

# MUSTER

## Studie zur vorbeugenden Kanalinstandhaltung mit selektiver TV-Inspektion

### 1. Erläuterungsbericht

Aufgestellt:

Sachverständigenbüro  
für Kanalsanierung  
Dipl.-Ing. Karl Jansen

Postfach 100143  
D-66001 Saarbrücken  
Fon: +33-38799-2290  
Fax: +33-38799-1486

<b>Inhaltsverzeichnis</b>		<b>Seite</b>
<b>1.</b>	<b>Erläuterungsbericht</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Allgemeine Vorbemerkungen</b>	<b>1</b>
<b>1.2</b>	<b>Untersuchungsziel und Vorgehensweise</b>	<b>3</b>
<b>1.3</b>	<b>Verwendete Planunterlagen</b>	<b>5</b>
<b>1.4</b>	<b>Datenerfassung</b>	<b>6</b>
<b>1.5</b>	<b>Selektive TV-Untersuchung</b>	<b>8</b>
1.5.1	Allgemeines	8
1.5.2	Grundlagen der Stichprobe	9
1.5.2.1	Schichtung des Kanalnetzes	9
1.5.2.2	Festlegung der Stichprobe	14
1.5.3	TV-Inspektion	14
1.5.3.1	Leistungsverzeichnis	14
1.5.3.2	TV-Inspektion	15
1.5.4	Verwendung der bestehenden TV-Untersuchung	16
1.5.5	Schadensbilder und Schadensbeschreibung	16
1.5.6	Schadensbewertung der Stichprobe	20
1.5.6.1	Allgemeines	20
1.5.6.2	Zustandsklassifizierung hinsichtlich baulicher Priorität	21
1.5.6.3	Zustandsklassifizierung hinsichtlich technischer Wertminderung	24
<b>1.6</b>	<b>Zustandsprognose Gesamtnetz</b>	<b>25</b>
1.6.1	Korrektur der Schichtung	25
1.6.2	Ermittlung der prognostischen Zustandsverteilung im Gesamtnetz	27
1.6.3	Statistische Zustandsaussagen für individuelle Haltungen	29
<b>1.7</b>	<b>Alterungsprognose Gesamtnetz</b>	<b>30</b>
1.7.1	Modellierung der Alterung und Erneuerung	30
1.7.2	Prognose des ungestörten Alterungsprozesses	33
<b>1.8</b>	<b>Strategien zur Instandhaltung des Kanalnetzes</b>	<b>34</b>
1.8.1	Allgemeine Grundlagen	34
1.8.2	Kosten der Schadensbeseitigungsverfahren	39
1.8.3	Untersuchte Strategien	41
1.8.4	Ergebnisse der Strategieuntersuchungen	44
1.8.5	Wertung der Strategien	47
1.8.6	Praktische Umsetzung	48
<b>1.9</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>48</b>
<b>1.10</b>	<b>Literatur</b>	<b>52</b>

## **1. Erläuterungsbericht**

### **1.1 Allgemeine Vorbemerkungen**

Der Ausbau der Kanalisation im Werksgelände Musterauftraggeber erfolgte in den letzten knapp Jahrzehnten mit den stufenweisen Erweiterungen des Werkes. Demzufolge stammen rund 30 % des Netzes aus der Vorkriegszeit und ihr Zustand ist teilweise noch durch Kriegseinwirkungen bedingt. Rund 90 % des Netzes sind älter als 20 Jahre.

Die Werkskanalisation beträgt im Innen- und Außenbereich der Werkshallen etwa 350 km. Diese teilen sich auf in rund 235 km Regenwasserkanäle und rund 115 km Schmutzwasserkanäle. Etwa 230 km Kanalnetz entfallen dabei auf kleindimensionierte Anschlußkanäle, die von den einzelnen Abwasser- und Regenwasseranfallstellen zu den Sammelkanälen führen (eigentliche Gebäudeentwässerung).

Zum eigentlichen Kanalnetz (Sammelkanäle) zählen in der Regel alle Kanäle ab DN 150 bzw. DN 200, die durch Revisionsschächte direkt zugänglich sind. Dieses Netz besitzt eine Länge von rund 120 km.

Die Instandhaltung dieses Netzes ist von grundlegender Bedeutung für die Aufrechterhaltung der Infrastruktur des Werkes. Zusätzlich besteht von Seiten des Gesetzgebers die Forderung zur regelmäßigen Kontrolle des Zustandes von erdverlegten kommunalen und privaten Kanälen nach § 18 WHG in Verbindung mit den einschlägigen Regeln der Technik sowie dem § 324 StGB (Verunreinigung eines Gewässers), § 324a StGB (Bodenverunreinigung) und § 326 StGB (umweltgefährdende Abfallbeseitigung) etc. Die Pflicht zur Beseitigung festgestellter Schäden folgt damit automatisch.

Aufgrund der vorliegenden Altersstruktur, Kriegseinwirkungen, Konstruktion und Material sowie früherer Untersuchungen [1] ist ein Zustand des Kanalnetzes zu erwarten, der Schadensbehebungskosten zur Wiederherstellung und Beibehaltung eines funktions- und betriebsfähigen Kanalnetzes mit dauerhaft wasserdichten Kanälen und Schächten von 2-stelligen Millionenbeträgen in den nächsten 10 Jahren zur Folge haben wird.

## 1.2 Untersuchungsziel und Vorgehensweise

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist, den mittelfristigen Sanierungs- und Reparaturbedarf finanziell zu beziffern und damit eine mittelfristige Investitionsplanung zu gewährleisten.

Die notwendige Basis dieser Prognose ist eine zuverlässige Kenntnis des derzeitigen Kanalzustandes sowie dessen weitere Entwicklung in die Zukunft (Zustandsverschlechterung durch Alterung).

Die erste der Planungsgrundlagen kann durch eine Vollerfassung des Netzzustandes oder durch eine selektive Teilerfassung mit repräsentativer Hochrechnung erstellt werden.

Eine Vollerfassung des Netzzustandes nimmt wegen der logistischen Zwänge zur Aufrechterhaltung der Produktion etwa 5 bis 10 Jahre in Anspruch und ist darüber hinaus sehr kostenaufwendig. Halbwegs verlässliche Einschätzungen des Erhaltungszustands des Gesamtnetzes sind bei diesem Vorgehen frühestens nach Inspektion von 70 % des Gesamtnetzes, also etwa 5 bis 7 Jahre nach Beginn der Erstinspektion möglich. Darüber hinaus sind die Inspektionsergebnisse zu diesem Zeitpunkt teilweise schon wieder veraltet. Die Zustandsverschlechterung im Zeitablauf ist bei konventioneller Inspektionsplanung und -auswertung frühestens zu Beginn des zweiten Inspektionszyklus abschätzbar, d.h. etwa 12 bis 15 Jahre nach Beginn der Erstinspektion.

Die Selbstüberwachungs- und Eigenkontrollverordnungen der Länder (z.B. Bayern, Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen, Hessen etc.) sehen als Regelfall eine flächendeckende Erstinspektion des Gesamtnetzes mit nachfolgenden Wiederholungsinspektionen in festen Zeitabständen vor. Ein derartiges Vorgehen ist kostenaufwendig und liefert nur unzureichende Zustandsdaten für eine vorausschauende Sanierungsplanung.

Alternativ kommen selektive Inspektionsstrategien gemäß Euronorm DIN-EN 752/Teil 5 mit statistischer und prognostischer Auswertung in Betracht. Sie ersparen mindestens die Hälfte des Inspektionsaufwands. Die Zustandsbefunde stehen schneller zur Verfügung. Sie sind umfassender und aktueller.

DIN-EN 752 (Entwurf), 6.5.1 Vorbereitung der Inspektionsprogramme

*„Es ist von besonderer Bedeutung, daß die Inspektion des Systems gezielt erfolgt, um Doppelarbeiten zu vermeiden. Die baulichen Untersuchungen können entweder eine vollständige Untersuchung des Entwässerungssystems oder eine selektive Vorgehensweise umfassen.“*

Konkret bedeutet dies, daß bei einer selektiven Vorgehensweise durch die Zustandsuntersuchung einer geschichteten Stichprobe im Umfang von ca. 10 % des Gesamtnetzes der aktuelle Sanierungsrückstand bereits recht genau eingeschätzt werden kann. Durch die stichprobenhafte Ersterfassung des Netzzustands und dessen repräsentative Auswertung stehen also zuverlässige Planungsgrundlagen mit einem Bruchteil der Erhebungskosten bereits mindestens fünf Jahre früher zur Verfügung als bei der Vollerfassung ohne Auswertung.

Die selektive Erstinspektion erfolgt zeckmäßigerweise für eine geschichtete Stichprobe. Die Einteilung des Gesamtnetzes in sogenannte „Schichten“ wird dabei in der Weise nach verfügbaren Haltungsmerkmalen vorgenommen, so daß die Unterschiede des Netzzustands innerhalb der Schichten relativ gering sind. Als Segmentierungsmerkmale kommen beispielsweise in Betracht:

- Bodenverhältnisse
- Entwässerungssystem (M/R/S)
- Material/Verlegeart
- Abwasserqualität (häuslich/gewerblich/industriell)
- Alter
- Sonstige regionale Besonderheiten (z.B. frühere Wartungsdefizite in Teilnetzen etc.)

Aus jeder der gebildeten Schichten werden dann nur einige Netzteile, sogenannte „Klumpen“ vollständig inspiziert. Bereits vorliegende Inspektionsergebnisse können ohne Verlust an Repräsentativität des Gesamtergebnisses verwertet werden. Zur Absicherung der Übertragbarkeit des Netzzustands der „Klumpen“ auf ihre Schicht werden ergänzend ausgewählte Netzabschnitte als Einzelstichproben inspiziert.

Nach entsprechender Hochrechnung der Zustandsbefunde auf den Gesamtbestand des Netzes kann dessen Gesamtlänge - gegliedert nach baukostenrelevanten Merkmalen (z.B. Nennweiten) - in Zustandsklassen unterteilt werden. Die beiden schlechtesten Zustandsklassen beschreiben dabei quantitativ den aktuellen Erneuerungsrückstand und den mittelfristig zusätzlich entstehenden Erneuerungsbedarf. Später ergänzende und wiederholte Inspektionen verändern den hochgerechneten Netzzustand in Jahresabschnitten nur graduell. Überraschende Änderungen des festgestellten Sanierungsbedarfs treten nicht auf.

Die zweite Planungsgrundlage, die zukünftige Netzzustandsentwicklung wird in Verbindung mit den Baujahren durch die Modellierung des netzspezifischen Alterungsprozesses ermittelt. Prognoseergebnis des Alterungsprozesses ist die Vorhersage der Restnutzungsdauer der untersuchten Netzelemente und damit die Bestimmung ihres Ausfall- und Sanierungszeitpunktes.

Der finanzielle Sanierungsbedarf ergibt sich dann aus dem aktuellen Erneuerungsrückstand und der im Planungszeitraum zu erwartenden weiteren Zustandsverschlechterung.

### **1.3 Verwendete Planunterlagen**

Zur Durchführung der Untersuchung wurden folgende Unterlagen und Pläne verwendet:

- 237 Stück analoge Kanalbestandspläne, Bauausführungs- und Abrechnungspläne, Aufmaßskizzen der Abwasseranlagen unterschiedlichen Maßstabs ab 1938 bis 1992. Die Einzelauflistung der Pläne ist Anhang 1 zu entnehmen.
- Digitaler Kanalbestand Xystraße als Kanaldatenbank KIS, S&K aus dem Jahr 1992.
- Koordinaten für 1300 Schächte aus der Auswertung einer Überfliegung des Werksgeländes auf Diskette als DXF-Datei.
- vorhandene Videountersuchungen von rund 12,1 km Kanalnetz dokumentiert auf Videoband und Untersuchungsberichten aus den Jahren 1992 - 1997.
- Schadenserfassung und Bewertung der Videountersuchungen (rund 4,5 km) auf Datenträger (Kanaldatenbank KIS, S&K) aus dem Jahr 1992.
- Ergänzende Angaben von Baujahren des Kanalnetzes durch den Auftraggeber Abt. PW-G.
- Kostenanschlag zur Ausführung von Instandhaltungsmaßnahmen an der Kanalisation in der Musterauftraggeber vom 24.06.1996 bzw. 15.08.1996 als Grundlage zur Ermittlung ortsüblicher Einheitspreise.

## 1.4 Datenerfassung

Als Grundlage der nachfolgenden Planungsuntersuchungen ist ein digitaler Kanalbestand erforderlich.

Ein einheitliches Planwerk (Kanalkataster) für das Kanalnetz in digitaler oder analoger Form existierte bislang nicht. Vielmehr liegen die Aufzeichnungen über den Kanalbestand in rund 230 Einzelplänen (Bestandszeichnungen, Abrechnungs- und Ausführungspläne, Änderungsskizzen, Planausschnitte) vor. Die Pläne sind unterschiedlichen Alters (1938 - 1992) und besitzen unterschiedlichen Aktualitätsstand, Maßstab, Darstellungsart und Genauigkeitsgrad. Ein eindeutiges kanalbezogenes Ordnungskriterium (Schachtnummern) besteht für das Kanalnetz bisher nicht. Lediglich für den Bereich Mittelstraße existierte ein digitaler Kanalbestand aus der Sanierungsuntersuchung von 1992. Dieser seinerzeit exakt aufgenommene Bestand (vermessungs- und tiefbautechnische Erfassung) wurde in die jetzt zu erstellende Datenbank übernommen und integriert.

Zur Erstellung des digitalen Kanalbestandes wurden daher die erforderlichen Kanalstammdaten -soweit vorhanden- aus den analogen Planunterlagen manuell erfaßt. Zur Identifizierung (Erstellung eines Ordnungskriteriums) wurden alle Schächte mit einer Nummer versehen. Knotenpunkte und Knickpunkte im Netz ohne Schacht wurden mit fiktiven Schachtnummern bezeichnet, die durch ein „F“ am Ende der Nummer gekennzeichnet sind.

Die erfaßten Kanaldaten -soweit vorhanden- waren:

- Schachtnummer Anfangs- und Endschacht
- Deckelhöhe Anfangs- und Endschacht
- Sohl- bzw. Einlaufhöhe Anfangs- und Endschacht
- Entwässerungssystem
- Fließrichtung
- Haltungslänge
- Durchmesser, Profilart, Material

Die Koordinaten der Schächte lagen in den Außenbereichen der Hallen zum Teil aus der Auswertung einer Überfliegung als Elemente in einer Grafikdatei (DXF-Format) vor und wurden hieraus übernommen. Bei richtiger Zuordnung der Koordinaten zum Kanalbestand ist die Lage der entsprechenden Schächte damit genau eingemessen.

Die übrigen Koordinaten (durch Überfliegung nicht erfaßte Schächte in den Außenanlagen, Schächte in Hallen, fiktive Schächte) wurden durch Digitalisierung und Abstandsmaßkonstruktion ermittelt. Entsprechend der Zuverlässigkeit der Plangrundlage liegt hier eine eingeschränkte Lagegenauigkeit vor. Erschwert wurde die Erfassung des Kanalbestandes durch die Randbereichsproblematik in Plänen.

Für Hallen und Außenbereiche von Hallen existieren in der Regel unterschiedliche Pläne. Der Übergang zwischen Kanalverlauf in den Hallen und Außenbereich ist in diesen Plänen oft lückenhaft und nicht eindeutig. Gleiches gilt für die Plangrenzen von Plänen in den Außenbereichen der Hallen.

Weiterhin besitzen mehrere Pläne ein- und derselben Örtlichkeit oft einen unterschiedlichen Aktualitätsstand. Dadurch erfolgte zunächst teilweise eine Mehrfacherfassung bzw. eine Erfassung nicht mehr bestehender Kanäle, die im nachhinein durch erneute Wertung der Aktualität von Planinhalten bereinigt werden mußten. Hinweise zur Aktualität wurden teilweise auch in Absprache mit dem Auftraggeber durch dessen Ortskenntnis erbracht.

Einige Planunterlagen konnten bei der Datenerfassung nicht verwendet werden, da die Planbezeichnung und der eingetragene Inhalt keine eindeutige Zuordnung zu der Lage des Kanalnetzes in der Örtlichkeit erlaubte.

Für einzelne Netzteile (insbesondere Hauptsammler) lagen keine Lagepläne vor. Hier wurde die Netzgeometrie lediglich qualitativ aufgrund von Übersichtsplänen (M 1:5000, M 1:2500) und der Logik der Netzverknüpfung konstruiert. Für diese Kanalnetzbereiche liegen bis auf den Rohrdurchmesser keine Bestandsdaten vor.

Deckelhöhen der Schächte waren in den meisten Kanalplänen nicht angegeben. Bei Schächten in den Hallen wurden als Deckelhöhe das teilweise detaillierte in den Plänen angegebene Hallenbodenniveau bzw. das vom Auftraggeber angegebene allgemeine Hallenniveau von 57,60 m üNN übernommen.

Weiterhin fehlten teilweise Angaben zu den Sohlhöhen in den Plänen bzw. waren bei Darstellung der Schächte in mehreren Planwerken widersprüchlich. Soweit möglich wurden die fehlenden Daten durch Interpolation zwischen Nachbarschächten ermittelt. In gleicher Weise wurden wenn möglich die plausiblen Werte bei widersprüchlichen Angaben bestimmt.

Bei Schächten, für die überhaupt keine Sohlhöhe feststellbar war, wurde pauschal der runde Wert von 55,0 m üNN eingesetzt.



Ein Ausdruck in Listenform des erfaßten Datenbestandes des Kanalnetzes ist in Anlage 2.1 für Schächte und in Anlage 2.2 für Haltungen beigelegt.

Die Zuverlässigkeit der einzelnen Daten -Koordinaten und Höhenangaben- ist in den Ausdrucken und der Kanaldatenbank jeweils durch eine Angabe der Datenherkunft (Überfliegung, Vermessung, Plänen etc.) dokumentiert. Eine Erläuterung der Bedeutung der einzelnen Kennzeichen ist in Anlage 2.1 bzw. 2.2 jeweils auf der letzten Seite angegeben.

Die Baujahre der einzelnen Haltungen und Schächte wurde netzbereichsweise zunächst aus dem Erstellungsdatum der zugrunde liegenden Pläne abgeleitet. Bei Bestandsplänen späterer Jahre konnte oft nur das Planjahr und „Erstellung vor Planjahr“ aufgenommen werden. Anschließend wurden Kanalpläne mit Angabe des erfaßten Baujahres ausgeplottet und mit dem Auftraggeber aufgrund dessen vorhandener Detailkenntnisse korrigiert und abgestimmt. Damit ist eine vollständige Alterserfassung des Kanalnetzes erfolgt.

Der erfaßte Datenbestand weist, wie oben erläutert, noch ein gewisses Maß an Ungenauigkeiten auf. Die Genauigkeit reicht für die Anforderungen, die durch das vorgesehene Untersuchungsziel notwendig sind, jedoch voll aus.

Gleichzeitig ist eine Datengrundlage für ein digitales Kanalkataster erstellt worden, dessen Genauigkeit durch eine kontinuierliche örtliche Bestandsaufnahme und Vermessung in den nächsten Jahren sukzessive verbessert und vorhandene Lücken geschlossen werden können.

## **1.5 Selektive TV-Untersuchung**

### **1.5.1 Allgemeines**

Das datenmäßig erfaßte Kanalnetz besitzt eine Länge von rund 120 km. Hier-von wurden in den vergangenen 5 Jahren rund 16,5 km durch TV-Inspektion untersucht. Eine Vollerfassung des Netzzustandes nimmt wegen der logistischen Zwänge zur Aufrechterhaltung der Produktion mehrere Jahre in Anspruch und ist sehr kostenaufwendig.

Daher soll der generelle Zustand des Kanalnetzes durch eine selektive TV-Untersuchung und Übertragung auf das Gesamtnetz ermittelt werden. Notwendig sind hierzu repräsentative Stichproben von rund 10 - 20 % der Netzlänge, das heißt TV-Untersuchungen von rund 12 - 24 km Länge. Da bereits rund 16,5 km TV-Inspektionen vorliegen, sind zusätzliche Untersuchungen nur insoweit erforderlich, als durch die vorhandenen Untersuchungen nicht alle Schichten (Gruppen von Kanälen mit gleichen Einflußmerkmalen) zustandsmäßig repräsentiert werden.

## **1.5.2 Grundlagen der Stichprobe**

### **1.5.2.1 Schichtung des Kanalnetzes**

Die selektive Inspektion erfolgt für eine geschichtete Stichprobe. „Schichten“ werden dabei definiert als Gruppen von Haltungen, die jeweils durch bestimmte Kombination von Einflußmerkmalen (Segmentierungsmerkmalen) gekennzeichnet sind. Ziel der Einteilung des Gesamtnetzes in Schichten ist, die Schichtenbildung so vorzunehmen, daß die Unterschiede des Netzzustandes innerhalb einer Schicht voraussichtlich relativ gering sind.

Einfluß auf den Kanalzustand besitzen insbesondere folgende Parameter, die damit grundsätzlich als Segmentierungsmerkmal in Betracht kommen

- Alter
- Entwässerungssystem und Abwasserqualität (Regenwasser, Schmutzwasser, Mischwasser, häuslich/industriell)
- Rohrmaterial und Verlegeart
- Rohrdimension
- Bodenverhältnisse
- Grundwasserverhältnisse und gegebenenfalls Grundwasserchemismus
- Lage und Grad der Verkehrsbelastung
- sonstige örtliche oder periodenbedingte Besonderheiten soweit sie nicht allgemein in o.g. Merkmalen bereits erfaßt sind.

Die Anzahl der Parameter (Segmente) innerhalb eines Segmentierungsmerkmals ist unterschiedlich. Bei dem Merkmal Entwässerungssystem z.B. ist die Anzahl der Parameter 3 (MW,RW,SW), bei dem Merkmal Bodenverhältnisse kann die Anzahl der Parameter je nach örtlichen Verhältnissen stark schwanken zwischen 1 (gleiche Bodenverhältnisse im Gesamtgebiet) und 5 (z.B. kiesige Böden, felsige Böden, Aufschüttungen, lehmige Böden, nicht tragfähige Böden in Flußauen etc.).

Zu beachten ist, daß die Anzahl der Schichten mit jedem zusätzlich zu berücksichtigenden Segmentierungsmerkmal um den Faktor der Anzahl der Segmente zunimmt. Bei z.B. 5 Segmentierungsmerkmalen à 5 Segmenten kann die theoretische Anzahl der Schichten 3125 betragen. Da jedoch oft nicht jedes Segment eines Merkmals mit jedem Segment eines anderen Merkmals in Kombination auftritt, ist praktisch die Anzahl der Schichten erheblich geringer. Dennoch ist es notwendig, kritisch zu prüfen, ob ein Segmentierungsmerkmal praktisch relevant ist, um die Anzahl der Schichten so gering wie möglich zu halten. Weiterhin ist zu berücksichtigen, für welche der grundsätzlich relevant erscheinenden Segmentierungsmerkmale die Datengrundlage mit vertretbarem Aufwand ermittelt werden kann.

Aus den oben grundsätzlich genannten Einflußgrößen wird im konkreten Fall wie folgt die Segmentierung des Netzes gebildet:

- **Alter**

Die Baujahre der Kanäle liegen komplett vor. Bei jahresweiser Einteilung werden allein rund 50 Segmente (Anzahl Baujahrgänge) erhalten. Der Besatz (Anzahl der Elemente [= Haltungen] je Segment) wird sehr gering. Praktisch erfolgt daher eine dekadenweise Gruppierung

Baujahrsbereich	Baujahrgänge
1940	1938 - 42
1955	1950 - 59
1965	1960 - 69
1975	1970 - 79
1985	1980 - 89
1990	1990 - 95

Die Verteilung der Kanalnetzlängen nach den Altersgruppen ist Anlage 3.1.1.2 zu entnehmen.

- **Entwässerungssysteme und Abwasserqualität**

Durchweg existiert auf dem Werksgelände eine Trennkanalisation, das heißt es ist eine Unterscheidung bzgl. Schmutzwasser und Regenwasser zu treffen. Abläufe von Ölabscheidern wurden separat aufgeführt, soweit sie bei der später erfolgten TV-Inspektion festgestellt wurden.

Die Unterscheidung bzgl. Entwässerungssystem auf den Kanalzustand ist hinsichtlich der unterschiedlichen Korrosionsgefahr der Abwässer auf die Rohrmaterialien von Bedeutung. Bereits am bestehenden Netz wird dieser Tatsache jedoch Rechnung getragen, indem Schmutzwasserkanäle weitgehend in Steinzeug und Regenwasserkanäle in Beton ausgeführt wurden.

Eine weitergehende Unterteilung der Schmutzwasserkanäle hinsichtlich Abwasserqualität erfolgte nicht. Entsprechende Berücksichtigung und Beurteilung der Relevanz würde das Vorliegen eines kompletten innerbetrieblichen Indirekteinleiterkatasters erfordern.

Die Verteilung der Kanalnetzlängen auf die genannten Entwässerungssysteme ist in Anlage 3.1.1.3 enthalten.

#### - **Rohrmaterial und Verlegeart**

Die Schadensarten und die Ausprägung dieser Schäden ist bei den einzelnen Rohrmaterialien völlig unterschiedlich. Dies kann oft -muß aber jedoch nicht- zu unterschiedlichen Zustandsklassenverteilungen bei den gängigen in der Kanalisation verwendeten Rohrmaterialien führen. Die Materialart ist daher ein wesentliches Segmentierungsmerkmal.

Die Materialverteilung im Gesamtnetz ist in Anlage 3.1.1.1 aufgezeigt. Überwiegend wurden die Materialien Beton und Steinzeug verwendet. PVC, Asbestzement und Gußrohre besitzen nur geringe Bedeutung. Für rund 24 km ist bisher das Rohrmaterial nicht bekannt.

Weitergehende Unterteilungen innerhalb einer Materialart z.B. Beton- oder Stahlbetonrohre, Glockenmuffen - oder Falzrohre, mit oder ohne Fuß, Art der Muffendichtung, etc. wurden nicht getroffen. Diese Detailunterscheidungen sind aus den Plänen und der TV-Inspektion nicht ersichtlich und müßten mit hohem Aufwand detailliert aus den Bauunterlagen ermittelt werden. Dies gilt auch für Besonderheiten bei der Verlegeart, die daher bei der Segmentierung nicht berücksichtigt wurden.

#### - **Rohrdimension**

Aufgrund je nach Rohrdimension oft unterschiedlicher Materialausführung (Betonrohre, Betonrohre wandverstärkt, Stahlbetonrohre), Verlegesorgfalt (bei kleinen Rohrdurchmessern [z.B. Grundstücksentwässerungen DN 150 bis DN 200] wird häufig eine geringere Sorgfalt auf Rohraufleger, Ausrichtung, Einbettung und Verdichtung verwendet als bei großen Rohrdurchmessern) etc. erfolgte eine Segmentierung nach den Profilgrößen:

bis DN 200	(Zuleitungen geringer Bedeutung)
ab DN 250 - DN 400	(Hauptdurchmesserbereich im Netz)
ab DN 450 - DN 800	
ab DN 800	(Kreisprofile, Hauptsammler)
Großprofile	(große Ei-, Maul- und Rechteckprofile)

Für rund 3,2 km Kanalnetz ist die Profilart bzw. Größe noch unbekannt.

Die Längsverteilung auf o.g. Durchmessergruppen ist in Anlage 3.1.1.4 dargestellt. Zudem stellen die einzelnen Ausführungsarten der Rohre auch in der Regel den allgemeinen Stand der Technik in bestimmten Zeitperioden dar, Einflüsse auf den Zustand werden damit auch über die Alterseinteilung erfaßt.

- **Bodenverhältnisse**

Aufgrund der topographischen Lage des Werksgeländes können die Bodenverhältnisse als weitgehend gleichbleibend angesehen werden, eine Differenzierung ist nicht erforderlich.

- **Grundwasserverhältnisse**

Der Grundwasserstand ist über das Werksgelände im wesentlichen gleich hoch. Bei der durchgeführten TV-Inspektion lag er unabhängig von der Lage im Werksgelände bei rund 2,0 - 2,5 m unter Geländeoberkante. Für alle Kanäle kann daher von wechselndem Grundwassereinfluß ausgegangen werden.

- **Lage und Grad der Verkehrsbelastung**

Die Beanspruchung der Kanalrohre durch Verkehrsbelastung ist bei Kanälen geringer Tiefenlage höher als bei tiefliegenden. Zusätzliche Schutzmaßnahmen (z.B. Ummantelungen) verringern allerdings wieder das Gefährdungspotential. Ebenso ist für die Kanäle in den Hallenbereichen durch die Hallenbodenüberdeckung eine andere (geringere) Verkehrsbelastung und Umgebungsbedingung vorhanden. Es erfolgte daher eine Segmentierung nach Lage der Kanäle in Hallen und Außenbereichen. Die Netzaufteilung ist in Anlage 3.1.1.5 dargestellt.

Aufgrund der Kombination der einzelnen Parameter der Segmentierungsmerkmale (Material, Alter, Entwässerungssystem, Profilhöhe, Lage) untereinander ergeben sich theoretisch 167 Schichten, das heißt Gruppen von Hal-tungen mit gleicher Merkmalskombination.

Identifiziert werden diese Schichten durch eine 5-stellige Gruppennummer, die aus einer numerischen Kombination von Schlüsseln für die einzelnen Segmentierungsmerkmale besteht. Dabei bedeuten die einzelnen Stellen (von links nach rechts):

1. Stelle: Materialkennzeichen
  - 0: unbekannt
  - 1: B
  - 2: STZ
  - 3: PVC
  - 4: AZ
  - 5: GG
  
2. Stelle: Altersgruppe (Dekade)
  - 1: 1940
  - 2: 1955
  - 3: 1965
  - 4: 1975
  - 5: 1985
  - 6: 1990
  
3. Stelle: Entwässerungssystem
  - 1: RW (Regenwasser)
  - 2: SW (Schmutzwasser)
  - 3: Ö (Ablaufleitung Ölabscheider)
  
4. Stelle: Profilhöhe
  - : unbekannt
  - 1: 200 (bis DN 200)
  - 2: 400 (DN 250 - 400)
  - 3: 800 (DN 450 - 800)
  - 4: >800 (Profile größer DN 800 (Kreis-, Ei-, Maul- und Rechteckprofile))
  
5. Stelle: Lage des Kanales
  - 1: AU (Lage Außenbereich)
  - 2: H (Lage in Halle)

Eine Auflistung aller Gruppen dieser theoretischen Schichten, sortiert nach Gruppennummer, mit Angabe des Besatzes an Haltungen sowie dem letztendlich durchgeführten Umfang der Stichprobe ist in Anlage 3.1.2.1 enthalten.

Dabei repräsentieren von den 167 Schichten über die Hälfte, nämlich 97 Schichten einen Besatz von weniger als 10 Haltungen je Schicht, das heißt, diese Schichten sind von untergeordneter Bedeutung.

Für die weiteren Untersuchungen: Festlegung des Umfangs der Stichprobe und Auswertung der Stichprobe werden diese Kleinstgruppen in den meisten Fällen einer übergeordneten Gruppe zugeordnet. Als übergeordnet werden dabei Gruppen bezeichnet, bei denen eine oder mehrere Segmentierungsmerkmale fehlen, weil die entsprechenden Informationen nicht vorliegen.

### **1.5.2.2 Festlegung der Stichprobe**

Bei der Festlegung des Stichprobenumfangs wird zunächst von einem Umfang von mindestens 10 % je Schicht, bzw. mindestens 4 Haltungen je Schicht ausgegangen.

Zunächst wurde überprüft, für welche Schichten durch die vorliegenden TV-Inspektionen bereits der erforderliche Stichprobenumfang ganz oder teilweise abgedeckt ist. Dabei ergab sich für einige Schichten bereits ein inspizierter Netzanteil von erheblich mehr als 10 - 20 %, Kleinstschichten waren zum Teil zu 100 % inspiziert.

Sodann wurde der erforderliche Restumfang der Stichprobe für die noch durchzuführende TV-Inspektion festgelegt und aus der Datenbank konkret entsprechende Haltungen selektiert. Insgesamt wurden zusätzlich rund 12 km noch zu inspizierender Kanäle ausgewählt.

Die ausgewählten Haltungen wurden in ausgeplotteten Kanalbestandsplänen (M 1:500) farblich markiert, als Grundlage für die TV-Inspektion vor Ort.

### **1.5.3 TV-Inspektion**

#### **1.5.3.1 Leistungsverzeichnis**

Für die Ausschreibung und Vergabe der TV-Inspektion an ein Fachunternehmen wurde bereits zu Projektbeginn ein detailliertes Leistungsverzeichnis für

- vorausgehende Kanalreinigung
- TV-Inspektion
- Absperrungen und Wasserhaltung
- Beseitigung von Hindernissen als Eventualmaßnahmen

erstellt. Insbesondere wurden berücksichtigt:

- Profilart, Durchmesser, Verschmutzungsgrad, mechanische Reinigung und Entsorgung des Sauggutes, abwasserlose Untersuchungen, Dichtigkeitsprüfungen, Untersuchungsbericht und Dokumentation.
- Berücksichtigung der innerbetrieblichen Zwänge.
- Anforderungen in Wasserschutzzonen nach ATV-A 142.
- Die angesetzten Massen bei der Ausschreibung wurden aufgrund des zunächst vorgesehenen Stichprobenumfangs (rund 20 km) und der vorab abgeschätzten Durchmesser- und Dichtungsverteilung der Werkskanalisation in Verbindung mit den Erfahrungswerten für andere Kanalnetze ermittelt.

Weiterhin wurden im Leistungsverzeichnis die notwendigen Anforderungen zur Durchführung und Dokumentation der TV-Untersuchung für eine EDV-mäßige Aufbereitung und Auswertung unter Beachtung der Empfehlungen des Merkblatts der ATV M143 und A149 als Leistungsbild für den Unternehmer vorgeschrieben.

### **1.5.3.2 TV-Inspektion**

Den Zuschlag zur Ausführung der TV-Inspektion erhielt die Firma XY. Die Überwachung der Durchführung wurde durch Sachverständigenbüro vorgenommen.

Die Durchführung der Filmung erfolgte soweit möglich entsprechend dem vorbereiteten Inspektionsplan. Schwierigkeiten, die eine starre Abarbeitung des Inspektionsplanes verhinderten, waren

- Schächte waren wegen betrieblicher Behinderungen nicht anfahrbar oder zugänglich
- Hindernisse im Kanal (Bögen oder Abflußhindernisse) verhinderten ein Durchfahren der vorgesehenen Kanalstrecken

Während der laufenden Arbeiten mußten daher aus dem übrigen Kanalnetz Ersatzhaltungen für die Filmung ausgesucht werden, die der gleichen Schicht wie die nicht inspizierbare Haltung angehören. In den meisten Fällen war dies möglich, in einigen Fällen konnten jedoch keine Ersatzhaltungen gefunden werden, so daß letztendlich einige Schichten vom Stichprobenumfang her unterrepräsentiert blieben.



#### **1.5.4 Verwendung der bestehenden TV-Untersuchung**

Von den vorhandenen TV-Untersuchungen lagen die Daten für die rund 4,5 km Kanäle in der Xystraße bereits in einer Datenbank aus der Projektbearbeitung Kanalsanierung Xystraße von 1992 vor. Diese Zustandsdaten konnten daher direkt durch Datentransfer übernommen werden.

Für die übrigen rund 12 km vorhandener Videountersuchungen standen lediglich die Videobänder und teilweise analoge Schadensberichte zur Verfügung. Die Art der Schadenserfassung war dabei nur zum Teil nach ATV-M143 erfolgt, auch weitergehende Erfordernisse, die für eine aussagekräftige Zustandsbewertung erforderlich sind, z.B. Differenzierung der Korrosion nach Grad der Schwere und ungefähre Angabe der Größe von fehlenden Scherben, waren nicht erfaßt.

Diese Videobänder wurden daher noch mal durchgängig gesichtet, alle angegebenen Schäden überprüft sowie fehlende Angaben und Schäden ergänzt und alle Zustandsdaten EDV-mäßig erfaßt zur Übernahme in die Kanaldatenbank.

#### **1.5.5 Schadensbilder und Schadensbeschreibung**

Die Schadensbeschreibung bei der TV-Inspektion erfolgte in enger Anlehnung an das Merkblatt der ATV M143, Teil 2. Jeder Schaden wird dabei durch ein 4-stelliges Schadenskürzel und gegebenenfalls einer Angabe über das Schadensmaß als numerischen Wert beschrieben. Ein Ausdruck der verwendeten Schadenabkürzungen und der Schadensbedeutung (Langtext) ist in Anlage 3.2.1 enthalten.

Die Ursachen und Folgen der einzelnen Schäden, geordnet nach den Hauptkategorien sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Die Beeinträchtigung von

- Wandzuständen
- Wasserdichtheit
- und Abflußverhältnissen

durch bestimmte Schadenstypen ist daraus ableitbar.

Kategorie	Ursachen	Folgen
<p><b>A Wandzustand</b></p> <p>A1 Rißbildung Bruch, Einsturz</p> <p>A2 Korrosion, mechanischer Verschleiß</p> <p>A3 Beschädigungen, Bruch</p> <p>A4 Verformung (biegeweicher Rohre)</p>	<p>Rißbildung entsteht, indem das Kanalrohr die Auflast nicht (mehr) tragen kann. Die Ursachen sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- höhere Belastungen infolge größerer Verkehrsbelastungen, veränderte Spannungen durch Einbetten, Verdichten und/oder Verfüllen etc.</li> <li>- Reduzierung der Wanddicke durch Korrosion/Verschleiß</li> <li>- Temperaturspannungen</li> <li>- Überschreitung der zul. Belastung</li> </ul> <p>- aggressives Abwasser</p> <p>- Biogene Schwefelsäurekorrosion</p> <p>- hohe Fließgeschwindigkeit (Kavitation)</p> <p>- Abrieb</p> <p>- Ablagerungen wg. zu geringer Schleppkraft (zu flaches Sohlgefälle)</p> <p>- unsachgemäßes Verlegen</p> <p>- nicht fachgerecht eingebaut</p> <p>- Überschreitung der zulässigen Belastungen</p> <p>- zugenommene (Verkehrs-) Belastungen</p> <p>- veränderte Auflagebedingungen durch unsachgemäßes Einbetten, Verlegen, Verdichten etc.</p> <p>- abnehmende Steifigkeit durch Lösungsmittel</p> <p>- Temperatureinwirkung</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Längsrisse sind schwerwiegender als Querrisse. Bei Längsrissen besteht die Gefahr, daß ein zusammenhängendes Rohr einstürzt, Straßeneinbrüche und Grundwasserver- schmutzungen sind die Folge.</li> <li>- Bei Querrissen besteht im allg. keine Einsturz- gefahr, da die Rohrstatik nicht vermindert wird. Demgegenüber wird aber der kraftschlüssige Verbund der Rohre untereinander beein- trächtigt bzw. unterbrochen. In beiden Fällen wird durch einströmendes Grundwasser, Bodenmaterial, Verwurzelung etc. die Zu- standsverschlechterung beschleunigt.</li> <li>- als Folge von der Verminderung der Wanddicke nimmt die Tragfähigkeit ab, wodurch schnelle Rißbildung entsteht und das Rohr einstürzen kann.</li> <li>- Erhöhung der Rauheit der Innenwandung</li> <li>- Undichtigkeiten</li> <li>- abhängig von der Art und Weise der Beschädigung: Undichtigkeit, Bruch, Ex- und Infiltration</li> <li>- kleinere Verformungen (7%) können weiche Rohre i.a. tangential ohne Probleme aufnehmen</li> <li>- bei größeren Verformungen bis 12% können die Rohre instabil werden und zusammenklappen</li> <li>- drastischer Verlust an Abflußvermögen (Rückstau) mit Einbruch des Aufbaues</li> </ul>

Kategorie	Ursachen	Folgen
<b>B Wasserdichtigkeit</b>		
B1 Undichtigkeiten (Infiltration)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ganz oder teilweise eingeschränkte Funktion der Rollringe/Dichtungsmasse</li> <li>- Klaffende Muffen/Fugen</li> <li>- Offene Risse in der Rohrwand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sandeinspülungen</li> <li>- Absenkung des Grundwasserspiegels</li> <li>- Hohlrumbildung mit Setzungen(Drainagewirkung)</li> <li>- Hydraul. Mehrbelastung von Pumpwerken/ Kläranlagen etc.</li> <li>- Exfiltration</li> </ul>
B2 Sand-/Boden - materialeinspülung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Undichtigkeiten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schwerwiegende Folgen durch Wegspülen von Wege- und Straßenunterbauten mit spontanen Setzungen und Einbrüchen.</li> <li>- Ausspülen des Rohraufagers mit Versackungen</li> </ul>
B3 Einragender Rollring einragendes Fugen- bzw. Dichtungsmat. (Kit, Bitumenbänder)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unsachgemäße Verlegung</li> <li>- klaffende Muffen; wobei der Rollring von seinem Platz gedrückt wurde</li> <li>- Alterung</li> <li>- höhere Temperaturen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Undichtigkeit</li> <li>- Ex- und Infiltration</li> </ul>
B4 Klaffende Muffe/ Fuge	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unsachgemäße Verlegung</li> <li>- Versätze als Folge von Versackungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Undichtigkeit</li> <li>- Ex- und Infiltration</li> </ul>
B5 Horizontaler, vertikaler Muffenversatz	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verformbarkeit des Fugen- und Dichtungsmaterials</li> <li>- Beschädigte Muffe oder Spitzende</li> <li>- Versätze als Folge von Versackungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Undichtigkeit</li> <li>- Ex- und Infiltration</li> </ul>
B6 Richtungsabwinkelung (Lageabweichungen)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- unsachgemäße Verlegung (bewußtes Anpassen)</li> <li>- Versackungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Undichtigkeiten</li> <li>- Ex- und Infiltration</li> <li>- Einbruch</li> </ul>

Kategorie	Ursachen	Folgen
<p><b>C Abflußverhältnisse</b></p> <p>C1 Einragende Stützen</p> <p>C2 Verwurzelungen</p> <p>C3 Anwachsungen</p> <p>C4 Inkrustationen</p> <p>C5 Lose Ablagerungen (Sand/Fäkalien)</p> <p>C6 Feste Ablagerungen (Steine/Beton etc.)</p> <p>C7 Verstopfungen (Gegengefälle) (Unterbogen)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- unsachgemäßer Anschluß von Hausanschlüssen und Straßenabläufen</li> <li>- Verwurzelungen von Bäumen und Pflanzen durch Fugen, Muffen, Risse, Haus- und Straßenabläufe</li> <li>- Erscheinung nur oberhalb des Grundwasserspiegels</li> <li>- Undichtigkeiten, Bruch, Versätze etc.</li> <li>- Zopfbildung durch diverse Organismen im Scheitelbereich</li> <li>- Nasses Milieu</li> <li>- ständig gleichmäßige Füllung</li> <li>- Anbackungen von im Abwasser mitgeführten aufgelösten, dispergierten oder festen Stoffen (Fett, Schlamm, Kalk, Zement etc.)</li> <li>- Klumpenbildung auf der Rohrwand</li> <li>- Infiltration von Grundwasser mit gelösten Stoffen (Kalk usw.)</li> <li>- Ablagerungen im Sohlbereich von Sand, Fäkalien, Erde etc. durch:</li> <li>- Hausanschlüsse, Straßenabläufe,</li> <li>- undichte Fugen, Muffen und Risse</li> <li>- Fehlende Schleppkraft</li> <li>- Beschädigung von Rohren</li> <li>- unsachgemäßes Verlegen und Einleitungen ablagerungs- u./o. abbindefähiger Stoffe</li> <li>- unsachgemäße Planung</li> <li>- unsachgem. Verlegung</li> <li>- Setzung des Untergrundes (Bergsenkung)</li> <li>- veränderte Belastungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- lokales Abflußhindernis</li> <li>- Undichtigkeit</li> <li>- Rissebildung</li> <li>- lokales Abflußhindernis, infolge des nahrhaften Mediums Abwasser</li> <li>- verstärkter Wurzeleinwuchs, dadurch Zunahme der Undichtigkeiten und Bruchgefahr</li> <li>- Abflußhindernis in Längsausdehnung</li> <li>- Abflußhindernis in Längs- und Querausdehnung</li> <li>- Rückstaugefahr</li> <li>- Abflußhindernis in Längsausdehnung</li> <li>- Großteil organ. Bestandteile (Korrosionsgefahr)</li> <li>- Schmutzstöße entstehen bei Starkregen (Vorfluterbelastung)</li> <li>- Abflußhindernis in Längsrichtung</li> <li>- Verstopfungsgefahr durch Anlandungen</li> <li>- Abflußhindernis in Längsrichtung</li> <li>- Verstopfung durch Ablagerungen</li> <li>- Korrosion</li> </ul>

## **1.5.6 Schadensbewertung der Stichprobe**

### **1.5.6.1 Allgemeines**

Bislang erfolgte die Bewertung von Schäden ausschließlich unter dem Gesichtspunkt der Dringlichkeit der Schadensbehebung (bauliche Priorisierung). Sowohl die Zustandsuntersuchung wie alle gängigen EDV-Programme zur Klassifizierung und die Arbeit der ATV-Arbeitsgruppen, die sich in dem (zurückgezogenen) Entwurf des Arbeitsblattes A149 „Zustandsklassifizierung und Zustandsbewertung von Abwasserkanälen und -leitungen“ manifestiert, sind auf eine Schadensbewertung bzgl. der baulichen Priorisierung ausgerichtet. Bei dieser Art der Klassifizierung wird die Zustandsklasse ausschließlich bzw. schwerpunktmäßig aufgrund des schwersten Einzelschadens gebildet. Dies bedeutet, daß z.B. eine Haltung, die örtlich begrenzt einen Rohrbruch aufweist aber über die übrige Länge vollständig intakt ist, aufgrund der Notwendigkeit der Schadensbehebung in die höchste Priorität eingestuft wird.

Der gesamte technische Zustand bzw. Wert einer Kanalhaltung wird dadurch jedoch nicht exakt beschreiben. Vergleichbar ist dies mit der Analogie, daß bei einem Kraftfahrzeug ein defektes Bremssystem (Einzelschaden) zwar eine sofortige Reparatur erfordert (bauliche Priorisierung), der Wert des Fahrzeugs jedoch von seinem Allgemeinzustand abhängt.

Für die Prognose des Alterungsverhaltens des Kanalnetzes ist daher eine Zustandsklassifizierung zugrunde zu legen, welche die Stadien der technischen Wertminderung infolge Alterung, Baumängel und Bauschäden [9] berücksichtigt.

Im vorliegenden Projekt wurden beide Arten der Klassifizierung

- Zustandsklassifizierung nach Dringlichkeit der Schadensbehebung (bauliche Priorität)
- Zustandsklassifizierung zur Beschreibung der technischen Wertminderung durchgeführt und in ihren Ergebnissen gegenübergestellt.

### 1.5.6.2 Zustandsklassifizierung hinsichtlich baulicher Priorität

Die Zustandsbewertung erfolgte mit dem Bewertungsprogramm KAIN, das Bestandteil der Kanaldatenbank Tiffany, S&K ist.

Die Bewertung erfolgt mit Hilfe eines Schadenskataloges. Der Schadenskatalog stellt eine Standardbeschreibung einzelner Schadensbilder dar, die je nach Bedarf pro Schadensstelle zur Beschreibung eingesetzt werden können. Ein Vorteil ist die einfache Deklaration der Schadensbilder in Schadenklassen. Eine Schadensklasse beschreibt das Schadensbild unter Zugrundelegung des aufgetretenen Schadens in Bezug auf die Wichtung des Schadens. Die Intensität des Schadens bzw. die Wertigkeit wird entweder mit einem numerischen Zusatz oder mit einer Beschreibung der Größenordnung versehen. Die Festlegung der wahrgenommenen Schadensbilder geschieht in einer Codierung der Schadensverteilung von 1 bis 5. Die Bedeutung dieses Codes einschließlich der Wichtung je Schadensklasse (Grundpunktzahl des Einzelschadens) gliedert sich wie folgt:

Schadensklasse 1:	Sehr starker Schaden	7,5 Pkt.
Schadensklasse 2:	Starker Schaden	5,0 Pkt.
Schadensklasse 3:	Mittlerer Schaden	3,5 Pkt.
Schadensklasse 4:	Leichter Schaden	2,0 Pkt.
Schadensklasse 5:	kaum feststellbarer Schaden	1,0 Pkt.

S&K-KAIN ermöglicht es, diese Grundpunktzahlen abhängig vom Durchmesser der Haltung sowie unter Berücksichtigung weiterer Faktoren (3. Stelle Schadenskürzel) zu variieren.

Entsprechend ihrem baulichen Gefährdungspotential werden die Schäden mit einem Bewertungsfaktor versehen.

#### **Bewertungsfaktor 1:**

- Risse
- sichtbarer Boden
- Fremdwasserzulauf
- herausfallende Scherben und Kanalklinker
- fehlendes Mauerwerk
- Einsturz

**Bewertungsfaktor 2:**

- Lageabweichung
- Abplatzungen
- Korrosion
- Fugenauswaschungen
- Inkrustierungen
- Rohrverformung

**Bewertungsfaktor 3:**

- Muffenfehler
- Abflußhindernisse

**Bewertungsfaktor 4:**

- Fehler an Abzweigen und Stutzen

Das Produkt der Bewertungsfaktoren mit den Wichtungsfaktoren (Grundpunktzahl) ergibt für die Einzelschadensbilder sowie für die Streckenschäden Teilpunktzahlen. Bei Streckenschäden erfolgt vor der Multiplikation noch ein Aufschlag auf die Grundpunktzahl abhängig von der Relation der Schadenslänge zur Haltungslänge. Die zugrunde gelegte Bewertungstabelle nach o.g. Gesichtspunkten ist in Anlage 3.2.1.2 beigefügt.

Die pro Haltung gebildeten Summen der Teilpunktzahlen bilden die Grundlage für die Ermittlung der Sanierungsdringlichkeit einzelner Haltungen oder Haltungsabschnitte untereinander. Als weitergehende Einstufung können die Haltungen in sechs Zustandsklassen eingeteilt werden, und war ausgehend von der maximalen Punktzahl eines Einzelschadens sowie der Berücksichtigung der Schadensanzahl in Abhängigkeit der Schadensintensität pro Haltung.

Hieraus folgt die Einstufung in folgende Zustandsklassen (ZK):

**Zustandsklasse 1:** umgehende Schadensbeseitigung

**Zustandsklasse 2:** kurzfristige Schadensbeseitigung

**Zustandsklasse 3:** mittelfristige Schadensbeseitigung

**Zustandsklasse 4:** langfristige Schadensbeseitigung

**Zustandsklasse 5:** Schadensbeseitigung im Rahmen anderer Bau-  
maßnahmen

**Zustandsklasse 6:** keine Schäden in der Haltung

Die konkret verwendete Tabelle zur Einstufung der Haltungen nach ihrer Punktzahl in die genannten Zustandsklassen ist in Anlage 3.2.1.2, Seite 10 beigefügt.

Bei nachgewiesener **Gefährdung der öffentlichen Ordnung** ist eine unverzügliche Schadensbeseitigung anzuordnen. Dies liegt vor, wenn als Ursache von Fahrbahn- und Gehwegversackungen Schäden an Bauwerken o.ä. sowie Boden- oder Grundwasserverunreinigungen und Schäden am Kanal festgestellt werden.

Darüber hinaus kann, wenn eine besondere Gefährdung der öffentlichen Ordnung unmittelbar zu befürchten ist, eine sofortige Schadensbeseitigung angeordnet werden. Dies ist der Fall, wenn in der TV-Untersuchung fehlende Rohrstücke mit starker Hohlraumbildung zu beobachten sind.

Demgegenüber stellt die **Zustandsbewertung in Zustandsklasse 1** nur fest, daß von den festgestellten Schäden eine sehr starke Gefährdung ausgeht, und zwar für Boden und Grundwasser, für das Bauwerk Kanal oder für den ordnungsgemäßen Betrieb. Daher ist auch ohne Feststellung der Auswirkung des Schadens dieser umgehend zu beseitigen.

Die **Bewertung in Zustandsklasse 2** geht davon aus, daß eine starke Gefährdung für Boden und Grundwasser, für das Bauwerk Kanal oder für den ordnungsgemäßen Betrieb durch die festgestellten Schäden eintreten kann, so daß diese Schäden kurzfristig zu beheben sind.

Die **Bewertung in Zustandsklasse 3** geht davon aus, daß eine Gefährdung für Boden und Grundwasser, für das Bauwerk Kanal oder für den ordnungsgemäßen Betrieb durch die festgestellten Schäden längerfristig eintreten wird, so daß eine mittelfristige Beseitigung der Schäden erforderlich ist.

Die **Bewertung der Zustandsklasse 4** geht davon aus, daß eine Gefährdung von Boden und Grundwasser zwar nicht unbedingt ausgeschlossen werden kann, aber eine Gefährdung des Bauwerkes Kanal ausgeschlossen und des ordnungsgemäßen Betriebes aber längerfristig eintreten kann, so daß eine Beseitigung der Schäden längerfristig eingeplant werden muß.



Die **Bewertung der Zustandsklasse 5** besagt, daß Schäden festgestellt wurden, die keine Gefährdung des Bodens oder des Grundwassers, des Bauwerkes oder des Betriebes darstellen und insoweit Mängel darstellen, die über die zulässigen Mängel eines neu verlegten, den anerkannten Regeln der Technik entsprechenden Kanals hinausgehen. Eine Schadensbeseitigung ist insoweit nicht einzuplanen.

### 1.5.6.3 Zustandsklassifizierung hinsichtlich technischer Wertminderung

Bei der Zustandsklassifizierung nach baulicher Priorität wurde bereits eine Schadensbewertung durchgeführt, in der jeder Schaden durch Vergabe einer Punktzahl bewertet wurde.

Bei der Beurteilung der technischen Wertminderung erfolgt die Klassifizierung nach dem Gesamtzustand einer Haltung.

Der Gesamtzustand wird dabei neben dem Schadensausmaß und der Bedeutung von Einzelschäden insbesondere durch die Schadensdichte beeinflusst. Hierdurch wird das Mehrfachauftreten von Schäden in einer Haltung entsprechend gewürdigt.

Bei der Klassifizierung bzgl. technischer Wertminderung wird dabei die Gesamtpunktzahl aus allen Schäden in einer Haltung ermittelt und unter Berücksichtigung der Haltungslänge eine mittlere Punktedichte in Punkten pro Meter Haltungslänge berechnet. Mit wachsender Punktedichte wird damit eine zunehmender Substanzwertverlust, das heißt die technische Wertminderung beschrieben.

Die Einteilung in Zustandsklassen erfolgt wie bei der baulichen Priorisierung in 6 Zustandsklassen. Die Zuordnung zwischen der berechneten Punktedichte und der Zustandsklasse ist in Anlage 3.2.1.2, Seite 10 enthalten.

In **Zustandsklasse 1** werden nach dieser Vorgehensweise Haltungen eingeordnet, wenn schwere Schäden auf großen Längenanteilen der Haltung auftreten. Der technische Wert dieser Haltung ist damit sehr gering bzw. nicht mehr gegeben.

In **Zustandsklasse 3** fallen entweder mittlere Schäden über große Teile der Haltung oder starke, aber lokal begrenzte Schäden, die nach der baulichen Priorisierung umgehend zu beseitigen sind, aber nur einen begrenzten Einfluß auf den Gesamtwert der Haltung besitzen.

In **Zustandsklasse 5** sind Haltungen mit sehr geringen und meist örtlich begrenzten Mängeln zu finden.

**Zustandsklasse 2 und 4** stellen Übergänge zwischen den o.g. Klassen dar, ohne daß eine starre Definition von Art und Umfang der Schäden erfolgt.

Haltungen der **Zustandsklasse 6** sind nach der optischen Inspektion schadensfrei.

Die Ergebnisse der Zustandsklassifizierung für bauliche Priorität und technischer Wertminderung wurden in der Kanaldatenbank abgespeichert. Ein Ausdruck aller Haltungen mit Angabe der jeweiligen Klassen ist in Anlage 3.2.2 enthalten. Eine grafische Übersicht über die Zustandsklassenverteilung der inspizierten Kanäle (Stichprobe) zeigt Anlage 3.2.3, Blatt 1 (bauliche Priorität) und Blatt 2 (technische Wertminderung).

Der Anteil der Kanäle in Zustandsklasse 1 ist nach der Bewertung der technischen Wertminderung rund 40 % geringer als bei der Bewertung der baulichen Priorität. Deutlich wird hierdurch die Relativierung der starken Einzelschäden, wie oben beschrieben.

Das Maximum der Verteilungskurve verschiebt sich allerdings bei der Bewertung der technischen Wertminderung von 4 nach 3. Ein verstärktes Vorkommen kleiner und mittlerer Schäden in den Haltungen ist hierfür Ursache. Verständlich ist dieses Ergebnis aufgrund der Altersstruktur des Netzes (rund 30 % des Kanalnetzes ist aus der Vorkriegszeit).

Einen Überblick über die Abweichungen, die sich zwischen der Bewertung hinsichtlich technischer Wertminderung und baulicher Priorität ergeben, zeigt das Diagramm in Anlage 3.2.3, Blatt 3.

## **1.6 Zustandsprognose Gesamtnetz**

### **1.6.1 Korrektur der Schichtung**

Die theoretische Schichtung des Netzes wurde nach Abschluß der TV-Inspektion und Auswertung der eingegangenen Daten nochmals nach praktischen Gesichtspunkten korrigiert.

Für viele der Kleinstgruppen konnte nicht für jede Gruppe eine Stichprobe genommen werden, da der Aufwand in keinem vernünftigen Verhältnis zur Bedeutung der Gruppe und dem praktischen Ergebnis steht. Weiterhin konnte bei der TV-Inspektion, wie erläutert, der vorgesehene Stichprobenumfang nicht für jede Schicht vollständig untersucht werden.

Maßgabe der Korrektur war, daß jede Gruppe durch einen rund 10 %-igen Stichprobenumfang bzw. mindestens 4 inspizierte Haltungen repräsentiert sein sollte. Die Haltungen der Gruppen, die diese Bedingung nicht erfüllten, wurden einer übergeordneten Gruppe (1. Ebene) zugeschlagen, in dem auf eines der 5 Segmentierungsmerkmale verzichtet wurde. In der Regel wurde auf das Merkmal „Lage“ verzichtet, da nach qualitativer Einschätzung dieses Merkmal die geringsten Auswirkungen auf den Zustand erwarten ließ.

Der zur Verfügung stehende Stichprobenumfang war für diese übergeordneten Gruppen meist ausreichend, da alle Stichproben aus den zugehörigen nachgeordneten Gruppen Teilmengen des der Stichprobe übergeordneten Gruppe bilden.

Reichte der Stichprobenumfang in dieser übergeordneten Gruppe (1. Ebene) nicht aus (Kriterium rund 10 % bzw. mindestens 4 Haltungen), erfolgte die Vernachlässigung eines weiteren Segmentierungsmerkmals wie Entwässerungssystem oder Profilhöhe (übergeordnete Gruppen 2. Ebene). Bei Profilhöhe wurde die Segmentierung meist nur gröber vorgenommen, in dem die zwei Durchmessergruppen DN 200 und DN 400 zusammengelegt wurden. Gekennzeichnet sind diese Gruppen durch die Ziffer „5“ (200/400) in der Gruppennummer an 4. Stelle. Eine weitere Generalisierung (Bildung von übergeordneten Gruppen 3. Ebene) wurde teilweise durchgeführt, in dem auf die Differenzierung nach dem Rohrmaterial verzichtet wurde.

Typisch für diese übergeordneten Gruppen ist, daß alle detaillierten Untergruppen und auch die Stichproben Teilmengen darstellen. Dadurch kann die Gesamtlänge aller Haltungen, die die Merkmale dieser übergeordneten Gruppe aufweisen, sowie auch die Länge der zur Verfügung stehenden Stichprobe größer sein als die Länge der Haltungen, die konkret dieser Gruppe zugeordnet werden (berücksichtigte Teillänge). Ergebnis dieser Korrektur der Schichtung ist, daß für jede Gruppe eine Stichprobe von mehr als 9 % des Besatzes vorliegt. Letztendlich wurde die Anzahl der Gruppen auf 99 Stück reduziert.

Die Auflistung der Gruppen nach dieser erläuterten Korrektur ist in Anlage 3.1.2.2 enthalten. In Anlage 3.1.2.3 ist der Längenbesatz der 33 größten Gruppen des Kanalnetzes graphisch dargestellt. Aufgetragen ist die Gesamtlänge der Haltungen in den Gruppen, die Teillänge, auf die jeweils das Zustandsergebnis zu übertragen ist und die Länge der inspizierten Haltungen (Stichprobe). Die übrigen 66 Gruppen besitzen lediglich eine untergeordnete Bedeutung hinsichtlich ihrer Repräsentanz für das Kanalnetz.

### 1.6.2 Ermittlung der prognostischen Zustandsverteilung im Gesamtnetz

Aus der Länge der Stichprobe und der zu berücksichtigenden Teillänge (Länge der Haltungen in der Gruppe, auf die das Inspektionsergebnis übertragen werden soll), wird der gruppenspezifische Übertragungsfaktor gebildet. Mit diesem Faktor werden die Ergebnisse der Zustandsverteilung der Stichprobe als statistische Zustandsverteilung auf die Gesamtheit der Haltungen einer Gruppe hochgerechnet. Der jeweilige Faktor für eine Gruppe ist in der Liste in Anlage 3.1.2.2 jeweils mit angegeben.

Aus der Zustandsverteilung je Gruppe (Anzahl Haltungen bzw. Länge der Haltungen je Zustandsklasse) wird im Folgeschritt die statistische Zustandsverteilung im Gesamtnetz bestimmt. Die prognostische Zustandsverteilung wird sowohl für die Klassifizierung bzgl. baulicher Priorität als auch bzgl. der technischen Wertminderung berechnet. Die Zustandsverteilungen (Anteil der Kanalnetzlänge in den Zustandsklassen 1-6) sind in Anlage 3.3.1, Blatt 1/6 grafisch dargestellt.

Aufgrund der Zustandsklassifizierung „**bauliche Priorität**“ befinden sich je rund 10 km des Kanalnetzes in den Zustandsklassen 1 und 2. Das bedeutet, daß rund 16 % des Netzes unmittelbar sanierungsbedürftig sind. Mittelfristiger Handlungsbedarf besteht für weitere rund 30 km ( $\cong$  25 % des Netzes) Kanalnetz in der Zustandsklasse 3. In Zustandsklasse 4 (Handlungsbedarf langfristig) befinden sich rund 42 km Kanalnetz. Keine bzw. sehr geringe Schäden (ZK 6 und 5) weisen rund 33 km ( $\cong$  27 %) des Kanalnetzes auf.

Bei der Zustandsklassifizierung „**technische Wertminderung**“ sind rund 5 km in der Klasse 1 und haben damit ihre technische Nutzungsdauer überschritten. Ca. 20 km Kanalnetz befinden sich in der Klasse 2 und weisen damit einen erheblichen technischen Werteverzehr auf. Der Nutzungsvorrat dieser Haltungen ist bereits weitgehend aufgebraucht. In Klasse 3 sind rund 44 km des Kanalnetzes eingeordnet. Wie bereits bei der Auswertung der Stichprobe liegt auch bei der hier betrachteten Gesamtheit das Maximum bei ZK 3.

In Klasse 4 sind rund 30 km eingestuft. Auf die Klassen 5 und 6 entfallen zusammen rund 21 km des Kanalnetzes.

Anlage 3.3.1, Blatt 2/6 bis 6/6 zeigt den prinzipiellen Einfluß der zugrundegelegten Segmentierungsmerkmale (Material, Alter, Entwässerungssystem, Profilhöhe, Lage) auf die Zustandsverteilung (bauliche Priorität) des Netzes. Dargestellt ist die absolute Längenverteilung je Parameter und Zustandsklasse sowie die relative Verteilung durch Angabe der prozentualen Anteile der einzelnen Parameter in den Zustandsklassen.

Gering ist der Unterschied des Zustands bezogen auf die Materialien Steinzeug und Beton. Die Betonkanäle zeigen einen geringfügig höheren Anteil in den besseren Zustandsklassen 4-6 als Steinzeugkanäle. Die Sondermaterialien PVC, AZ und Guß schneiden deutlich besser als die Beton- und Steinzeugrohre ab, allerdings ist der Gesamtanteil dieser Materialien so gering, daß diese Aussage nicht unbedingt repräsentativ ist. Auch ist das durchschnittliche Alter der Kanäle aus PVC, AZ und Guß deutlich geringer als das der Beton- und Steinzeugrohre, so daß der altersbedingte Einfluß mit einem Einfluß auf das gute Abschneiden der Sondermaterialien hat.

Deutlich erkennbar ist durchweg die Altersabhängigkeit des Zustands (Blatt 3/6), indem der Anteil der „guten“ Haltungen mit dem Alter kontinuierlich abnimmt und derjenige der „schlechten“ Haltungen dementsprechend zunimmt.

Bei der Differenzierung nach Entwässerungssystem (Blatt 4/6) ist die Abhängigkeit des Zustands in den einzelnen Klassen nicht so deutlich ablesbar, lediglich im Gesamtmittel sind die Kanäle des Schmutzwassernetzes (ZK=3,63) etwas besser als die des Regenwassernetzes (ZK=3,84).

Bei der Differenzierung nach der Durchmesserverteilung ist ein bedeutend höherer Anteil von Haltungen mit großem Durchmesser (Gruppe DN 800 bzw. > DN 800) in den Zustandsklassen 1 und 2 zu finden als bei den kleinen Durchmessergruppen (Größe DN 200 bzw. DN 400). Überraschend ist dies zunächst, weil aufgrund der oft geringeren Sorgfalt bei der Verlegung kleiner Rohrdurchmesser mit einem entsprechend höheren Schadensumfang gerechnet wurde. Offensichtlich wiegen die konstruktiven Mindestdimensionierungen (Wandstärke, Muffenausbildung etc.) diese Probleme weit auf.

Ebenfalls ist bei einer Differenzierung nach der Lage (Blatt 6/6) der Anteil an Kanälen in den Zustandsklassen 1 und 2 bei den Kanälen außerhalb der Hallen deutlich höher als innerhalb. Der Hallenboden stellt damit einen gewissen Schutz für Schädigungen der Kanäle dar.

Mit dem vorliegenden Ergebnis des Kanalnetzzustandes für das gesamte Netz ist die wesentliche Grundlage zur Prognose der zukünftigen Netzzustandsverschlechterung und die Erarbeitung der Instandhaltungsstrategie vorhanden.

### 1.6.3 Statistische Zustandsaussagen für individuelle Haltungen

An individuellen Zustandsaussagen für jede Haltung wird der arithmetische Mittelwert der Zustandsklasse jeder Gruppe

$$\overline{ZK} = \frac{\sum ZK_i}{n}$$

mit

$ZK_i$ : Zustandsklasse der Haltung der Stichprobe

$n$  : Anzahl Haltungen der Stichprobe einer Gruppe

sowie ein Mindestzustand, der mit 95 %-iger Sicherheit nicht unterschritten wird, auf die einzelnen Haltungen einer Gruppe übertragen. Diese Übertragung erfolgt über die eindeutige Gruppennummer, die jeder Haltung zugeordnet wurde.

Der Mindestzustand (95 %-Fraktile) wird berechnet wie folgt:

$$Zk_{\min,95} = \overline{ZK} - 1,644854 \times \sigma$$

mit

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (ZK_i - \overline{ZK})^2}{n-1}} \quad (\text{Standardabweichung})$$

Der Mittelwert der Zustandsklasse und der Mindestzustand wird sowohl für die Klassifizierung nach der baulichen Priorität als auch nach der technischen Wertminderung ermittelt. Anlage 3.3.4 enthält eine Liste aller nicht inspizierten Haltungen mit Angabe der jeweiligen statistischen Zustandsaussage arithmetischer Mittelwert und Mindestzustand. Die Pläne der Anlage 5.4.1 bis 5.4.4 enthalten die Haltungen des Kanalnetzes mit Darstellung der prognostizierten Zustandsinformationen in farblicher Kennzeichnung.

Während die grafische Darstellung des mittleren Netzzustandes mehr den Gesamtumfang und Schwerpunkte der Sanierungstätigkeit dokumentiert, zeigt die Darstellung des erwarteten Mindestzustandes insbesondere die Schwerpunkte und Reihenfolge mit Umfang der für ein Detailprogramm notwendigen Erstinspektion, um konkret die dringlich erforderlichen Instandsetzungsmaßnahmen, die ja nur einen geringen Anteil am Gesamtumfang ausmachen, ausfindig zu machen und die Planung betreiben zu können.

Eine Grafik der längenmäßigen Verteilung der mittleren Zustandsklasse und des Mindestzustandes im Kanalnetz ist in Anlage 3.3.2 beigefügt. Insbesondere die Grafik des Mindestzustand (Bauliche Priorität), Blatt 2/2 zeigt, daß für rund 30 km bisher nicht inspiziertes Kanalnetz (rund 31 %) alle Zustandsklassen von 1-6 vertreten sein können. Hier ist eine Inspektion vordringlich erforderlich. In weiteren rund 47 km Kanalnetz sind die Zustandsklassen 2-6 vertreten, hier sollte eine Inspektion anschließend erfolgen, um konkret die Schäden der Klasse 2 beseitigen zu können. In rund 16 km Kanalnetz sind Schäden der Klasse 1 und 2 nicht zu erwarten. Hier besteht derzeit kein Handlungsbedarf.

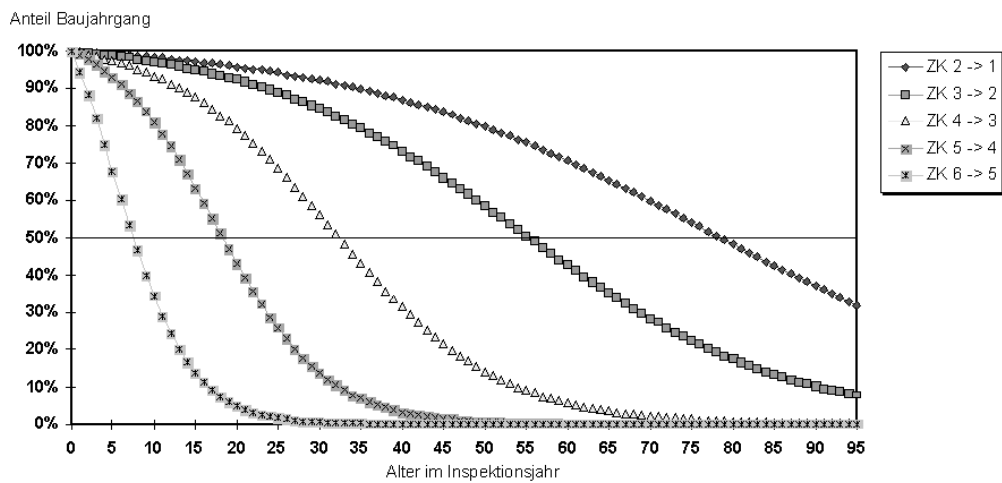
## **1.7 Alterungsprognose Gesamtnetz**

### **1.7.1 Modellierung der Alterung und Erneuerung**

Der Vorgang der individuellen Alterung eines Leitungsabschnittes ist aus der jeweiligen Verschlechterung seines baulichen Zustandes über die Zeit ablesbar. Praktisch bedeutet dies, daß die Leitungsabschnitte entsprechend ihrer individuellen Alterungsgeschwindigkeit nacheinander die Zustandsklassen von 6 (schadenfrei) bis 1 (sofortige Sanierung erforderlich) durchlaufen. Mathematisch läßt sich dieser Vorgang als altersabhängige Wahrscheinlichkeit des Übergangs in schlechtere Zustände beschreiben. Diese Übergangsraten verändern sich im Laufe des Alters je nach Material und Beanspruchung und sind funktional verknüpft mit Überlebenswahrscheinlichkeiten und Lebenserwartung, allgemeiner ausgedrückt mit der Wahrscheinlichkeit, sich in einem bestimmten Zustand zu befinden und damit ein entsprechendes Alter zu erreichen.

### Netzspezifische Zustandsübergangsfunktion

Halbwertszeiten : 7 ,18 ,32 ,55 ,78 Jahre



Die Verweilzeit einer Haltung in den Zustandsklassen lässt sich durch Zustandsübergangsfunktionen (Überlebensfunktionen bezüglich eines definierten Zustands) beschreiben. Obiges Bild zeigt diese Zustandsübergangsfunktionen für das Kanalisationsnetz eines Stadtteils einer Großstadt mit 200.000 Einwohnern. Der Erwartungswert der Verweilzeiten einer Haltung in den Zustandsklassen ist auf der 50 %-Linie wie folgt ablesbar:

Zustandsklasse	Verweilzeit (Erwartungswert)
6	8,91 Jahre
6+5	16,42 Jahre
6+5+4	25,31 Jahre
6+5+4+3	50,54 Jahre
6+5+4+3+2	80,86 Jahre



Da die Alterung ein stochastischer, das heißt ein zufallsabhängiger Prozeß ist, streut die Alterungsgeschwindigkeit nach oben und unten um die 50 %-Linie herum, das heißt es gibt langlebigere und kurzlebigere Haltungen.

Die Prognose, ob eine Haltung lang- oder kurzlebig ist, läßt sich mit dem o.g. funktionalen Zusammenhängen aus dem derzeitigen Zustand und Alter bestimmen.

Zur Modellierung des netzspezifischen Alterungsprozesses werden allgemeine Übergangsfunktionen durch Festlegung kurvenspezifischer Parameter an die Alterungsstruktur und die zu einem Stichtag vorliegende Zustandsverteilung angepaßt. Dieser Vorgang wird als Eichung des rechnerischen Alterungsprozesses bezeichnet.

Basis ist die Alters- und Zustandsstruktur, wie sie in o.g. Kapiteln ermittelt und beschreiben wurde. Wie bereits erwähnt, wird die Zustandsklassifizierung hinsichtlich der technischen Wertminderung verwendet. Diese wertebezogene Klassifizierung korreliert besser als bauliche Klassifizierung mit der alterungsbedingten Zustandsverschlechterung [7].

Anlage 4.2.1 zeigt nochmals die Zustandsverteilung im Gesamtnetz, Anlage 4.2.2 und 4.2.3 die Zustandsverteilung je Baujahr, absolut und relativ. Insbesondere die relative Verteilung zeigt den Einfluß der Alterung, indem mit zunehmendem Alter der Anteil der Kanäle in ZK 1 und 2 kontinuierlich zunimmt und derjenige der Kanäle in ZK 5 und ZK 6 abnimmt. Weiter zeigt Anlage 4.2.4 den mittleren Netzzustand je Baujahr. Obwohl erhebliche Schwankungen zwischen den einzelnen Jahrgängen auftreten, ist die altersabhängige Entwicklung deutlich erkennbar.

Praktisch geschieht die Eichung durch Rückrechnung der historischen Netzentwicklung aus den Bestands- und Zustandsdaten und einer iterativen Korrektur der Parameter, solange bis die rückgerechnete Netzentwicklung mit den tatsächlichen, historischen Netzlängen übereinstimmt.

Realitätsgerecht ist die Rückrechnung nur dann, wenn die zugrundegelegten Übergangsfunktionen richtig geschätzt wurden. Im Umkehrschluß gilt, daß die historisch richtige Wiedergabe der Netzlängenentwicklung ein Beweis für die richtige Kalibrierung der Übergangsfunktionen ist.

Diese Kalibrierung ist Bestandteil des eingesetzten Simulationsprogrammes AQUA-WertMin. Als Informationsgrundlage für die historische Netzlängenentwicklung reichen die Netzlängen zweier Jahre aus.

Die als Ergebnis der Eichung für das Kanalnetz des Werksgeländes Musterbeauftragter spezifischen Übergangsfunktionen sind in Anlage 4.3.1.1 abgebildet. Netzspezifisch werden als Erwartungswert für die Verweilzeit (Halbwertzeit) erhalten:

<u>Zustandsklasse</u>	<u>Halbwertzeit</u>
6	11 Jahre
6+5	21 Jahre
6+5+4	36 Jahre
6+5+4+3	62 Jahre
6+5+4+3+2	95 Jahre

Der Verlauf der rechnerischen Übergangsfunktionen im Vergleich mit dem tatsächlichen Anteilen in den maßgeblichen Zustandsklassen je Altersgruppe im Inspektionsjahr ist in Anlage 4.3.1.2 bis Anlage 4.3.1.6 für die Zustandsübergangsfunktionen von 2 nach 1 bis 6 nach 5 aufgezeigt.

### **1.7.2 Prognose des ungestörten Alterungsprozesses**

Nach der netzspezifischen Kalibrierung der Zustandsübergangsfunktionen lassen sich für jede Kanalhaltung und Schacht aufgrund des individuellen Alters und Zustandes die erwarteten Übergangs- und Ausfallzeitpunkte sowie Nutzungs- und Restnutzungsdauern berechnen.

Gleichzeitig ergibt die Kenntnis dieser Übergangszeitpunkte die Verteilung der anteiligen Kanalnetztlängen bzw. Stückzahlen der Schächte auf die einzelnen Zustandsklassen in jedem Prognosejahr. Damit ist eine kontinuierliche Vorhersage der Entwicklung des Netzzustandes unter der Voraussetzung „reine Alterung“ gegeben, das heißt es werden keine Ersatzmaßnahmen für ausgefallene Netzelemente getroffen. In Anlage 4.3.2.1 ist diese zukünftige Zustandsentwicklung des Kanalnetzes dargestellt. Die Kurvenverläufe der Vergangenheit (vor 1997) zeigen die historische Entwicklung des Netzausbaues mit der im Zuge der Eichung zurückgerechneten Zustandsverteilung. Die zukünftige (katastrophale) Zustandsentwicklung beschreibt das fiktive Szenario einer ungestörten Alterung, das heißt einer Netzalterung ohne Erneuerungs- und Sanierungsmaßnahmen.

Mit dem weitgehenden Abschluß des Netzaufbaues Mitte der 60er Jahre setzte unmittelbar der Verfall der Bausubstanz ein, wie der kontinuierliche Rückgang der Zustandsklasse 6 (schadensfrei) erkennen läßt. Seit rund 30 Jahren hat sich folglich der allgemeine Netzzustand ständig verschlechtert.

Der derzeit rund 27 km umfassende Anteil von Kanälen in den Zustandsklassen 1 und 2 (unbedingter Handlungsbedarf) wird ohne Gegenmaßnahmen in den nächsten 10 Jahren auf rund 42 km anwachsen.

Als Folgerung aus dieser Entwicklung zeigt Anlage 4.3.2.2 bis 4.3.2.7 den jährlichen und den kumulierten Erst- Ersatzbedarf

- in Meter Netzlänge (physischer Ersatzbedarf)
- in Kosten für den Ersatz durch Erneuerung bzw. Renovation (finanzieller Ersatzbedarf)

Als Erneuerungszeitpunkte sind jeweils die Zustandsübergänge in Klasse 2 zugrundegelegt.

Die angesetzte „Interventionsklasse“ 2 führt zu einem bestehenden Sanierungsrückstand von rund 30 km Kanalnetz, der umgehend zu beseitigen ist. Danach sind langfristig jährlich rund 1,5 - 2,0 km Kanalnetz zu sanieren. Finanziell ist der Sanierungsrückstand auf rund 24 Mio. DM (bei Renovation) und rund 43 Mio. DM (bei Erneuerung) zu beziffern. Anlage 4.3.2.8 bis 4.3.2.10 zeigt die o.g. Daten in Tabellenform.

## **1.8 Strategien zur Instandhaltung des Kanalnetzes**

### **1.8.1 Allgemeine Grundlagen**

- **Zieldefinition**

Der durch die Alterungsprognose aufgezeigten Netzzustandsentwicklung soll durch finanzmäßig und technisch optimierte Instandhaltungsstrategien begegnet werden. Ziel der Kanalstandhaltung in technischer Hinsicht (Sollzustand) muß sein:

- Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit und Standsicherheit
- Betrieb eines dauerhaft dichten Kanalnetzes, so daß
  - Umweltgefährdungen durch Grundwasser- und Bodenverunreinigungen durch Exfiltration ausgeschlossen werden.
  - die Anforderungen des Gesetzgebers, die o.g. Gefährdungen als Strafbestände nach § 324 StGB (Verunreinigung eines Gewässers), § 324a StGB (Bodenverunreinigung) und § 326 StGB (umweltgefährdende Abfallbeseitigung) etc. ansehen, eingehalten werden. Als Mindestanforderung gemäß § 18 b WHG sind dabei die allgemein anerkannten Regeln der Technik zu beachten [2]. Strengere Anforderungen können sich aus Wasserschutzgebietsverordnungen, aber auch aus Vorschriften anderer Rechtsgebiete (z.B. Natur- und Landschaftsschutzrecht, Immissionsschutzrecht) ergeben [3].

Nach DIN pr EN 752 „Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden“ müssen Kanäle dauerhaft dicht und funktionssicher sein.

- Bisherige Fremdwasserinfiltration von 30 m<sup>3</sup>/h bzw. 260.000 m<sup>3</sup>/a allein in die Schmutzwasserkanalisation kurzfristig unterbunden werden. Durch diese Fremdwasserzuflüsse entstehen auf der Kläranlage jährliche Betriebskosten von rund 170.000,-- DM, die kapitalisierten Sanierungskosten von rund 3,5 Mio. DM entsprechen.

In finanzieller und wirtschaftlicher Sicht sollen zum Erreichen o.g. technischer Ziele die Kosten bei mittelfristiger Betrachtung minimiert werden und die Kostenentwicklung stetig und vorhersehbar sein.

- **technische Mittel zum Erreichen des Sollzustandes, Verfahren zur Schadensbeseitigung**

Die möglichen Verfahren zur Schadensbehebung gliedern sich in Erneuerungs-, Renovations- und Instandsetzungsverfahren (ATV Merkblatt M 143)

Hierbei sind zu verstehen unter:

- Erneuerung:

Auswechseln der gesamten Haltung durch Neubau entweder in offener oder geschlossener Bauweise.

Die Erneuerung stellt in der Regel die kostenintensivste Vorgehensweise dar. Allerdings ist die Erneuerung die langlebigste der genannten Instandsetzungsverfahren. Nach den Ergebnissen der netzspezifischen Alterung ist der Eintritt in die Zustandsklasse 1 im Mittel nach 95 Jahren zu erwarten. In Übereinstimmung mit Angaben aus der Literatur [5] wird für die Strategieuntersuchungen für neugebaute Haltungen von einer mittleren Nutzungsdauer von 80 Jahren ausgegangen.

- Renovation:

Von Renovation spricht man bei Maßnahmen zur Wiederherstellung des Sollzustandes durch grundlegende technische Veränderung unter Erhaltung der Substanz.

Bei der Renovation wird im Gegensatz zur Erneuerung eine haltungslange offene Baugrube vermieden. Dies reduziert die Verkehrsbeeinträchtigung sowie die Emission / Immission während der Bauzeit. Kreuzende oder parallel verlaufende Ver- und Entsorgungsleitungen werden

durch die Sanierungsmaßnahmen nicht beeinträchtigt. Durch die Vermeidung von Grundwasserabsenkungen wird setzungsempfindliche Randbebauung nicht gefährdet. Auch der Oberflächenbelag wird bei einer Sanierung kaum in Mitleidenschaft gezogen.

Die Sanierungsverfahren stoßen allerdings dort auf Grenzen, wo das Schadensbild eine Sanierung nicht ermöglicht. Dies ist zum Beispiel bei starken Muffenversätzen, großen Querschnittsveränderungen innerhalb einer Haltung sowie bei starker Rohrdeformation der Fall. Hier sind in der Detailplanung gegebenenfalls zusätzliche Vorarbeiten zur Herstellung des freien Querschnitts erforderlich, die sich in den Gesamtkosten niederschlagen.

Bei starkem, nicht mehr zu akzeptierenden hydraulischen Überlastungen ist eine Renovation nicht sinnvoll, hier ist eine Rohrvergrößerung durch Erneuerung erforderlich. Entsprechende Zwänge sind im Werks- gelände derzeit nicht von maßgeblicher Bedeutung, so daß eine Renovation in der Regel grundsätzlich möglich ist. Gegenüber der Erneuerung ist die Renovation in der Regel kostengünstiger, jedoch kann für Renovationsverfahren derzeit lediglich von Nutzungsdauern von 40-50 Jahren ausgegangen werden [12].

- Instandsetzung

Unter Instandsetzung werden Maßnahmen zur Wiederherstellung des Sollzustandes bei örtlich begrenzten Schäden verstanden. Diese Maßnahmen stellen damit Reparaturen dar,

- bei denen die Grundsubstanz einer Kanalhaltung grundsätzlich nicht verbessert wird und der Alterungsprozeß nicht unterbrochen wird
- die in der Regel eine begrenzt anzunehmende Haltbarkeit von ca. 5-10 Jahren besitzen
- die folglich als reine Unterhaltungsmaßnahmen und im Gegensatz zu den o.g. Verfahren Erneuerung und Renovation nicht als Reinvestition betrachtet werden können.

Zu den Instandsetzungsverfahren in diesem Sinne zählen zum Beispiel die Schadensbeseitigung mit Roboter, Muffenabdichtungen, Partliner- verfahren und -bei fachgerechter Ausführung- mit erheblich längerer Haltbarkeit partielle Erneuerungen von Teilen einer Haltung.

- **Definition des technischen Sollzustandes**

Entsprechend den o.g. Zielen für den Betrieb des Kanalnetzes sowie der bei kommunalen und privaten Netzbetreibern weitverbreiteten Praxis ergibt sich aus den Definitionen der Zustandsklassen der baulichen Priorität, daß Schäden, die zu einer Einstufung in die Zustandsklasse 1 oder 2 führen, umgehend bzw. kurzfristig zu beheben sind. Dies stellt jedoch nur die dringlichste Priorität bei der Vorgehensweise dar. Kanäle, die in die Zustandsklasse 3 und besser eingestuft werden, sind in der Regel bereits optisch und besonders in Bezug auf Abdrücken nicht dicht.

Aufgrund der vorgenannten Forderungen nach Dichtigkeit ergibt sich für den Netzbetreiber auch die Aufgabe zur Dichtheitsprüfung in gewissen Zeitabständen. In verschiedenen Eigenkontrollverordnungen der Länder sind diese Verpflichtungen bereits festgeschrieben [4].

Dementsprechend ist davon auszugehen, daß auch Schäden in den Zustandsklassen 3 bis 5 kontinuierlich beseitigt werden müssen.

In der praktischen Umsetzung zur Erreichung des Sollzustandes werden für Kanäle in den Zustandsklassen 1 und 2 je nach Strategie Erneuerungs-, Renovations- und/oder Instandsetzungsverfahren zum Einsatz kommen. Für die Erfüllung o.g. weitergehenden Schadensbeseitigungs- und Dichtheitsanforderungen in den Zustandsklassen 3 bis 5 wird in der Studie vorausgesetzt, daß dies ausschließlich durch Instandsetzungsverfahren (Reparaturen) erfolgt.

- **Sonstige konkrete Planungsgrundlagen**

Zur Simulation der Netzentwicklung bei den einzelnen Strategieuntersuchungen sind spezielle kaufmännische, technische und sonstige Vorgaben zu berücksichtigen. Als Deckblatt zusammengestellt sind sie in Anlage 4.4.1 bis 4.4.3 den einzelnen Strategien vorangestellt.

- > **kaufmännische Vorgaben**

Vom Auftraggeber wurden die bei MUSTERWERK übliche Vorgehensweise angegeben:

- Abschreibungsart: vom Anschaffungswert
- Abschreibungsdauer: 16 Jahre

Entsprechend üblicher Ansätze nach der Literatur [5] wurde in Abstimmung mit dem Auftraggeber berücksichtigt:

- kalkulatorischer Zins: 6 % vom Restbuchwert der Anschaffungswerte

- Preissteigerungsrate

Die Strategieuntersuchung und Darstellung der Ergebnisse erfolgt grundsätzlich auf heutigem Preisstand - gewissermaßen bereinigt um Einflüsse von Preissteigerungen. Dennoch müssen zukünftige Preissteigerungen in die Berechnung einbezogen werden, da der Anschaffungswert eines Wirtschaftsgutes in der Zukunft zwar gleichbleibt, bei um Preissteigerungen bereinigten Darstellung der Ergebnisse aber relativ abnimmt.

Für die Strategie wurde eine Preissteigerungsrate von im Mittel 3 %/a angesetzt. Die Realzinsspanne von ebenfalls 3 % entspricht damit den LAWA-Richtlinien.

- Reparaturkosten

Auf die Ermittlung der in der Zusammenstellung angegebenen spezifischen jährlichen Reparaturkosten wird in Abschnitt 1.8.2 eingegangen.

- Sanierungsverzögerung

dieser Parameter ist im vorliegenden Untersuchungsfall ohne Bedeutung.

#### > **technische Vorgaben**

Die mittleren zu erwartenden Nutzungsdauern erneuerter und renovierter Haltungen werden, wie oben angegeben, mit 80 bzw. 40 Jahren angesetzt.

Bei der Projektbearbeitung wurde Schacht und Haltung stets als Einheit betrachtet. Dies bedeutet, daß angenommen wird, daß Baujahr und Zustandsklasse des Anfangsschachts der Haltung und der Haltung selbst identisch sind. Alle Kostenfunktionen (Abschnitt 1.8.2) beziehen sich ebenfalls auf Haltung einschließlich Schacht. Separate Schachtdaten werden in der Strategieuntersuchung daher nicht ausgewertet.



> **sonstige Vorgaben (Systemvorgaben)**

• **Wiederholte Renovation**

Zum heutigen Zeitpunkt ist es noch nicht abschließend geklärt, ob eine Kanalhaltung, die durch Renovation (z.B. Schlauchrelining) saniert wurde, nach Ablauf der Nutzungsdauer dieser Renovation erneut renoviert werden kann, oder ob nun eine Erneuerung stattfinden muß. Falls nicht einfach ein neuer Schlauch in den vorhandenen Schlauch eingezogen werden kann, ist sicherlich mit erheblichen Kosten für ein Entfernen des alten Inliners zu rechnen. Ob und wie eine erneute Renovation durchgeführt wird, hängt konkret von den örtlichen Verhältnissen im Einzelfall ab.

Bei der Simulation wird daher grundsätzlich davon ausgegangen, daß eine erneute Renovation bereits renovierter Haltungen möglich ist.

Alle anderen in der Zusammenstellung angegebenen Vorgaben sind für die vorliegende Untersuchung ohne nähere Bedeutung.

## **1.8.2 Kosten der Schadensbeseitigungsverfahren**

Die Kosten zur Durchführung der einzelnen Schadensbeseitigungsverfahren werden aufgrund von parameterabhängigen Kostenfunktionen berechnet, die das örtliche und Musterwerk spezifische Kostenniveau berücksichtigen.

• **Erneuerung**

Von Seiten des Auftraggebers wurde ein Leistungsangebot zu Kanalbaumaßnahmen zur Verfügung gestellt. Die Maßnahme umfaßte 50 m Kanal DN 700 Stz und DN 400 Stz. Bei einer Gesamtangebotssumme von 183.000,-- DM ergeben sich unter Zugrundelegung der wichtigsten durchmesserabhängigen Größen spezifische Preise von

1.440,-- DM/m für DN 400 bei t = 1,80 m  
2.220,-- DM/m für DN 700 bei t = 3,50 m

Eigene Kostenreihen (spezifische Preise in DM/m in Abhängigkeit von Durchmesser und der Tiefe), die aus anderen aktuell bearbeiteten Kanalnetzen stammen, lagen bei o.g. Vergleichswerten rund 30 % niedriger. Entsprechend wurden die vorhandenen Kostenreihen durch eine pauschale Erhöhung um 30 % an das ortsübliche Niveau angepaßt.

Eine tabellarische Zusammenstellung der spezifischen Kosten ist in Anlage 4.1.1, Erneuerungskosten enthalten.

Bei den Strategieprognosen werden die Kosten je Meter Kanal unabhängig von der Tiefenlage berücksichtigt. Die Mittelwertbildung für jeden Durchmesserbereich erfolgte proportional zur Netzlänge in den Tiefenbereichen (längengewichtet).

Für die Haltungen, für die keine Angaben zu Profilabmessungen vorliegen, wurde proportional zum Besatz der Durchmessergruppen ein Mittelpreis von 1.457,00 DM/m verwendet.

#### • **Renovation**

Auswertungen von Kostenaufstellung für Renovationen zeigen, daß die spezifischen Kosten fast ausschließlich vom Rohrdurchmesser abhängig sind. Tiefenlage des Kanals und Schadensausmaß (Zustandsklasse) spielen nur eine untergeordnete Rolle. Die Kostenfunktionen werden daher ausschließlich nach dem erstgenannten Kriterium ermittelt.

Kosten für die Renovation von Kanälen liegen für das Musterwerk aus der Sanierung der Mittelstraße vor. Die errechneten durchmesserabhängigen, spezifischen Preise sind in Anlage 4.1.2 eingetragen. Da die Längenbasis dieser Kosten recht gering ist, wurden Kostenfunktionen aus detailliert ermittelten Renovationskosten weiterer 6 Projekte hinzugezogen. Die Kosten liegen etwas höher als diejenigen der Mittelstraße/Werksgelände, wurden jedoch aufgrund der größeren Datenbasis zur Kostenschätzung verwendet.

Weiter wurde wieder ein durchmesserunabhängiger Mittelpreis berechnet, der bei Kanalgruppen unbekanntem Durchmesser verwendet wird.

#### • **Instandsetzungs-/Reparaturkosten**

Die Instandsetzungskosten hängen naturgemäß sehr stark vom Schadensbild und Schadensausmaß (Zustandsklasse) der Kanalhaltung ab, sie schwanken aber auch innerhalb einer Zustandsklasse oft erheblich. Der Einfluß des Durchmessers des Rohres ist angesichts dieser Schwankungen unerheblich, wie die Auswertungen einer größeren Zahl von detaillierten Kostenermittlungen ergeben.

In Anlage 4.1.3 sind spezifische Instandsetzungskosten, wie sie aus 4 Projekten in Abhängigkeit von der Zustandsklasse bei baulicher Priorität ermittelt wurden, zusammengestellt. Aufgrund der Abweichungen bei der Einstufung zwischen Klassifizierung nach baulicher Priorität und technischer Wertminderung (siehe Anlage 3.2.3) wurden die spezifischen Mittelpreise in der Spalte „technische Wertminderung“ berechnet.

Diese spezifischen Kosten sind bei einer einmaligen, vollständigen Instandsetzung aufzuwenden. Aufgrund der begrenzten Lebensdauer der reparierten Stellen von voraussichtlich 5 bis max. 10 Jahren ist der Vorgang allerdings in diesem Zeitraum zu wiederholen.

Da Reparaturen keine investiven Maßnahmen sind, sondern laufende, jährliche Unterhaltungsaufwendungen, werden die in Anlage 4.1.3 aufgeführten Kosten unter Annahme eines 10-jährigen Wiederholungsrhythmus in jährliche Kosten umgerechnet

<b>Zustandsklasse 1 (technische Wertminderung)</b>	<b>jährliche Reparaturkosten [DM/m * a]</b>
1	126,--
2	71,--
3	35,--
4	21,--
5	14,--

### **1.8.3 Untersuchte Strategien**

In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurden folgende drei Strategien zur Instandhaltung des Kanalnetzes untersucht:

#### **a) Reparaturstrategie**

Bei der Reparaturstrategie erfolgt keinerlei Ersatzvornahme durch Erneuerung oder Renovation von Haltungen. Die Beseitigung der Schäden, so daß der oben definierte Sollzustand erreicht 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.

## **b) Substanzwerterhaltungsstrategie**

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

- die Zustandsklasse 1 bis zum Jahr 2000 abgebaut ist und
- der derzeit vorhandene Substanzwert (der technische Wert) des Kanalnetzes zukünftig beibehalten wird. Dies bedeutet, daß das Verhältnis der einzelnen Zustandsklassen im Netz sich 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.

## **c) Mindestzustandsstrategie**

Untersucht werden soll der Umfang der erforderlichen Investitionen durch Erneuerung und Renovation sowie die Kostenentwicklung unter der Vorgabe, innerhalb der nächsten 10 Jahre (das heißt bis zum Jahr 2008) die Zustandsklasse 1 und 2 vollständig abzubauen und diesen Kanalnetzstatus langfristig beizubehalten. Als Mindestzustand im Kanalnetz wird daher die Zustandsklasse 3 definiert.

Der primäre Betrachtungszeitraum für die Zustandshaltungsstrategien ist vom Auftraggeber mittelfristig bis etwa zum Jahr 2030 ausgelegt. Die längerfristige Betrachtung bis zum Jahr 2080, wie sie von dem Programm durchgeführt wird, ist für den Entscheidungsprozeß daher von untergeordneter Bedeutung.

Bei allen Strategien werden dabei die bereits in 1996 (Mittelstraße) und 1997 durchgeführten Investitionen von 2,25 Mio. DM bzw. 1,0 Mio. DM berücksichtigt. In 1996 betrug nach der Aufgliederung der Kosten der Anteil der Erneuerung am Investitionsbudget 20 %.

In Abstimmung mit dem Auftraggeber wird für die Investitionen ab 1997 ein Kostenanteil für Erneuerungsmaßnahmen von 25 % angesetzt. Ziel ist, die Schadensbeseitigung und damit den Sollzustand überwiegend durch Renovationen zu erreichen, da Erneuerungen auf den Betriebsablauf im Werk starken Einfluß besitzen bzw. durch die Überbauung von rund 50 % der Kanäle mit Hallen eine Erneuerung oft nur in geschlossener Bauweise möglich ist.

Unter dem Gesichtspunkt der Problematik, ob wiederholt Renovationen durchführbar sind, wird gegen Ende der voraussichtlichen Nutzungsdauer der ersten Renovation (ca. ab dem Jahr 2020 bis 2030) der Anteil der Erneuerungen am Investitionsbudget auf 60 % hochgesetzt.

Bearbeitungstechnisch ist die Ausarbeitung der Strategien ein iterativer Prozeß, indem die jährlichen Investitionsbudgets so lange variiert werden, bis das gewünschte Strategieziel erreicht wird. Zur Vermeidung von immensen, kurzzeitigen Schwankungen im erforderlichen Budget werden dabei auch geringe, kurzzeitige Unter- oder Überschreitungen des Strategiezieles hingenommen.

Weitere Einzelheiten der programminternen Berechnungen und Vorgehensweise können der Verfahrensbeschreibung des Programmes AQUA-WertMin (Anhang 2) entnommen werden.

Bei allen Strategien werden für die Kanäle, die sich in der Zustandsklasse 1 und 2 befinden, bis zu ihrem Ersatz die unbedingt jährlich erforderlich Instandsetzungsaufwendungen entsprechend den o.g. zustandsabhängigen spezifischen Reparaturkosten berechnet und in den Tabellen und Grafiken ausgewiesen. Diese Kosten sind je nach Strategie sehr unterschiedlich und tragen bedeutend zur Entscheidungsfindung über die optimale Vorgehensweise bei.

Weitgehend unabhängig von der untersuchten Strategie sind die Kosten für weitergehenden Schadensbeseitigungsmaßnahmen und Dichtigkeitsuntersuchungen in den Zustandsklassen 3 bis 5. In den Berechnungen mit dem Programm AQUA-WertMin sind sie daher nicht berücksichtigt. Bei der Festlegung der jährlich erforderlichen Finanzmittel müssen sie jedoch mit einbezogen werden. Aufgrund der mittleren Netzverhältnisse in den nächsten 10 Jahren befinden sich durchschnittlich nachfolgend aufgeführte Netzlängen in den entsprechenden Zustandsklassen. Bei Multiplikation mit den jährlich erforderlichen spezifischen Reparaturkosten (Abschnitt 1.8.2) ergibt sich der aufgeführte zusätzliche Finanzbedarf:

Zustandsklasse	mittlere Netzlänge [km]	finanzieller Instandsetzungsbedarf [DM/a]
3	12,0	168.000,--
4	25,5	535.000,--
5	45,4	1.589.000,--
$\Sigma$	<b>82,9</b>	<b>2.292.000,--</b>

Dieser Betrag von rund 2,3 Mio. DM pro Jahr ist jeweils zu den für die einzelnen Strategien errechneten Investitions- und Reparaturbudgets hinzuzurechnen. Er beinhaltet die weitergehenden Dichtigkeitsanforderungen für alle Kanäle. Im Werksgelände ist durchweg eine Trennkanalisation (Regen- und Schmutzwasserkanäle) vorhanden. Wird vorausgesetzt, daß das Regenwasser nur vergleichsweise gering belastet ist, und potentielle Undichtigkeiten durch Schäden in den Zustandsklasse 3-5 tolerierbar sind, kann der o.g. zusätzliche Aufwand auf die Schmutzwasserkanäle beschränkt werden. Der jährliche Aufwand reduziert sich entsprechend dem Längenverhältnis von Regenwasser zu Schmutzwasserkanälen auf rund 1/3, das heißt 760.000,-- DM pro Jahr.

#### 1.8.4 Ergebnisse der Strategieuntersuchungen

Bei allen Strategien wurde die Erreichung des technischen Sollzustandes mit Betrieb eines funktionstüchtigen und dichten Kanalnetzes als Ziel gesetzt. Unterschiedlich entwickelt sich je nach Strategievorgabe der **technische Substanzwert des Netzes** (zeitlicher Verlauf der Netzzustandsentwicklung)

- er nimmt ab bei der Reparaturstrategie (Anlage 4.4.1.2)
- bleibt annähernd konstant bei der Substanzwerterhaltungsstrategie (Anlage 4.4.2.2)
- verbessert sich entscheidend bei der Mindestzustandsstrategie (Anlage 4.4.3.2).

Der zunehmende Substanzwertverlust bei der Reparaturstrategie wird an der Zunahme des Anteils an Kanalhaltungen der Zustandsklasse 1 und 2 von heute rund 24 km auf rund 81 km ( $\cong 2/3$  des Netzes) im Jahre 2030 deutlich. Obwohl laufend Mittel in die bauliche Instandsetzung bzw. Reparatur eingebracht werden, nimmt die Entsorgungssicherheit durch die ständig fortschreitende technische Wertminderung ab. Die Kanalunterhaltung wird durch zunehmende ad-hoc-Maßnahmen (Feuerwehrstrategie) geprägt.

Die **physischen Substanzwertverbesserungen** des Kanalnetzes (jährliche Sanierungsleistung) sind in Anlage 4.4.1.3, 4.4.2.3 und 4.4.3.3 je nach Strategie dargestellt.

Bei Strategie 2, Substanzwerterhaltung, erfolgt eine relativ gleichmäßige Ersatzvornahme von rund 2 km pro Jahr bis zum Jahr 2030. Dies entspricht rund 1,7 % der Netzlänge.

Bei Strategie 3, Mindestzustandsstrategie, ist aufgrund des Zieles, innerhalb der nächsten 10 Jahre die Zustandsklasse 1 und 2 komplett zu beseitigen, ein Nachholbedarf vorhanden, der einen jährlichen Ersatz von rund 4,0 km pro Jahr erfordert. Nach Erreichen dieses ersten Zieles ist für weitere ca. 15 Jahre eine jährliche Sanierungsleistung von rund 2,0 km pro Jahr wie bei Strategie 2 erforderlich. Die bei der verstärkten Sanierungsleistung im Zeitraum 1998-2008 durch Renovation sanierten Kanäle werden ab dem Jahr 2020 erneut zur Sanierung anstehen, die eine erneute Verstärkung der jährlichen Sanierungsleistung auf rund 4,5 km pro Jahr erfordert. Dieser Zyklus ist auch weiterhin, allerdings auf teilweise höherem Niveau, zu beobachten.

Die **jährlich erforderlichen finanziellen Mittel** zur Kanalstandhaltung (Investitionen und Reparaturkosten) sind in Anlage 4.4.1.4, 4.4.2.4 und 4.4.3.4 als jährliche Einzelausgaben und in Anlage 4.4.1.5, 4.4.2.5 und 4.4.3.5 als jährliche Gesamtausgaben dargestellt.

Budgetreste können verbleiben, wenn das vorgesehene Investitionsbudget eines Jahres größer ist, als der aufgrund der Strategievorgaben erforderliche Sanierungsbedarf. Diese Beträge werden dann in das Folgejahr übertragen.

Bezüglich der jährlich erforderlichen Finanzmittel ist die Reparaturstrategie zwar kurzfristig -etwa bis zum Jahre 2005- vorteilhafter als die anderen Strategien, danach steigen die jährlich erforderlichen Ausgaben in diesem Fall allein für Reparaturaufwendungen jedoch rapide bis auf rund 7,5 Mio. DM im Jahre 2030 an.

Die Substanzwerterhaltungsstrategie erfordert konstant bis zum Jahr 2025 jährliche investive Mittel von 1,8 Mio. DM, zu denen noch jährliche Reparaturaufwendungen zwischen 1,4 bis 1,8 Mio. DM hinzukommen. Insgesamt liegen die erforderlichen Finanzmittel für 1998 bei rund 3,6 Mio. DM mit zeitlich zunächst leicht abnehmender Tendenz. Ab 2030 werden erhöhte Aufwendungen (bis rund 5,5 Mio. DM bei heutigem Preisstand) erforderlich sein, um sowohl dem auftretenden verstärkten, erstmaligen Netzausfall entgegenzuwirken als

auch die erneute Sanierung bereits wieder ausgefallener renovierter Kanäle bewerkstelligen zu können. Der nunmehr erhöhte Anteil von Erneuerungen (60 % des Budgets) führt zudem zu höheren erforderlichen Ausgaben.

Bei der Mindestzustandsstrategie (Anlage 4.4.3.4 und 4.4.3.5) folgen die jährlichen investiven Ausgaben dem Verlauf der oben erläuterten Sanierungsleistung. Der Reparaturbedarf für die Klassen 1 und 2 nimmt stetig in den nächsten 10 Jahren von zur Zeit rund 2,0 Mio. DM auf nahezu Null ab.

Die jährlich erforderlichen finanziellen Mittel betragen bis 2008 rund 3,5 Mio. DM für Investitionen zuzüglich o.g. Reparaturkosten. Zwischen 2008 bis 2020 beträgt der jährliche Finanzbedarf rund 1,8 Mio. DM, die ausschließlich für investive Maßnahmen -Erneuerung und Renovation- eingesetzt werden. Die Erfordernis erneuter Sanierungen ab etwa 2020 erfordert eine Ausgabensteigerung auf rund 4,0 Mio. DM/a.

Maßgeblich für die Entscheidung über die Wirtschaftlichkeit einer Strategie ist die Betrachtung der **betriebswirtschaftlichen Kosten**. Reparaturaufwendungen gehen dabei vollständig in die jährlichen Kosten ein, Investitionen (Bestand) und Reinvestitionen (Ersatzvornahmen) werden über den vorgegebenen Zeitraum von 16 Jahren abgeschrieben. Für den jeweiligen Restbuchwert werden kalkulatorische Zinsen von 6,0 % pro Jahr statt tatsächlicher Finanzierungskosten angesetzt.

Die Entwicklung dieser Kostenarten ist in Anlage 4.4.1.6, 4.4.2.6 und 4.4.3.6 für die Einzelkosten je Jahr und in 4.4.1.7, 4.4.2.7 und 4.4.3.7 für die jährlichen Gesamtkosten der einzelnen Strategien angegeben.

Bei der Reparaturstrategie (Anlage 4.4.1.7) entstehen bis zum Jahr 2005 jährlich rund 3,0 Mio. DM, ab diesem Zeitpunkt steigen sie jedoch rapide auf rund 7,5 Mio. DM im Jahr 2030 mit weiterem Anstieg in den Folgejahren an.

Bei der Substanzwerterhaltungsstrategie (Anlage 4.4.2.7) steigen die jährlichen Kosten von derzeit rund 3,0 Mio. DM allmählich auf rund 4,0 Mio. DM in den Jahren 2015 bis 2020 um dann verstärkt auf rund 5,0 Mio. DM im Jahr 2030 anzusteigen. Ein Maximum werden die jährlichen Kosten um das Jahr 2040 mit rund 6,0 Mio. DM erreichen.



Die Mindestzustandsstrategie (Anlage 4.4.3.7) zeigt zwar die stärksten Schwankungen in der zeitlichen Kostenentwicklung, die Kosten übersteigen allerdings erst ab dem Jahr 2025 den Wert von jährlich 4,0 Mio. DM und werden im Jahr 2030 ebenfalls wie bei der Strategie 2 etwa 5,0 Mio. DM betragen.

### 1.8.5 Wertung der Strategien

Aufgrund des oben aufgezeigten Kostenvergleichs ist trotz der stärkeren Schwankungen in der Kostenentwicklung und den Investitionsschüben der Mindestzustandsstrategie (Einhaltung mindestens Zustandsklasse 3) und damit einer technisch qualitativ hochwertigen Unterhaltungsstrategie gegenüber den anderen Strategien der Vorzug zu geben.

Eine Strategie, die auf eine reine Erhaltung des Substanzwertes abzielt, führt zwar zu kontinuierlichen Investitionsbudgets, ist aber aufgrund des hohen Anteils an erforderlichen Reparaturkosten langfristig teurer als die erstgenannte Mindestzustandsstrategie.

Eine Reparaturstrategie kann sowohl aufgrund der in der Zukunft stark ansteigenden Kosten als auch aufgrund der abnehmenden Entsorgungssicherheit nicht empfohlen werden.

Für die favorisierte Variante „Mindestzustandsstrategie“ werden die maßgeblichen technischen und finanziellen Werte wie folgt zusammengestellt:

Zeit- raum	Sanie- rungs- leistung  [km]	erforderliche jährliche			jährlicher finanzieller Gesamt- bedarf  [Mio. DM/a]
		Investitions- budget  [Mio. DM/a]	Reparatur- kosten  ZK1 u. 2 Mio. DM/a]	zus.Unter- haltungs- kosten ZK 3-5* [Mio. DM/a]	
1998 - 2007	4,0	3,5	2,0 - 0	2,3	7,8 - 5,8
2008 - 2019	2,0	1,8	≈ 0	2,3	4,1
2020 - 2030	4,5	4,0	≈ 0	2,3	6,3

\*) Die zusätzlichen jährlichen Unterhaltungskosten für ZK 3-5 reduzieren sich auf 0,8 Mio. DM, wenn nur für die Schmutzwasserkanäle entsprechende zusätzliche Unterhaltungen erfolgen.

### **1.8.6 Praktische Umsetzung**

Die erfolgreiche praktische Umsetzung der Instandhaltungsstrategie erfordert im wesentlichen folgende Einzelschritte:

- Abschnittsweise detaillierte Planung und Ausführung von Sanierungsmaßnahmen durch Renovation, Erneuerung und Instandsetzung zunächst auf der Basis der bereits vorliegenden TV-Inspektion. Jährlich sind rund 4 km Kanalnetz durch Erneuerung oder Renovation zu sanieren. Hinzu kommt ein Instandsetzungsbedarf in noch nicht sanierten Haltungen der Zustandsklasse 1 und 2 von rund 3,0 km im ersten Jahr (in den Folgejahren abnehmend). Die weitergehenden Schadensbeseitigungsmaßnahmen und Dichtheitsprüfungen in den Zustandsklassen 3 bis 5 sind dabei mit zu berücksichtigen. Jährlich sind dabei konkret rund 8 - 8,5 km zu untersuchen und zu bearbeiten.
- Kontinuierliche Weiterführung der TV-Inspektion zur gezielten Schadensfeststellung in den nächsten Jahren. Dabei sind zunächst die Kanäle zu inspizieren, deren prognostisch ermittelter Mindestzustand am schlechtesten ist. Dazu sind in den nächsten 5 Jahren rund 50 km Kanalnetz und in den folgenden 5 Jahren weitere rund 40 km zu inspizieren.
- Die derzeitige digitale Datenbasis des Kanalbestandes ist aufgrund fehlender Planunterlagen für einige Netzbereiche, fehlenden oder inkonsistenten Angaben in den zugrundegelegten Plänen in einigen Bereichen noch unvollständig bzw. ungenau. Durch eine ergänzende Bestandsaufnahme bzw. Überprüfung und Vermessung in den nächsten Jahren muß dieser Datenbestand kontinuierlich verbessert und bei Netzerweiterungen, Umbauten, Erneuerungen und Renovationen aktualisiert werden.

### **1.9 Zusammenfassung**

Das Kanalnetz im Werksgelände Musterauftraggeber umfaßt rund 350 km. Davon entfallen etwa 120 km auf die Hauptkanalisation (Sammelkanäle), der Rest auf kleindimensionierte Anschlußkanäle.

Ziel der durchgeführten Untersuchung war, den mittelfristigen Sanierungs- und Reparaturbedarf für die 120 km des Hauptkanalnetzes im Werksgelände Musterauftraggeber zu beziffern und damit eine mittelfristige Investitionsplanung etwa bis zum Jahre 2030 zu ermöglichen. Die mittelfristige Investitions- und Unterhaltsplanung hat zum Ziel, einen technischen Sollzustand des

Kanalnetzes zu erreichen und einzuhalten, der eine Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit und Standsicherheit sowie eine Schadensfreiheit und Dichtigkeit des Kanalnetzes gewährleistet, so daß Umweltgefährdungen und gegebenenfalls strafrechtliche Verantwortungen vermieden werden.

Basis dieser Prognose ist die Kenntnis des Kanalbestandes, des Alters und des Kanalzustandes sowie dessen weitere Entwicklung in der Zukunft. Dazu war zunächst die vollständige digitale Erfassung des Kanalbestandes in einer Datenbank erforderlich. Die benötigten Daten wurden aus rund 230 vorliegenden Einzelplänen erfaßt. Dateninkonsistenzen zwischen den unterschiedlichen Planunterlagen wurden soweit möglich bereinigt. Das Alter der einzelnen Kanalabschnitte wurde aufgrund der Planunterlagen sowie durch Abstimmung mit dem Auftraggeber, Abt. Gebäudemanagement, ermittelt. Der erstellte Datenbestand bietet nun die Grundlage durch sukzessive exakte Erfassung bisher noch ungenauer oder fehlender Daten ein vollständiges digitales Kanalkataster zu erstellen.

Der Kanalzustand wurde durch eine selektive Kanalinspektion mit Hochrechnung der Ergebnisse auf das Gesamtnetz erfaßt. Gegenüber einer (bislang üblichen) vollständigen TV-Zustandsuntersuchung wurden bei dieser Vorgehensweise erhebliche Kosten eingespart und kurzfristig die notwendigen Aussagen über den Kanalzustand erhalten. Rund 16 km bereits vorhandener TV-Inspektionen konnten mit ausgewertet werden, so daß sich die zusätzlich erforderliche Inspektion auf rund 12 km beschränkte. Grundlage der selektiven Zustandserfassung war eine Gliederung des Kanalnetzes nach charakteristischen Merkmalen (Alter, Material, Entwässerungssystem, Profilgröße und Lage), die miteinander kombiniert in insgesamt 99 Gruppen zusammengefaßt wurden.

Die TV-Inspektion erfolgte als repräsentative Stichprobe für jede Gruppe, deren Ergebnis **-mittlerer Netzstatus, Mindestnetzstatus und Verteilung der Zustandsklassen-** auf die Gesamtheit hochgerechnet wurde. Die Bewertung der durch die TV-Inspektion erfaßten Schäden (Zustandsklassifizierung) erfolgte einmal

- in Bezug auf die **bauliche Priorität** (Dringlichkeit zu Beseitigung festgestellter Mängel)
- als auch in Bezug auf die **technische Wertminderung** des Netzes, als Ergebnis des Gesamtzustandes aus Alter, Verschleiß, Baumängel und Bauschäden.

Die Einteilung des Zustandes erfolgte in 6 Klassen, von **Klasse 1: schwerste Schäden, bis Klasse 6: schadensfrei**. Nach dem Klassifizierungsergebnis bzgl. der technischen Wertminderung befinden sich ca. 5 km des Kanalnetzes in der Zustandsklasse 1 und weitere ca. 23 km in der Zustandsklasse 2, das heißt **bei rund 25 % des Kanalnetzes ist** aufgrund von Alter und Schäden **der Substanzwert weitgehend aufgebraucht** stark vermindert.

Etwa 73 km (61 %) des Kanalnetzes befinden sich in den Zustandsklassen 3 und 4 und weisen damit eine mittlere Schädigung bzw. technische Wertminderung auf. **Lediglich rund 20 km der Kanalisation zeigen keine bzw. nur eine geringe Schädigung (Zustandsklasse 5 und 6)**. Dieser Kanalzustand wird sich ohne Sanierungsmaßnahmen in den kommenden Jahren zunehmend verschlechtern.

Durch eine kanalnetzspezifische Modellierung dieses Alterungsprozesses mittels statistischer Zustandsübergangsfunktionen, sogenannte „Überlebensfunktionen“, wurde diese Zustandsverschlechterung nachvollzogen, sowie die jeweilige voraussichtliche Restnutzungsdauer der untersuchten Kanalnetzelemente und damit ihr Ausfall- und Sanierungszeitpunkt berechnet. Der finanzielle Sanierungsbedarf ergibt sich dann aus dem aktuellen Erneuerungsrückstau und der im Planungszeitraum zu erwartenden Zustandsverschlechterung.

Der derzeit rund 27 km umfassende Anteil von Kanälen in den Zustandsklassen 1 und 2 (Rohrbruch und Einsturzgefährdung) wird ohne Gegenmaßnahmen in den nächsten 10 Jahren um ca. 56 % auf rund 42 km anwachsen.

Auf der Grundlage dieser zu erwartenden Entwicklung wurden drei unterschiedliche Strategien zu einer Instandhaltung des Kanalnetzes untersucht:

- **Reparaturstrategie**

Der technische Sollzustand wird nur durch örtliche Instandsetzungen wiederhergestellt, ohne daß eine wertverbessernde Erneuerung der baulichen Substanz insbesondere der Rohrstatik erfolgt.

- **Substanzwerterhaltungsstrategie**

Investitionen zur Erneuerung oder Renovation der baulichen Substanz mit Wiederherstellung der Rohrstatik werden in dem Umfang getätigt, daß der derzeitige Netzzustand (bzgl. technischer Wertminderung) beibehalten wird. Für zusätzlich erforderliche Schadensbeseitigungen sind in gewissem Umfang Reparaturkosten als jährlich erforderliche Unterhaltungsaufwendungen notwendig.

- **Mindestzustandsstrategie**

Durch verstärkte Investitionen soll innerhalb der nächsten 10 Jahre ein Mindestzustand des Kanalnetzes erreicht werden, so daß sich keine Kanalhaltungen mehr in der Zustandsklasse 1 oder 2 (Rohrbruch und Einsturzgefährdung) befinden.

Aufgrund des betriebswirtschaftlichen **Kostenvergleichs schneidet die Mindestzustandsstrategie am günstigsten ab** und ist demnach für die mittelfristige Kanalinstandhaltung zu favorisieren. Am schlechtesten liegt im Vergleich die reine Reparaturstrategie, die mittelfristig zu enormen Kostenerhöhungen führt und zudem die Entsorgungssicherheit nicht in dem Maße gewährleistet wie die beiden anderen Vorgehensweisen.

Die jährlich erforderlichen Finanzmittel zum Erreichen des technischen Sollzustandes für die favorisierte Variante betragen:

<b>Zeitraum</b>	<b>Finanzmittelbedarf [Mio. DM/a]</b>
1998 - 2007	7,8 - 5,8
2008 - 2019	4,1
2020 - 2030	6,3

Die konkrete Umsetzung der erarbeiteten Mindestzustandsstrategie erfordert in den kommenden Jahren eine kontinuierliche Schadensbeseitigung durch Erneuerung, Renovation und Reparatur in den bereits TV-inspizierten Kanalnetzbereichen und eine bedarfsgerechte Weiterführung der TV-Inspektion zur gezielten Schadensbeseitigung. Weiterhin ist der digitale Datenbestand des Kanalnetzes durch ergänzende Bestandsaufnahmen und Vermessungen systematisch zu verbessern.

Saarbrücken, 25. September 1997

**Sachverständigenbüro für Kanalsanierung**

( überarbeitet am 29. März 2003)

## 1.10 Literatur

- [2] Gieseke, Wiedemann, Czychowski:  
Wasserhaushaltsgesetz, Kommentar, 6. Auflage 1992
  
- [3] Hillenbrand-Beck, R.:  
Die haftungs- und strafrechtliche Situation bei defekten Abwasserkanälen
  
- [4] Stein, D.; Kaufmann, O.:  
Dichtigkeitsprüfung an bestehenden Abwasserkanälen nach dem Merkblatt ATV M143 Teil 6 (Entwurf);  
Korrespondenz Abwasser 1997, Nr. 9, S. 1534
  
- [5] LAWA:  
Leitlinien für die Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen  
LAWA-Arbeitskreis Nutzen-Kosten-Untersuchungen in der Wasserwirtschaft, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, München 1994
  
- [6] Krug, R.:  
Dynamische Sanierungsstrategien ersetzen klassische Sanierungskonzepte. Abwasserkanäle, Werterhaltung und Finanzierung;  
Technische Akademie Wuppertal, Weiterbildungsseminar  
Nürnberg, 1996
  
- [7] Krug, R.; Hochstrate, K.:  
Anpassung der Abschreibungssätze/Nutzungsdauern an veränderte Bau- und Betriebszustände, UTA 2/97, S. 91 - 97
  
- [8] Jansen, K.:  
Vorausschauende Kanalstandhaltung;  
bi-Umweltschutz 1/96, S. 31 - 36
  
- [9] Jansen, K.:  
Finanzierung und Werterhaltung von Kanälen;  
Bula 10/96, S. 30 ff

- [10] Hochstrate, K.; Schönborn, F.:  
Finanzierung und Werterhaltung von Kanälen - Selektive Kanalinspektionsstrategien;  
UTA 3/96; S. 249 ff
- [11] Hochstrate, K.:  
Verbesserung des Netzzustandes und der Versorgungssicherheit;  
Gemeinde-Stadt-Land Nr. 18; Hemmingen 1992
- [12] —:  
Grabenlose Verfahren der Schadensbeseitigung in nicht begehbaren Abwasserleitungen;  
Sonderdruck aus TIS Tiefbau, Ingenieurbau, Straßenbau 2/95; GSTT Information Nr. 1, Febr. 1995