Der Kostenanteil für Reparaturen in der Zustandsklasse 2 bleibt nahezu unverändert. Die jährlichen Gesamtkosten steigen bis zum Jahr 2030 von derzeit rund 3 Mio. DM kontinuierlich auf rund 5 Mio. DM an.

Bei Strategie 3 (Mindestzustand ZK3) erfolgt durch den Anfangsschub bei den Investitionen ein noch stärkerer Anstieg der kalkulatorischen Kosten (Abschreibungen und Zinsen) in den nächsten 10 Jahren auf rund 3,8 Mio. DM. Zugleich verschwindet der Aufwand für Reparaturkosten nahezu vollständig, so dass die Gesamtkosten nur gering zunehmen. Entsprechend der periodischen Schwankung der Investitionen nehmen die kalkulatorischen Kosten in den folgenden 10 Jahren ab, um erst dann, wie bei der Substanzwerterhaltungstrategie, auf eine Höhe von rd. 5 Mio. DM im Jahr 2030 anzusteigen.

4.3 Fazit

Die Unterlassung von Investitionen und das ausschließliche Favorisieren von Instandsetzungsmaßnahmen (Reparaturstrategie) führt zu einem Verlust des Substanzwertes des Netzes. Damit geht ein Verlust an Entsorgungssicherheit einher. Zudem sind im vorliegenden Fall die Kosten langfristig höher als bei Sanierungsstrategien, bei denen eine Werterhaltung durch Renovation bzw. Erneuerung erfolgt.

Eine echte Alternative bietet daher nur die Entscheidung zwischen der Substanzwerterhaltungsstrategie und der Mindestzustandsstrategie. Beide Strategien weisen im Planungszeitraum eine ähnliche Gesamtkostenentwicklung auf. Allerdings wird bei der Mindestzustandsstrategie eine stärkere Substanzwertverbesserung des Netzes gegenüber dem jetzigen Zustand angezielt.

Die Mindestzustandsstrategie wurde daher aufgrund der ähnlichen Kostenentwicklung bei gleichzeitig besserem technischen Zustand und Entsorgungssicherheit für die Sanierung der Werkskanalisation favorisiert. Sie wird umgesetzt werden.

5. Zusammenfassung

Auch bei dem Betrieb und der Unterhaltung von Kanalnetzen ist das Prinzip des „Generationenvertrages“ zu beachten, das besagt, dass nachfolgende Generationen nicht durch heutige Unterlassungen oder Fehlentwicklungen belastet werden dürfen [1]. Langfristig vorausschauende Strategien für die Instandhaltung unserer Kanalnetze sind daher notwendig.

Durch langfristige Sanierungsstrategien über einen Planungszeitraum von 20-30 Jahren können insbesondere die grundsätzlichen Rahmenbedingungen zur Sanierung und Unterhaltung des Kanalnetzes festgelegt werden, wie

- jährlicher Sanierungsumfang
- langfristige Finanzbudgets und
- Steuerung der Kostenentwicklung

Das vorgestellte Verfahren ermöglicht durch die Simulation des Alterungsprozesses des Netzes und seiner Einzelelemente eine zeitliche Verfolgung des Ausfallens vorhandener Netzelemente (Haltungen) und der Wirksamkeit vorgenommener Sanierungen. Für vorgegebene Planungszeiträume können Sanierungsumfang und Kosten langfristig so festgelegt werden, dass die technischen Ziele, bestimmte Netzzustände zu erreichen und beizubehalten, erfüllt werden. Durch Vergleich der Kosten und Nutzen verschiedener Sanierungsszenarien kann so die für das jeweilige Netz unter den gegebenen Randbedingungen am besten geeignete Sanierungsstrategie gefunden werden.

Literaturhinweise

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

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

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

[4] AQUA WertMin Software: www.aqua-ingenieure.de.

[5] Baur, R. und S. Hörold (2001): Verbesserte Inspektionsplanung durch Alterungsprognose von Abwasserkanaltypen. Erscheint demnächst in KA - Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 48.

[6] Baur, R. und A. Kerk (2000): Erneuerungsbedarfsprognosen für alternde Kanalisationsysteme. KA - Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 47, 2, 203-206.

[7] DVGW W/G 401 (1997/9): Entscheidungshilfen für die Rehabilitation von Wasser/Gasrohrnetzen. Bonn: DVGW.

- [8] Ellerhorst, S., M. Schröder und B. Wöffen (2000): Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen zur Schadensbehebung im öffentlichen Kanalnetz. KA - Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 47, 5, 674-680.
- [9] Herz, R.(1999): Erneuerungsbedarf kommunaler Wasserrohrnetze in den östlichen Bundesländern. Ergebnisse einer Untersuchung. gwf Wasser Abwasser 140, 13, 54-60.
- [10] Herz, R.(1995): Alterung und Erneuerung von Infrastrukturbeständen - ein Kohortenüberlebensmodell. Jahrbuch für Regionalwissenschaft 14/15, 5-29.
- [11] Herz, R. und K. Hochstrate (1987): Erneuerungsstrategien für städtische Infrastrukturnetze. Jahrbuch für Regionalwissenschaft 8, 67-105.
- [12] 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.
- [13] Hochstrate, K. (1999): Zustandswertorientierte Zustandsklassifizierung von Kanälen - Das Bietigheimer Modell. Korrespondenz Abwasser 46, 2, 213-217.
- [14] Hochstrate, K. und K. Jansen (1996): Werterhaltung und Finanzierung von Abwasserkanalnetzen durch vorbeugende Instandhaltung. Korrespondenz Abwasser 43, 2, 284-291.
- [15] Hochstrate, K. und K. Jansen (1996): Finanzierung und Werterhaltung von Kanälen - Prognosegestützte Inspektions- und Sanierungsstrategien. Wasser, Luft und Boden 10, 39-42.
- [16] KANEW Software: www.tu-dresden.de/biwiss/stadtbau/KANEW.html.
- [17] Krug, R. (2000): Selektive Inspektion - ein wirtschaftliches Verfahren für kurzfristig erzielbare Zustandsaussagen für strategische Planungen. Beitrag zum 11. Leipziger Bau-Seminar.
- [18] Müller, K. und Krug, R. (1999): Selektive Inspektion als Grundlage für Betrieb, Unterhalt und Sanierung. 3. Tagung „Entwicklungen in der Kanalisationstechnik“, Köln, Sept. 1999
- [19] Müller-Winterstein und Hotz, R (1996): Was sollen, was können Modelle zur Zustandserfassung und -bewertung von Kanalnetzen leisten? Eine Alternative: das „Pforzheimer Modell“. Korrespondenz Abwasser 43, 1, 24-40.
- [20] Plenker, Th. (2000): Systematische Auswahl von Sanierungsverfahren für Abwasserkanäle. Beitrag zum 11. Leipziger Bau-Seminar.
- [21] Stein, D. und W. Niederehe (1998): Instandhaltung von Kanalisationen. 3. Aufl. Berlin: Ernst & Sohn.
- [22] Wagner, W.(2000): Stellenwert der Nutzungsdauer von Abwasseranlagen unter Kostengesichtspunkten. KA - Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 47, 7, 1036-1047.