

# Finanzierung und Werterhaltung von Kanälen

## Auf Zustandsprognosen gestützte Investitionsplanung

Bei städtischen Kanalisationsnetzen überlagert sich ein hoher Sanierungsrückstand in überalterten Netzteilen mit einer fortgeschrittenen Zustandsverschlechterung in neueren Netzteilen. Insbesondere ist der Haltungszustand ganzer Bauperioden (meist aus den 50er bis 70er Jahren) durch Baumängel und Bauschäden derart beeinträchtigt, daß ihre Instandhaltung weit vor dem Ablauf der bisher geschätzten betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauer notwendig wird. Kurzsichtige Sanierungsstrategien führen deshalb zu wiederholten Fehleinschätzungen des Investitionsbedarfs und verursachen damit eine sprunghafte Entwicklung der Abwassergebühren. Nur durch vorausschauende Instandhaltung kann ein akzeptabler Netzzustand mit einem begrenzten und konstanten Einsatz von Finanzmitteln realisiert werden. Kernstück der vorausschauenden Instandhaltung ist die Prognose des individuellen Alterungsprozesses von Hal-tungen und Schächten.

### 1. Defizite konventioneller Planungsmethoden

Statische Sanierungsprogramme beschreiben den aktuellen Sanierungsrückstand hinsichtlich der Sanierungskosten und der Priorität der Sanierungsmaßnahmen. Da der ermittelte Finanzbedarf meist eine zweistellige Millionenhöhe aufweist, wird die Behebung der Schäden in einem 10-Jahres-Programm beschlossen. Aufgrund knapper Finanzmittel kann der Sanierungszeitraum dann möglicherweise noch gestreckt werden. Im Verlauf des Sanierungszeitraums werden die heute bekannten Schäden behoben, andere Mängel kommen aufgrund des Alterungsprozesses hinzu. Es ist nicht bekannt, ob der Nettoeffekt aus Sanierung und Alterung positiv oder negativ ist. Ein schleichender Substanzwertverlust würde die nächste Generation mit dramatisch ansteigenden Kosten belasten. Umgekehrt besteht möglicherweise ein Spielraum, eine Netzzustandsverbesserung langsamer zu betreiben als bisher geplant. Es bleiben also folgende Fragen offen;

Frage 1: In welchem Zeitraum muß das (statische) Sanierungsprogramm abgearbeitet sein, damit sich der Netzzustand nicht verschlechtert (Substanzwerterhaltungsstrategie)?

Frage 2: Welcher Sanierungsaufwand ist erforderlich, um den Netzzustand im Planungszeitraum (von z.B. 10 Jahren) auf ein angestrebtes Niveau anzuheben (Zustandsstrategie) ?

Frage 3: Wie wird sich der Netzzustand verändern, wenn ein vorgegebenes Budget zur Sanierung eingesetzt wird (Budgetstrategie) ?

Die Beantwortung dieser Fragen erfordert die Berücksichtigung des Alterungsprozesses [1] von Hal-tungen und Schächten. Dabei sind folgende Tatsachen zu beachten:

- Der Alterungsprozeß wird durch eine Fülle sich überlagernder Ursachen bestimmt: Material, Verle-gequalität, Abwasser, Boden, Verkehrsbelastung usw.
- Die Nutzungsdauer gleicher Rohre unterscheidet sich von Stadt zu Stadt erheblich.

- Auch innerhalb eines Netzes gibt es erhebliche Unterschiede der Nutzungsdauer, die sich statistisch nicht ausgleichen, z.B. langlebige Baujahrgänge aus den 20er Jahren und kurzlebige aus den 50er Jahren. Der Erneuerungsbedarf dieser Jahrgänge kann sich überlagern und den Sanierungsbedarf über Jahre erhöhen.

Im Ergebnis sind Abschreibungsrechnung und Abgangsrechnung unbrauchbar zur Prognose des Investitionsbedarfs:

- Abschreibungsrechnung  
Abschreibungen zu Wiederbeschaffungswerten sind unter gewissen Bedingungen zwar langfristig ausreichend, um die Reinvestitionen zu finanzieren; es können jedoch für Jahrzehnte Überoder Unterdeckungen auftreten, die sich erst sehr langfristig ausgleichen. Darüberhinaus fehlt eine verlässliche Grundlage für die Bestimmung der betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauer.
- Abgangsrechnung = Unterstellung einer festen oder zufallsverteilten Nutzungsdauer (Lebensversicherungsmathematik)  
Die Methode versagt, weil sich unterschiedliche Lebenserwartungen von Haltungen statistisch nicht ausgleichen, sondern ganze Bauperioden langlebiger und kurzlebiger Haltungen den Sanierungsbedarf bestimmen. Außerdem sind Daten zur erreichten Nutzungsdauer bereits ausgetauschter Haltungen meist nicht verfügbar, d.h. die betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer ist nicht mit einfachen statistischen Verfahren ermittelbar.

## 2. Plausibilitätsüberlegungen zum Alterungsprozeß

Vor der Erläuterung eines mathematischen Alterungsmodells, das diesen Gesichtspunkten Rechnung trägt, möchte ich kurz darlegen, daß gute Alterungsprognosen auch ohne Erklärung der Alterungsursachen erstellt werden können. Wenn z.B. ein Autoreifen in einem Jahr die halbe Profiltiefe verloren hat, dann ist leicht vorherzusehen, daß er in einem weiteren Jahr — bei gleicher Beanspruchung — abgefahren sein wird. Diese sicherlich gute Prognose erfordert nicht die Kenntnis der gefahrenen Kilometer, des Fahrzeuggewichts, der Straßenqualität und des Fahrstils. Trotzdem gehen alle diese Faktoren in die Reifenabnutzung der Vergangenheit und in die Prognose der Restnutzungsdauer ein. Bei einer Wiederholungsinspektion kann darüberhinaus festgestellt werden, ob die Alterungsgeschwindigkeit wie angenommen unverändert geblieben ist, oder ob sie sich beschleunigt bzw. verzögert hat. Das Ergebnis einer inspektionsgestützten Zustandsprognose wird also mit jeder Wiederholungsinspektion präzisiert.

Übertragen auf die Alterung von Haltungen bedeutet das, daß dem beobachteten Zustand - ausgedrückt als Zustandsklasse -ein Stadium im Alterungsprozeß zugeordnet werden muß: z.B. Halbierung des Abnutzungsvorrats, um aus dem Alter die Restnutzungsdauer ableiten zu können. Zu beachten ist dabei, daß die Verweilzeit in den Zustandsklassen unterschiedlich ist und von der Definition der Zustandsklassen abhängt. Wenn die Definition der Folgeklasse sich nur wenig von derjenigen der aktuellen Klasse unterscheidet, wird die Verweilzeit in der aktuellen Klasse relativ kurz sein. Bei stark unterschiedlich definierten Klassen ist die Verweilzeit entsprechend länger.

### 3. Eichung des Alterungsprozesses

Zur Übertragung der dargelegten Plausibilitätsüberlegungen in ein mathematisches Modell ist zunächst zu ermitteln, wie sich die Zustandsverteilung eines Baujahrgangs im Zuge des Alterungsprozesses entwickelt. Da die Beobachtung eines Baujahrgangs etwa 100 Jahre dauern würde, ersetzt der Verfasser sie durch eine Querschnittbeobachtung aller Baujahrgänge. Auch daraus ergibt sich eine altersabhängige Zustandsbeschreibung. Sie zeigt erwartungsgemäß, daß der Anteil schadensfreier Haltungen mit zunehmendem Alter abnimmt.

Abbildung 1 zeigt in Balkendarstellung den Anteil der mängelfreien Haltungen (Zustandsklasse 6) für die Jahrgänge unterschiedlichen Alters [2] (zugrundegelegt ist eine 6-stufige Skala, Klasse 6 ist „mängelfrei“, Klasse 1 ist „deformiert und einsturzgefährdet“). Über die Balken ist eine Fehlerausgleichsfunktion so gezeichnet, daß die Summe der vorzeichenbehafteten Abweichungen zwischen den Balkenköpfen und der Kurve Null ist. Diese Funktion zeigt nun die alterunabhängige Wahrscheinlichkeit dafür, daß eine Haltung noch in Zustandsklasse 6 ist [4].

Zu beachten ist, daß diese Zustandsübergangsfunktion nur für ein ganz konkretes Kanalnetz gilt und deshalb bei jeder Anwendung neu geeicht werden muß. Um die nächstfolgende Zustandsübergangsfunktion — von Klasse 5 auf Klasse 4 — zu ermitteln, wird der jahrgangsbezogene Anteil der Zustandsklassen 6 und 5 in Balkenform aufgetragen. Die resultierende Zustandsübergangsfunktion wird etwas flacher (Abb. 2). In derselben Weise werden auch die weiteren Zustandsübergangsfunktionen ermittelt. Es gibt insgesamt 5 Zustandsübergangsfunktionen, welche die sechs Zustandsklassen trennen.

Aus der zusammenfassenden Darstellung der Zustandsübergangsfunktionen ist nun ablesbar, wie sich der Anteil der Zustandsklassen eines Baujahrgangs in Abhängigkeit vom Alter ändert. Im Alter von 30 Jahren ist z.B. folgende Zustandsverteilung ablesbar (Abb. 3, senkrechte Linie):

5 % in Klasse 6  
25 % in Klasse 5  
25 % in Klasse 4  
20 % in Klasse 3  
18 % in Klasse 2  
7 % in Klasse 1

**100 % Gesamt**

Außerdem ist ablesbar, daß die betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer von den Anforderungen an den Mindestzustand abhängt. Bei Festlegung der Zustandsklasse 1 als Interventionsklasse beträgt sie 66 Jahre, bei Interventionsklasse 2 nur 42 Jahre (Abb. 3, waagerechte Linie bei 50 %).

Diese Auswertung ist eine gerichtsfeste Unterlage zur Begründung von Abschreibungszeiten unter 50 Jahren, z.B. in Wasserschutzgebieten mit erhöhten Anforderungen an die Dichtheit.

Der betriebsgewöhnliche Alterungsverlauf ist ebenfalls an der waagrecht eingezeichneten Linie ablesbar:

bis 15 Jahre: Klasse 6  
bis 25 Jahre: Klasse 5  
bis 33 Jahre: Klasse 4  
bis 42 Jahre: Klasse 3

bis 66 Jahre: Klasse 2

Aus den bereits dargelegten Gründen sind die individuellen Abweichungen von diesem betriebsgewöhnlichen Alterungsverlauf jedoch so groß, daß er in der Prognose nur hilfsweise für nicht inspizierte Haltungen herangezogen wird. Für inspizierte Haltungen wird die folgende Methode angewandt.

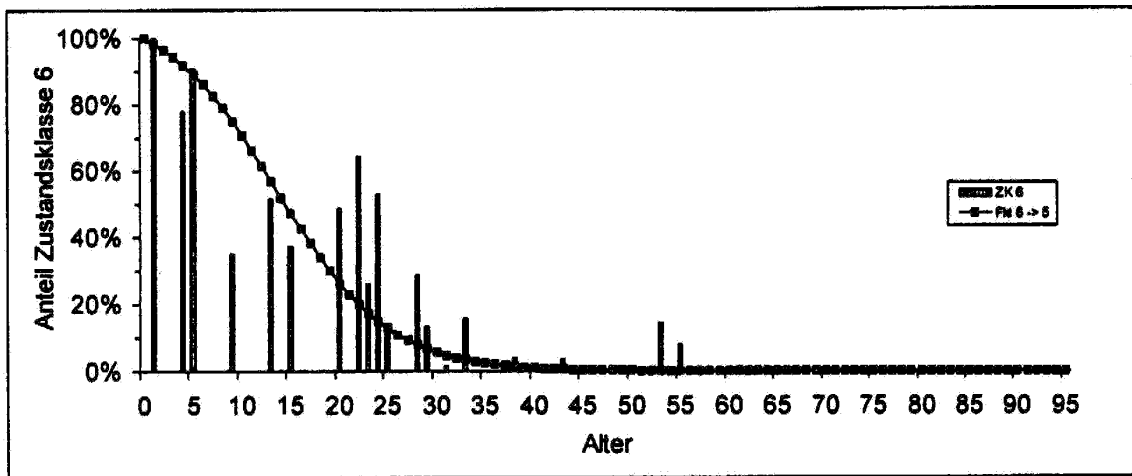


Abb. 1: Zustandsübergangsfunktion von Klasse 6 auf Klasse 5

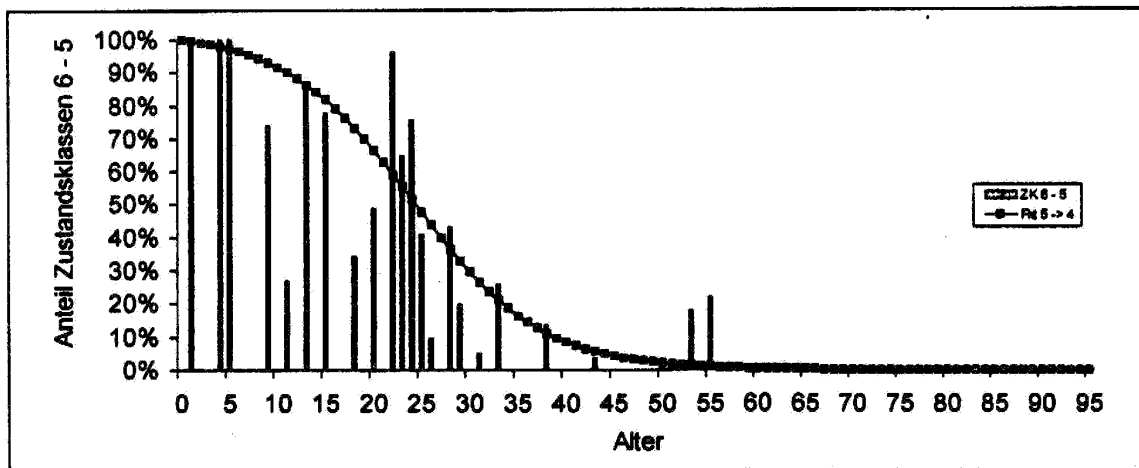


Abb. 2: Zustandsübergangsfunktion von Klasse 5 auf Klasse 4

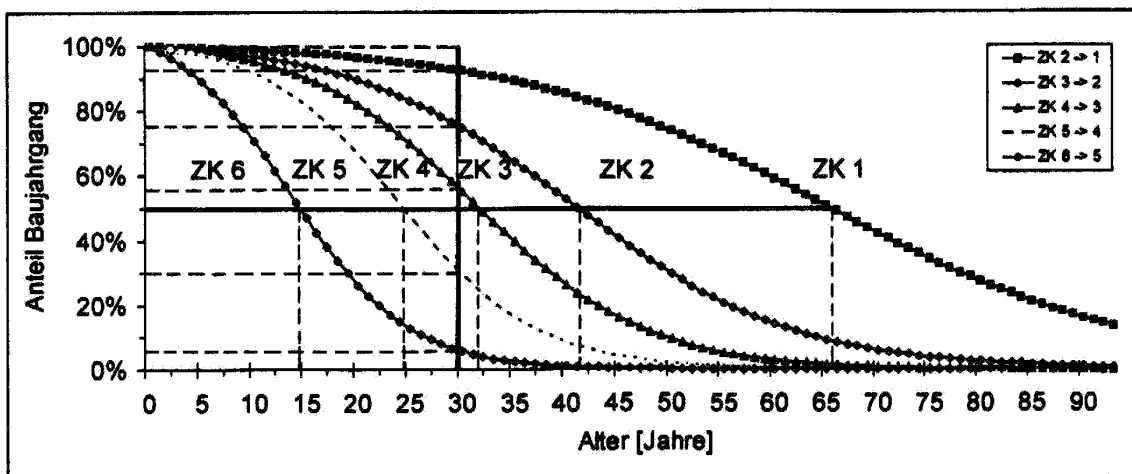


Abb. 3: Alle Zustandsübergangsfunktionen mit netzbezogenen Ablesungen

#### 4. Alterungsprognose

Zweck der Alterungsprognose ist die Erstellung eines dynamischen Sanierungsplans, der den zukünftigen Alterungsprozeß berücksichtigt. Zu diesem Zweck werden die Zustände und die individuellen Alterungsgeschwindigkeiten aller Haltungen und Schächte ausgewertet. Die Alterungsgeschwindigkeit und die Alterungsprognose für eine individuelle, bereits inspizierte Haltung kann unmittelbar aus Abb. 4 abgelesen werden:

Ablesebeispiel zu Abb. 4: Eine Haltung, die im Alter von 40 Jahren mit Zustandsklasse 4 inspiziert wurde, ist in der Vergangenheit mit einer Alterungsgeschwindigkeit zwischen 8 % und 27 % gealtert, angenommen wird der Mittelwert von 17,5 %. Bei dieser geringen Alterungsgeschwindigkeit wird die Zustandsklasse 1 erst mit 88 Jahren erreicht, d.h. die geschätzte individuelle Restnutzungsdauer der Haltung beträgt 48 Jahre ab Inspektionsdatum. Weiterhin ist der gesamte konsistent geschätzte Alterungsverlauf in Vergangenheit und Zukunft ablesbar:

##### Alter Zustand

|    |  |
|----|--|
| 0  | Baujahr, Zustandsklasse 6              |
| 23 | Zustandsübergang Klasse 6 auf Klasse 5 |
| 34 | Zustandsübergang Klasse 5 auf Klasse 4 |
| 44 | Zustandsübergang Klasse 4 auf Klasse 3 |
| 57 | Zustandsübergang Klasse 3 auf Klasse 2 |
| 88 | Zustandsübergang Klasse 2 auf Klasse 1 |

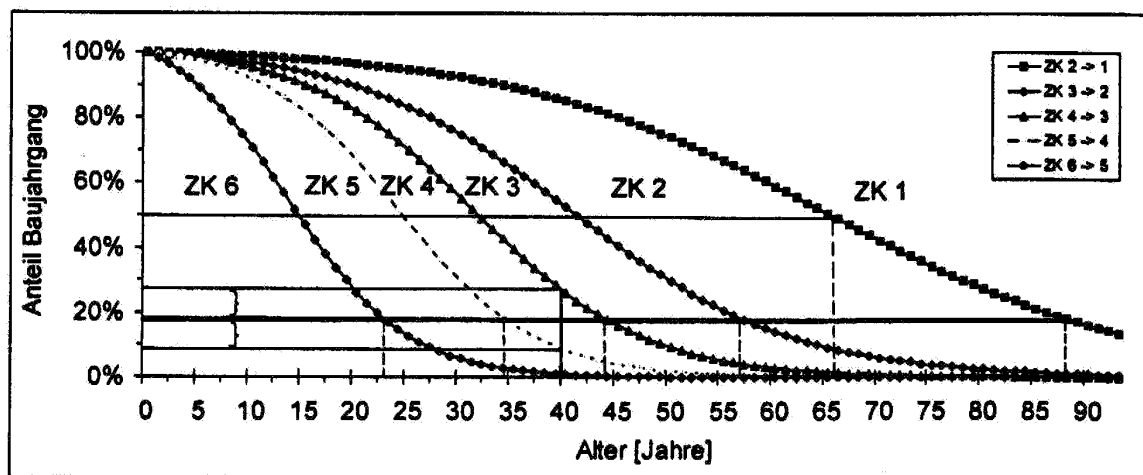


Abb. 4: Alle Zustandsübergangsfunktionen mit haltungsindividueller Ablesung

- Vermögensbewertung  
Die Zustandsprognose erlaubt eine Vermögensbewertung einzelner Haltungen und des Gesamtnetzes auf der Grundlage einer zuverlässig ermittelten Nutzungsdauer und Restnutzungsdauer, die frei ist von subjektiver Schätzung.
- Schwachstellenanalyse

Die individuell geschätzten Nutzungsdauern bieten eine gute Grundlage für die Schwachstellenanalyse. Da kurzlebige Haltungen schon frühzeitig erkannt und selektiert werden können, ist ihre Häufung bei bestimmten Materialien, Nennweiten, Straßenzügen u.ä. leicht zu ermitteln. Dies erlaubt eine zielgerichtete Ursachenforschung [3].

- Aktuelle und prognostische Zustandskartierung

Die Logik der Individualprognose ermöglicht es, für jede Haltung den aktuellen Zustand zu beschreiben, auch wenn die letzte Inspektion schon Jahre zurückliegt. Auf dieser Datengrundlage kann sowohl der aktuelle als auch der zukünftige Netzzustand in 5 oder 10 Jahren mit akzeptabler Genauigkeit kartiert werden. Diese Karten sind für die Sanierungsplanung aussagekräftiger als eine Kartierung der veralteten Zustandsbeobachtungen. Darüber hinaus erleichtern sie die Koordinierung der Straßendeckenerneuerung mit der Kanalerneuerung.

- Inspektionsplanung

Alterungsprognosen über mehrere Jahrzehnte sind mit gewissen Unsicherheiten behaftet, so daß daraus nicht unmittelbar Baumaßnahmen terminiert werden können. Aus der Alterungsprognose werden deshalb zunächst nur empfohlene Inspektionstermine abgeleitet, und zwar einige Jahre vor dem Übergang in Zustandsklasse 2 und dem Übergang in Zustandsklasse 1. Bei Durchführung der Wiederholungsinspektionen wird die Zustandsprognose präzisiert.

Beim Vorliegen von Zustandsprognosen für jede Haltung und jeden Schacht ist die Einhaltung konstanter Inspektionsintervalle grundsätzlich ineffizient. Der Informationsgewinn von Inspektionen ist wesentlich größer, wenn sie im Vorfeld erwarteter kritischer Zustände konzentriert werden. Zur permanenten Aktualisierung des Alterungsmodells müssen jährlich nur etwa 5 % des Netzes inspiziert werden. Dies reicht aus, um den Netzzustand mit ausreichender Genauigkeit flächendeckend zu beschreiben. Es wäre zweckmäßig, wenn die Eigenkontrollverordnungen eine derartige kostensparende prognosegesteuerte Inspektionsplanung zulassen würde.

- Netzalterung

Eine Überlagerung der Alterungsprozesse aller Haltungen führt zu einer Alterungsprognose des Gesamtnetzes. Abbildung 5 zeigt z.B., daß sich die Haltungslänge in Zustandsklasse 1 in den nächsten 10 Jahren von heute 1,9 km auf 4 km verdoppeln würde, wenn keine Sanierungsmaßnahmen ergriffen würden. Dies entspricht einer Ausfallrate von 1 % der Netzlänge je Jahr und ist damit günstiger als die langfristige Ausfallrate, die bei einer betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauer von 66 Jahren etwa 1,5 % je Jahr beträgt. Zur Substanzerhaltung (ohne Zustandsverbesserung) müssen in den nächsten 10 Jahren also etwa 2 km Haltungen renoviert oder erneuert werden.

## 5. Strategieentwicklung und Strategieprognose

Wichtiger als die reine Alterungsprognose ist eine Zustandsprognose unter Berücksichtigung von geplanten Sanierungsmaßnahmen (Renovation und Austausch). Für unterschiedliche Sanierungsstrategien ergeben sich dann unterschiedliche Zustandsprognosen. Abbildung 6 zeigt, wie eine zielkonforme Strategieprognose aussehen kann. Bei konstantem Investitionsbudget wird die Zustandsklasse 1 in 3 Jahren abgebaut und die Zustandsklasse 2 langfristig geringfügig verringert.

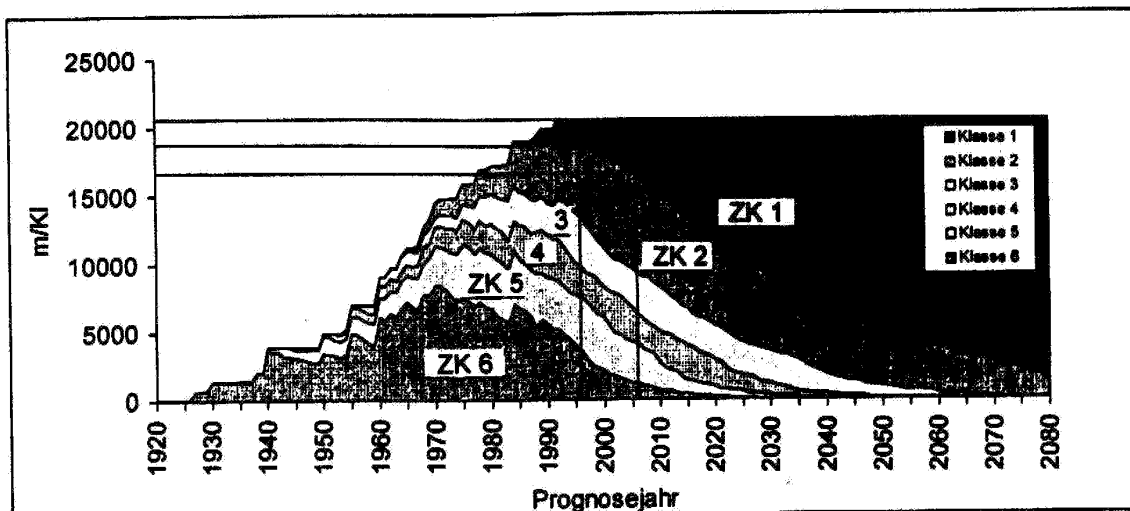


Abb. 5: Alterungsprognose

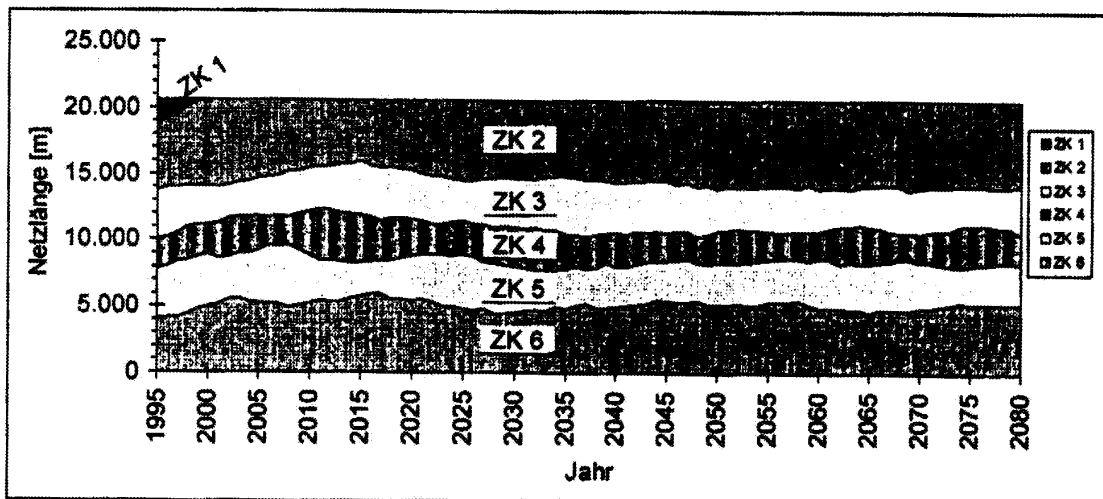


Abb. 6: Strategieprognose

Für die Entwicklung einer Sanierungsstrategie gibt es im Planungsmodell mehrere Freiheitsgrade:

- Budgetvorgabe für jedes Prognosejahr, getrennt nach Renovation und Erneuerung
- Festlegung der Interventionsklasse, in der die Renovation oder Erneuerung durchgeführt wird, falls es das Budget zuläßt (Diese kann gebietsweise differenziert werden).
- Schätzung der Nutzungsdauer neuerlegter Haltungen.
- Bei Neuverlegungen können möglicherweise Verlegefehler oder fehlerhafte Materialwahl der Vergangenheit vermieden werden. Die resultierende Verlängerung der Nutzungsdauer muß geschätzt werden.
- Die Schätzung bewirkt eine subjektive Beeinflussung der ansonsten objektiv ermittelten Strategieprognose. Sie wirkt sich allerdings erst in der 2. Erneuerungsgeneration, also nicht vor dem Jahr



2020 aus. Im eigentlichen Planungszeitraum bleibt die Strategieprognose objektiv überprüfbar (wichtig für gerichtsfeste Gebührekalkulation).

- Schätzung der Nutzungsdauer renovierter Haltungen
- Für die objektive Ermittlung der Nutzungsdauer renovierter Haltungen liegt kein ausreichendes Datenmaterial vor.
- Wahl unterschiedlicher Materialien! Bauweisen
- Für die Erneuerung/Renovation können unterschiedliche Verfahren mit unterschiedlichen Kosten und (geschätzten) Nutzungsdauern gewählt werden. Hydraulisch überlastete Haltungen können (im Planungsmodell) nicht renoviert werden. Bei einer Erneuerung werden die Baukosten entsprechend der vergrößerten Nennweite berücksichtigt.
- Reparaturkosten
- Haltungen, die wegen unzureichender Sanierungsmaßnahmen jahrelang in den schlechten Zustandsklassen 2 und 1 verbleiben, verursachen statistisch höhere Betriebskosten für häufigere Spülung, Abdichtungsmaßnahmen und Sofortreparaturen im Fall des Einbruchs. Diese zustandsabhängigen Reparaturkosten können anhand von Erfahrungen geschätzt werden und fließen in die Strategieprognose ein.

## 6. Strategiefindung

Aus der Kenntnis des Alterungsprozesses und der Kosten und Wirkungen von Erneuerungsmaßnahmen kann die „richtige“ Sanierungsstrategie nicht errechnet werden. Eine angemessene Sanierungsstrategie muß vielmehr als Kompromiß zwischen dem angestrebten Netzzustand und den verfügbaren Finanzmitteln durch Versuch und Irrtum gefunden werden. Konkret heißt das, daß mehrere alternative Strategieprognosen erstellt werden, und durch deren Vergleich schrittweise der Handlungsspielraum erkundet wird. Folgende Zusammenhänge werden in quantifizierter Form vermittelt.

- Eine mittelfristige Zustandsverschlechterung des Netzes erzeugt in der Zukunft einen hohen Investitionsbedarf. Hier stellt sich die Frage der Verantwortung gegenüber der nächsten Generation.
- Eine hohe Renovationsquote führt schnell zur Netzzustandsverbesserung und zur Verringerung der Umweltbelastung (vgl. dazu den Beitrag von Dipl.-Ing. Reinhard zu Umweltauswirkungen defekter Abwasserkanäle UTA/April 1996). Nach Ablauf der Nutzungsdauer der Renovation ist eine weitere Renovation (lt. Modellannahme) nicht mehr möglich. Dies führt zum Anstieg des Finanzbedarfs. Es ist deshalb zweckmäßig, eine anfänglich hohe Renovationsquote schrittweise abzusenken.
- Die dauerhafte Beibehaltung eines sehr schlechten Netzzustands ist unwirtschaftlich, da hohe Reparaturkosten die Investitionseinsparungen überkompensieren.

## Literatur

- [1] Herz, R.: Alterungsprozesse von Wasserrohrnetzen und daraus resultierender Erneuerungsbedarf. Vortrag 1 0. Oldenburger Rohrleitungsforum, 8. Februar 1996.
- Hochstrate, K.: Modell zur Bestimmung von Erneuerungsstrategien für städtische Erschließungsnetze. Vortrag 1. Internationaler Kongreß Leitungsbau, Hamburg 1987.
- Sawatzki, J.: Vermögensbewertung und Gebührenermittlung auf Grundlage der betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauer für Abwasserkanäle und -leitungen, Korrespondenz Abwasser 9/1994.
- [2] AQUA-Ingenieure: Sanierungsplanung für 20 km Kanäle einer südwest-deutschen Großstadt mit dynamischem Wirtschaftlichkeitsvergleich (unveröffentlicht).
- [3] Hochstrate, K., K. Jansen: Werterhaltung und Finanzierung von Abwasserkanalnetzen durch vorbeugende Instandhaltung. Korrespondenz Abwasser 2/1996.
- [4] AQUA-WertMin für Windows: EDV-Programm zur Berechnung der Wertminderung beschädigter Abwasserkanäle, AQUA-Ingenieure Saarbrücken (Version 2.1).