

Finanzierung und Werterhaltung von Kanälen

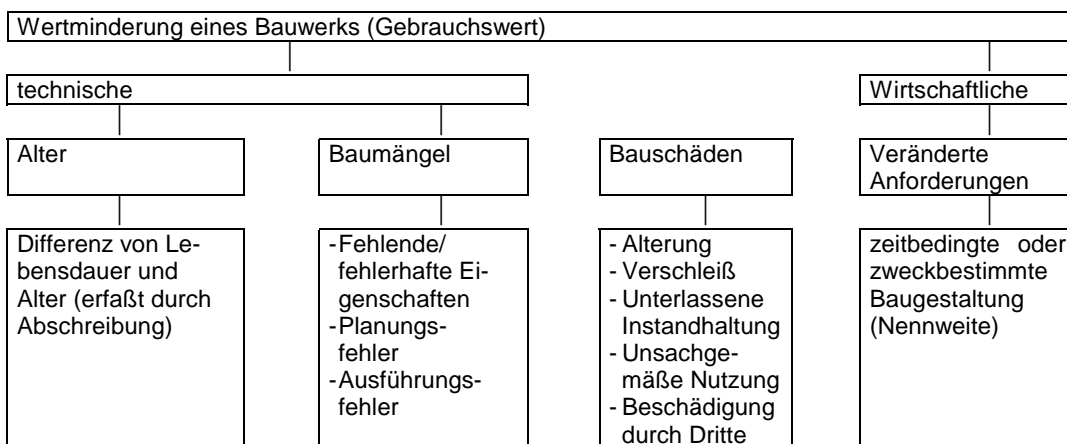
1. Einleitung

Es ist allgemein bekannt, daß der schlechte Erhaltungszustand der Abwasserkanalnetze zur Ex- und Infiltration des Grundwassers führt, die Entsorgungssicherheit beeinträchtigt und schadensbedingte Sofortmaßnahmen zur Instandsetzung erfordert, welche unverhältnismäßig hohe Kosten verursachen. Der derzeitige hohe Sanierungsrückstand beschränkt sich nicht auf den Ersatzbedarf überalterter Netzteile. Zusätzlich sind neuere Haltungen und Schächte aufgrund von Baumängeln und Beschädigungen weit vor ihrer kalkulierten Nutzungsdauer sanierungsbedürftig geworden. Diese Fehleinschätzung der betriebsüblichen Nutzungsdauer erfordert die Einführung einer vorbeugenden Instandhaltungsplanung mit Schwachstellenanalyse und prognostischer Inspektionsstrategie. Zur Entwicklung eines modernen Kanalmanagements können Erfahrungen der Energieversorger und des verarbeitenden Gewerbes ausgewertet werden.

Eine besondere Herausforderung im Kanalmanagement ist die Werterhaltung des Netzbestands im Einklang mit Liquiditätsrestriktionen, d.h. die Harmonisierung der sprunghaft anfallenden Sanierungsausgaben mit den stetigen Einnahmen aus Abwassergebühren. Die erforderliche Verstetigung des Finanzbedarfs wird durch die Optimierung der Sanierungszeitpunkte und Sanierungsverfahren erreicht.

2. Wertminderung und vorbeugende Instandhaltung bei vergleichbaren Investitionsgütern

Die Nutzungsdauer von Bauwerken wird durch ihre Wertminderung im Zeitablauf begrenzt. Dies gilt auch für Kanalhaltungen und Schächte. Nach den Wertermittlungsrichtlinien 1991 unterscheidet man technische und wirtschaftliche Wertminderung [1]. Ursachen der Wertminderung sind Alter, Baumängel, Bauschäden und veränderte Anforderungen (vgl. Abb. 1).



Zur Erhaltung des Gebrauchswerts wird Instandhaltung betrieben. Diese umfaßt nach DIN 31051 folgende Maßnahmen [2]: *Inspektion*, *Wartung* und *Instandsetzung*. Dem Begriff *Instandsetzung* entspricht im Kanalmanagement der Begriff *Bauliche Sanierung*, der sich in *Reparatur*, *Renovation* und *Erneuerung* gliedert [3].

Neben den Instandhaltungsmaßnahmen nach DIN 31051 werden in der Praxis auch vorbeugende Maßnahmen zur Erhöhung der Funktions-sicherheit technischer Systeme ergriffen. Für diese hat das Institut für interne Revision 1989 den Begriff *Vorbeugende Instandhaltung* geprägt [4].

„Unter *Vorbeugender Instandhaltung* sind allgemein Maßnahmen zu verstehen, bei denen man Mittel und Wege sucht, um bereits bei der Planung, der Konstruktion oder sogar bei der Montage von Anlagen zu erwartende Schäden weitgehend zu vermeiden sowie zukünftige Wartungs-, Inspektions- und Instandsetzungskosten möglichst niedrig zu halten.“

Maßnahmen zur vorbeugenden Instandhaltung dienen der kostenminimalen Erhaltung des Sollzustands von technischen Mitteln eines Systems, die sich an folgenden Kriterien orientieren [4]:

- kostenminimierende Inspektion, Wartung und vorbeugende Instandsetzung
- Wahl schadensresistenter Anlagenkonstruktionen
- Instandhaltbarkeit
- Beschaffbarkeit
- Technische Zuverlässigkeit
- Wertbeständigkeit

Klassische Strategien im Rahmen der vorbeugenden Instandhaltung sind [4]:

- die Präventivstrategie (Periodische Instandsetzung von Komponenten ohne Inspektion)
- die Inspektionsstrategie (Periodische Inspektion, zustandsabhängige Instandsetzung)
- die Operativstrategie (Lagerhaltung, schneller Austausch bei Funktionsausfall)

Abweichend von den klassischen Strategien stützt sich die *vorausschauende Instandhaltung* auf eine Prognose der Wertminderung und der Ausfallkosten. Zweck dieser Prognose ist die kostengünstige Optimierung der Funktionssicherheit des Systems. Konkret werden betriebswirtschaftliche Beurteilungen und Bewertungen alternativer Sanierungsstrategien (Vorbeugende Reparatur/Renovation/Erneuerung) und alternativer Sanierungsverfahren durchgeführt. Aus der entwickelten vorausschauenden Instandhaltungsstrategie werden dann Vorgaben für folgende Einzelentscheidungen abgeleitet:

- Veränderte Inspektionsintervalle oder Sonderinspektionen
- geänderte Wartungsmaßnahmen
- vorbeugende Reparaturen
- Veränderung der kalkulierten Restnutzungsdauer
- Veränderte Materialien oder Verlegeverfahren
- Erneuerung von Leitungsabschnitten

Die vorausschauende Instandhaltung ist in der Elektrizitäts-, Gas- und Wasserversorgung Stand der Praxis. Hier werden Leitungsabschnitte nach Ablauf der betriebsüblichen Nutzungsdauer vorsorglich erneuert, um das Risiko einer Betriebsstörung zu minimieren. Durch eine systematische Schwachstellenanalyse werden Baumängel und Bauschäden (z.B. unzureichender Korrosionsschutz und beobachtete Korrosionsschäden) bei der Festlegung der kalkulierten Nutzungsdauer berücksichtigt [5].

Noch ausgeprägter ist die vorausschauende Instandhaltung im produzierenden Gewerbe, insbesondere in der Fließbandproduktion. Dort dient sie zur Vermeidung von störungsbedingten Produktionsausfällen. So führt z.B. der Ausfall eines Systemglieds in der Fließbandproduktion von Automobilen nach einer Karenzzeit von 4 Minuten zum Produktionsausfall, der täglich Umsatzverluste in zweistelliger Millionenhöhe nach sich zieht.

Auch im modernen Kanalmanagement wird die Entsorgungssicherheit durch vorausschauende Instandhaltungsmaßnahmen gewährleistet. Daneben ist hier die Finanzplanung von besonderer Bedeutung, da die Maßnahmenplanung in der kommunalen Abwasserentsorgung wesentlich durch Liquiditätsengpässe bestimmt wird.

3. Aufbau eines modernen Kanalmanagements

Ein modernes Kanalmanagement stützt sich auf ein methodisches Handlungsmodell, welches als zyklische Tätigkeitskette die Arbeitsschritte Bestandserfassung, Zustandserfassung, Bewertung, Prognose, Planung und Durchführung umfaßt [6, 7]. Im Hinblick auf die vorausschauende Instandhaltung und ihre Finanzierung ist hier insbesondere der systematische Analyse- und Entscheidungsprozeß zwischen Zustandserfassung und Planung bedeutsam.

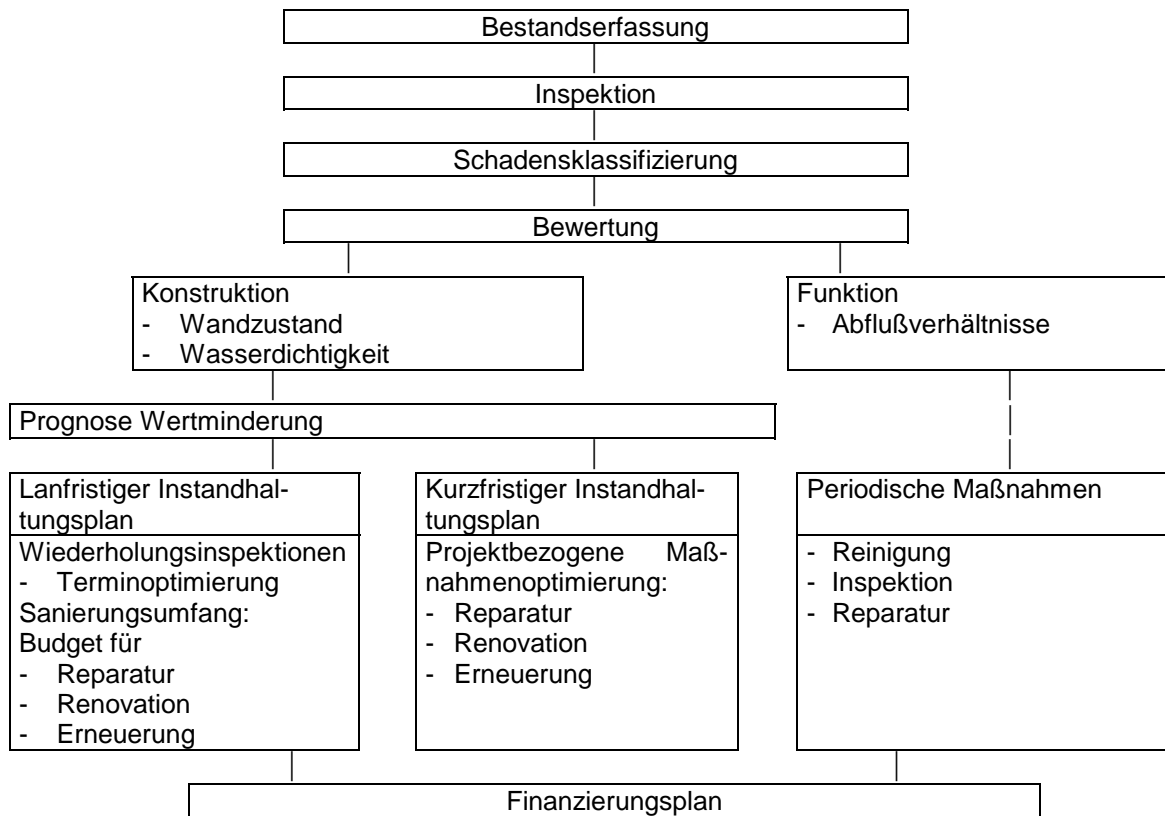


Abb. 2: Ablaufschema eines modernen Kanalmanagements nach [7]

Abb. 2 zeigt, daß die Bestandserfassung und Zustandsbewertung im modernen Kanalmanagement zur Prognose der Wertminderung herangezogen wird. Letztere bildet die Grundlage für die langfristige Instandhaltungs- und Finanzierungsplanung.

4. Bestimmung der betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauer

Das methodische Kernstück eines modernen Kanalmanagements ist die Analyse und Prognose der Wertminderung des Netzbestands, welche den Ersatzbedarf verursacht. Die Analyse der Wertminderung ist auf das Alter, beobachteten Verschleiß, Baumängel, Bauschäden und unzureichende Dimensionierung gerichtet. In Verknüpfung mit Mindestzustandsanforderungen (bedingt durch wasserwirtschaftliches Gefährdungspotential) erlaubt sie die Bestimmung der Restnutzungsdauer und damit eine zeitliche Fixierung des Sanierungsbedarfs.

Die früher gebräuchliche Errechnung der Restnutzungsdauer aus einer materialspezifischen betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauer und dem Alter hat sich als ungeeignet erwiesen, weil Rohre gleichen Materials in unterschiedlichen Städten sehr unterschiedliche Nutzungsdauern erreicht haben.

Ursprünglich wurden in der LAWA-Richtlinie von 1992 materialbezogene Nutzungsdauern für die Abschreibungsrechnung empfohlen [8]. Seit der Neuveröffentlichung der LAWA-Richtlinie von 1994 wird lediglich eine materialunabhängige Bandbreite der betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauern zwischen 50 und 100 Jahren angegeben [9]. Innerhalb dieser Bandbreite ist die Restnutzungsdauer unter Berücksichtigung des Alters, des Bauzustands und des wasserwirtschaftlichen Gefährdungspotentials zu bestimmen. Für die Bestimmung der Restnutzungsdauer aus Alter und Bauzustand wird kein Verfahren angegeben.

Der naheliegende Gedanke, den Zusammenhang von Alter und Bauzustand durch einen Trend zu beschreiben, ist methodisch unzulässig, weil die Verweilzeiten in den Zustandsklassen unterschiedlich

sind [10]. Trotzdem zeigt die - methodisch unzulässige - Trendanalyse, daß der Zustand der Haltungen in einem untersuchten Netz erwartungsgemäß bei den neueren Leitungen besser ist als bei den alten Baujahrgängen. Andererseits weichen ganze Baujahrgänge erheblich von diesem Trend der altersbedingten Zustandsverschlechterung ab.

Negative Abweichungen vom Trend sind durch Baumängel, Beschädigungen oder erhöhte Beanspruchung verursacht (Abb. 3). Die negativen und positiven Trendabweichungen (z.B. Baujahrgang 1967 und 1971 in Abb. 3) können jedoch nur qualitativ zur Prognose der Restnutzungsdauer herangezogen werden, weil nicht zu erwarten ist, daß die Trendabweichungen dieser Baujahrgänge konstant bleiben (Bei unveränderter Schadensursache wird der gesamte Alterungsprozeß bis zum Ausfall beschleunigt).

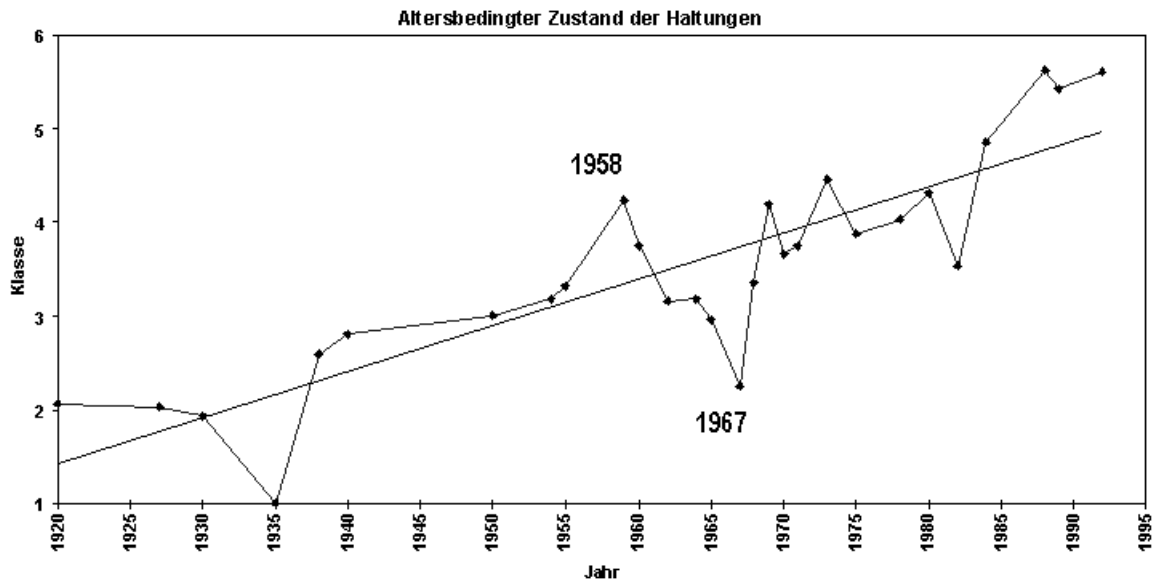


Abb. 3: Alterungsbedingter Zustand der Haltungen - Baujahrgangsbezogene Mittelwerte

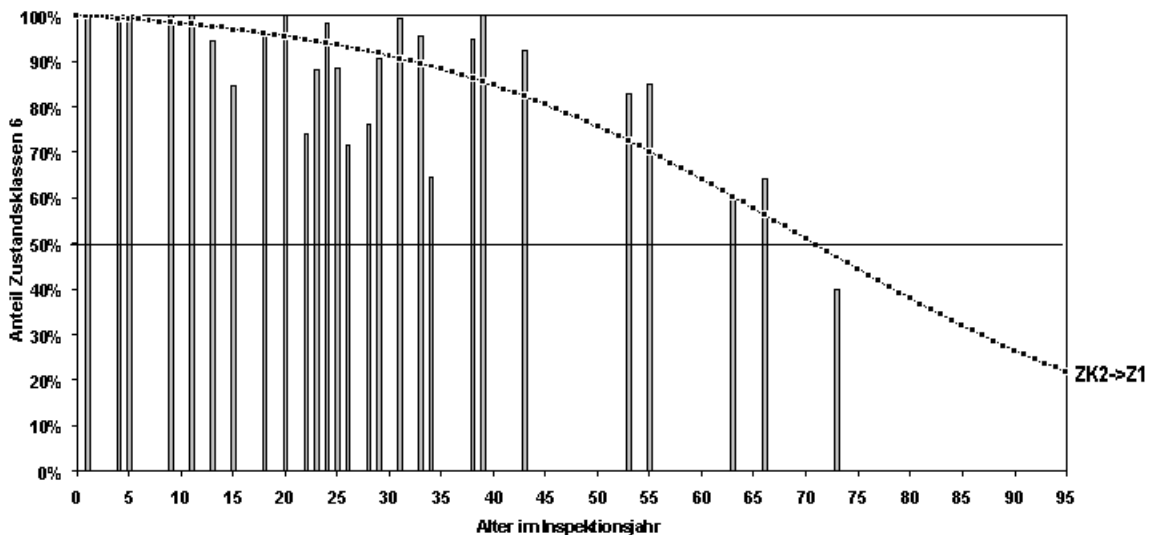


Abb. 4: Zustandsübergangsfunktion von Klasse 1 auf Klasse 2

Im Gegensatz zur Trendanalyse klassifizierter Daten sind demographische Prognoseverfahren, welche die Überlebenswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom Alter beschreiben, methodisch unproblematisch. Sie werden seit Jahrzehnten erfolgreich in der Versicherungsmathematik verwendet. Überträgt man die Logik der Lebensversicherungsmathematik auf den Alterungsprozeß von Kanalrohren, dann entspricht die Zustandsklasse 1 (deformierte Haltung mit Funktionsverlust) dem Tod, während die Zustandsklassen 6 bis 2 im Überlebenszeitraum liegen. Die Überlebensfunktion wird nun empirisch ermittelt aus dem Anteil der Zustandsklassen 6 bis 2 in den Baujahrgängen des Bestands. Abb. 4 zeigt diese Anteile als Säulen. Die Überlebensfunktion wird nun als Fehlerausgleichsfunktion durch die oberen Eckpunkte der Säulen konstruiert. Damit ist die Summe der vorzeichenbehafteten Fehler (gemessen in m) zwischen den oberen Säuleneckpunkten und der Überlebensfunktion gleich Null. Aus der Überlebensfunktion ist die betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer für das erfaßte Kanalnetz unmittelbar ablesbar. Weiterhin zeigt sie die Wahrscheinlichkeit für eine Über- bzw. Unterschreitung dieser Nutzungsdauer.

Die Zustandsübergangsfunktion von Zustandsklasse 2 auf Zustandsklasse 1 (ZK2 SONDZEICHEN 174 lf "Symbol" ZK1) erlaubt also eine nachvollziehbare Bestimmung der betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauer der Haltungen in einem konkreten Netz. Bei erhöhtem wasserwirtschaftlichem Gefährdungspotential (Wasserschutzgebiet o.ä.) ist die akzeptierte Nutzungsdauer an erhöhte Zustandsanforderungen gebunden. Hier endet die akzeptierte Nutzungsdauer schon beim Übergang in Zustandsklasse 2 (diese Interventionsklasse ist in [11] frei wählbar). Abb. 5 zeigt, daß die akzeptierte Nutzungsdauer bei erhöhten wasserwirtschaftlichen Anforderungen erwartungsgemäß kürzer ist. Sie beträgt 44 Jahre.

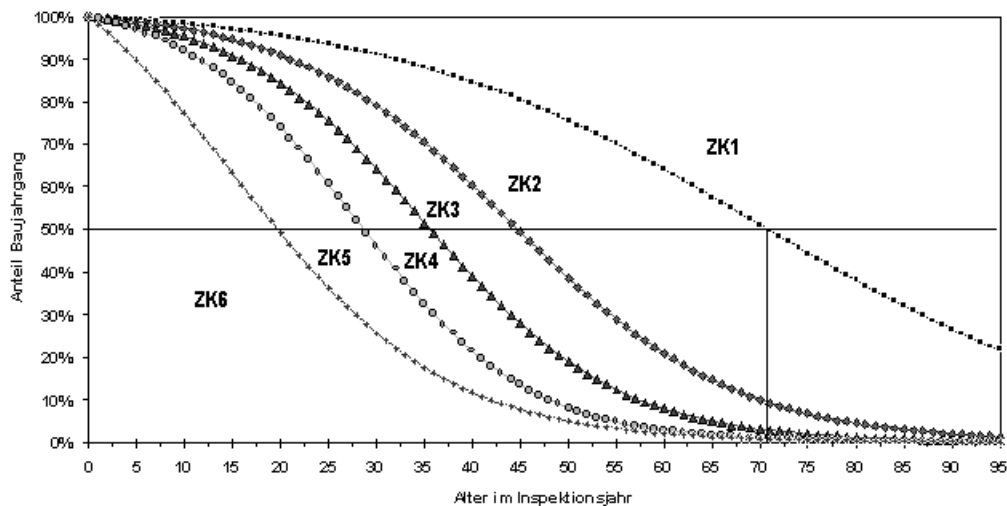


Abb. 5: Alle Zustandsübergangsfunktionen

1. Ablesebeispiel für Abb. 5:

(von der Y-Achse [50 %] zur Kurve und auf die X-Achse [70 Jahre])

Ergebnis: 50 % des Netzbestands werden mindestens eine Nutzungsdauer von 70 Jahren bis zum Übergang in die Zustandsklasse 1 erreichen. Die betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer beträgt also 70 Jahre.

2. Ablesebeispiel für Abb. 5:

(von der X-Achse [60 Jahre] zur Kurve und auf die Y-Achse [66 %])

Ergebnis: eine Nutzungsdauer von mindestens 60 Jahren wird von 66% der Haltungen erreicht.

Im Ergebnis ist festzustellen, daß für jedes Kanalisationsnetz in einfacher Weise betriebsgewöhnliche Nutzungsdauern in Abhängigkeit vom Alter, vom Zustand und von wasserwirtschaftlichen Anforderungen ermittelt werden können. Ihre Bestimmung ist frei von subjektiven Schätzungen und damit auch gerichtlich überprüfbar. Als Datengrundlage sind lediglich die Baujahrgänge und die Zustandsklassen des Netzbestands erforderlich. Bei nur teilweise inspizierten Netzen können fehlende Zustandsdaten mit einem stochastischen Zustandsmodell [11] geschätzt werden (Hochrechnung).

5. Bestimmung der individuellen Restnutzungsdauer von Haltungen

Der erfaßte Netzzustand vieler Kanalnetze zeigt, daß sich der Erneuerungsbedarf alter langlebiger Haltungen mit dem Erneuerungsbedarf neuerer kurzlebiger Haltungen überlagert. Daraus entstehen schwer beherrschbare Finanzierungsengpässe für die Instandhaltungsplanung. Zur Prognose derartiger Bedarfsschwankungen kann die betriebs-gewöhnliche Nutzungsdauer, die einen mittleren Wert angibt, als Ursache des Ersatzbedarfs nicht herangezogen werden. Statt dessen müssen unmittelbar die individuellen Restnutzungsdauern verwendet werden, deren Unterschiedlichkeit die Ursache für die mittelfristigen Schwankungen des Erneuerungsbedarfs ist.

Ein Hinweis auf die Individuelle Restnutzungsdauer einer Haltung ergibt sich aus ihrer Alterungsgeschwindigkeit in der Vergangenheit. Bei konstanten Randbedingungen (Material, Verlegequalität, Boden, Abwasser usw.) ist zu erwarten, daß die individuelle Geschwindigkeit des Alterungsprozesses dieser Haltung konstant bleibt. Die zurückliegende Geschwindigkeit des Alterungsprozesses einer Haltung ergibt sich - innerhalb eines Korridors - aus ihrem Zustand und ihrem Alter. Dies bedeutet, daß für jede erstinspizierte Haltung eine individuelle Zustandsprognose bis zum Ende Ihrer Nutzungsdauer erstellt werden kann. Die so gefundenen individuellen Restnutzungsdauern sind eine geeignete Grundlage zur Beschreibung des zukünftigen Erneuerungsbedarfs.

- **Grundsätzlich ist die Alterung von Haltungen ein stochastischer, d.h. zufallsabhängiger Prozeß. Es gibt Haltungen, welche schneller altern, und andere, die langsamer altern und deshalb eine höhere Nutzungsdauer erreichen. In Abb. 5 findet dies seine Entsprechung darin, daß jede Haltung das Diagramm in unterschiedlicher Höhe waagrecht durchläuft. Auf diesem waagerechten Alterungspfad werden die Verweilzeiten in den Zustandsklassen jeweils durch die Schnittpunkte mit Zustandsklassen jeweils durch die Schnittpunkte mit Zustandsübergangsfunktionen begrenzt.**
- **Der Alterungspfad bei mittlerer Alterungsgeschwindigkeit ist auf der waagerechten 50%-Linie ablesbar. Diese Alterungsgeschwindigkeit wird von einer Hälfte des Netzbestands unterschritten, von der anderen überschritten. Auf ihm ist die Halbwertszeit für die Nutzungsdauer mit 70 Jahren ablesbar. Bemerkenswert ist, daß die mittlere Verweilzeit in den Zustandsklassen sehr unterschiedlich ist. Sie beträgt z.B. 17 Jahre in Klasse 6 und nur 8 Jahre in Klasse 4. Die relativen Verweilzeiten sind in Beton und Steinzeugrohren signifikant unterschiedlich, weil sich die vorherrschenden Alterungsprozesse (Korrosion, Bruch) unterscheiden.**
- **Bei bereits inspizierten Haltungen läßt sich die Alterungsgeschwindigkeit der Vergangenheit eingrenzen und damit die individuelle Zustandsprognose präzisieren. So ist eine Haltung, die im Alter von 40 Jahren in Zustandsklasse 4 inspiziert wird, mit einer unterdurchschnittlichen Alterungsgeschwindigkeit zwischen 15% und 36% gealtert. Bei dieser geringen Alterungsgeschwindigkeit wird die Zustandsklasse 1 erst mit etwa 88 Jahren erreicht. d.h. die geschätzte individuelle Restnutzungsdauer dieser Haltung beträgt 48 Jahre ab Inspektionsdatum.**

Die Nutzungsdauer zukünftig zu verlegender Haltungen kann aus Bestands- und Zustandsdaten nicht unmittelbar errechnet werden. Hier ist man auf eine subjektive Schätzung angewiesen. Bei Vermeidung von früheren Baumängeln und Beschädigungen durch Dritte, welche aus der Schwachstellenanalyse bekannt sind, ist eine höhere betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer als im Bestand zu erwarten.

Im Ergebnis ist festzustellen, daß durch Modellierung des Alterungsprozesses durch Zustandsübergangsfunktionen für jede Haltung und jeden Schacht eine individuelle Prognose der Verweilzeiten in den Zustandsklassen erstellt wird, welche der bisherigen Wertminderung und dem aktuellen Erhaltungszustand Rechnung trägt. Diese Prognosen sind frei von subjektiven Schätzungen. Aus ihrer Überlagerung ergibt sich eine Zustandsprognose für das Gesamtnetz unter der Annahme ungestörter Alterung. Aus Abb. 6 ist ablesbar, daß ein ungestörter Alterungsprozeß den Netzzustand schon in kur-

zer Zeit inakzeptabel ver-schlechtern würde.

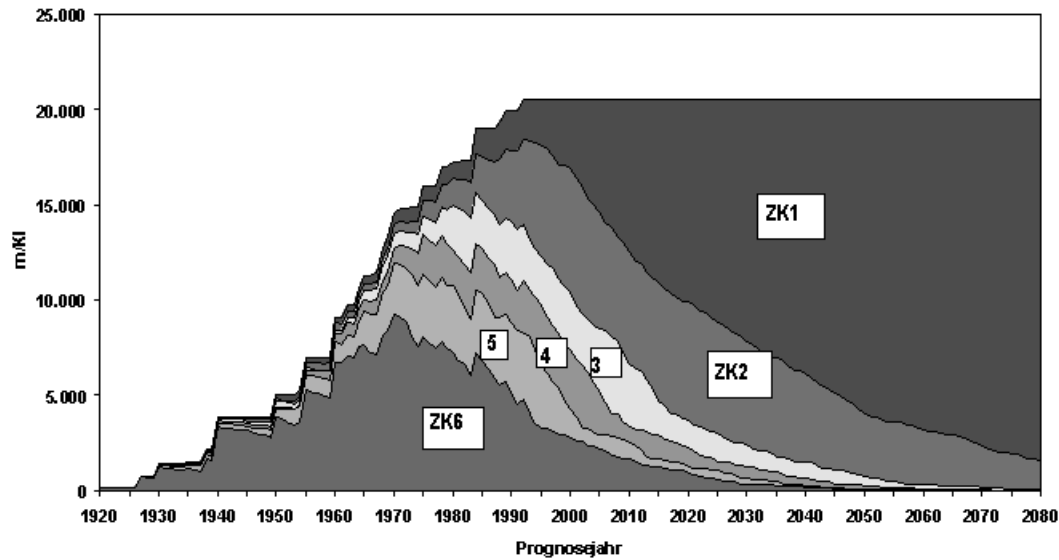


Abb. 6: Alterungsprognose

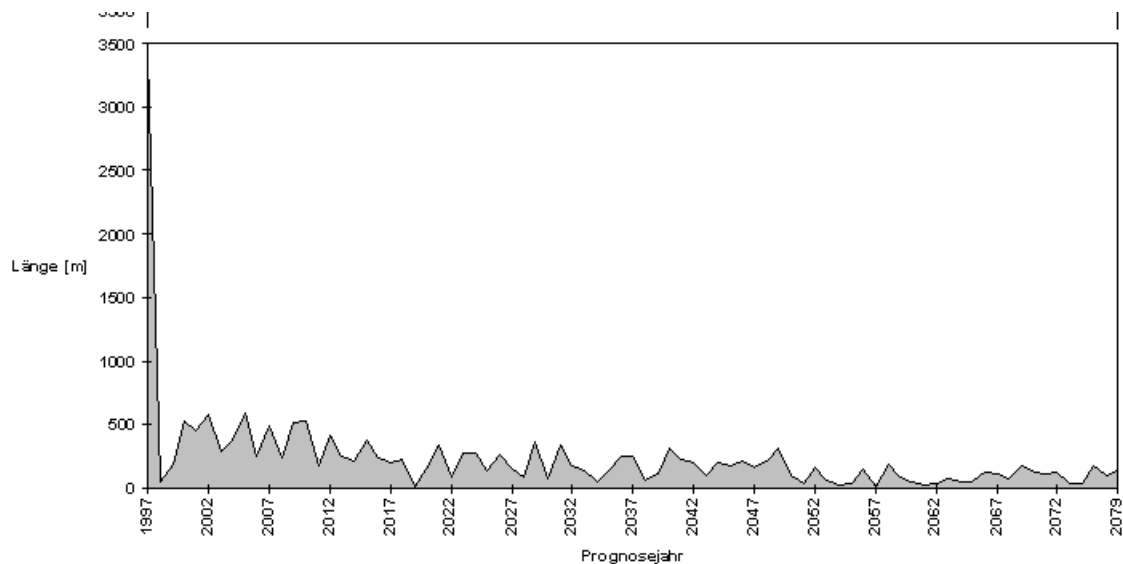


Abb. 7: Erst-Ersatzbedarf an Haltungen

Eine sofortige Erneuerung aller Haltungen, die alterungsbedingt in die Zustandsklasse 1 hineinwachsen, würde stark schwankende Investitionsausgaben und ein ebenso stark schwankendes Bauvolumen nach sich ziehen (Abb. 7). Extreme Investitionsschübe sind aber aus unterschiedlichen Gründen nicht realisierbar:

- stetige Einnahmen aus Abwassergebühren
- begrenzter Kreditspielraum
- Aufrechterhaltung des Straßenverkehrs
- begrenzte Baukapazitäten.

Die jährlichen Investitionsbudgets werden deshalb im Rahmen der langfristigen Instandhaltungsplanung verstetigt.

6. Langfristige Instandhaltungsplanung

Die langfristige Instandhaltungsplanung setzt sich aus drei Komponenten zusammen, der Schwachstellenvermeidung, der Budgetplanung und der Inspektionsplanung.

Schwachstellenvermeidung

Hier werden generelle terminunabhängige Qualitätsvorgaben für Neubau, Sanierung, Betrieb, Inspektion und Wartung festgelegt. Diese Thematik wird hier nicht behandelt.

Langfristige Budgetplanung

Hier werden die Planungsdaten für Investitionen, Reparaturen, Betriebskosten, Abschreibungen, Kreditbedarf, kalkulatorische Zinsen und sonstige Finanzströme beschrieben. Zweck der langfristigen Finanzplanung ist die Vorgabe von Budgets für die kurzfristige Maßnahmen- und Terminplanung (vgl. Abb. 2) sowie für den Finanzierungsplan.

Inspektionsplanung

Hier werden die Termine für die jeweils nächste Folgeinspektion festgelegt. Im Rahmen einer prognostischen Inspektionsstrategie ersetzen diese individuell optimierten Inspektionstermine starre Inspektionsintervalle.

Die strategische Bedeutung der langfristigen Finanzplanung liegt darin, daß hier die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit und Entsorgungssicherheit des Kanalnetzes und der akzeptierte Finanzbedarf aufeinander abgestimmt werden müssen. Zur Deckung des Sanierungsbedarfs mit verfügbaren Finanzmitteln können Sanierungszeitpunkte und Sanierungsverfahren optimiert werden.

Abweichend von den klassischen Entscheidungsregeln der Betriebswirtschaftslehre wird der Entscheidungsspielraum der Investitionsplanung im Kanalmanagement entscheidend durch Liquiditätsengpässe bestimmt (wenig Kreditspielraum). Dies bedeutet für die Technologiewahl (Reparatur, Renovation, Erneuerung), daß eine Kostenminimierung im Sinne der dynamischen Investitionsrechnung nur begrenzt realisierbar ist. Statt dessen muß der Sanierungsrückstau zunächst mit (vordergründig) kostengünstigen Renovations- und Reparaturverfahren abgebaut werden.

Die liquiditätsorientierte Netzsanierung mit Maßnahmen von kurzer Wirkungsdauer birgt jedoch grundsätzlich die Gefahr eines schleichenden Substanzwertverlusts im Netzbestand, der folgende Generationen vor unlösbare Finanzierungsprobleme stellen könnte. Um dieser Gefahr zu begegnen werden mittelfristige Sanierungsplanungen durch langfristige Prognosen abgesichert.

- Bei den Sanierungsverfahren gibt es die Wahl zwischen Leitungsaustausch und Renovation. Weiterhin kann die Sanierung häufig auch um einige Jahre zurückgestellt werden. In diesem Fall treten Reparaturkosten zur Wiederherstellung der Dichtheit auf.
- Beim derzeitigen Stand der Technik ist die Nutzungsdauer renovierter Haltungen etwa halb so groß einzuschätzen wie diejenige ausgetauschter Haltungen. Unter diesen Verhältnissen ist der Leitungsaustausch bei einer zukünftigen Nutzungsdauer von 80 Jahren in etwa 3/4 der Fälle wirtschaftlicher als die Renovation mit einer zukünftigen Nutzungsdauer von 40 Jahren [12]. Falls sich die Nutzungsdauer renovierter Haltungen infolge technischen Fortschritts deutlich erhöhen sollte, könnte sich dieses Verhältnis umkehren!
- In der praktischen Planung ist die Verfügbarkeit von Finanzmitteln (Kreditspielraum) begrenzt. In diesem Fall kann die Renovation wirtschaftlicher sein als der Leitungsaustausch, weil sie - bei gleichem Budget - schneller den Netzzustand verbessert und damit Reparaturkosten einspart. Zu beachten ist jedoch, daß die nachfolgende Reinvestition wieder als Leitungsaustausch durchgeführt werden muß. Eine sehr hohe Renovationsquote kann deshalb nur für einen begrenzten Zeitraum realisiert werden.
- Das Aufschieben notwendiger Sanierungen zieht Reparaturkosten nach sich, die jährlich deutlich höher sind als die Abschreibungen neuer Haltungen. Dieses unwirtschaftliche Vorgehen ist nur für kurze Übergangszeiträume zur Überwindung von Liquiditätsengpässen zweckmäßig.

Im praktischen Planungsprozeß ist es zweckmäßig, zunächst für jede Sanierungsmaßnahme das jeweils wirtschaftlichste Verfahren vorzusehen und für diese Erneuerungsstrategie eine Prognose des Netzzustands und der Finanzströme zu erstellen. Falls der Sanierungsrückstau aufgrund von Liquiditätsrestriktionen so nicht abgebaut werden kann, ist die Renovationsquote angemessen zu erhöhen. Dieses Vorgehen wird am Beispiel erläutert.

Im untersuchten Netz [12] war die Frage zu untersuchen, ob das bisherige Sanierungsbudget von 800.000 DM / Jahr - bei Anpassung an den Preisindex - langfristig zur Aufrechterhaltung des Netzzustands ausreichen wird. Als Standardstrategie wird folgendes vorgegeben:

- Investitionsbudget: 800.000,- DM / Jahr
- Anteil Erneuerung: 75%
- Anteil Renovation: 25%

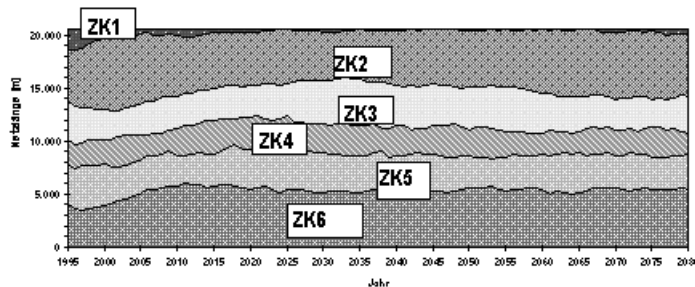


Abb. 8: Netzzustandsentwicklung bei Standardstrategie

Abb. 8 zeigt, daß der Netzzustand bei dieser Strategie mit geringen Schwankungen konstant bleibt. Allerdings entstehen hohe Reparaturkosten (400.000 DM / Jahr) dadurch, daß ständig etwa 5,5 km Leitungslänge in Zustandsklasse 2 verbleiben.

- Die Reparaturkostenprognose stützt sich auf eine ingenieurmäßige Ermittlung der Kosten für die lokale Behandlung von Schäden in Haltungen der Zustandsklassen 2 und 1. Diese Kosten wurden auf einen unterstellten Wirkungszeitraum von 10 Jahren umgelegt. Im Ergebnis wurden so 75 DM / (m*a) für die Zustandsklasse 2 ermittelt und 131 DM / (m*a) für die Zustandsklasse 1.
- Die Reparaturen sind erforderlich, um die gesetzliche und strafrechtliche Instandhaltungspflicht für ein dauerhaft wasserdichtes Kanalnetz nach § 18b WHG zu gewährleisten.

Im Vergleich zur Standardstrategie kann mit einer abgestuften Sanierungsstrategie der Netzzustand trotz des begrenzten Budgets bis zum Jahr 2020 deutlich verbessert werden. Neben der Netzzustandsverbesserung fallen in diesem Zeitraum ständig steigende Einsparungen bei den Reparaturkosten an, die bis zu 200.000 DM p.a. betragen. Etwa ab dem Jahr 2020 muß dann das Investitionsbudget auf 1 Mio DM p.a. erhöht werden, um die Verbesserung des Netzzustands langfristig zu erhalten und auszubauen. Diese Erhöhung des Investitionsbudgets verursacht aber keine zusätzlichen Ausgaben, weil sie aus ersparten Reparaturkosten der Vergangenheit und der Zukunft finanziert wird. Im Ergebnis wird mit der abgestuften Renovationsstrategie bei etwa gleichen Ausgaben für die Instandsetzung (Investitionen + Reparaturen) langfristig eine erhebliche Verbesserung des Netzzustands erreicht. Die abgestufte Sanierungsstrategie ist durch folgende Vorgaben definiert:

ab Jahr	Budget/Jahr	Anteil Renovation	Anteil Erneuerung
1995	800.000DM	75 %	25%
2000	800.000 DM	50%	50%
2020	1.000.000 DM	25%	75%

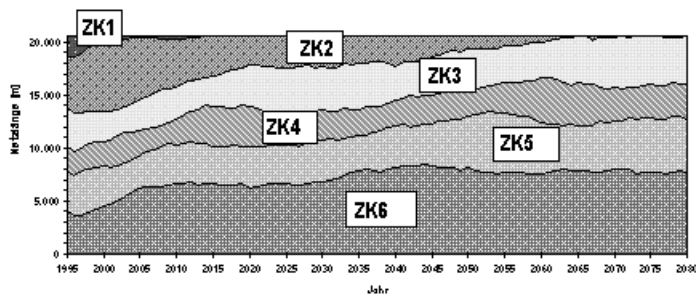


Abb. 9: Netzzustandsentwicklung bei abgestufter Renovationsstrategie

Abb. 9 zeigt, daß sich der Netzzustand bei der abgestuften Sanierungsstrategie bis zum Jahr 2020 deutlich verbessert (die Netzlängen in den Zustandsklassen 1 und 2 wird halbiert). Danach stagniert die Zustandsverbesserung trotz erhöhten Investitionsbudgets bis 2050 wegen der auf 25% reduzierten Renovationsquote. Eine Beibehaltung der Renovationsquote von 50 % ist nicht möglich, da renovierte Haltungen nicht erneut renoviert werden können; sie müssen kostenaufwendig ausgetauscht werden. Ab 2050 verbessert sich der Netzzustand erneut, so daß langfristig nur ein Drittel der heutigen Leistungslänge in schlechtem Zustand ist.

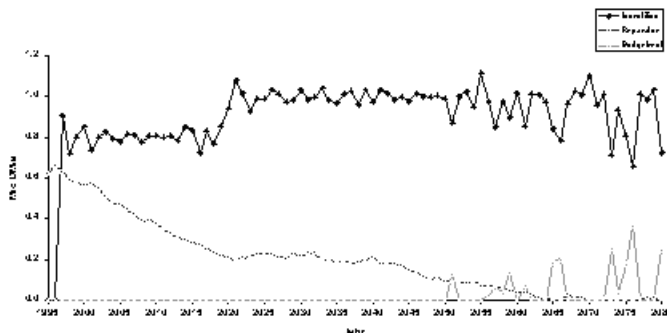


Abb. 10: Ausgaben bei abgestufter Renovationsstrategie

Abb. 10 zeigt, daß bei der abgestuften Renovationsstrategie in einzelnen Prognosejahren Budgetreste auftreten, weil das vorgesehene Renovations-Budget nicht vollständig verausgabt werden kann. Diese Budgetreste müßten gegebenenfalls für Erneuerung verwendet werden. Wichtiger ist, daß die Reparaturkosten bei dieser Strategie - wegen des verbesserten Netzzustands - auf die Hälfte des heutigen Niveaus absinken werden.

Alle Berechnungen wurden unter Annahme einer betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauer neuer Haltungen von 70 Jahren erstellt, d.h. unter Vernachlässigung einer zukünftigen Vermeidung heutiger Schwachstellen. Bei einer Erhöhung der Nutzungsdauer zukünftig verlegter Haltungen auf 80 Jahre und renovierter Haltungen auf 40 Jahre wird sich der Netzzustand auch ohne die im Jahr 2020 vorgesehene Erhöhung des Investitionsbudgets verbessern.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die gefundene abgestufte Sanierungsstrategie wesentlich günstiger ist, als die aus der dynamischen Investitionsrechnung entwickelte Standardstrategie, weil sie den Netzzustand bis zum Jahr 2020 deutlich verbessert. Auch die langfristige Absicherung des verbesserten Netzzustands verursacht gegenüber der Standardstrategie (mit nur 25% Renovationsquote) keine zusätzlichen Kosten.

Bei einem Wiederbeschaffungswert des Kanalnetzes von 87 Mio. DM betragen die jährlichen Reinvestitionskosten nur 0,9 % bzw. 1,1% dieses Betrages. Darüber hinaus wird über die Hälfte der Inspektionkosten eingespart, welche bei einem 10-jährigen Wiederholungsintervall anfallen würden. Dieses Beispiel zeigt, daß die Werterhaltung und Finanzierung von Abwasserkanalnetzen durch vorausschauende Instandhaltung nicht nur wegen der Entsorgungssicherheit und des Grundwasserschutzes zweckmäßig ist, sondern auch unter betriebs-wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu besseren Ergebnissen führt als jahresbezogene Einzelentscheidungen.

Grundsätzlich ist festzuhalten, daß in der langfristigen Investitions-planung nicht die (theoretische) Wirtschaftlichkeit einzelner Maßnahmen, sondern die Wirtschaftlichkeit der Gesamtstrategie unter Berücksichtigung von Liquiditätsrestriktionen zu optimieren ist. Beim Zusammentreffen eines hohen Erneuerungsrückstands mit engen Liquiditätsrestriktionen ist es deshalb betriebswirtschaftlich optimal, den Erneuerungsrückstand zunächst größtenteils mit Renovations-maßnahmen abzubauen und danach stufenweise zum Leitungsaustausch überzugehen.

Bei ausreichenden finanziellen Mitteln (z.B. private Betreiber) wird - entsprechend der dynamischen Investitionsrechnung - eine Strategie mit geringerer Renovationsquote mit anfänglich noch höherer

Verlegeleistung gewählt. Eine derartige Strategie verbessert schneller den Netzzustand und die Entsorgungssicherheit und ist - trotz Verzinsung des eingesetzten Kapitals - kostengünstiger.

Im Einzelfall wird die optimale Investitionsstrategie durch den Vergleich alternativer Strategieprognosen gefunden.

7. Optimierung der Inspektionszeitpunkte

Das System der individuellen Zustandsprognosen erlaubt es, den Netzzustand - zunächst ohne Wiederholungsinspektionen - rechnerisch zu altern und so für jedes Prognosejahr eine flächendeckende Zustandsbeschreibung zu erstellen [13]. Diese Prognose wird nun für einzelne Haltungen kurz vor Erreichen eines kritischen Zustands durch eine Wiederholungsinspektion bestätigt oder korrigiert.

Diese prognostische Inspektionsstrategie dient dazu, den kritischen Interventionszustand einer Haltung mit möglichst wenigen Inspektionen rechtzeitig vor Schadenseintritt zu erkennen. Sie ersetzt feste Inspektionsintervalle durch individuell berechnete Inspektionszeitpunkte.

Im Ergebnis reduziert sich so der Inspektionsbedarf auf etwa 3 Inspektionen während der Nutzungsdauer einer Haltung:

1. Kalibrierungsinspektion etwa in der Hälfte der erwarteten Nutzungsdauer, um die individuelle Alterungsgeschwindigkeit zu bestimmen, sowie zur Schwachstellenanalyse.
2. Bestätigungsinspektion vor dem Übergang in Zustandsklasse 2. Hier wird die Zustandsprognose bestätigt oder gegebenenfalls korrigiert.
3. Interventionsinspektion vor Übergang in Zustandsklasse 1. Hier wird die Dringlichkeit der bevorstehenden Sanierung überprüft, soweit sie nicht bereits erfolgt ist.

Gegenüber turnusmäßigen Wiederholungsinspektionen im Abstand von 10 bzw. 15 Jahren [14, 15, 16, 17, 18] ergeben sich bei der prognostischen Inspektionsstrategie Kosteneinsparungen von über 50%. Außerdem kann der Netzzustand jederzeit flächendeckend beschrieben und prognostiziert werden.

8. Systematik der Zustandsklassifizierung

Die Funktionstüchtigkeit von Prognosemodellen zur Bestimmung der (Rest-) Nutzungsdauer und zur Terminoptimierung der prognostischen Inspektionsstrategie erfordert eine zweckorientierte Definition der Zustandsklassen von Haltungen und Schächten.

Zustandsklassen für Haltungen werden durch rechnerische Aggregation der Schadensklassen der Einzelschäden in der jeweiligen Haltung bestimmt. Je nach Verwendungszweck sind dabei unterschiedliche Klassifizierungsverfahren anzuwenden:

- Zur Priorisierung von Sanierungs- und Reparaturmaßnahmen ist nach dem Entwurf des A 149 die bisher gebräuchliche Zustandsklassifizierung sachgerecht, bei der der größte Einzelschaden die Zustandsklasse der Haltung bestimmt [19]. Diese prioritätsbezogenen Zustandsklassen gewährleisten die richtige zeitliche Reihung von Schadensbehebungs- und Reparaturmaßnahmen, sie beschreiben jedoch nicht die Wertminderung der gesamten Haltung.
- Für die Abbildung der Wertminderung von ganzen Haltungen sind punktuelle Einzelschäden dagegen nur von begrenzter Bedeutung. Bei einer wertbezogenen Zustandsklassifizierung fließt die Schadensklasse deshalb nach dem Klassifizierungsmodell von S&K-KAIN [20] mit einem speziell der Wertminderung angemessenen Gewicht in die Zustandsklasse der Haltung ein.

9. Fazit

Die Funktionstüchtigkeit unserer Versorgungsnetze sowie der privaten Produktionsanlagen wird durch systematische vorbeugende Instandhaltungsstrategien gewährleistet. Durch vorbeugende Instandhaltung kann auch in der Abwasserentsorgung kostengünstig eine hohe Entsorgungssicherheit realisiert werden. Allerdings werden die in anderen Bereichen bewährten Strategien für das moderne Kanalmanagement modifiziert.

Aufgrund der hohen Kosten der Zustandsdatenerfassung und des Erfordernisses, einen stark schwankenden Sanierungsbedarf mit begrenzten und stetig fließenden Finanzmitteln zu decken, werden sowohl die Inspektionszeitpunkte als auch die Sanierungsverfahren und die Sanierungszeitpunkte unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten optimiert.

Diese Optimierung erfolgt unter Berücksichtigung der altersbedingten Wertminderung, welche den Erneuerungsbedarf verursacht. An einem Fallbeispiel wird aufgezeigt, daß so auch mit einem begrenzten Investitionsbudget ein befriedigender Netzzustand realisiert werden kann.

10. Zusammenfassung

Die Erhaltung der Funktionstüchtigkeit der Kanalisationsnetze sowie die geforderte Abdichtung gegen Ex- und Infiltration verursacht erhebliche Investitions- und Reparaturkosten, deren Finanzierung zu einer sprunghaften Erhöhung der kostendeckenden Abwassergebühren führen kann. Ursächlich ist die Überlagerung des Sanierungsrückstaus alter Netzteile in den Innenstädten mit dem durch Baumängel und Bauschäden bedingten Sanierungsbedarf neuerer Netzteile. Die Werterhaltung der Kanalisationsnetze erfordert in dieser Situation ein modernes Kanalmanagement mit Schwachstellenanalyse, interaktiver Strategieentwicklung und optimierter Inspektionsplanung. Mit diesem Instrumentarium kann der Netzzustand unter Vermeidung eines sprunghaften Gebühreanstiegs kurzfristig verbessert und langfristig abgesichert werden. An einem Fallbeispiel wird dargelegt, wie im Rahmen einer vorausschauenden Instandhaltungsplanung der Netzzustand ohne Gebührenerhöhung den gesetzlichen Anforderungen angepaßt werden kann. Instrumente dazu sind optimierte Renovationsmaßnahmen, eine Budgetumschichtung von Reparaturaufwendungen in Erneuerungsinvestitionen und eine Optimierung der Inspektionszeitpunkte. Durch eine langfristige Strategieprognose wird die Werterhaltung des Netzbestands gewährleistet. Insbesondere wird sichergestellt, daß die Kanal-instandhaltung auch für zukünftige Generationen finanzierbar bleibt.

Schlagworte: Abwasserableitung, Kanalisation, Finanzen, Kosten, Datenverarbeitung, Berechnungsverfahren.

11. Literaturverzeichnis

- [1] WertR91:
Wertermittlungsrichtlinien 1991, 1. Auflage, Rehm Verlag München:1992, S. 42ff
- [2] DIN 31051:
Instandhaltung; Begriffe und Maßnahmen vom Januar 1985
- [3] DIN EN752/T5:
Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Teil 5: Sanierung Entwurf DIN Euronorm vom Mai 1994.
- [4] IIR Schriftenreihe 13:
Revision der Instandhaltung von Bauwerken und Außenanlagen; Institut für Interne Revision e.V., Berlin 1989, S. 17, S. 18, S.21
- [5] Herz,R.
Der Einfluß sozialer Kosten auf den Erneuerungsbedarf städtischer Wasserrohrnetze. Vortrag 12. Internationaler Kongress Leitungsbau, Dresden Sept. 1995.
- [6] Jansen. K:
Ein methodisches Handlungsmodell zur betriebswirtschaftlichen Kanalunterhaltung. Vortrag 2. Internationaler Kongress Leitungsbau, Hamburg Okt. 1989.
- [7] Snaterse, C.:
Feststellung , Klassifizierung und Behebung von Schäden an Kanälen in den Niederlanden. Vortrag 2. Internationaler Kongress Leitungsbau, Hamburg Okt. 1989.
- [8] LAWA '92
Leitlinien zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen, 3. Auflage, München 1993.
- [9] LAWA '94
Dito 5. Auflage, München 1994.
- [10] Sawatzki,J:
Vermögensbewertung und Gebührenermittlung auf Grundlage der betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauer für Abwasserkanäle und -leitungen, Korrespondenz Abwasser 9/1994.
- [11] AQUA-WertMin für Windows:
EDV-Programm zur Berechnung der Wertminderung beschädigter Abwasserkanäle, AQUA-Ingenieure Saarbrücken (Version 2.1).
- [12] AQUA-Ingenieure:
Sanierungsplanung für 20 km Kanäle einer südwestdeutschen Großstadt mit dynamischem Wirtschaftlichkeitsvergleich (Eigenverlag / unveröffentlicht).
- [13] Hochstrate, K.:
Modell zur Bestimmung von Erneuerungsstrategien für städtische Erschließungsnetze. Vortrag 1. Internationaler Kongress Leitungsbau, Hamburg 1987.
- [14] Reinhard W.:
Behördliche Vorschriften beim Bau und Betrieb von Abwasserkanälen und -leitungen, Tiefbau-BG 6/1991.
- [15] EigVo-BW:
Eigenkontrollverordnung Baden Württemberg vom 09.08.1989.
- [16] Abw.V-Bay.:
Verordnung zur Eigenüberwachung von Abwasseranlagen (Abwassereigenüberwachungsverordnung) vom 09.12.1990 (Bay. GVBI-Nr. 25-1990).
- [17] EKVO-HES:
Abwassereigenkontrollverordnung für das Land Hessen, Teil I vom 22. Feb. 1993, Nr. 5 - Gesetzes- und Verordnungsblatt Hessen.
- [18] SÜw.V Kan-NW:
Selbstüberwachungsverordnung Kanal für das Land NW vom 16.01.1995.
- [19] A149:
Zustandsklassifizierung und Zustandsbewertung von Abwasser-kanälen und -Leitungen, Entwurf vom Nov. 1994.
- [20] S&K-KAIN:
Schadensklassifizierungsmodell KAIN von Sawatzky & Kerkemeier in Schwerte.