



# Sanierungsplanung von Abwassernetzen - "ganzheitliche Betrachtung" der Vorgehensweise

von

Carolin Gruschwitz

an der

Professur Grundbau und Wasserbau  
Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät  
Universität Leipzig

zur Erlangung  
des akademischen Grades

**Diplom-Wirtschaftsingenieurin**

vorgelegte Diplomarbeit

Betreuer:

Prof. Dr. Ing. habil. K.-U. Graw

Abgabe: 28. September 1999

## **AUFGABENSTELLUNG**

Die Arbeit soll verschiedene Vorgehensweisen bei der Planung von Sanierungsaufwendungen beschreiben. Aufbauend auf den Ergebnissen des großen Übungsbeleges, der insbesondere Fragestellungen hinsichtlich der technischen Randbedingungen betraf, sollen nunmehr die wirtschaftlichen Randbedingungen in den Vordergrund gerückt werden. Wie der Große Übungsbeleg soll auch die Diplomarbeit in Zusammenarbeit mit den Berliner Wasserbetrieben (BWB) und basierend auf den von den BWB zur Verfügung gestellten Daten aufbauen.

Der Inhalt der Arbeit sollte ausgehend von der Problematik der Kanalsanierung im allgemeinen über die Planungsmöglichkeiten für Sanierungsarbeiten bis zur Anwendung derartiger Planungen reichen. Um den Umfang der Arbeit zu begrenzen, sollten sich die Aussagen hierbei im wesentlichen auf Aspekte beschränken, die im Falle des kooperierenden Anwenders (BWB) relevant sind. Zielstellung der Arbeit ist es, die Fragestellung derart zu interpretieren, dass bereits existierende Lösungsansätze zur Planung von Kanalnetzsanierungen auf ihre Allgemeingültigkeit hinterfragt werden, dass insbesondere versucht wird festzustellen, an welchen Stellen die bisherigen Ansätze zu sehr auf spezifische Teilfragestellungen fixiert sind. Versuchen Sie also bitte, die Sanierungsplanung unter einem möglichst umfassenden Blickwinkel zu betrachten, einen "ganzheitlichen Ansatz" zu wählen.

## ***VORWORT***

Die vorliegende Diplomarbeit entstand durch die Zusammenarbeit der Berliner Wasserbetriebe mit dem Lehrstuhl für Grundbau und Wasserbau der Universität Leipzig. Sie stellt den vorläufigen Abschluss meiner Studien im Fach Wirtschaftsingenieurwesen dar. Wie auch mein Studienfach beschäftigt sich diese Arbeit mit Fragestellungen unter wirtschaftswissenschaftlichen und ingenieurtechnischen Aspekten. Diese ganzheitliche Sichtweise wird im Rahmen meiner Diplomarbeit auf das Problem der Sanierungsplanung für Abwassernetze angewandt. Im Zuge der Bearbeitung tauchte die Frage auf, mit welchen Planungsmodellen der effektive Betrieb und die Unterhaltung von Kanalnetzen gewährleistet werden können. Diese Frage wird in meiner Diplomarbeit aufgegriffen und umfassend kritisch diskutiert.

Im Verlauf der Vorbereitung und Erstellung meiner Arbeit konnte ich von vielen Personen Unterstützung erfahren, für die ich mich hier bedanken möchte. An erster Stelle steht mein Mentor Herr Prof. Dr.-Ing. K.-U. Graw, der mir die Gelegenheit bot, an diesem interessanten und spannenden Thema zu arbeiten. Er hat mir zahlreiche Anregungen für meine Diplomarbeit gegeben und meinen Bearbeitungsstil, nicht zuletzt auch durch die Zusammenarbeit seit dem Großen Übungsbeleg, entscheidend geprägt. Herrn Dr.-Ing. O. Selle und Herrn Prof. Dr. T. Lenk danke ich für die Bereitschaft zur weitergehende Betreuung bei fachspezifischen Problemen.

Ebenfalls von großer Hilfe war Herr Dipl.-Ing. D. Mertens (BWB), der mit seinen fundierten Kenntnissen über die Praxis des größten deutschen Kanalnetzbetreibers ein idealer Ansprechpartner für mich war. Zu Dank verpflichtet bin ich darüber hinaus auch Herrn Dipl.-Ing. D. Jacobi (BWB) und Herrn Dipl.-Ing. Gehrman (BWB).

Im Zusammenhang mit der Erarbeitung des Planungsmodells des Büros Dr.-Ing. Pecher und Partner (PuP) gebührt Herrn Dipl.-Ing. K.-J. Sympher großer Dank. Seine Bereitschaft für ein konstruktives Gespräch zu jeder Zeit und seine wertvollen Tips bereicherten diese Arbeit.

Für die Darstellung des Planungsmodells der AQUA-Ingenieure standen mir Herr Dipl.-Ing. K. Jansen und Herr Dipl.-Ing. Groß hilfreich zur Seite.

Insbesondere möchte ich diese Arbeit zum Anlass nehmen, meinen lieben Eltern für deren Aufwendungen und Mühen herzlichst zu danken. In all den Jahren standen sie mir immer mit ihrem Verständnis zur Seite, unterstützten und ermutigten mich. Nur durch ihre Hilfe war mein Studium und somit diese Arbeit überhaupt erst möglich.

Leipzig, im September 1999

Carolin Gruschwitz

## **INHALTSVERZEICHNIS**

<b>AUFGABENSTELLUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>VORWORT</b> .....	<b>2</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>3</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>5</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>6</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>8</b>
<b>1 EINFÜHRUNG</b> .....	<b>9</b>
<b>2 BEGRIFF DER SANIERUNGSPLANUNG</b> .....	<b>11</b>
2.1 Planung nach DIN EN 752.....	11
2.1.1 DIN EN 752 im Überblick .....	11
2.1.2 DIN EN 752 Teil 5 "Sanierung" .....	12
2.1.2.1 1. Feststellen und Beurteilung des Istzustandes .....	12
2.1.2.2 2. Erarbeiten und Beurteilen ganzheitlicher Lösungen .....	12
2.1.2.3 3. Ausführung und Kontrolle .....	13
2.2 Planung in der Betriebswirtschaftslehre .....	14
2.2.1 Planungsprozess.....	14
2.2.2 Planungssystem .....	15
2.3 Sanierungsplanung .....	17
<b>3 ZUSTANDSERFASSUNG UND -BEWERTUNG</b> .....	<b>20</b>
3.1 Flächendeckende Inspektion .....	20
3.2 Selektive Inspektion.....	21
3.3 Stichprobenerhebungen .....	21
3.3.1 Auswahlverfahren.....	21
3.3.2 Geschichtetes Stichprobenverfahren .....	22
3.3.3 Klumpenstichprobe .....	22
3.4 Schätztheorie.....	23
3.5 Zustandsklassifizierung und -bewertung.....	23
3.5.1 Zustandsklassifizierung- und -bewertung nach ATV-M 149 .....	24
3.5.2 Schadensklassifizierung und Zustandsbewertung nach dem "Berliner Modell" .....	25
<b>4 ALTERUNG VON KANALNETZEN</b> .....	<b>27</b>
4.1 Determinanten der Alterung.....	27
4.2 Nutzungsdauer .....	28
4.3 Modellierung der Netzalterung.....	30
4.3.1 Alterungsfunktionen.....	30
4.3.2 Übergang in schlechtere Zustände.....	33
<b>5 SANIERUNGSVERFAHREN</b> .....	<b>35</b>
5.1 Überblick über die Verfahren.....	35
5.2 Nutzungsdauer .....	36
5.3 Auswahl der Verfahren.....	36

5.4	<i>Kostenübersicht</i> .....	38
<b>6</b>	<b>SANIERUNGSSTRATEGIEN</b> .....	<b>39</b>
6.1	<i>Grundlagen</i> .....	39
6.2	<i>Gegenüberstellung der Strategietypen</i> .....	39
<b>7</b>	<b>WIRTSCHAFTLICHKEITSRECHNUNG</b> .....	<b>41</b>
7.1	<i>Inhaltliche und begriffliche Abgrenzungen</i> .....	41
7.2	<i>Methoden der Wirtschaftlichkeitsrechnung im engeren Sinne</i> .....	42
7.3	<i>Parameter für eine Wirtschaftlichkeitsrechnung</i> .....	42
7.3.1	<i>Nutzungsdauer</i> .....	42
7.3.2	<i>Kalkulationszinssatz</i> .....	43
7.3.3	<i>Preisindizes</i> .....	43
7.4	<i>Kostenvergleichsrechnung nach LAWA</i> .....	44
7.4.1	<i>Begriff der Kostenvergleichsrechnung</i> .....	44
7.4.2	<i>Ermittlung von Kostenreihen</i> .....	44
7.4.3	<i>Ablauf der Kostenvergleichsrechnung</i> .....	45
7.4.3.1	<i>(1) Kostenermittlung</i> .....	45
7.4.3.2	<i>(2) Finanzmathematische Aufbereitung der Kosten</i> .....	46
7.4.3.3	<i>(3) Gegenüberstellung der Projektkostenbarwerte</i> .....	46
7.4.3.4	<i>(4) Sensitivitätsanalyse durch Variation maßgebender Parameter</i> .....	46
7.4.3.5	<i>(5) Gesamtbeurteilung</i> .....	46
7.4.4	<i>Kritik an der Kostenvergleichsrechnung</i> .....	47
<b>8</b>	<b>ANFORDERUNGEN AN PLANUNGSMODELLE</b> .....	<b>49</b>
8.1	<i>Vorbemerkungen</i> .....	49
8.2	<i>Formulierung der Anforderungen</i> .....	49
<b>9</b>	<b>AUSGEWÄHLTE MODELLE ZUR SANIERUNGSPLANUNG</b> .....	<b>51</b>
9.1	<i>Vorbemerkungen</i> .....	51
9.2	<i>Konzept des Büros Dr.-Ing. Pecher und Partner und der Berliner Wasserbetriebe</i> .....	51
9.2.1	<i>Begriffsklärung</i> .....	51
9.2.2	<i>Ausgangsdaten</i> .....	52
9.2.3	<i>Sanierungsvarianten</i> .....	52
9.2.4	<i>Sanierungsalternativen</i> .....	52
9.2.5	<i>Kostenvergleichsrechnung innerhalb einer Sanierungsvariante</i> .....	53
9.2.6	<i>Die Nutzungsdauer von Sanierungsmaßnahmen</i> .....	54
9.2.7	<i>Diskussion einer festen Restnutzungsdauer</i> .....	54
9.2.7.1	<i>Bestimmung einer festen Restnutzungsdauer einer Haltung</i> .....	54
9.2.7.2	<i>Beispiel mit fester Restnutzungsdauer anhand einer Haltung</i> .....	54
9.2.7.3	<i>Änderung der festen Nutzungsdauer</i> .....	59
9.2.8	<i>Diskussion einer flexiblen Restnutzungsdauer</i> .....	59
9.2.8.1	<i>Ermittlung einer kritischen Restnutzungsdauer</i> .....	59
9.2.8.2	<i>Randbedingungen</i> .....	60
9.2.8.3	<i>Restriktionen für eine Erneuerung</i> .....	60
9.2.8.4	<i>Demonstration der flexiblen Restnutzungsdauer anhand eines fiktiven Beispiels</i> .....	60
9.2.9	<i>Bewertung</i> .....	62
9.3	<i>Vorgehensweise der AQUA-Ingenieure</i> .....	65
9.3.1	<i>Vorbemerkungen</i> .....	66
9.3.2	<i>Selektive Inspektionsstrategien</i> .....	66
9.3.3	<i>Ausgangsdaten</i> .....	68
9.3.4	<i>Eichung und Berechnung des Alterungsmodells</i> .....	69
9.3.4.1	<i>Berechnung von Zustandsübergangsfunktionen</i> .....	69
9.3.4.2	<i>Bestimmung der individuellen Alterungsgeschwindigkeit</i> .....	70
9.3.4.3	<i>Berechnung von Zustandsübergangszeitpunkten</i> .....	70
9.3.4.4	<i>Festlegen einer Interventionsklasse</i> .....	70

9.3.5	Modellierung der Alterungs- und Zustandsprognose.....	71
9.3.6	Bewertung .....	71
<b>10</b>	<b>ANWENDUNGSBEISPIELE.....</b>	<b>73</b>
10.1	Vorbemerkungen zum Untersuchungsgebiet.....	73
10.2	Beispielsrechnung mit dem Planungsmodell des Büros Dr.-Ing. Pecher und Partner.....	74
10.3	Beispielsrechnung mit dem Planungsmodell der AQUA-Ingenieure .....	75
<b>11</b>	<b>ZUR SITUATION IN BERLIN .....</b>	<b>76</b>
11.1	Der Zustand der Kanalisation .....	76
11.1.1	Der Netzbestand.....	76
11.1.2	Die Altersverteilung der Kanäle.....	77
11.1.3	Die Materialverteilung der Kanäle .....	77
11.1.4	Die Profil- und Querschnittsverteilung der Kanäle .....	77
11.2	Der Untersuchungsgrad.....	77
11.2.1	Allgemeines .....	77
11.2.2	Die Schadensbilder der Berliner Kanalisation .....	78
<b>12</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK .....</b>	<b>80</b>
<b>13</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>82</b>
	<b>ANHANG.....</b>	<b>88</b>

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>EINFÜHRUNG.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>BEGRIFF DER SANIERUNGSPLANUNG.....</b>	<b>11</b>
Bild 2.1	Ablaufdiagramm für die Sanierung von Entwässerungssystemen [DIN EN 752-5 1997 S. 4.].....	13
Bild 2.2	Stellung der Planung im Planungs- und Steuerungsprozess des Unternehmens nach Bea/Dichtl/Schweitzer [Führung] 1993 S. 26.].....	15
Bild 2.3	Auswirkungen der Sanierungsplanung [Eigene Darstellung.].....	18
Bild 2.4	Finanzierungsformen .....	19
<b>3</b>	<b>ZUSTANDSERFASSUNG UND -BEWERTUNG .....</b>	<b>20</b>
Bild 3.1	Zustandsklassifizierung und -bewertung nach dem ATV-M 149 [ATV-M 149 1999 S. 12.].....	25
<b>4</b>	<b>ALTERUNG VON KANALNETZEN.....</b>	<b>27</b>
Bild 4.1	Überlebensfunktion [Herz [Alterung] 1995 S. 14.].....	33
Bild 4.2	Lebensdauerverteilung [Herz [Alterung] 1995 S. 14.].....	33
Bild 4.3	Ausfallrate [Herz [Alterung] 1995 S. 14.].....	33
Bild 4.4	Zustandsübergangsfunktionen [Herz [Alterung] 1995 S. 16.].....	34
Bild 4.5	Zustandsdauerverteilungen [Herz [Alterung] 1995 S. 16.].....	34
Bild 4.6	Zustandsausfallraten [Herz [Alterung] 1995 S. 16.].....	34
<b>5</b>	<b>SANIERUNGSVERFAHREN.....</b>	<b>35</b>
Bild 5.1	Entscheidungsprozeß zur Auswahl von Sanierungsverfahren für bauliche Lösungen.....	37
Bild 5.2	Kostenbeeinflussung während des Projektverlaufs [Bohn [Wirtschaftlichkeit] 1993 S. 42.].....	38

<b>6</b>	<b>SANIERUNGSSTRATEGIEN</b> .....	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>WIRTSCHAFTLICHKEITSRECHNUNG</b> .....	<b>41</b>
<b>8</b>	<b>ANFORDERUNGEN AN PLANUNGSMODELLE</b> .....	<b>49</b>
<b>9</b>	<b>AUSGEWÄHLTE MODELLE ZUR SANIERUNGSPLANUNG</b> .....	<b>51</b>
Bild 9.1	Übersicht über das Planungsmodell mit fester und flexibler Restnutzungsdauer [Eigene Darstellung.].....	53
Bild 9.2	Barwerteverlauf aufsummierter Projektkosten für Sanierungsalternative 1 [Eigene Darstellung.].....	57
Bild 9.3	Barwerteverlauf aufsummierter Projektkosten für Sanierungsalternative 2 [Eigene Darstellung.].....	58
Bild 9.4	Abfolge der Arbeitsschritte [Nach AQUA-WertMin 4.0 Handbuch 1998 S. 45f.].....	67
Bild 9.5	Zustandsübergangsfunktion von Klasse 2 auf Klasse 1 [Internet [AQUA] 1999.].....	69
Bild 9.6	Alle Zustandsübergangsfunktionen mit Darstellung der mittleren betriebsgewöhnlichen Restnutzungsdauer [Internet [AQUA] 1999.].....	71
Bild 9.7	Alterungsprognose [Internet [AQUA] 1999.].....	71
<b>10</b>	<b>ANWENDUNGSBEISPIELE</b> .....	<b>73</b>
Bild 10.1	Auszug aus Berliner Stadtplan [Falk Verlag Berlin.].....	73
<b>11</b>	<b>ZUR SITUATION IN BERLIN</b> .....	<b>76</b>
Bild 11.1	Versorgungsgebiet der BWB [Internet [BWB] 1999.].....	76
Bild 11.2	Altersverteilung der Kanäle in Berlin [Eigene Darstellung.] .....	77
<b>12</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK</b> .....	<b>80</b>
<b>13</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>82</b>
Bild 13.1	Funktionen der Gleichverteilung.....	91
Bild 13.2	Funktionen der Normalverteilung.....	92
Bild 13.3	Funktionen der Logarithmischen Normalverteilung.....	93
Bild 13.4	Funktionen der Exponentialverteilung.....	94
Bild 13.5	Funktionen der Weibull-Verteilung.....	95

## TABELLENVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>EINFÜHRUNG</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>BEGRIFF DER SANIERUNGSPLANUNG</b> .....	<b>11</b>
Tabelle 2.1	Auszug möglicher Planungsarten in einem Planungssystem [Eigene Darstellung].....	16
Tabelle 2.2	Kennzeichnung strategischer und operativer Planung [Eigene Darstellung in Anlehnung an Bea/Dichtl/Schweitzer [Führung] 1993 S. 35] .....	16
<b>3</b>	<b>ZUSTANDSERFASSUNG UND -BEWERTUNG</b> .....	<b>20</b>
Tabelle 3.1	Schadensklassen mit Wichtungsfaktoren [Sawatzki [Klassifizierung] 1991 S. 1635.].....	26
Tabelle 3.2	Bewertungsfaktoren [Sawatzki [Klassifizierung] 1991 S. 1636.] .....	26
Tabelle 3.3	Zustandsklassen [Sawatzki [Klassifizierung] 1991 S. 1637.].....	26
<b>4</b>	<b>ALTERUNG VON KANALNETZEN</b> .....	<b>27</b>

Tabelle 4.1	Determinanten der Alterung [Eigene Darstellung in Anlehnung an Herz [Erneuerungsstrategien] 1987 S.77f.].....	27
Tabelle 4.2	Durchschnittliche Nutzungsdauern nach LAWA [Eigene Darstellung nach LAWA 1993 Anlage 1 S. 53.].....	29
Tabelle 4.3	Randbedingungen der Überlebensfunktion [Herz [Alterung] 1995 S.11.].....	31
<b>5</b>	<b>SANIERUNGSVERFAHREN.....</b>	<b>35</b>
Tabelle 5.1	Überblick über Sanierungsverfahren [in Anlehnung an Stein [Sanierung] 1999 S. 1058f.].....	35
Tabelle 5.2	Vorgeschlagene Nutzungsdauern für Sanierungsverfahren [[GSTT] 1998.].....	36
<b>6</b>	<b>SANIERUNGSSTRATEGIEN .....</b>	<b>39</b>
Tabelle 6.1	Strategietypen von Infrastrukturerneuerungsstrategien [Herz [Erneuerungsstrategien] 1987 S. 72.].....	40
<b>7</b>	<b>WIRTSCHAFTLICHKEITSRECHNUNG.....</b>	<b>41</b>
Tabelle 7.1	Übersicht über Methoden der Wirtschaftlichkeitsrechnung in der Betriebswirtschaftslehre [Eigene Darstellung in Anlehnung an Betge [Investitionsplanung] 1995 S. 20].....	42
Tabelle 7.2	Preisindizes für Neubau und Instandhaltung [Statistisches Jahrbuch 1998 S. 624.].....	44
<b>8</b>	<b>ANFORDERUNGEN AN PLANUNGSMODELLE.....</b>	<b>49</b>
<b>9</b>	<b>AUSGEWÄHLTE MODELLE ZUR SANIERUNGSPLANUNG .....</b>	<b>51</b>
Tabelle 9.1	Sanierungsvarianten des Büros PuP/ BWB [Eigene Darstellung.].....	52
Tabelle 9.2	Nutzungsdauer von Kanälen [Eigene Darstellung.].....	54
Tabelle 9.3	Projektkosten für Sanierungsalternative 1 [Eigene Darstellung.].....	57
Tabelle 9.4	Projektkosten für Sanierungsalternative 2 [Eigene Darstellung.].....	58
Tabelle 9.5	Nutzungsdauer von Kanälen [Eigene Darstellung.].....	59
Tabelle 9.6	Projektkosten für Reparatur und Renovierung versus Erneuerung [Eigene Darstellung.].....	61
Tabelle 9.7	Darstellung der Ermittlung der kritischen Restnutzungsdauer [Eigene Darstellung.].....	61
<b>10</b>	<b>ANWENDUNGSBEISPIELE.....</b>	<b>73</b>
<b>11</b>	<b>ZUR SITUATION IN BERLIN .....</b>	<b>76</b>
Tabelle 11.1	Inspizierte Kanallängen in Berlin [Eigene Darstellung nach Angaben der BWB.].....	78
Tabelle 11.2	Anteil der Schadensbilder als Schäden pro km im Schmutzwassersystem [in %] [Eigene Darstellung nach Angaben der BWB.].....	78
Tabelle 11.3	Anteil der Schadensbilder als Schäden pro km im Mischwassersystem [in %] [Eigene Darstellung nach Angaben der BWB.].....	79
<b>12</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK .....</b>	<b>80</b>
<b>13</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>82</b>

## ***ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS***

ATV	.....	Abwassertechnische Vereinigung
ATV-A	.....	Abwassertechnische Vereinigung - Arbeitsblatt
ATV-M	.....	Abwassertechnische Vereinigung - Merkblatt
Bd.	.....	Band
BWB	.....	Berliner Wasserbetriebe
BWL	.....	Betriebswirtschaftslehre
DIN EN	.....	Deutsches Institut für Normung Euronorm
Dipl.-Ing.	.....	Diplomingenieur
Dipl.-Wirtsch.-Ing.	.....	Diplomwirtschaftsingenieurin
e.V.	.....	Eingetragener Verein
EDV	.....	Elektronische Datenverarbeitung
f.	.....	folgende
ff.	.....	fortfolgende
GSTT	.....	German Society for Trenchless Technology
Hrsg.	.....	Herausgeber
LAWA	.....	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
PuP	.....	Ingenieurbüro Dr.-Ing. Pecher und Partner
S&K-KAIN	.....	Sawatzki und Kerkemeier - Kanalinformationssystem
S.	.....	siehe
SV	.....	Sanierungsvariante
Vgl.	.....	vergleiche
WertR91	.....	Wertermittlungsrichtlinie 1991

## 1 **EINFÜHRUNG**

Aktuelle Statistiken der Branche, insbesondere Berichte der Abwassertechnischen Vereinigung (ATV) belegen den immensen, in den nächsten Jahren und Jahrzehnten notwendig werdenden Sanierungsbedarf bei Kanalnetzen. Für Abwasserunternehmen wird es daher zwingend, der Kanalnetzsanierung größere Aufmerksamkeit als bisher zu widmen. Zur Entwicklung mittel- bis langfristiger Sanierungsstrategien bedarf es einer gezielten speziellen Form der Planung.

Ziel meiner Arbeit soll die Untersuchung ausgewählter Planungsmodelle für Sanierungsplanung sein. Dabei ist es nötig, den gegebenen Rahmen, in dem Sanierungsentscheidungen zu treffen sind, darzustellen.

Hinterfragt man den Begriff Sanierungsplanung, stellt man fest, dass für diesen keine eindeutige, klare Definition existiert. Aus diesem Grund soll in dieser Arbeit versucht werden, den Begriff Sanierungsplanung, orientiert an technischen und betriebswirtschaftlichen Ausführungen zu definieren. Prinzipiell lässt sich sagen, dass sowohl Planung als auch Sanierungsplanung Prozesse abbilden und in Systemen wirken. Je komplexer diese Planungsprozesse und Planungssysteme werden, desto größer werden die Anforderungen an die Koordination der Teilaufgaben. Da eine getrennte Betrachtung aus technischer und betriebswirtschaftlicher Perspektive zwangsläufig zu Fehlern und suboptimalen Entscheidungen führt, ist für Sanierungsplanung eine ganzheitliche Sichtweise nötig. Der Begriff des ganzheitlichen Denkens wurde durch Bleicher in der Darstellung des St. Galler Managementkonzeptes geprägt.<sup>1</sup>

Für den oben angesprochenen Entscheidungsrahmen bedarf es der Schaffung einer exakten und strukturierten Datenbasis. Dabei werden durch mich verschiedene Methoden und Verfahren der Datenerhebung und -aufbereitung untersucht. Insbesondere erfolgt die Betrachtung von Möglichkeiten der Nutzung und Anwendung statistischer Vorgehensweisen. Für eine mathematische Formulierung von Alterungsprozessen wird in meiner Arbeit auf Grundlagen und Untersuchungen zur Beschreibung der Alterung von Kanalnetzen verwiesen. Um in die Sanierungsentscheidung technische Möglichkeiten einzubeziehen, ist die genaue Kenntnis über Sanierungsverfahren notwendig, über die in einem gesonderten Kapitel ein Überblick gegeben werden soll. Welche Sanierungsstrategien in vernünftigerweise Weise den Netzzustand erhalten oder verbessern können, wird auch zu klären sein.

Mittels einer Wirtschaftlichkeitsrechnung können aus technischer Sicht favorisierte Sanierungsalternativen betriebswirtschaftlich untersucht und bewertet werden. Als Ergebnis steht eine Sanierungsempfehlung aus einer ganzheitlichen Sicht.

In der weiteren Bearbeitung sollen durch mich vorhandene Planungsmodelle dargestellt und untersucht werden. Die Modelle knüpfen an die oben genannte Datenerhebung an. Hinsichtlich des Inhaltes und der Planungsfristen bestehen bei solchen Modellen große Unterschiede.

Deshalb werden durch mich allgemeine Kriterien aufgestellt, die für eine Formulierung eines optimalen Modells für die Sanierungsplanung dienen können. Anhand dieser Kriterien erfolgt die Bewertung der vorhandenen Modelle auf ihre Tauglichkeit und Potentiale.

Besondere Brisanz erhält diese Betrachtung durch die Tatsache, dass die zu vergleichenden Konzepte für die sie entwickelnden Unternehmen eine hohe Marktchance darstellen und somit

---

<sup>1</sup> Hierzu Bleicher [Integriertes Management] 1996 S. 45ff.

große Teile des Datenmaterials zur Betriebsinterna gehören. Des weiteren wirkt auf meine Betrachtung nachteilig, dass die Konzepte noch in der Entwicklungsphase sind und endgültige Fassungen zum Teil nicht zur Verfügung stehen.

Mit Anwendungsbeispielen möchte ich die beschriebenen Modelle unterlegen und erzielte Ergebnisse kritisch hinterfragen. Solche Beispiele können erste Aufschlüsse über eine praktische Nutzbarmachung liefern. Es sei auch an dieser Stelle auf zu erwartende Schwierigkeiten und Beschränkungen verwiesen, die die bereits angesprochene Situation der beiden konkurrierenden Unternehmen mit sich bringt.

Am Beispiel Berlins wird abschließend aufgezeigt, welcher Bedarf an Sanierung bei Abwassernetzen besteht. Die begonnene systematische Aufnahme des Netzzustandes seitens der Berliner Wasserbetriebe gibt detaillierte Einblicke und gestattet die Formulierung erster Statistiken über die Schadenshäufigkeiten und -verteilungen sowie Tendenzen für das Gesamtbild des Netzzustandes.

Mit einem abschließenden Ausblick möchte ich meine Diplomarbeit beenden und auf den großen Forschungsbedarf in diesem Gebiet verweisen.

## **2            *BEGRIFF DER SANIERUNGSPLANUNG***

### **2.1        *Planung nach DIN EN 752***

#### **2.1.1     *DIN EN 752 im Überblick***

Bekanntermaßen stellt eine DIN kein Gesetz, sondern den Stand der Technik in einem bestimmten Bereich dar. Für den Bau, Betrieb, Unterhalt und die Sanierung von Entwässerungssystemen kann die DIN EN 752 "Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden"<sup>2</sup> als die verbindliche und zugleich aufschlussreichste Norm in diesem Gebiet derzeit angesehen werden.

Im Teil 1 "Allgemeines und Definitionen" der DIN EN 752 werden für diese Arbeit wesentliche Begriffe geklärt.

Als Sanierung sollen alle Maßnahmen zur Wiederherstellung oder Verbesserung von vorhandenen Entwässerungssystemen bezeichnet werden. Dabei kann eine Sanierung mit Maßnahmen der Reparatur, Renovierung und Erneuerung durchgeführt werden.

Gesamtkosten sind die aufsummierten Kosten eines Projekts für seine erwartete Lebensdauer. Die Bau-, Betriebs- und Unterhaltskosten sind alle auf einen gemeinsamen Zeitpunkt zu beziehen.

Ein Abwasserkanal ist eine meist erdverlegte Rohrleitung oder andere Vorrichtung zur Ableitung von Schmutz- und/oder Regenwasser aus mehreren Quellen.

Dagegen ist eine Kanalisation ein Netz von Rohrleitungen und Zusatzbauten, das Schmutz- und/oder Regenwasser von Abwasserleitungen zu Kläranlagen oder an andere Entsorgungsstellen ableitet.

In dieser Arbeit wird von Abwassernetzen die Rede sein, wobei stellenweise auch nur die Rohrleitungen selbst betrachtet werden, um die Aussagen übersichtlich gestalten zu können.

Als Anforderungen an Planung, Entwurf, Bau, Betrieb und Unterhalt von Entwässerungssystemen nennt DIN EN 752 im Teil 2 "Anforderungen" u.a.

- den Schutz der öffentlichen Gesundheit
- die Begrenzung der Überflutungshäufigkeiten
- die Wasserdichtheit von Abwasserkanälen
- die Erhaltung des baulichen Bestandes und
- das Erreichen der geforderten Nutzungsdauer.

In DIN EN 752 Teil 7 "Betrieb und Unterhalt" wird explizit darauf verwiesen, dass die gleichen Anforderungen auch für die Sanierung, welche im Teil 5 der DIN EN 752 dargestellt ist,<sup>3</sup> gelten. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, müssen bereits beim Neubau von Entwässerungsanlagen die Ausführungen der DIN EN 752 Teil 3 "Planung" beachtet werden. Die Entwurfsziele sind ähnlich den Anforderungen im Teil 2. Es wird ausdrücklich auch in diesem Teil der

---

<sup>2</sup> Hierzu DIN EN 752 bestehend aus den Teilen 1 bis 7.

<sup>3</sup> Es wird auf Kapitel 2.1.2 verwiesen.

Norm auf die Notwendigkeit des Erreichens der gewünschten Nutzungsdauer hingewiesen und somit dieser besondere Bedeutung beigemessen.

Der Teil 4 "Hydraulische Berechnung und Umweltschutzaspekte" enthält Bemessungskriterien für Kanäle aller Art und Aussagen zur Begrenzung der Umweltbelastung und ist wie auch Teil 6 "Pumpenanlagen" für diese Arbeit von untergeordneter Bedeutung.

In der weiteren Arbeit wird hauptsächlich die Wiederherstellung oder Verbesserung des baulichen Zustandes von Abwasserkanälen betrachtet werden. Dass gleichzeitig hydraulische Anforderungen zu beachten sind, wird als gegeben vorausgesetzt.

### *2.1.2 DIN EN 752 Teil 5 "Sanierung"*

Für auftretende Mängel und Schäden an Entwässerungssystemen sind Grundsätze für die Planung von Sanierungsmaßnahmen in der DIN EN 752 Teil 5 "Sanierung" aufgezeigt. Der Begriff der Sanierungsplanung wird als solcher an dieser Stelle nicht verwendet, soll aber im Kapitel 2.3 durch mich definiert werden. Drei Arbeitsschritte werden für die Vorbereitung, den Entwurf und die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen angegeben. Meinerseits werden die Arbeitsschritte durch die damit zum Teil verbundenen Probleme ergänzt. Nur eine Strukturierung und Systematisierung in diesem Arbeitsgebiet kann zu einem einheitlichen Vorgehen bei der Planung von Sanierungsmaßnahmen führen. Die drei Arbeitsschritte sind:

#### *2.1.2.1 1. Feststellen und Beurteilung des Istzustandes*

Es existiert kein einheitliches System zur Untersuchung und Beurteilung der vorhandenen Kanalnetzstruktur. Aufwendige Inspektionen erlauben nur eine allmähliche Erfassung und Bewertung. Kanaldatenbanken zur automatisierten Verwaltung von Daten eines Kanalnetzes sind inzwischen Standard, um Inspektionsergebnisse dokumentieren zu können.<sup>4</sup>

Die Auswertung der Daten schafft die Grundlage für eine effiziente Beseitigung der Schäden. Jedoch fehlt es noch an einer allgemein verbindlichen Zustandsbewertung.

#### *2.1.2.2 2. Erarbeiten und Beurteilen ganzheitlicher Lösungen*

Bauliche, hydraulische und umweltrelevante Lösungen sind in das Gesamtsanierungskonzept einzubringen. Als Schwerpunkt kann die bauliche Sanierung genannt werden.<sup>5</sup> Bei der Ermittlung der Gesamtkosten sind auch die indirekten Kosten zu berücksichtigen, wie z. B. Baulärm. Der Einsatz von Wirtschaftlichkeitsrechnungen reicht damit für eine umfassende Beurteilung möglicher Lösungen nicht aus. Gegebenenfalls ist auf Kosten-Nutzen-Untersuchungen zurückzugreifen. Für Rohrleitungsanlagen, die wassergefährdende Stoffe transportieren sollen, ist nach dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung §3 UVPG Anlage 2 eine solche durchzuführen.<sup>6</sup> Ein Sanierungsplan ist unter Beachtung des jährlich beschränkten Budgets aufzustellen.

---

<sup>4</sup> Vgl. Stein [Instandhaltung] 1998 S. 288ff.

<sup>5</sup> Vgl. Stein [Instandhaltung] 1998 S. 340.

<sup>6</sup> Es wird auf § 19a WHG verwiesen.

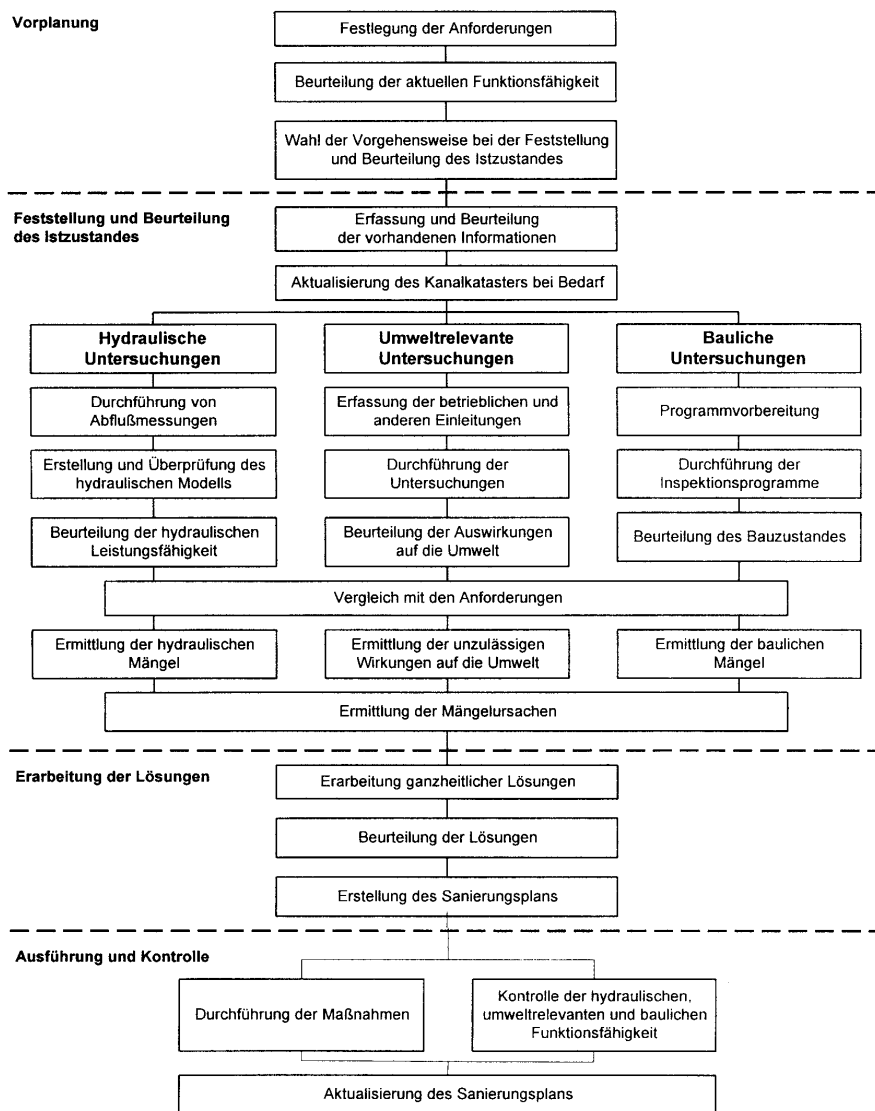


Bild 2.1 Ablaufdiagramm für die Sanierung von Entwässerungssystemen [DIN EN 752-5 1997 S. 4.]

### 2.1.2.3 3. Ausführung und Kontrolle

Die Sanierungsarbeiten sind auszuführen. Nach Durchführung der Sanierungsmaßnahmen ist das Netz auf die Funktionsfähigkeit zu überprüfen. Der Sanierungsplan ist dementsprechend zu überarbeiten. Zukünftig anstehende Inspektionen müssen eingeplant werden.

Während bei Stein<sup>7</sup> die Feststellung und Beurteilung des Istzustandes als Voraussetzung für die Erarbeitung, Ausführung und Kontrolle der Sanierungsmaßnahmen angesehen wird, möchte ich diesen Arbeitsschritt zum unmittelbaren Bestandteil von Sanierungsplanung werden lassen. Zwar sind Inspektionsergebnisse zwingend, um Sanierungsmaßnahmen gezielt einleiten zu können. Wenn aber ein umfassender Begriff für Sanierungsplanung definiert werden soll, muss die Zustandserfassung Bestandteil werden.

<sup>7</sup> Vgl. Stein [Instandhaltung] 1998 S. 339.

## 2.2 *Planung in der Betriebswirtschaftslehre*

Die Betriebswirtschaftslehre beschäftigt sich schon seit ihren Anfängen mit dem Gegenstand der Planung. Sie versteht Planung als einen systematischen, informationsverarbeitenden Prozess, "mit dem angestrebte Ziele, zu ihrer Erreichung geeignete Maßnahmen sowie der erforderliche Mitteleinsatz festgelegt und aufeinander abgestimmt werden."<sup>8</sup>

Die drei Arbeitsschritte der Sanierungsplanung lassen erkennen, dass es sich um ein komplexes Aufgabengebiet handelt. Unter komplexen Aufgaben sind solche zu verstehen, bei denen die Anzahl und Vielfalt von Einflussfaktoren sehr groß sind. Je umfangreicher und unstrukturierter Aufgaben in einer Unternehmung sind, desto weniger kann auf das Führungsinstrument Planung verzichtet werden.<sup>9</sup>

### 2.2.1 *Planungsprozess*

Wenn Planung die Möglichkeit bieten soll, rationale, in der Zukunft liegende Lösungen für komplexe Aufgaben zu erarbeiten, wird man schrittweise vorgehen müssen. In der Literatur werden häufig fünf Planungsphasen beschrieben, die in Bild 2.2 gezeigt werden. Diese sind für die Praxis auf jeden Planungsbereich übertragbar.

Ohne Zielbildung ist keine rationale Planung möglich. Sie dient als Handlungsorientierung, wobei Prioritäten gesetzt werden können. Entsprechend der Prioritäten können zum späteren Zeitpunkt Handlungsalternativen für Ziele geschaffen werden. Da meist mehrere Ziele erreicht werden sollen, ist ein Zielsystem zu bilden. Alle anstehenden Probleme müssen vom Planer erkannt werden, und es muss eine Problemstrukturierung stattfinden.

Die 5 Planungsphasen gliedern sich wie folgt:

- Zielbildung
- Problemfeststellung
- Alternativensuche
- Prognose
- Bewertung und Entscheidung

Bei der Alternativensuche sind verschiedene Lösungsmöglichkeiten für die Probleme aufzustellen. Die einzelnen Alternativen sind zu konkretisieren und auf ihre Zulässigkeit zu überprüfen. Bereits in dieser Planungsphase sollten alle nur möglichen Lösungen untersucht werden, da dies zu einem späteren Zeitpunkt nur sehr schwer möglich ist. Es sind alle möglichen Umweltzustände der Zukunft in die Prognose über die Wirkungen der einzelnen Alternativen einzubeziehen. Für eine Bewertung und Entscheidung müssen Kriterien festgelegt werden, an denen die Handlungsalternativen beurteilt werden können. Man wird dann Entscheidungen zugunsten oder gegen bestimmte Handlungsalternativen fällen können.

---

<sup>8</sup> Vgl. Tragsdorf [Vorlesung] 1998.

<sup>9</sup> Vgl. Gablers Wirtschaftslexikon 1988 Bd. 6 S. 2135; Bea/Dichtl/Schweitzer [Führung] 1993 S.19f.

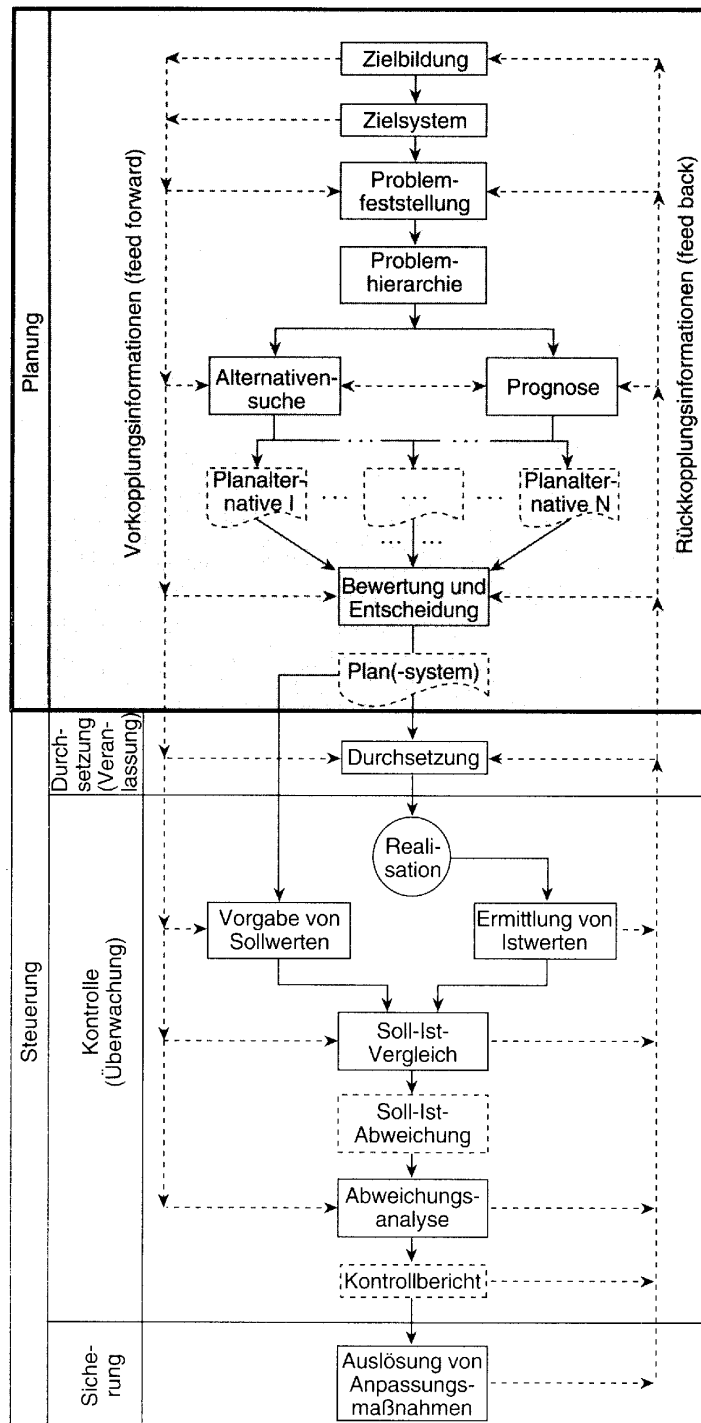


Bild 2.2 Stellung der Planung im Planungs- und Steuerungsprozess des Unternehmens nach Bea/Dichtl/Schweitzer [Führung] 1993 S. 26.]

## 2.2.2 Planungssystem

Im Unternehmen findet Planung in verschiedenen Teilbereichen statt. Dabei können verschiedenste Planungsarten die einzelnen Teilplanungen charakterisieren. Das Gefüge verschiedener Teilplanungen wird in einem Planungssystem institutionalisiert.

Abgrenzungskriterium	Typen
Planungsebene	Gesamtunternehmensplanung Teilbereichsplanung
Funktionsbereiche	Finanzplanung Investitionsplanung Personalplanung Absatzplanung
Bezugszeitraum	langfristige Planung (> 5 Jahre) mittelfristige Planung (1 bis 5 Jahre) kurzfristige Planung (≤ 1 Jahr)
Planungshierarchie	strategische Planung operative Planung

Tabelle 2.1 Auszug möglicher Planungsarten in einem Planungssystem [Eigene Darstellung]

Planungssysteme erfüllen Funktionen wie etwa die Risikoerkennung, die Komplexitätsverringern und die Koordination. Welche Funktionen die Planung in einem Unternehmen tatsächlich erfüllt, hängt von dem jeweiligen Unternehmen selbst ab.

Merkmale von Planungsproblemen Planungsebene	Differenzierungsgrad (Aufgliederung in Teilpläne)	Präzision (Information über die zu erfassenden Größen)	Bezugszeitraum (Planungshorizont)
Strategisch Operativ ↓	wenig differenziert (Gesamtplan) stark differenziert (viele Teilpläne)	grobe Informationen über die Größen feine Informationen über die Größen	langfristig kurz- und mittelfristig

Tabelle 2.2 Kennzeichnung strategischer und operativer Planung [Eigene Darstellung in Anlehnung an Bea/Dichtl/Schweitzer [Führung] 1993 S. 35]

Häufig werden in der Literatur die Hierarchieebenen den Planungsarten nach dem Bezugszeitraum gleichgesetzt. Dabei wird der operativen Planung die kurz- bis mittelfristige Planung zugewiesen. Als strategische Planung wird die langfristige Planung angesehen. Der Bezugszeitraum ist jedoch nicht das einzige Merkmal, durch das die strategische und operative Planung gekennzeichnet werden. Auch der Differenzierungsgrad und die Präzision der verwendeten Informationen sind zu betrachten.<sup>10</sup>

Durch die strategische Planung wird grundsätzlich eine Art Orientierungsrahmen für zentrale Unternehmensentscheidungen gesetzt. Neben dem Erschließen von Erfolgspotentialen sind durch die strategische Planung auch schlechtstrukturierte Probleme zu bearbeiten.

Die operative Planung hingegen stellt darauf ab, eine konkrete Orientierung für das tägliche Handeln zu gewinnen, unter Berücksichtigung strategisch gesetzter Ziele.<sup>11</sup>

<sup>10</sup> Vgl. Bea/Dichtl/Schweitzer: [Führung] 1993 S. 35.

<sup>11</sup> Vgl. Macharzina [Unternehmensführung] 1995 S. 147.

Alle Maßnahmen, die für die gesetzte Unternehmensstrategie kritisch sind, sollten durch strategische Planung erfasst werden, alle nicht-strategiekritischen Maßnahmen sind Gegenstand der operativen Planung.<sup>12</sup>

## 2.3 Sanierungsplanung

Wie schon angedeutet, findet man in der Literatur kaum Definitionen, die für Sanierungsplanung eine inhaltliche Abgrenzung vornehmen. Als Ziel einer Generellen Sanierungsplanung soll bei Milojevic/Jacobi/Symphher eine technisch und wirtschaftlich optimale Konzeption zur Sanierung eines Kanalnetzes erarbeitet werden. Die Autoren nennen im weiteren die Vorplanung, das Erfassen und Beurteilen des Istzustandes und die Erarbeitung von Lösungen als Arbeitsinhalt.<sup>13</sup>

Für das Verständnis meiner Arbeit soll nachfolgende Definition eingeführt werden.

Sanierungsplanung ist ein Prozess, der nach einer Zustandserfassung und -bewertung Handlungsalternativen für die Gegenwart und für die Zukunft zur Behebung von Mängeln und Schäden an Entwässerungssystemen konzipieren soll, mit dem Ziel eine Optimalvariante bezüglich technischen Anforderungen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu finden.

Diese Handlungsalternativen sind zum einen durch die verschiedenen möglichen Sanierungsalternativen<sup>14</sup> vorgegeben. Es können mehrere Sanierungsalternativen zur Schadensbehebung an einer Haltung geeignet erscheinen. In einem iterativen Prozess sind bauliche Lösungen monetär durch eine Wirtschaftlichkeitsrechnung zu bewerten. Der Verzicht auf die baulich im betriebswirtschaftlichen Sinne kostengünstigste Sanierungsalternative kann aufgrund hydraulischer und umweltrelevanter Erfordernisse notwendig werden. Genauso können die bereits angesprochenen indirekten Kosten, z.B. für Lärm, die Wahl einer kostenmäßig ungünstigeren Sanierungsalternative bewirken. Prinzipiell gilt, dass die Entscheidung für eine wirtschaftliche Lösung wichtig ist, aber das Ziel nicht in jedem Fall die monetär niedrigsten Kosten sind. Vielmehr hat eine Prüfung zu erfolgen, ob die monetär höheren Kosten auch einem höheren Nutzen, der auch nicht-monetärer Art sein kann, gerecht werden. Dabei soll auf die Möglichkeit der Durchführung von Kosten-Nutzen-Untersuchungen<sup>15</sup> im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsanalysen hingewiesen werden. Diese Problematik wird nicht Gegenstand meiner Arbeit sein. Die Betrachtung und Aufzeigung von Vor- und Nachteilen kann im Rahmen nachgestellter Arbeiten erfolgen.<sup>16</sup> In Kapitel 7 wird die Wirtschaftlichkeitsrechnung eine Rolle spielen, weil ihr Inhalt und Ablauf für diese Arbeit große Wichtigkeit besitzt.

Weiterhin sind Handlungsalternativen darin zu sehen, dass Sanierungsplanung als ein Teil der strategischen Unternehmensplanung verstanden werden muss. Ihr fällt die Aufgabe zu, den langfristig erforderlichen Sanierungsbedarf und damit verbundene Investitionen abzuschätzen.

Die in der Sanierungsplanung zu treffenden Entscheidungen sind weitreichend für ein Abwasserunternehmen. Nachfolgend soll die unmittelbare Beziehung der Sanierungsplanung zu anderen Teilbereichen des Unternehmens verdeutlicht werden.

---

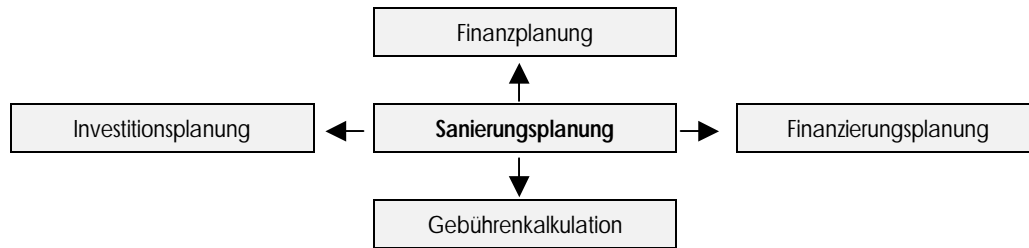
<sup>12</sup> Vgl. Macharzina [Unternehmensführung] 1995 S. 253.

<sup>13</sup> Vgl. Milojevic/Jacobi/Symphher [Generelle Sanierungsplanung] 1999 S. 194.

<sup>14</sup> Es wird auf Kapitel 5.1 und 9.2.3 verwiesen.

<sup>15</sup> Hierzu Fraunhofer Gesellschaft [Kosten-Nutzen-Analyse] 1992.

<sup>16</sup> Ergebnis eines Gespräches mit Herrn Prof. Dr. T. Lenk am 13.08.1999.



*Bild 2.3 Auswirkungen der Sanierungsplanung [Eigene Darstellung.]*

Es bestehen zwischen diesen Teilbereichen auch Interdependenzen, die nicht dargestellt, aber erklärt werden. So ist die Investitionsplanung für ein Unternehmen von elementarer strategischer Bedeutung. Sie beeinflusst die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens und bestimmt sie in starkem Maße.<sup>17</sup> Die Investitionsplanung ist verantwortlich für die Planung von Errichtungs-, Ersatz-, Erweiterungs- und Rationalisierungsinvestitionen. Bei einem Neubau werden Errichtungsinvestitionen maßgebend. Um eine Ersatzinvestition handelt es sich, wenn eine vorhandene Anlage durch eine neue, gleichwertige Anlage ersetzt wird. Bei einer Rationalisierungsinvestition erwartet man von der neuen Anlage eine größere Wirtschaftlichkeit als von der alten Anlage.<sup>18</sup> Erweiterungsinvestitionen sind mit der Erhöhung der technischen Kapazität einer Anlage verbunden. Abwasserunternehmen sind vielfach kommunal geführt, jüngste Bestrebungen gehen in Richtung der Privatisierung.<sup>19</sup> In beiden Fällen stellen Fehlinvestitionen eine Belastung für das Unternehmen dar und sind nur schwer revidierbar.

In enger Beziehung dazu steht die Finanzplanung, deren Aufgabe es ist, die jederzeitige Zahlungsfähigkeit eines Unternehmens zu sichern. Durch eine Gegenüberstellung zukünftig erwarteter Ein- und Auszahlungen soll die Liquidität des Unternehmens in einem kurzfristigen Finanzplan abgesichert werden.<sup>20</sup> Als Einzahlungen sind die in der Kostenrechnung kalkulierten Abwassergebühren und -beiträge zu berücksichtigen. Auszahlungen für die Sanierungsplanung stellen u. a. die für die Sanierung des Abwassernetzes benötigten Investitionen dar.

Der mittelfristige Finanzplan beinhaltet die finanziellen Auswirkungen des geplanten Investitionsprogramms über einen Planungshorizont bis zu 5 Jahren. Aus ihm kann auch die Struktur der im Unternehmen gebundenen Mittel und der Art der Finanzierung ersehen werden. Im langfristigen Finanzplan, der strategischen Charakter hat, wird ein Planungshorizont von 5 bis 15 Jahren antizipiert.<sup>21</sup>

Eine Finanzierungsplanung beschafft und stellt das für eine geplante Investition erforderliche Kapital bereit und sichert damit die Investition ab. Verschiedene Finanzierungsformen sind der Abbildung 2.4 zu entnehmen. Diese sind vor dem Hintergrund noch anderer möglicher, für öffentliche Unternehmen zur Verfügung stehender Finanzierungsquellen, wie staatliche Investitionszuschüsse, zu sehen. Da sich Privatisierungstendenzen im Abwasserbereich abzeichnen, soll ein Überblick über die bei privatwirtschaftlichen Unternehmen gängigen Finanzierungsarten gegeben werden.

<sup>17</sup> Vgl. Heinhold [Investitionsrechnung] 1996 S. 9.

<sup>18</sup> Vgl. Pflaumer [Investitionsrechnung] 1992 S. 2.

<sup>19</sup> Hierzu Beckereit [Effizienz durch Privatisierung] 1999.

<sup>20</sup> Vgl. Gerke/Bank [Finanzierung] 1998 S. 411.

<sup>21</sup> Vgl. Gerke/Bank [Finanzierung] 1998 S. 412.

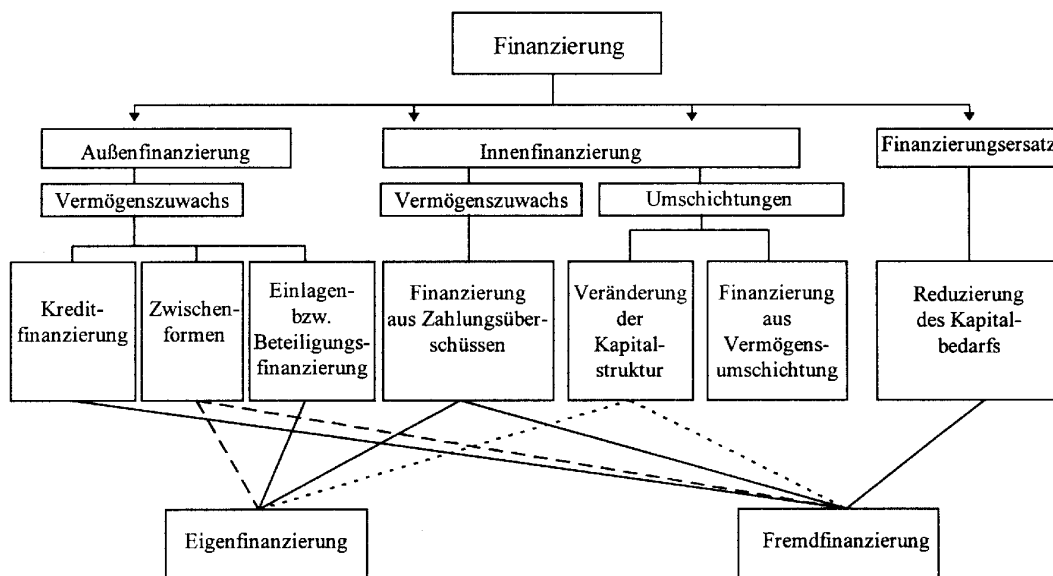


Bild 2.4 Finanzierungsformen

Quelle: Gerke/Bank [Finanzierung] 1998 S. 252.

Gemeinsam sind allen Investitionsentscheidungen nachstehende Einschränkungen:<sup>22</sup>

- Es werden nicht alle Wechselwirkungen zwischen Finanzierungs- und Investitionsplanung und anderen Teilbereichen bedacht.
- Steuerliche Aspekte, die eine Investitionsplanung beeinflussen, werden nicht immer berücksichtigt.
- Die in die Investitionsrechnung<sup>23</sup> einfließenden Informationen werden zumeist als sicher unterstellt, was aber nicht der Wirklichkeit entsprechen muss.

Als Anforderung an jede Unternehmung steht somit eine integrierte Gesamtplanung. Man spricht auch von der Simultanität der Planung. Das heißt, die einzelnen Teilplanungen der Funktionsbereiche (Abteilungen usw.) sind zu bündeln und aufeinander abzustimmen. Dadurch wird gewährleistet, dass in einem Teilbereich eintretende Änderungen in allen anderen Teilbereichen Berücksichtigung finden.

Ein vertretbares Sanierungskonzept muss in Abstimmung mit der Investitions- und Finanzplanung erfolgen. Im Laufe der Arbeit wird deswegen an mehreren Stellen auf dieses die Sanierungsplanung tangierende Fachgebiet verwiesen.

<sup>22</sup> Dettmer [Finanzmanagement] 1998 S. 31.

<sup>23</sup> Es wird auf Kapitel 7 verwiesen.

### **3 ZUSTANDSERFASSUNG UND -BEWERTUNG**

Jede Planung setzt Informationen voraus und schafft ihrerseits Informationen.<sup>24</sup> Eine erste Aufgabe der Sanierungsplanung muss deshalb die Erfassung "aller verfügbaren relevanten Informationen eines Entwässerungssystems" sein.<sup>25</sup> Für die Beschreibung funktionaler und technischer Zustände ist neben hydraulischen und umweltrelevanten Untersuchungen eine aussagekräftige Aufzeichnung der am Kanalnetz vorhandenen baulichen Schäden durch Kanalvideoinspektion oder Begehung erforderlich. Es bestehen zwei generelle Möglichkeiten, den Bauzustand eines Kanalnetzes durch Inspektionen zu erfassen. Entweder werden alle im Kanalnetz vorhandenen Haltungen untersucht oder aber nur ein Teil der Haltungen des Kanalnetzes wird durch eine Auswahl auf Grundlage der Stichprobentheorie inspiziert und die gewonnenen Ergebnisse werden hochgerechnet. Beide Inspektionsarten werden seit 1997 durch die DIN EN 752 Teil 5 vorgesehen. Das Merkblatt ATV-M 143 Teil 2 enthält ein Kürzelsystem, um eine digitale einheitliche Erfassung aller baulichen Mängel zu gewährleisten.

#### **3.1 Flächendeckende Inspektion**

Werden alle Haltungen eines Kanalnetzes in Bezug auf vorliegende Schäden nach und nach untersucht, handelt es sich um eine flächendeckende Inspektion. In der Statistik spricht man von einer Totalerhebung, wenn alle Einheiten der statistischen Masse untersucht werden.<sup>26</sup> In den Eigenkontrollverordnungen einiger Bundesländer werden Intervalle angegeben, in denen flächendeckende Inspektionen zu erfolgen haben. Die Durchführung flächendeckender Inspektionen ist leicht zu überwachen.<sup>27</sup> Fehler können dennoch auftreten, wenn bei der Erfassung der Schäden keine systematische Durchführung und Dokumentation erfolgen oder man die Notwendigkeit einer umfassenden Datenpflege auf EDV-Ebene unterschätzt. Als sofort erkennbare Nachteile einer flächendeckenden Inspektion sind die höheren Kosten und Zeiten für die Erhebung selbst als auch für die Auswertung des Datenmaterials zu nennen.

Die Inspektionsleistungen für eine TV-Untersuchung liegen unter praktischen Verhältnissen bei durchschnittlich 150 m und 400 m am Tag, je nachdem ob im Zuge der Inspektionen eine Reinigung mit erfolgt oder nicht.<sup>28</sup> Eine Unterscheidung der Inspektionsleistung ist u. a. auch davon abhängig, ob neben der eigentlichen TV-Untersuchung eine gleichzeitige digitale Bestandserfassung erfolgt. Angenommen es würden pro Tag durchschnittlich 200 m Kanallänge mit Videokamera abgefahren werden können, entspricht das bei unterstellten 200 Arbeitstagen im Jahr einer Jahresinspektionsleistung von 40 km. Anlagen der materiellen Infrastruktur altern langsam und versagen nicht abrupt.<sup>29</sup> Für Kanalnetze mit kleinerer Ausdehnung kann nach einigen wenigen Jahren ein guter Überblick über den Zustand des Kanalnetzes vorliegen, wenn man davon ausgeht, dass die zu Beginn einer Untersuchung erfassten Daten innerhalb der ersten Jahre kaum an

---

<sup>24</sup> Vgl. Adam [Planung] 1996 S. 35.

<sup>25</sup> Vgl. DIN EN 752-5 [Teil 5] 1996 S. 5.

<sup>26</sup> Vgl. Hochstädter [Statistische Methodenlehre] 1991 S. 22.

<sup>27</sup> Vgl. Hochstrate/Jansen/Schönborn [Qualitätsprüfung] 1997 im Internet [AQUA] 1999.

<sup>28</sup> Gespräch mit Herrn Dipl.-Ing. Gehrmann (BWB) am 09.08.1999.

<sup>29</sup> Vgl. Herz [Alterung] 1995 S. 77.

Aussagekraft verlieren. Bei größeren Kanalnetzen ist das anders. Inspektionsergebnisse sind, aufgrund der ständigen Zustandsverschlechterung des Netzes, nach fünf bis zehn Jahren veraltet.<sup>30</sup> (siehe auch Kapitel 4) Dies kann zu einer Vermischung von veralteten und aktuellen Zustandsdaten führen. Repräsentative Aussagen über den Gesamtzustand des Netzes sind dann nicht möglich.

### *3.2 Selektive Inspektion*

Bezogen auf die Zustandserfassung von Kanalnetzen wird der Begriff der selektiven Inspektion verwendet, wenn man nur Teile eines Gesamtnetzes erfassen will. Die selektive Inspektion wird seit dem Inkrafttreten der DIN EN 752 im Jahr 1997 in Deutschland als Stand der Technik anerkannt. Entgegen anderen europäischen Ländern wurde diese aber bisher kaum zur Zustandserfassung eingesetzt.<sup>31</sup>

Mit Hilfe der Statistik können Teilmengen aus der Grundgesamtheit ausgewählt werden, um ein repräsentatives Ergebnis bezüglich der interessierenden Untersuchungsmerkmale aus der Grundgesamtheit zu erhalten. Das Ergebnis wird dann repräsentativ sein, wenn eine Stichprobenerhebung konsequent nach statistischen wissenschaftlichen Erfordernissen durchgeführt wird. Auch nur dann kann die Kosten- und Zeitersparnis als ein wirklicher Vorteil der selektiven Inspektion angesehen werden. Bei unsachgemäßer Durchführung solcher statistischen Teilerhebungen entsteht dem Kanalnetzbetreiber ein verzerrtes und unrealistisches Bild vom Zustand seines Kanalnetzes. Plötzliche Ausfälle von Netzteilen können die Folge sein.

Derzeit existieren noch keine Regeln für die Qualitätskontrolle selektiver Inspektionen.<sup>32</sup> Eine Erstinspektion eines Netzes soll zunächst in jedem Fall flächendeckend erfolgen.<sup>33</sup> Der Kanalnetzbetreiber erhält durch flächendeckende Inspektionen eine Übersicht über die Schadensverteilung im Netz. Wiederholungsinspektionen können dann selektiv erfolgen.<sup>34</sup>

### *3.3 Stichprobenerhebungen*

#### *3.3.1 Auswahlverfahren*

Das anzuwendende Auswahlverfahren ist vom jeweiligen Untersuchungsziel abhängig. Es werden in der Literatur überwiegend zwei Möglichkeiten der Auswahl genannt, das Prinzip der Zufallsauswahl und das Prinzip der bewussten Auswahl. Beim Prinzip der Zufallsauswahl besitzt jede Einheit die gleiche Chance, in die Stichprobe zu gelangen. Der Fehler, der durch die Beschränkung auf einen Teil der Grundgesamtheit entsteht, ist durch die Wahrscheinlichkeitsrechnung und die mathematische Statistik berechenbar.<sup>35</sup>

---

<sup>30</sup> Vgl. Hochstrate/Jansen/Schönborn [Qualitätsprüfung] 1997 im Internet [AQUA] 1999.

<sup>31</sup> Vgl. Hartwig/Krug [Selektive Kanalinspektion] 1998 S. 1484.

<sup>32</sup> Vgl. Hochstrate/Jansen/Schönborn [Qualitätsprüfung] 1997 im Internet [AQUA] 1999.

<sup>33</sup> Vgl. Stein [Instandhaltung] 1998 S. 744.

<sup>34</sup> Es wird auf Kapitel 9.3 verwiesen.

<sup>35</sup> Vgl. Hochstädter [Statistische Methodenlehre] 1991 S. 338f.

Das Prinzip der bewussten Auswahl findet dann Anwendung, wenn Vorkenntnisse über die Zusammensetzung einer Grundgesamtheit bekannt sind. Nicht zufällige Kriterien spielen für die Auswahl der Stichproben eine Rolle, sondern es erfolgt eine gezielte Bestimmung dieser.

Beim Entschluss zu einer selektiven Inspektion wird für die Kanalnetzuntersuchung auf die zufällige Auswahl zurückgegriffen werden müssen, um repräsentative Ergebnisse zu erhalten und gegebenenfalls Fehler berechnen zu können. Der Stichprobenumfang hat immer eine Mindestgröße. Damit wird gewährleistet, dass man von der Stichprobe auf die Grundgesamtheit schließen kann.<sup>36</sup>

### 3.3.2 *Geschichtetes Stichprobenverfahren*

Eine einfache Stichprobenerhebung, wo jede Einheit die gleiche Chance besitzt, als Stichprobe ausgewählt zu werden, ist dann angemessen, wenn die Grundgesamtheit homogen ist. Da bei einer Kanalnetzuntersuchung davon auszugehen ist, dass eine inhomogene Grundgesamtheit hinsichtlich der interessierenden Merkmale wie Alter, Zustand und Anzahl der Schäden vorliegt, kann diese in homogenere Schichten aufgeteilt werden. Die Grundgesamtheit wird also in Schichten geteilt, die bezüglich der Untersuchungsmerkmale die geringste Streuung aufweisen.<sup>37</sup>

"Es kann nämlich nachgewiesen werden, dass diese geschichtete Stichprobenerhebung wesentlich bessere Ergebnisse liefert als eine reine Zufallsauswahl."<sup>38</sup>

Die Schichten sollen also möglichst in sich homogen sein, aber untereinander bezüglich des zu untersuchenden Merkmals heterogen. Eine vorgegebene Genauigkeitsanforderung kann schon mit einem kleinerem Stichprobenumfang erfüllt werden.<sup>39</sup> Einfache Zufallsstichproben sind dann jeweils aus den Schichten zu ziehen.<sup>40</sup> Für die Bestimmung der Auswahlätze und damit des Stichprobenumfangs sei an dieser Stelle der Arbeit auf die einschlägige Literatur verwiesen.<sup>41</sup>

### 3.3.3 *Klumpenstichprobe*

Die praktische Umsetzbarkeit einer Teilerhebung wird durch die Klumpenstichprobe gegenüber dem einfachen und geschichteten Stichprobenverfahren erhöht.

Aus der Grundgesamtheit werden zufällig einzelne Klumpen ausgewählt. Innerhalb eines Klumpens werden alle Merkmalsträger inspiziert. Ein Klumpen sollte anders als bei der geschichteten Stichprobe nicht aus homogenen Merkmalsträgern bestehen.<sup>42</sup> Praktischerweise sind die einzelnen Klumpen in sich bezüglich des Untersuchungsmerkmals inhomogen, spiegeln also eine Vielfalt an Merkmalsausprägungen wieder. Jede Untersuchungseinheit darf nur einem Klumpen angehören. Bei der Klumpenauswahl tritt ein größerer Zufallsfehler auf als bei der einfachen und geschichteten

---

<sup>36</sup> Vgl. Bücken [Statistik] 1997 S. 26.

<sup>37</sup> Vgl. Hochstädter [Statistische Methodenlehre] 1991 S. 346.

<sup>38</sup> Vgl. Hochstädter [Statistische Methodenlehre] 1991 S. 344.

<sup>39</sup> Vgl. Herz [Angewandte Statistik] 1992 S. 123.

<sup>40</sup> Vgl. Bohley [Statistik] 1996 S. 5.

<sup>41</sup> Bohley [Statistik] 1996; Herz [Angewandte Statistik] 1992; Hochstädter [Statistische Methodenlehre] 1991.

<sup>42</sup> Vgl. Bohley [Statistik] 1996 S. 505.

Zufallsstichprobe.<sup>43</sup> Dies ist zu beachten, wenn Ergebnisse einer Klumpenstichprobe weitere Verwendung z.B. für eine Hochrechnung finden sollen.

### 3.4 *Schätztheorie*

Ausgehend von den Ergebnissen, die aus einer Stichprobenerhebung für die ausgewählten Teilelemente gewonnen werden können, ist das Ziel, Aussagen über die Grundgesamtheit treffen zu können. Schätzungen müssen durchgeführt werden und sind durch die Wahrscheinlichkeitsrechnung zu sichern. Jede Schätzung ist mit Fehlern behaftet, jedoch können diese durch eine Vergrößerung des Stichprobenumfangs verringert werden.<sup>44</sup>

Bei der Punktschätzung wird eine möglichst genaue Schätzung für den unbekannt Parameter der Grundgesamtheit verfolgt. Aus einer Reihe von Schätzfunktionen wird unter Beachtung verschiedener Kriterien diejenige ausgewählt, die den besten Schätzwert liefert. Um noch zusätzlich die Wahrscheinlichkeit zu kennen, mit der der Schätzwert in der Nähe des exakten Parameterwerts liegt, muss eine Intervallschätzung durchgeführt werden.<sup>45</sup> Eine Schätzung, auch Hochrechnung genannt, kann für geschichtete Stichproben unter Umständen schwierig sein.<sup>46</sup>

### 3.5 *Zustandsklassifizierung und -bewertung*

In erster Linie verhindern Budgetbeschränkungen der Abwasserunternehmen eine sofortige und gleichzeitige Behebung aller Schäden. Dies ist aber auch aus personellen Kapazitätsgründen weder sinnvoll noch möglich.

Die Inspektionsergebnisse müssen so aufbereitet werden, dass sich daraus ein prioritätsorientierter Handlungsbedarf für die Sanierungsplanung ergibt. Hierzu muss jeder Einzelschaden klassifiziert und jede Haltung mit den Einzelschäden bewertet werden, wobei unter Bewertung das Festlegen von Sanierungsprioritäten für die einzelnen Haltungen verstanden werden soll.

Verwendete Klassifizierungs- und Bewertungsmodelle sollten gemäß DIN EN 752 Teil 5 hydraulische, umweltrelevante und bauliche Aspekte einbeziehen.<sup>47</sup> Das Ergebnis bildet die Prioritätenliste, die eine mögliche Reihenfolge für die Sanierung der Haltungen angibt.

Stein schlägt u.a. vor, in die praktische Sanierungsreihenfolge auch anstehende Baumaßnahmen anderer Leistungsträger einzubeziehen.<sup>48</sup> Es liegt in der Verantwortung und im Ermessen der zuständigen Ingenieure, Sanierungsmaßnahmen hinauszuzögern. Als Grundsatz gilt, dass das Wohl der Allgemeinheit zu keiner Zeit gefährdet werden darf.<sup>49</sup> So kann die Reihenfolge der Sanierung eines eingestürzten Schachtes nicht verändert werden, da es sich um einen akuten Schaden handelt. Eine leichte Deformation an einem Rohr kann aufgeschoben werden, wenn nicht mit einer Umweltgefährdung zu rechnen ist.

---

<sup>43</sup> Vgl. Herz [Angewandte Statistik] 1992 S.98.

<sup>44</sup> Vgl. Hochstädter [Statistische Methodenlehre] 1991 S.509.

<sup>45</sup> Vgl. Hochstädter [Statistische Methodenlehre] 1991 S. 510.

<sup>46</sup> Vgl. Herz [Angewandte Statistik] 1992 S. 104.

<sup>47</sup> Vgl. Stein [Instandhaltung] 1998 S. 297.

<sup>48</sup> Vgl. Stein [Instandhaltung] 1998 S. 299.

<sup>49</sup> Wasserhaushaltsgesetz [WHG] 1996 §18a Abs.1 S.1.

Betriebswirtschaftlich betrachtet, kann eine spätere Sanierung effektiv sein, da erst später benötigte Finanzmittel sich positiv auf einen niedrigeren Projektkostenbarwert auswirken.

Ein einheitliches Bewertungssystem existiert derzeit nicht. Auch werden unterschiedliche Begrifflichkeiten verwendet. Bisher werden bei den Bewertungsmodellen die Haltungen in Zustandsklassen eingeordnet, die keine Aussagen über die einzuplanenden Sanierungskosten und über die Restnutzungsdauer der Haltungen zulassen. Lediglich die Dringlichkeit von Sanierungsmaßnahmen wird damit aufgezeigt.

Eine substanzwertorientierte Zustandsklassifizierung soll ermöglichen, dass aus den Zustandsklassen unmittelbar Rückschlüsse auf Sanierungskosten und die Restnutzungsdauer einer Haltung möglich sind.<sup>50</sup> Dazu sei auf das Kapitel 9.3 verwiesen. Nachstehend sei die Zustandsklassifizierungs- und -bewertung des Merkblattes ATV-M 149 und der Berliner Wasserbetriebe kurz skizziert.

### *3.5.1 Zustandsklassifizierungs- und -bewertung nach ATV-M 149*

Im April 1999 wurde von der Abwassertechnischen Vereinigung e. V. eine überarbeitete Fassung des Merkblattes ATV-M 149 "Zustandserfassung, -klassifizierung und -bewertung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden" herausgegeben.<sup>51</sup> Ein erster Entwurf sah dieses Merkblatt als Arbeitsblatt ATV-A 149 vor. Der Unterschied besteht darin, dass Arbeitsblätter Verfahren beschreiben, die allgemein anerkannt sind.<sup>52</sup> Die in Merkblättern beschriebenen Verfahren erfüllen diese Voraussetzungen für eine Anerkennung in einem Arbeitsblatt noch nicht. Daran lässt sich erkennen, dass der Inhalt des ATV-M 149 wie bisher nur als Empfehlung dienen kann.

Im Anhang des Merkblattes wird ein Bewertungsmodell beispielhaft demonstriert. Nach diesem Merkblatt sind das Schadensbild und das Schadensausmaß für die vorläufige bauliche und betriebliche Zustandsklassifizierung eines Schadens durch einen qualifizierten Inspekteur heranzuziehen.

Die Zustandsklasse eines Einzelschadens wird in diesem Modell überwiegend durch den größten Einzelschaden bestimmt. In einer endgültigen Zustandsklassifizierung durch einen Ingenieur kann eine höhere Zustandsklasse für die Einordnung des Schadens gewählt werden, allerdings nur in "definierten Ausnahmefällen, z. B. bei einer bestimmten Häufung von Schäden gleicher Schwere"<sup>53</sup>.

Die Zustandsklasse 0 bedeutet sofortiger Handlungsbedarf, die Zustandsklasse 4 weist darauf hin, dass kein Handlungsbedarf besteht.

Bei der Zuordnung einer Zustandsklasse zu der jeweiligen Bewertungseinheit (Schacht, Haltung, Bauwerk) sollen neben dem größten Einzelschaden auch die Häufigkeit und das Ausmaß weiterer Schäden sowie die Längenausdehnung der Einzelschäden berücksichtigt werden. Explizite Angaben, wie Schadenslängen und ihre Streckenausdehnung zu behandeln sind, fehlen.

Bewertungsfaktoren für die hydraulischen Verhältnisse und die Abwasserbeschaffenheit sollen in die abschließende Zustandsbewertung der Haltungen eingehen. Vorhandene Wasserschutzgebiete können berücksichtigt werden.

---

<sup>50</sup> Vgl. Stein [Instandhaltung] 1998 S. 338.

<sup>51</sup> ATV M-149 (1999).

<sup>52</sup> Vgl. ATV-A 400.

<sup>53</sup> Vgl. ATV-M 149 (1999) S. 17.

Das Klassifizierungs- und Bewertungsmodell nach dem Merkblatt ATV-M 149 ermöglicht die Einbeziehung vieler Faktoren für die Erstellung einer Prioritätenliste. Eine einheitliche und einfache praktische Handhabung ermöglicht es jedoch nicht.

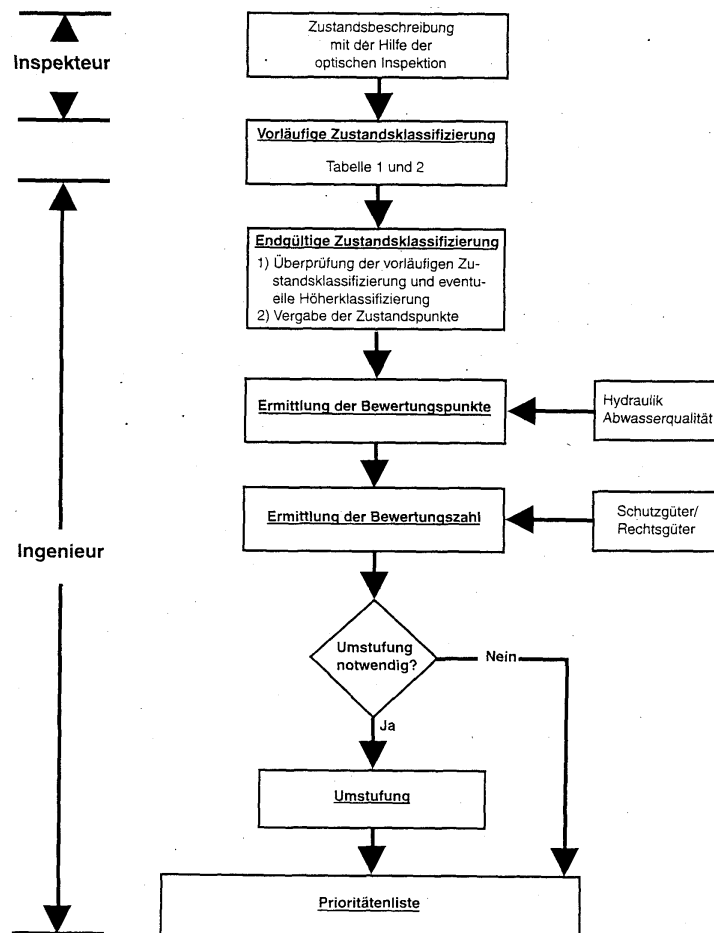


Bild 3.1 Zustandsklassifizierung und -bewertung nach dem ATV-M 149 [ATV-M 149 1999 S. 12.]

### 3.5.2 Schadensklassifizierung und Zustandsbewertung nach dem "Berliner Modell"

Als "Berliner Modell" wird die Schadensklassifizierung (im ATV-M 149 Zustandsklassifizierung) und Zustandsbewertung der Berliner Wasserbetriebe bezeichnet. Das Ergebnis der letzteren ist eine Prioritätenliste.

Dem Anhang 1 ist der Berliner Schadenskatalog<sup>54</sup> zu entnehmen, der umfangreiche Kriterien für die bauliche Klassifizierung der Schäden enthält. Den einzelnen Schäden werden entsprechend ihrer Schadensklassen Wichtungsfaktoren zugeteilt (Tabelle 3.1).

<sup>54</sup> Hierzu auch Stein [Instandhaltung] 1993.

Schadensklassen	Ausmaß des Schadens	Wichtungsfaktoren
Schadensklasse 1:	Sehr starker Schaden	7,5
Schadensklasse 2:	Starker Schaden	5
Schadensklasse 3	Mittlerer Schaden	3
Schadensklasse 4	Leichter Schaden	2
Schadensklasse 5	Kaum feststellbarer Schaden	1

*Tabelle 3.1 Schadensklassen mit Wichtungsfaktoren [Sawatzki [Klassifizierung] 1991 S. 1635.]*

Weiterhin wird das von den Kanälen ausgehende bauliche Gefährdungspotential durch verschiedene Bewertungsfaktoren berücksichtigt.

Gefährdungspotential	Bewertungsfaktor
Risse, sichtbarer Boden, Fremdwasserzulauf, herausfallende Scherben und Kanalklinker, fehlendes Mauerwerk, Einsturz	34
Lageabweichung, Abplatzungen, Korrosion, Fugenauswaschungen, Inkrustierung, Rohrverformung	22
Muffenfehler, Abflusshindernisse	12
Fehler an Abzweigen und Stützen	7

*Tabelle 3.2 Bewertungsfaktoren [Sawatzki [Klassifizierung] 1991 S. 1636.]*

Zustandsklassen	
Zustandsklasse 1: $\geq 255$	Umgehende Schadensbeseitigung
Zustandsklasse 2: $\geq 160$	Kurzfristige Schadensbeseitigung
Zustandsklasse 3: $\geq 100$	Mittelfristige Schadensbeseitigung
Zustandsklasse 4: $\geq 50$	Langfristige Schadensbeseitigung
Zustandsklasse 5: $> 0$	Schadensbeseitigung im Rahmen anderer Baumaßnahmen
Zustandsklasse 6: $= 0$	Keine Schäden

*Tabelle 3.3 Zustandsklassen [Sawatzki [Klassifizierung] 1991 S. 1637.]*

Im Fall der Zustandsbewertung einer Haltung der Berliner Wasserbetriebe, wie in Tabelle 3.3 abgebildet, wird bei der Ermittlung der Schadenspunktzahl eines Einzelschadens ein Streckenzuschlag eingerechnet. Diesem Vorgehen liegt die Systematik des Bewertungsschemas der BWB, wie in Anhang 2 aufgezeigt, zugrunde. Ein Streckenschaden kann zu einem Klassensprung bei der Zustandsbewertung einer Haltung führen. Großen Längenausdehnungen von Schäden wird damit das notwendige Augenmerk beigemessen. Dies stellt einen wesentlichen Unterschied zum Merkblatt ATV-M 149 dar.

## 4 ALTERUNG VON KANALNETZEN

### 4.1 Determinanten der Alterung

Eine Forderung der DIN EN 752 ist das Erreichen der Nutzungsdauer des Entwässerungssystems. Die Nutzungsdauer eines Kanalnetzes verändert sich im Zeitablauf durch den Prozess des Alterns. Dieser Alterungsprozess wird von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst, die aber zum Teil durch den Menschen gesteuert werden können. Bevor der Alterungsprozess selbst näher betrachtet werden soll, ist es notwendig, sich mit den steuerbaren Determinanten der Alterung auseinanderzusetzen.

Physische Alterung		Funktionale Alterung	
Steuerbar	Nicht steuerbar	Steuerbar	Nicht steuerbar
Material	Temperaturschwankungen Grundwasserschwankungen Erschütterungen Transportmengen Aggressivität der transportierten Stoffe und Böden	Flächennutzungsänderungen	
Bauart		Verändertes Benutzerverhalten	
Bauausführung			
Intensität der Unterhaltung und Inspektion			

Tabelle 4.1 Determinanten der Alterung [Eigene Darstellung in Anlehnung an Herz [Erneuerungsstrategien] 1987 S. 77f.]

Es existieren verschiedene Werkstoffe mit unterschiedlichen Eigenschaften. Somit hat schon beim Neubau eines Kanalnetzes die Auswahl der Werkstoffe entsprechend den jeweiligen Erfordernissen zu erfolgen. Steinzeugrohre weisen erfahrungsgemäß die größte Lebensdauer auf, da sie gegen aggressive Abwässer resistent sind. Dagegen dürfen Beton- und Faserzementrohre in Gebieten, wo mit stark verschmutzten Abwasser und hohen Fließgeschwindigkeiten (>8 m/s) zu rechnen ist, nicht eingesetzt werden.<sup>55</sup> Kunststoffrohre finden häufig bei Sanierungsmaßnahmen zum Auskleiden vorhandener beschädigter Rohre ihre Anwendung.<sup>56</sup>

Es werden oft nach Neuverlegung oder Sanierung auffällig viele Schäden an den Anlagen beobachtet. Die Ursache dafür sind Planungsfehler (z. B. falsche Werkstoffwahl, Nichtbeachtung der Rohrstatik) und Fehler bei der Bauausführung (z. B. fehlende oder ungeeignete Bettung der Rohrleitungen, unzureichende Verdichtung). Sind die anfänglichen Schäden erst einmal wieder ordnungsgemäß behoben, treten lange Zeit keine Störungen auf.

Eine hohe Qualität bei Planung und Ausführung kann die Schadensentstehung deutlich verringern.

Die Gütegemeinschaft "Herstellung und Instandhaltung von Entwässerungskanälen und -leitungen Güteschutz Kanalbau" ist 1988 aus dieser Tatsache heraus gegründet worden. Ihr Ziel ist die

<sup>55</sup> Vgl. Godehardt [Abwasserableitung] 1995 S. 461.

<sup>56</sup> Hierzu Stein [Instandhaltung] 1998 S. 504 ff.

Sicherung der Qualität des Kanalbaues und -betriebes durch Zertifizierung von Firmen mit einem Gütezeichen.<sup>57</sup> Auch erfolgen Prüfungen von Genehmigungs- und Ausführungsplanungen durch zuständige Baubehörden und Kontrollen beim Erstellen der Netze durch eine Bauüberwachung seitens der Bauleitung. Da dennoch hohe Schadenszahlen zu verzeichnen sind, liegt der Schluss nahe, dass ein ungenügender Feedback an Informationen bei den betroffenen Seiten vorliegt.

Das Entfernen von Ablagerungen und Hindernissen durch regelmäßige Reinigungen mittels geeigneter Verfahren (z. B. Schwallspülung und Hochdruckreinigung) ist in einem Betriebsplan entsprechend der DIN EN 752 Teil 7 vorzusehen. Die Einleitung aggressiver Stoffe in die Kanalisation wird durch verschiedene Vorschriften<sup>58</sup> auf Bundes- und Länderebene begrenzt.

Eine Steuerung der funktionalen Alterung kann erfolgen, wenn es um Einschätzungen und Prognosen zu erwartender Belastungen der Kanalnetze geht. Dabei spielt die Berücksichtigung von beabsichtigten Erschließungsmaßnahmen (z. B. durch Baurechtschaffung) oder Nutzungsänderungen (z. B. Projektentwicklungen) eine große Rolle.<sup>59</sup>

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass dem Altern eines Kanalnetzes nicht gänzlich entgegengewirkt werden kann. Durch umsichtiges Handeln aller Beteiligten bei der Planung, Umsetzung und Nutzung der Kanalanlagen kann aber im positiven Sinne zur Erreichung der Nutzungsdauer beigetragen werden.

## 4.2 *Nutzungsdauer*

Verschiedene Gründe führen zur Annahme unterschiedlicher Nutzungsdauern für technische Anlagen. In den für ein Abwasserunternehmen relevanten Vorschriften sind für Entwässerungssysteme unterschiedliche Bemerkungen hinsichtlich der Begriffsklärung und der Festsetzung von Nutzungsdauern zu finden.

Jahrelang nannte die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) werkstoffabhängige Nutzungsdauern. Die Vergangenheit hat gezeigt, dass für Rohrleitungen und andere Teile die Nutzungsdauer und damit die Restnutzungsdauer nicht eindeutig aufgrund des Materials bestimmt werden kann. Die bereits besprochenen Determinanten der Alterung wirken in unterschiedlicher Kombination auf die Anlagenteile ein. Die LAWA nennt deshalb seit einigen Jahren werkstoffunabhängige durchschnittliche Nutzungsdauern und gibt lediglich eine Bandbreite vor.

Im Arbeitsblatt A-133 "Erfassung, Bewertung und Fortschreibung des Vermögens kommunaler Entwässerungseinrichtungen" ist von der betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauer die Rede. Dabei ist mit betriebsgewöhnlicher Nutzungsdauer der Zeitraum gemeint, indem ein Kanal "mit einiger Sicherheit bei üblicher Nutzung für den Betrieb brauchbar sein dürfte."<sup>60</sup>

Die betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer im Voraus exakt zu bestimmen, ist nicht möglich. Sie kann jedoch unter Beachtung des in jedem Fall eintretenden technischen und natürlichen Verschleißes und einer möglichen wirtschaftlichen Entwertung für die Gesamtnutzung einer Anlage geschätzt werden.<sup>61</sup>

---

<sup>57</sup> Vgl. Stein [Instandhaltung] S. 343.

<sup>58</sup> Wasserhaushaltsgesetz [WHG] 1996 §19a, 19g; AllgemRahmenVwV [Mindestanforderungen] 1992, u.a.

<sup>59</sup> May [Projektentwicklung] 1998 S. 24f.

<sup>60</sup> Vgl. ATV-A 133 1996 S. 15.

<sup>61</sup> Vgl. ATV-A 133 1996 S. 15.

Art der Anlage	Nutzungsdauer in Jahren
Abwasserableitung	
Kanäle	50-80 (100)
Kanalisationsschächte	50
Druckrohr- und Dükerleitungen	28-50
Offene Gräben	20-33
Regenüberlaufbauwerke	
Regenbecken	(40) 50-70
Baulicher Teil	5-20
Maschineller Teil	
Pump- und Hebewerke	
Baulicher Teil	25-40
Maschineller Teil	14-20
Schneckenpumpen	8-12
Sonstige Pumpen	
Spezialfahrzeuge	7-10

*Tabelle 4.2 Durchschnittliche Nutzungsdauern nach LAWA [Eigene Darstellung nach LAWA 1993 Anlage 1 S. 53.]*

Die technische Nutzungsdauer ist erreicht, wenn nach wiederholt unternommenen Instandsetzungsmaßnahmen und bei eingeschränktem Gebrauch, eine Nutzung nicht mehr möglich ist.<sup>62</sup> In der Wertermittlungsrichtlinie WertR91 sind technisch mögliche Nutzungsdauern zu finden.<sup>63</sup>

Für den Ersatz einer technischen Anlage und damit dem Ende der technischen Nutzungsdauer sollten meist wirtschaftliche Kriterien ausschlaggebend sein. Ab einem gewissen Zeitpunkt ist es wirtschaftlicher, die alte Anlage durch eine neue Anlage zu ersetzen, die höhere Leistungen und niedrigere Instandhaltungskosten aufweist.<sup>64</sup> In der Regel liegt das Ende der wirtschaftlichen Nutzungsdauer vor dem Ende der technischen Nutzungsdauer.

Es ist daher sinnvoll, die betriebsgewöhnliche an der wirtschaftlichen Nutzungsdauer zu orientieren. Das Erreichen der technischen Nutzungsdauer kann nicht Ziel eines Abwasserunternehmens, das nach wirtschaftlichen Kriterien arbeitet.

Als Parameter für die Durchführung von Wirtschaftlichkeitsrechnungen<sup>65</sup> ist die betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer geeignet, die nach ATV-A 133 technische und wirtschaftliche Aspekte einschließt.

Die kalkulatorische Nutzungsdauer für die Gebührenkalkulation wird aufgrund betriebsspezifischer Besonderheiten angesetzt und kann auch gleich der betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauer sein. Der Abschreibungszeitraum sollte immer so gewählt werden, dass eine wirtschaftliche Nutzung der Anlage im Vordergrund steht und gewährleisten, dass das Abwasserunternehmen vom vorzeitigen Ausfall von Teilen der Anlage nicht überrascht wird. Wird fälschlicherweise eine zu lange Nutzungsdauer für die Abschreibung angenommen, kann es sein, dass diese Anlage bei ihrem

<sup>62</sup> Vgl. Herz [Erneuerungsstrategien] 1987 S. 78.

<sup>63</sup> Hierzu Simon [WertR91] 1997.

<sup>64</sup> Es wird auf Kapitel 9.2.9 verwiesen.

<sup>65</sup> Es wird auf Kapitel 7 verwiesen.

Versagen noch nicht voll abgeschrieben ist. Eine außerplanmäßige Abschreibung müsste vorgenommen werden, soll aber nach ATV-A 133 nur in Ausnahmefällen angewendet werden.<sup>66</sup>

Rechtliche Aspekte, wie im Handels- und Steuerrecht, können zu einer weiteren Verkürzung der anzusetzenden Nutzungsdauer führen.

### 4.3 *Modellierung der Netzalterung*

Um den Alterungsprozess von technischen Anlagen, insbesondere von Kanalnetzen zu beschreiben, bedient sich die Wissenschaft der Zuverlässigkeitstheorie.

"Die Zuverlässigkeitstheorie beschäftigt sich mit der Messung, Vorhersage, Erhaltung und Optimierung der Zuverlässigkeit technischer Systeme."<sup>67</sup>

Je nach Untersuchungsgegenstand erfolgt die Bewertung des Zuverlässigkeitsverhaltens auf Basis quantifizierbarer Zuverlässigkeitskenngößen, die statistische Eigenschaften von Zuverlässigkeitsmerkmalen abbilden.<sup>68</sup> Dass diese wissenschaftliche Disziplin noch relativ jung ist, sieht man daran, dass einen entscheidenden Beitrag zur Entwicklung dieser Theorie Moore/Shannon und Neumann mit ihren Arbeiten aus dem Jahr 1956 leisteten.<sup>69</sup>

Die Zuverlässigkeitstheorie ermöglicht u. a. die Modellierung des Ausfallverhaltens und der Abnutzung von technischen Anlagen. Alterungsprozesse können demnach mit verschiedenen mathematischen Wahrscheinlichkeitsverteilungen beschrieben werden. Speziell für Infrastrukturnetze wurde von Herz eine Verteilung entwickelt, die im folgenden vorgestellt wird. Bisher wurde die Verteilung nach Herz für Wasserrohrnetze angewendet. Dass eine Übertragung auf Kanalnetze möglich und sinnvoll ist, wird durch mich an dieser Stelle unterstellt. Eine Überprüfung dieser Hypothese bedarf gründlicher wissenschaftlicher Studien, entsprechend denen, wie sie für Wasserrohre von Herz und Trujillo durchgeführt wurden.<sup>70</sup>

#### 4.3.1 *Alterungsfunktionen*

Die Nutzungsdauer eines Kanals wird als statistische Zufallsgröße betrachtet, der eine Wahrscheinlichkeitsverteilung zugeordnet werden kann. Das Ergebnis einer Untersuchung verschiedener mathematischer Verteilungen für Alterungsprozesse, wie der Gleich- und Normalverteilung, der logarithmischen Normalverteilung, der Exponentialverteilung, der Weibullverteilung und der Herz-Verteilung durch Trujillo<sup>71</sup> zeigt, dass die Herz-Verteilung den Alterungsprozess von Infrastrukturelementen am realitätsnahsten abbildet. Sämtliche dafür notwendigen mathematischen Her- und Ableitungen sind in der Arbeit von Trujillo dargelegt. Die von ihm untersuchten Verteilungen sind im Anhang graphisch dargestellt und sollen kurz diskutiert werden.

---

<sup>66</sup> Vgl. ATA-A 133 1996 S. 16.

<sup>67</sup> Vgl. Beichelt [Instandhaltungstheorie] 1993.

<sup>68</sup> Vgl. Beichelt [Instandhaltungstheorie] 1993.

<sup>69</sup> Hierzu Moore, Shannon [Circuits] 1956 und Neumann [Logics] 1956.

<sup>70</sup> Hierzu Herz [Alterung] 1995 und Trujillo [Bedarfsprognose] 1995.

<sup>71</sup> Vgl. Trujillo [Bedarfsprognose] 1995 S. 32 f.

Alter	Überlebensfunktion		
	y	y'	y''
X			
0	1,0	0,0	0,0
Modalwert			0,0
$\infty$	0,0	0,0	0,0

Tabelle 4.3 Randbedingungen der Überlebensfunktion [Herz [Alterung] 1995 S.11.]

Ein mathematisch funktionaler Zusammenhang zwischen Überlebensfunktion, Lebensdauer- verteilung, Ausfallrate und Restlebenserwartung kann nachgewiesen werden.<sup>72</sup>

Trujillo geht bei seinen Untersuchungen davon aus, dass die Restlebenserwartung einer Haltung mit dem Alter abnimmt, nicht konstant bleibt oder ansteigt. Die Lebensdauer- verteilung muss eine wachsende Ausfallrate zur Folge haben. Als Resistenzzeit soll die Betriebsdauer von der Verlegung bis zum ersten Ausfall bzw. bis zur ersten Erneuerung gelten.

Bei der Gleich- und Normalverteilung erweist sich als nachteilig, dass die Ausfallraten von Infrastrukturelementen mit der Zeit bis ins Unendliche ständig zunehmen. Nach der logarithmischen Normalverteilung zeigt sich für die Restlebenserwartung ein Absinken zu Beginn des Kurvenverlaufs, der realistisch scheint, aber ein Anstieg im weiteren Kurvenverlauf. Für die Exponentialverteilung dagegen zeigt sich ein konstanter Verlauf der Ausfallrate und Restlebenserwartung, nachdem zu keiner Zeit eine Zustandsverschlechterung eintreten würde. Die Weibullverteilung lässt eine stetige Zunahme der Ausfallrate erkennen. Um den Alterungsprozess von Kanalnetzen abbilden zu können, sind diese Verteilungen ungeeignet und können auch durch die Praxis widerlegt werden.

Grundlage der Herz-Verteilung bildet das in der Demographie in den 60er Jahren entwickelte Kohortenüberlebensmodell, das der Prognose über die natürliche Bevölkerungsentwicklung dient. Jeder Kohorte eines Alters werden geschlechts- und altersspezifische Sterberaten zugewiesen und somit wird jede Kohorte jedes Jahr um die entsprechenden Sterbefälle vermindert.

Herz überträgt das Prinzip des Kohortenüberlebensmodells auf die Alterungsprozesse von Infrastrukturnetzen. Zu den Infrastrukturnetzen zählen neben Verkehrs- und Versorgungsnetzen auch die Kanalnetze. Herz<sup>73</sup> stellt Randbedingungen auf, die von der mathematischen Funktion  $y(x)$  der Überlebensfunktion erfüllt werden müssen:

Erfüllt werden diese Randbedingungen nach Herz von der folgenden Funktion:

$$\text{Gleichung 4.1: } y(x) = \frac{a+1}{a + e^{b(x-c)}} \quad \text{Überlebensfunktion für } x \geq c$$

$$y(x) = 1 \quad \text{Überlebensfunktion für } x < c$$

y... Anteil Überlebender

a... Alterungsfaktor

x... Alter

b... Ausfallfaktor

a,b,c... Alterungsparameter

c... Resistenzzeit.

Als Basis zur Bestimmung der Alterungsparameter muss eine aktuelle Schadensstatistik gegliedert nach Rohrtypen mit unterschiedlichem Alterungsverhalten vorliegen.

<sup>72</sup> Es wird auf die Arbeiten von Herz [Alterung] 1995 und Trujillo [Bedarfsprognose] 1995 verwiesen.

<sup>73</sup> Vgl. Herz [Alterung] 1995 S. 11f.

Mit der Überlebensfunktion  $y(x)$  soll das Alter berechenbar werden, das von einem bestimmten Teil  $p$  (%) des Ausgangsbestandes erreicht wird.<sup>74</sup>

Die Alterungsgeschwindigkeit kann durch den Alterungsfaktor  $a$  beschrieben werden. Keine Alterung findet statt, wenn  $a=0$ .

Die Ausfallrate geht im hohen Alter gegen  $b$ .

Unter Resistenzzeit  $c$  versteht man die Zeit, bis zu der keine oder nur punktuelle Sanierungen durchgeführt werden.

Die erste Ableitung der Überlebensfunktion (4.1) ergibt die Wahrscheinlichkeitsdichte  $f(x)$  der Lebensdauer, die Lebensdauererwartung

*Gleichung 4.2:* **Fehler! Es ist nicht möglich, durch die Bearbeitung von Feldfunktionen Objekte zu erstellen.** Lebensdauererwartung für  $x \geq c$

**Fehler! Es ist nicht möglich, durch die Bearbeitung von Feldfunktionen Objekte zu erstellen.** Lebensdauererwartung für  $x < c$

Aus der Überlebensfunktion [4.1] und der Lebensdauererwartung [4.2] ergibt sich die Ausfallrate (4.3):

*Gleichung 4.3:*  $z(x) = \frac{be^{b(x-c)}}{a + e^{b(x-c)}}$  Ausfallrate für  $x \geq c$

**Fehler! Es ist nicht möglich, durch die Bearbeitung von Feldfunktionen Objekte zu erstellen.** Ausfallrate für  $x < c$

Als Restlebenserwartung [4.4] erhält man:

*Gleichung 4.4:*  $R(x) = (a + e^{b(x-c)}) \left[ \frac{\ln(a + e^{b(x-c)})}{ab} - \frac{x-c}{a} \right]$  für  $x \geq c$

$R(x) = c - x + \frac{(a+1)\ln(a+1)}{ab}$  für  $x < c$

Für ein Beispiel mit angenommenen Alterungsparametern  $a=120/\text{Jahr}$ ,  $b=0,12/\text{Jahr}$ ,  $c=10$  Jahre können die in den Abbildungen 4.1 bis 4.3 beschriebenen Funktionen dargestellt werden:

Die Ausfallrate wird definiert als das Verhältnis der Ausfälle bezogen auf den jeweiligen Bestand.<sup>75</sup> Sie steigt bei der Herz-Verteilung mit dem Alter an. Zu Beginn der Nutzungsdauer ist sie gleich Null, verläuft dann flacher und nähert sich asymptotisch einem Grenzwert. Die bereits angesprochenen Anfangsschäden, die häufig nach der Verlegung auftreten, werden nicht berücksichtigt. Herz und Trujillo messen diesem Problem wenig Bedeutung bei.<sup>76</sup> Sie sehen diese Schadensbeseitigung, solange Ausfälle in der Garantiezeit liegen, als unentgeltliche Leistung vom Hersteller an. Da die Qualität der Bauausführung aber eine unbestimmte Größe ist und nicht nur durch Qualitätsmängel Anfangsschäden auftreten können, muss diese Tatsache als eine Schwäche der Herz-Verteilung genannt werden.

<sup>74</sup> Vgl. Herz [Alterung] 1995 S. 11.

<sup>75</sup> Vgl. Herz [Alterung] 1995 S. 13.

<sup>76</sup> Hierzu Herz [Alterung] 1995 S. 8 und Trujillo [Bedarfsprognose] 1995 S. 30.

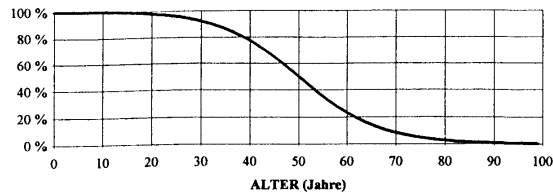


Bild 4.1 Überlebensfunktion [Herz [Alterung] 1995 S. 14.]

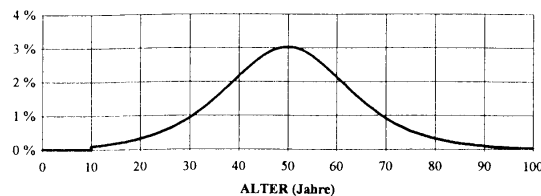


Bild 4.2 Lebensdauererwartung [Herz [Alterung] 1995 S. 14.]

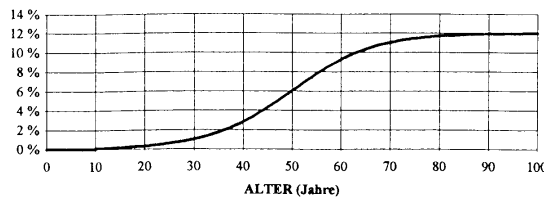


Bild 4.3 Ausfallrate [Herz [Alterung] 1995 S. 14.]

Anhand der Ausfallrate ist erkennbar, dass eine Zustandsverschlechterung ab einem gewissen Alter nicht mehr stattfindet. Nach Angaben von Fachingenieuren der Praxis kann ein "konsolidierter" Kanal bezüglich der Ausfälle ab einer bestimmten Zeit tatsächlich gegen null gehen. Aber nach der Überlebensfunktion fallen Rohrleitungen weiterhin aus, bis ihr Bestand null ist. Hierbei entsteht ein Widerspruch.

Meines Erachtens kann nur durch kritische Betrachtung der gewonnenen Aussagen durch die Alterungsfunktionen und einer eventuell nachträglichen Korrektur durch Schätzungen der einzelnen Funktionen mit Erfahrungswissen der Alterungsprozess für ein Kanalnetz modelliert werden.

Nach Trujillo kann der Erneuerungsbedarf für Netzsegmente berechnet werden.

Die Erneuerungsrate ergibt sich dabei wie folgt:

$$\text{Gleichung 4.5: } p_{R,T} = \frac{e_{R,T}}{l_{R,T}}$$

- $p_{R,T}$  ... Erneuerungsrate eines Rohrtyps im Alter T
- $l_{R,T}$  ... Länge der Leitung vom Rohrtyp R im Alter T
- $e_{R,T}$  ... Erneuerte Rohrlängen des Rohrtyps R im Alter T.

### 4.3.2 Übergang in schlechtere Zustände

Weil ein Kanalnetz in einzelne Netzabschnitte mit gleichen Eigenschaften bezüglich Baujahr und Erhaltungszustand unterteilt und zu mehreren Zustandsklassen zusammengefasst werden kann, muss auch eine Unterscheidung der Alterungsfunktionen für mehrere Zustände möglich sein.

Mit Hilfe von Kurvenscharen wird die Überlebensfunktion durch mehrere Zustandsübergangsfunktionen, die Lebensdauerverteilung durch mehrere Zustandsdauerverteilungen und die Ausfallrate durch mehrere Zustandsausfallraten beschrieben.

Die Unterteilung in  $n$  Zustände wird jeweils mit  $(n-1)$  Kurven erreicht. Für die Einzelparameter  $a$ ,  $b$  und  $c$  werden  $(n-1)$  dimensionale Vektoren  $A$ ,  $B$  und  $C$  eingesetzt<sup>77</sup>.

Die Netzsegmente wechseln ihre Zustandsklassen entsprechend einem stochastisch zu beschreibenden Prozeß. Die jährliche Zustandsverschlechterung beschränkt sich danach auf Teillängen der jeweiligen Netzsegmente und kann durch Multiplikation des jeweiligen Segmentbesatzes mit einer alters- und zustandsspezifischen Übergangsquote bestimmt werden<sup>78</sup>. Nähere Details und Erläuterungen, auf die in dieser Arbeit nicht eingegangen werden kann, sind der einschlägigen Literatur zu entnehmen<sup>79</sup>.

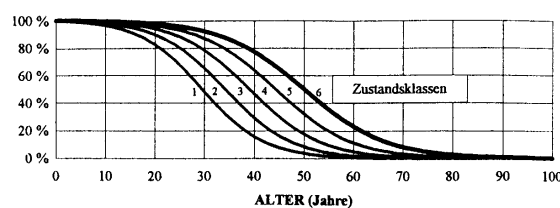


Bild 4.4 Zustandsübergangsfunktionen [Herz [Alterung] 1995 S. 16.]

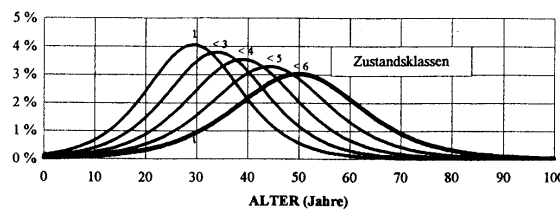


Bild 4.5 Zustandsdauerverteilungen [Herz [Alterung] 1995 S. 16.]

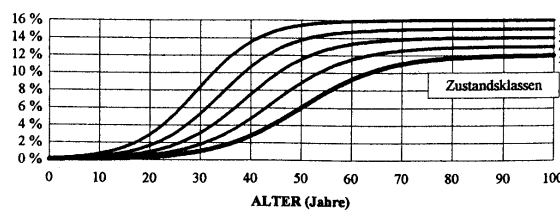


Bild 4.6 Zustandsausfallraten [Herz [Alterung] 1995 S. 16.]

<sup>77</sup> Vgl. Herz [Alterung] 1995 S. 15.

<sup>78</sup> Vgl. Herz/Hochstrate [Erneuerungsstrategien] 1987 S.87.

<sup>79</sup> Herz/Hochstrate [Erneuerungsstrategien] 1987; Herz [Alterung] 1995; Herz [Erneuerungsbedarfsprognosen] 1996; Trujillo [Bedarfsprognose] 1995.

## 5 SANIERUNGSVERFAHREN

### 5.1 Überblick über die Verfahren

Um bauliche Schäden an Abwassernetzen zu beheben, können unterschiedliche Verfahren zur Anwendung kommen. Die DIN EN 752 Teil 5 und das ATV M-143 Teil 1 weichen bei den Begriffsdefinitionen voneinander ab. In der DIN EN 752 Teil 1 und Teil 5 werden unter Sanierung alle Maßnahmen zur Wiederherstellung oder Verbesserung vorhandener Entwässerungssysteme verstanden. Dabei kann eine Sanierung mit Maßnahmen der Reparatur, Renovierung und Erneuerung durchgeführt werden.

Reparaturverfahren dienen zur Behebung örtlich begrenzter Schäden. Die Renovierung verfolgt darüber hinaus das Ziel, eine Verbesserung der aktuellen Funktionsfähigkeit des Abwassernetzes unter teilweiser oder vollständiger Einbeziehung der ursprünglichen Substanz herbeizuführen. Bei der Erneuerung werden Haltungen und andere Elemente neu eingebaut. Diese Unterteilung scheint eine sinnvollere Einordnung zu sein, als im ATV-M 143 Teil 1. Dort werden Sanierungsmaßnahmen als Schadensbeseitigung bei technischer Veränderung unter Erhaltung der Substanz verstanden. Eine Erneuerung gilt damit nicht als Sanierungsmaßnahme. Auch Stein ordnet verschiedene Verfahrenshaupt- und -untergruppen in Anlehnung an DIN 752 Teil 5 ein.<sup>80</sup>

Reparatur	Ausbesserungsverfahren	Ersatz einzelner Rohre in offener Bauweise Ausbesserung von Kanälen und Schächten aus Beton, Stahlbeton und Mauerwerk Roboterverfahren
	Injektionsverfahren	Injektion von außen Injektion von innen
	Abdichtungsverfahren	Abdichtung von außen Abdichtung von innen
Renovierung	Beschichtungsverfahren	Auspressverfahren Verdrängungsverfahren Aufspritzverfahren Anschleuderverfahren
	Auskleidungsverfahren	Auskleidung mit Rohren Auskleidung mit Einzelelementen (Montageverfahren)
Erneuerung	Offene Bauweise	Kompletterneuerung Teilerneuerung
	Geschlossene Bauweise	Berstverfahren Bemannt/Unbemannt arbeitender Rohrvortrieb Schildvortrieb mit Tübbingauskleidung Rohrziehverfahren

Tabelle 5.1 Überblick über Sanierungsverfahren [in Anlehnung an Stein [Sanierung] 1999 S. 1058f.]

<sup>80</sup> Vgl. Stein [Sanierung] 1999 S. 1058f.

## 5.2 Nutzungsdauer

Die Festlegung der Nutzungsdauern der unterschiedlichen Sanierungsverfahren basiert häufig aufgrund von Schätzungen durch Ingenieure aus der Praxis. Erfahrungen über das Langzeitverhalten mit speziellen Sanierungsverfahren liegen oftmals nicht vor, da zur Zeit viele Verfahren erstmals eingesetzt werden und die Jahre der erwarteten Nutzungsdauer noch nicht vorüber sind.

Die nachstehende Tabelle zeigt einen Überblick über in der Praxis angenommene Nutzungsdauern.

Sanierungsgruppe	Sanierungsverfahren	Nutzungsdauer In Jahren
Punktuelle Innensanierung (Reparatur)	Injektionspacker	5
	Manuelles Abdichten	10
	Partielle Inliner	20
	Roboterverfahren	30
Haltungsweise Innensanierung (Renovation)	Kurzrohrrelining	30
	Wickelrohrrelining	30
	Schlauchrelining	30
Teilerneuerung		Restnutzungsdauer der Haltung
Erneuerung		80-100 nach LAWA

Tabelle 5.2 Vorgeschlagene Nutzungsdauern für Sanierungsverfahren *[[GSTT] 1998.]*

## 5.3 Auswahl der Verfahren

Die DIN 752 Teil 5 schlägt, wie Abbildung 5.1 zeigt, einen Entscheidungsprozeß für die Verfahrensauswahl in Abhängigkeit vom Schadensausmaß und der Abflusskapazität vor. Für die Schadensbeseitigung punktueller Schäden wird man sich fast immer der Verfahren der Reparatur bedienen. Diese Verfahren tragen nicht zur Verlängerung, lediglich zum Erreichen der gewünschten Nutzungsdauer bei. Entstehende finanzielle Aufwendungen für Reparaturen, auch als Erhaltungsaufwand in der Finanzbuchhaltung bezeichnet, fallen sofort als Betriebsausgabe in dem Ausführungsjahr an.

Örtliche Gegebenheiten verhindern oftmals Renovierungen durch das Auskleiden von Rohrleitungen, da eine Einziehbaugrube für die Reliningschläuche notwendig ist. Eine Renovierungsmaßnahme kann die Restnutzungsdauer einer Haltung verlängern, wenn die Nutzungsdauer des angewendeten Sanierungsverfahrens größer als die noch vorhandene Restnutzungsdauer der Haltung ist. Unabhängig davon, ob tatsächlich eine Verlängerung der Restnutzungsdauer der Haltung durch die Renovierung eintritt, muss der Herstellungsaufwand aktiviert und über Abschreibungen auf nachfolgende Jahre verteilt werden. Die Abgrenzung von Erhaltungsaufwand und Herstellungsaufwand bereitet in der Praxis Probleme.<sup>81</sup> Allerdings ergibt sich daraus die Möglichkeit für das Unternehmen, die Höhe der jährlichen Unternehmensgewinne bzw. -verluste durch gezielte Anwendung handels- und steuerrechtlicher Vorschriften zu beeinflussen.

<sup>81</sup> Es wird auf weiterführende Literatur, wie z. B. Wöhe [Bilanzierung] 1997 S. 404ff. verwiesen.

Pecher schlägt vor, die hydraulischen Untersuchungsergebnisse mit den baulichen zu überlagern und daran anknüpfend gegebenenfalls die Prioritätenliste zu überarbeiten.<sup>82</sup> Damit wird gewährleistet, dass auch funktionale Anforderungen in die Verfahrensauswahl einbezogen werden.

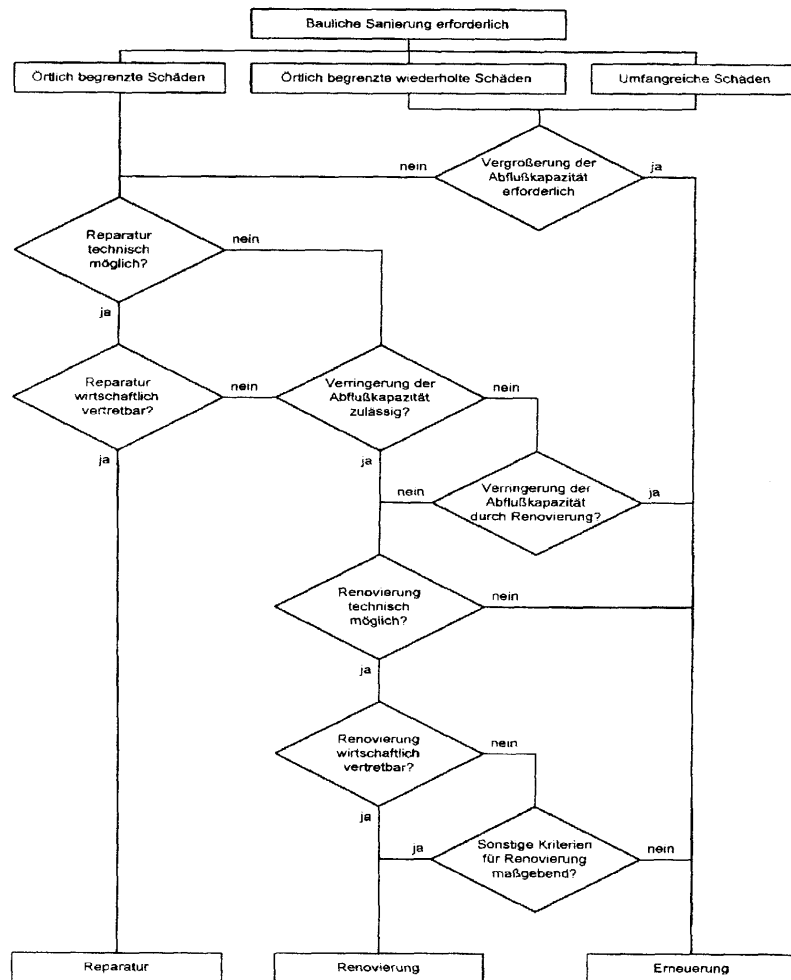


Bild 5.1 Entscheidungsprozeß zur Auswahl von Sanierungsverfahren für bauliche Lösungen

Quelle: DIN EN 752-5 1997 S. 7.

Eine andere Entscheidungshilfe ist der GSTT-Leitfaden, der als Checkliste dienen kann und die Auswahl von geeigneten Verfahren erleichtern soll.<sup>83</sup>

Neben technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten müssen auch ökologische und sonstige Aspekte bei der Verfahrensauswahl einbezogen werden. Das können u.a. sein:

- Vorliegender Verkehrsraum (z. B. Verkehrsaufkommen)
- Angelegte Grünflächen und gewachsene Bäume (Naturschutzgesetz)
- Grundwasserverhältnisse
- Ausmaß der Lärm-, Geruchs- und Schadstoffbelastung.

<sup>82</sup> Vgl. Pecher [Hydraulik] 1998 S. 1624f.

<sup>83</sup> [GSTT] 1996.

## 5.4 Kostenübersicht

Nachfolgendes Schema verdeutlicht, dass bei der Grundlagenermittlung und der Vorplanung für Projekte die Kosten in starkem Maße beeinflusst werden können. So liegen der letzten ATV-Umfrage aus dem Jahr 1997 zufolge die durchschnittlichen Kosten für Reparaturen bei 643 DM/m, für Renovation bei 1655 DM/m und für die Erneuerung bei 2675 DM/m.<sup>84</sup> Fehlentscheidungen wirken sich über den gesamten Projektverlauf aus und sind selten in fortgeschrittenen Projektphasen auszugleichen.

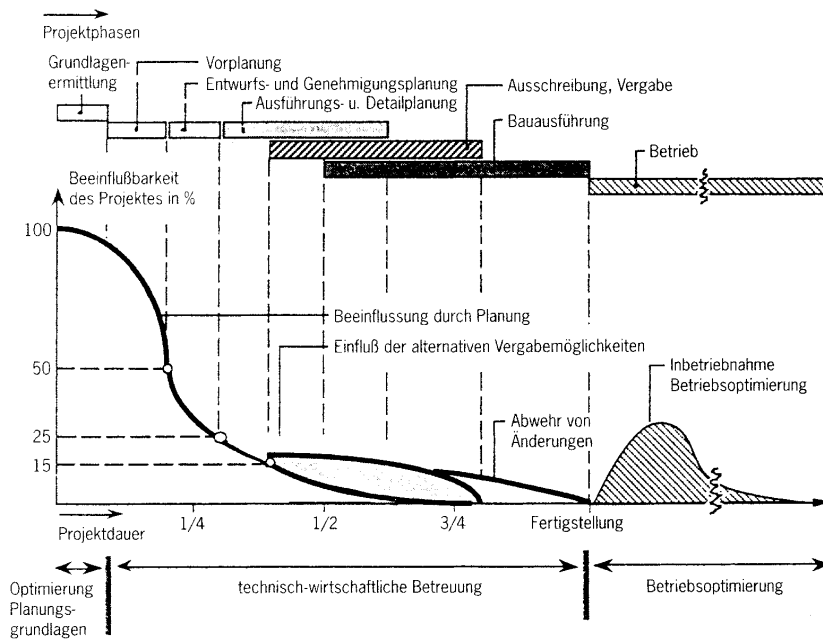


Bild 5.2 Kostenbeeinflussung während des Projektverlaufs [Bohn [Wirtschaftlichkeit] 1993 S. 42.]

<sup>84</sup> Dyk/Lohaus [ATV-Umfrage 1997] 1998 S. 873.

## **6**      ***SANIERUNGSSTRATEGIEN***

### **6.1**      ***Grundlagen***

In den vorangegangenen Kapiteln wurden Sanierungsmaßnahmen fast ausschließlich als Bestandteil des operativen Geschäftes betrachtet. Es wurde aber auch deutlich gemacht, dass mit zunehmender Komplexität der Planungsprobleme und mit sich zunehmend verschärfenden Wettbewerbsbedingungen die Einbeziehung der Sanierungsplanung in die strategische Unternehmensplanung zwingend wird.

Die wichtigste Aufgabe der strategischen Unternehmensplanung ist dabei in der Erarbeitung und Formulierung von Unternehmensteilstrategien, wie sie auch die Sanierungsstrategien darstellen, zu sehen.

### **6.2**      ***Gegenüberstellung der Strategietypen***

Es werden für die Erneuerung städtischer Infrastrukturnetze fünf generelle Strategietypen nach Herz unterteilt. Diese Unterteilung ist in Tabelle 6.1 dargestellt.

Als einen Arbeitsschritt für Sanierungsplanung und somit als Forderung an geeignete Sanierungsstrategien für Abwassernetze wird in der EN 752 Teil 5 "Sanierung" die Erfassung und Verarbeitung aktueller Inspektionsergebnisse genannt.

Bei der Feuerwehrstrategie, der Entlastungsstrategie und der periodischen Erneuerung werden zu keinem Zeitpunkt Inspektionen durchgeführt. Die Nachteile der Feuerwehrstrategie, wie etwa eine geringe Versorgungssicherheit und zunehmende Zustandsverschlechterung, können wegen des geltenden Wasserhaushaltsgesetzes nicht ignoriert werden. Eine Budgetplanung ist kaum möglich, weil man nicht weiß, wann und in welchem Umfang Sanierungsmaßnahmen anfallen.

Bei der Entlastungsstrategie erfolgt keine Sanierung beschädigter Netzelemente. Es werden zusätzlich zu den alten Netzelementen neue Netzelemente verlegt, und dies schließt eine Anwendung dieser Strategie in Gebieten mit vielen sich kreuzenden Ver- und Entsorgungsleitungen im Bauraum aus.

Die periodische Erneuerung ist nicht mit dem Grundsatz der Wirtschaftlichkeit zu vereinbaren, weil Netzelemente auch bei noch vorhandener Restnutzungsdauer und schadensfreiem Zustand ersetzt werden, wenn ein bestimmter Zeitraum nach der Erneuerung vorüber ist.

Dass Inspektionskosten gänzlich eingespart werden können, kann kein Grund für die Wahl einer dieser Strategien sein.

Die Inspektionsstrategie und die prognostische Inspektionsstrategie erfüllen die Forderung nach DIN EN 752. Durchgeführte Inspektionen lassen mit der Inspektionsstrategie Aussagen zur Zustandsentwicklung des Abwassernetzes zu. Mit der prognostischen Inspektionsstrategie lassen sich dann auf Grundlage der Zustandsentwicklung Prognosen für das zukünftige Alterungsverhalten und der Ausfallzeitpunkte der Netzelemente treffen.<sup>85</sup> Der Alterungsprozess kann nach der Herz-Verteilung wie in Kapitel 4.3 gezeigt wurde, modelliert werden. Sanierungs- und

---

<sup>85</sup> Vgl. Meerwarth [Koordinierte Planung] 1994 S. 96.

Erneuerungsmaßnahmen können mittel- bis langfristig eingeplant werden. Damit wird es dann auch möglich, die nächsten Inspektionen zu terminieren. Diese Strategie wird auch als vorausschauende Sanierungsplanung bezeichnet.<sup>86</sup> Zu beachten ist, dass auch bei Durchführung von Inspektionen Schadensfälle mit Folge des plötzlichen Versagens von Netzelementen auftreten können. Diese Fälle werden die Ausnahme darstellen und dann kann eine Feuerwehrstrategie oder Entlastungsstrategie im Einzelfall kurzfristig in Frage kommen.

Strategietyp	Inhalt	Vorteile	Nachteile
Feuerwehrstrategie	Sanierung und Erneuerung erst dann, wenn Schäden auftreten	keine Inspektionskosten	geringe Versorgungssicherheit Erneuerung unter Zeitdruck problematische Budget- und Personalplanung permanente Zustandsverschlechterung
Entlastungsstrategie	Entlastung bestehender Netzelemente durch Neubau zusätzlicher Elemente	keine Inspektionskosten flexible Budget- und Personalplanung bessere Versorgungssicherheit	keine Erneuerung alter Netzelemente Kosten für Kapazitätsberechnung und Belastungsprognose
Periodische Erneuerung	Erneuerung in festen Zeitintervallen unabhängig vom tatsächlichen Zustand	keine Inspektionskosten einfache Budget- und Personalplanung	Restnutzungsdauer wird nicht vollständig genutzt
Inspektionsstrategie	Inspektion in festen Zeitintervallen und Erneuerung entsprechend dem Inspektionsbefund	hohe Versorgungssicherheit	hohe Inspektionskosten unsichere mittelfristige Budget- und Personalplanung Schwankungen im Bedarf
Prognostische Inspektionsstrategie	Grundlage ist die Alterungsprognose von Systemelementen aus zurückliegenden Inspektionsbefunden zwecks Bestimmung von Art und Zeitpunkt der Erneuerung bzw. der nächsten Inspektion	hohe Versorgungssicherheit geringe Inspektionskosten vorausschauende Budget- und Personalplanung	hoher Aufwand für Zustandserfassung und Abbildung der Alterungsmodelle

*Tabelle 6.1 Strategietypen von Infrastrukturerneuerungsstrategien [Herz [Erneuerungsstrategien] 1987 S. 72.]*

<sup>86</sup> Hierzu Hochstrate/Jansen [Vorbeugende Instandhaltung] 1996 im Internet [AQUA] 1999.

## 7 **WIRTSCHAFTLICHKEITSRECHNUNG**

### 7.1 *Inhaltliche und begriffliche Abgrenzungen*

Sanierungsmaßnahmen bei Abwasserkanälen sind mit Investitionen verbunden. Charakteristisch für eine Investition ist die längerfristige Bindung relativ hoher Kapitalbeträge zur Erreichung bestimmter geplanter Konsequenzen.<sup>87</sup> Jedes Unternehmen wird deshalb daran interessiert sein, Investitionen überlegt zu tätigen. Durch Wirtschaftlichkeitsrechnungen, in der Literatur auch als Investitionsrechnungen bezeichnet<sup>88</sup>, wird es möglich<sup>89</sup>

- die Vorteilhaftigkeit einer Einzelinvestition festzustellen (Ja-Nein-Entscheidung = absolute Vorteilhaftigkeit)
- zwischen Investitionsalternativen auszuwählen (Auswahlproblem = relative Vorteilhaftigkeit)
- die voraussichtliche wirtschaftliche Nutzungsdauer für Neuanlagen (Nutzungsdauerproblem) und den aus ökonomischer Sicht optimalen Ersatzpunkt für vorhandene Anlagen zu bestimmen (Ersatzproblem).

Die genannten Punkte zwei und drei spielen im Ablauf der Sanierungsplanung eine große Rolle.

Aus technischer Sicht ergeben sich meist mehrere favorisierte Sanierungsalternativen zur Schadensbehebung an den Abwasserkanälen, die eine Alternativenauswahl nötig werden lassen. Um wirtschaftlichen Gesichtspunkten gerecht zu werden, wird man für die Sanierungsplanung hauptsächlich Informationen über die relative Vorteilhaftigkeit von Investitionsalternativen und über den optimalen Zeitpunkt einer Ersatzerneuerung gewinnen wollen.<sup>90</sup>

Es sei darauf verwiesen, dass der Begriff der Wirtschaftlichkeitsrechnung von den Begriffen Wirtschaftlichkeitsuntersuchung, -betrachtung und -analyse abzugrenzen ist und dass diese Begriffe auch in der Literatur nicht einheitlich verwendet werden. Einer Wirtschaftlichkeitsrechnung im engeren Sinne (=Investitionsrechnung) werden ausschließlich monetäre Größen zugrunde gelegt. Sollen zusätzlich nicht-monetäre Einflüsse zur Beurteilung einer Investition einbezogen werden, ist eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung, -analyse oder -betrachtung durchzuführen.<sup>91</sup> In dieser Arbeit werden Methoden der Wirtschaftlichkeitsrechnung betrachtet und speziell die Methode der dynamischen Kostenvergleichsrechnung, die in der Wasser- und Abwasserwirtschaft Anwendung findet, näher in das bestehende Gefüge eingeordnet und beschrieben.

---

<sup>87</sup> Vgl. Heinhold [Investitionsrechnung] 1987 S. 3f.

<sup>88</sup> Vgl. Staehelin [Investitionsrechnung] 1993 S. 14.

<sup>89</sup> Vgl. Betge [Investitionsplanung] 1995 S. 18.

<sup>90</sup> Es wird auf Kapitel 9.2.4 verwiesen.

<sup>91</sup> Vgl. Janßen [Wirtschaftlichkeitsanalysen] 1998 S. 79.

## 7.2 *Methoden der Wirtschaftlichkeitsrechnung im engeren Sinne*

In der Betriebswirtschaftslehre existieren verschiedene Methoden für eine Wirtschaftlichkeitsrechnung. Grundlegend werden sie wie folgt in statische und dynamische Methoden unterteilt:<sup>92</sup>

Statische Methoden (ohne Berücksichtigung von Zeitpräferenzen)	Dynamische Methoden (mit Berücksichtigung von Zeitpräferenzen)
Gewinnrechnung	Kapitalwertmethode
Kostenvergleichsrechnung	Interne Zinsfußmethode
Rentabilitätsrechnung	Annuitätenmethode
Amortisationsrechnung	Pay-of-Methode

*Tabelle 7.1 Übersicht über Methoden der Wirtschaftlichkeitsrechnung in der Betriebswirtschaftslehre [Eigene Darstellung in Anlehnung an Betge [Investitionsplanung] 1995 S. 20]*

Bei der Betrachtung von Investitionsprojekten beschränkt man sich bei allen Methoden innerhalb der Wirtschaftlichkeitsrechnung auf Zahlungsreihen.<sup>93</sup> Das können Einzahlungs- und Auszahlungsreihen sein. Es sind auch die Begriffe Erlös- und Kostenreihen zulässig, die in dieser Arbeit gelten sollen.<sup>94</sup>

Die statischen Verfahren vernachlässigen, dass für eine Investition über die Nutzungsdauer einer Anlage hinweg zu unterschiedlichen Zeitpunkten Erlöse und Kosten entstehen. Durch die statischen Verfahren werden Zahlungszeitpunktunterschiede und die für Zeitdifferenzen erzielbaren Zinserträge nicht erfasst. Damit haben Zins- und Zinseszinsseffekte keinerlei Bedeutung.<sup>95</sup> Zur Berücksichtigung der langen Nutzungsdauer von Abwasserkanälen müssen Wirtschaftlichkeitsrechnungen in der Sanierungsplanung dynamisch erfolgen. Zahlungszeitpunktunterschiede über die gesamte betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer hinweg werden durch die Anwendung dynamischer Methoden berücksichtigt.

## 7.3 *Parameter für eine Wirtschaftlichkeitsrechnung*

### 7.3.1 *Nutzungsdauer*

Für eine Wirtschaftlichkeitsrechnung ist die erwartete betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer der gesamten Anlage, die abzuschätzen ist, relevant. Ausführliche Bemerkungen zur Nutzungsdauer sind dem Kapitel 4.2 zu entnehmen. Zur Berechnung und Feststellung des zeitlichen Anfalls der Reinvestitionskosten für die einzelnen Sanierungsmaßnahmen sind mögliche Nutzungsdauern

<sup>92</sup> Vgl. Betge [Investitionsplanung] 1995 S. 20.

<sup>93</sup> Vgl. Betge [Investitionsplanung] 1995 S. 18.

<sup>94</sup> Vgl. Lücke [Investitionslexikon] 1993 S 189.

<sup>95</sup> Vgl. Betge [Investitionsplanung] 1995 S. 22.

entsprechend Tabelle 5.2 anzusetzen. Prinzipiell ist bei Abwassernetzen für die Wirtschaftlichkeitsrechnung die Nutzungsdauer zu differenzieren für:

- Rohrleitungen (circa 80-100 Jahre)
- Ausrüstungsgegenstände (z. B. für Kanalisationsschächte circa 50 Jahre) und
- Sanierungsverfahren (z. B. für manuelles Abdichten circa 10 Jahre).

### 7.3.2 *Kalkulationszinssatz*

Unter dem Kalkulationszinssatz ist der Zinssatz zu verstehen, mit dem Zahlungsströme unterschiedlicher Perioden, die vor oder nach dem Bezugszeitpunkt liegen, auf den Bezugszeitpunkt diskontiert (auf- oder abgezinst) werden. Bezugszeitpunkt ist der Zeitpunkt, auf den alle zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallenden Erlöse und Kosten bezogen werden. Dies kann z. B. der Zeitpunkt unmittelbar vor Durchführung der gewünschten Investition sein.<sup>96</sup>

Die Bestimmung eines geeigneten Kalkulationszinssatzes ist wesentliche Voraussetzung für eine Wirtschaftlichkeitsrechnung. Allgemein kann der Kalkulationszinssatz als Maßgröße für die vom Investor subjektiv gewünschte Mindestverzinsung seiner Geldanlagen fungieren.<sup>97</sup>

Häufig orientieren Unternehmen den Kalkulationszinssatz daher am Marktzinssatz oder an branchenüblichen Zinssätzen. In der Abwasserwirtschaft verwendet man einen Kalkulationszinssatz von 3 %, der nach LAWA in dieser Höhe angegeben wird. Zu weiteren Diskussionen sei auf die Dissertation von Grunwald verwiesen.<sup>98</sup>

### 7.3.3 *Preisindizes*

Die Berücksichtigung von Inflationsraten kann sich in der Praxis der Investitionsplanung und Investitionsrechnung als schwierig erweisen.<sup>99</sup> Mögliche theoretische Ansätze sind in der weiterführenden Literatur zu finden.<sup>100</sup> Nach LAWA können zum Zwecke der praktikablen Anwendung von Wirtschaftlichkeitsrechnungen Preissteigerungen unberücksichtigt bleiben.<sup>101</sup> Im Rahmen von Sensitivitätsanalysen, wie sie auch von der LAWA vorgesehen werden, müssen Preissteigerungen einbezogen und ihre Auswirkungen auf Ergebnisse einer Wirtschaftlichkeitsrechnung verdeutlicht werden.

Das statistische Bundesamt führt mehrmals im Jahr Erhebungen über aktuelle Preise einzelner Leistungen in den verschiedenen Branchen einer Volkswirtschaft durch und veröffentlicht diese Preise, auf ein Basisjahr bezogen, jährlich im Statistischen Jahrbuch als so genannte Preisindizes.

In den letzten Jahren sind die Baupreise für Ortskanäle gefallen. Das kann dem Statistischen Jahrbuch 1998 entnommen werden. (Tabelle 7.2)

<sup>96</sup> Vgl. Lücke [Investitionslexikon] 1991 S. 33.

<sup>97</sup> Vgl. Heinhold [Investitionsrechnung] 1996 S. 78.

<sup>98</sup> Hierzu Grunwald [Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen] 1996.

<sup>99</sup> Vgl. Gerke/Bank [Finanzierung] 1998 S. 161.

<sup>100</sup> Es wird auf Gerke/Bank [Finanzierung] 1998 verwiesen.

<sup>101</sup> Es wird auf LAWA 1993 S. 24 verwiesen.

Gegenstand der Nachweisung	1991 = 100								
	Durchschnitt 1-1)					1997			
	1993	1994	1995	1996	1997	Februar	Mai	August	November
Sonstige Bauwerke									
Bauleistungen für:									
Straßenbau .....	107,7	108,1	109,1	107,7	106,0	106,5	106,1	105,8	105,5
Bundesautobahnen .....	107,7	108,2	109,1	107,7	106,0	106,6	106,1	105,8	105,6
Bundes- und Landesstraßen .....	107,7	108,1	109,0	107,6	105,9	106,5	106,0	105,7	105,5
Brücken im Straßenbau .....	106,1	109,6	111,0	110,4	108,9	109,3	108,9	108,8	108,4
Ortskanäle .....	110,5	111,8	112,9	111,2	109,2	109,8	109,3	109,0	108,8
Staudämme .....	110,0	111,7	112,7	111,2	109,4	110,0	109,4	109,2	108,8
Klaranlagen .....	110,7	112,8	115,2	115,5	115,1	115,3	115,1	115,1	115,0

Tabelle 7.2 Preisindizes für Neubau und Instandhaltung [Statistisches Jahrbuch 1998 S. 624.]

Wirtschaftlichkeitsrechnungen können bei unvorhergesehenen Preisanstiegen an Qualität verlieren, wenn inflatorische Wirkungen nicht antizipiert werden. Unerwünschte Wirkungen auf das Finanzierungskonzept eines Unternehmens sind eine Folge.

## 7.4 Kostenvergleichsrechnung nach LAWA

### 7.4.1 Begriff der Kostenvergleichsrechnung

Die LAWA schlägt zur kostenmäßigen Bewertung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen eine Kostenvergleichsrechnung vor. Eine solche wird in der Betriebswirtschaftslehre üblicherweise, wie Tabelle 7.1 entnommen werden kann, als statische Wirtschaftlichkeitsrechnung durchgeführt. Es werden dabei Kosten einer Durchschnittsperiode betrachtet. Die Kostenvergleichsrechnung nach LAWA ist eine dynamische Wirtschaftlichkeitsrechnung und berücksichtigt die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallenden Kosten. Auf ein Abwassernetz übertragen heißt das, dass aus einer Anzahl von Sanierungsalternativen für jede Haltung mit einer Kostenvergleichsrechnung die jeweils kostengünstigste Alternative ausgewählt bzw. der optimale Zeitpunkt für eine Erneuerung bestimmt werden kann.

### 7.4.2 Ermittlung von Kostenreihen

Die Kostenermittlung nach DIN 276 ist die Vorausberechnung zu erwartender Kosten bzw. Feststellung tatsächlich entstandener Kosten. Eine Kostenermittlung kann verschiedene Genauigkeitsstufen aufweisen. Diese sind abhängig vom jeweiligen Planungsstand und der Kenntnis über die Kostengrößen. Je nach Planungsstand kann die Kostenermittlung unterschieden werden in:<sup>102</sup>

- Kostenschätzung
- Kostenberechnung
- Kostenanschlag
- Kostenfeststellung.

Der Kostenanschlag dient zu einer möglichst genauen Ermittlung von Kosten, ist geeignet zur Entscheidung über die Ausführung von Baumaßnahmen und kann somit auch die Grundlage für eine Kostenvergleichsrechnung sein.

<sup>102</sup> Vgl. DIN 276 [Wohnungsbau] 1994 S. 5.

In den verschiedenen Bereichen des Hochbaus findet die DIN 276 zur einheitlichen Investitionskostenermittlung ihre Anwendung. Die LAWA nimmt in Anlehnung an die DIN 276 eine Unterteilung nach Investitionskosten und laufenden Kosten für Betrieb und Unterhalt vor.<sup>103</sup>

- **I n v e s t i t i o n s k o s t e n** sind bei der Sanierung solche Kosten, die zur Wiederherstellung, Verbesserung oder Erneuerung der Abwasserkanäle erforderlich sind.
  - Kosten für Vorarbeiten (Planung, Gutachten, Baugrunduntersuchung)
  - Baukosten für Renovierung und Erneuerung. Diese sind nach der durchschnittlichen Nutzungsdauer der Anlagenteile und der Sanierungsverfahren zu gruppieren. Die Gruppierung ist Voraussetzung für eine nachvollziehbare Berechnung der
  - Reinvestitionskosten für Anlagenteile und Sanierungsverfahren, die während des Nutzungszeitraumes der Haltungen zu ersetzen sind oder wiederholt angewendet werden müssen, da ihre wirtschaftliche Nutzungsdauer geringer ist als die der Rohrleitungen selbst. (z. B. partielle Partliner und maschinelle Einrichtungen, wie z. B. Rückstauklappen)
  - Kosten für Grunderwerb und Erschließungskosten (wenn Erweiterungen oder Umlegungen des Kanalnetzes durchgeführt werden).
- **L a u f e n d e K o s t e n** sind Kosten für Betrieb, Wartung, Unterhaltung und Überwachung des Entwässerungssystems. Eine Gliederung kann erfolgen durch Aufschlüsseln der Kosten in:
  - Personalkosten
  - Wartungskosten (Reinigung, Inspektion)
  - Instandhaltungskosten (Reparaturen mit Nutzungsdauern bis zu 5 Jahren)
  - Sachkosten (Energie, Ersatzteile, Hilfsstoffe)
  - Abwasserabgaben.

Für Kostenvergleichsrechnungen in der Sanierungsplanung für Abwassernetze sind die Investitionskosten für Erneuerung und Renovierung und als laufende Kosten die für Reparaturen sowie sämtliche Reinvestitionskosten für jede Haltung und alle dafür in Frage kommenden Sanierungsalternativen aufgeschlüsselt zu berechnen.

Die anderen genannten Kosten, wie z. B. Planungskosten und Abwasserabgaben, fallen nahezu unabhängig vom gewählten Sanierungsverfahren in ähnlicher Höhe an und haben keinen wesentlichen Einfluss auf die Kostenvergleichsrechnung. Im Vergleich dazu sei auf den Bau von Abwasserbehandlungsanlagen verwiesen, wo z. B. die Art der Schlammbehandlung unterschiedlich hohe Betriebskosten verursacht.<sup>104</sup>

### *7.4.3 Ablauf der Kostenvergleichsrechnung*

Als Nutzungsdauer von Abwasserkanälen wird nach LAWA ein Zeitraum von 80-100 Jahren angegeben. Ein Vergleich der dabei für jede Haltung entstehenden unterschiedlich hohen und unterschiedlich zeitlich anfallenden Kosten wird durch eine finanzmathematische Aufbereitung möglich. Die Kostenvergleichsrechnung nach LAWA läuft in 5 Stufen ab:

#### *7.4.3.1 (1) Kostenermittlung*

Um eine hohe Aussagekraft durch eine Kostenvergleichsrechnung zu erhalten, müssen die Kosten für Erneuerung, Renovierung, Reparatur und Reinvestition so detailliert als möglich ermittelt werden.

<sup>103</sup> Vgl. LAWA 1993 S. 17f.

<sup>104</sup> Hierzu Bohn [Wirtschaftlichkeit] 1993 S. 103.

Je genauer diese in der Planungsphase berechnet werden, desto mehr Relevanz besitzt die Kostenvergleichsrechnung für eine Sanierungsentscheidung.

#### 7.4.3.2 (2) Finanzmathematische Aufbereitung der Kosten

Um eine wertmäßige Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Kostenreihen (zeit- und betragsmäßig) der Sanierungsalternativen herstellen zu können, sind alle Kosten einer jeden Sanierungsalternative auf einen gemeinsamen Bezugszeitpunkt zu beziehen.

Kosten, nahe des Bezugszeitpunktes werden höher bewertet als Kosten, die erst im Laufe der Nutzungsdauer der Anlagen oder gegen Ende der Nutzungsdauer entstehen. Dies ist damit erklären, dass für später entstehende Kosten auch erst später Finanzmittel benötigt werden. Diese Finanzmittel können vorerst anderweitig dem Unternehmen zur Erzielung von Zinsen zur Verfügung stehen und sind nicht in betriebsnotwendigen Anlagevermögen gebunden werden.

Man bezeichnet den Vorgang als Diskontierung, wenn Kosten (nachfolgend auch als Auszahlung bezeichnet) nach dem Bezugszeitpunkt anfallen und auf den Bezugszeitpunkt abgezinst werden.

Die Diskontierung kann durch die finanzmathematische Formel  $A_0 = \frac{A_n}{(1+i)^n}$  ausgedrückt werden

(mit  $A_0$  - Barwert einer Auszahlung,  $A_n$  - Auszahlung im n-ten Jahr,  $i$  - Kalkulationszinssatz).

Jede einzelne Auszahlung wird mit einem Kalkulationszinssatz auf den Bezugszeitpunkt abgezinst. Vor dem Bezugszeitpunkt anfallende Auszahlungen sind aufzuzinsen. Die genannte Gleichung ist dann entsprechend umzustellen. In der LAWA sind bereits aufbereitete Faktoren mit Kalkulationszinssatz und Zinszeitraum zu finden, die zur Diskontierung herangezogen werden können.

#### 7.4.3.3 (3) Gegenüberstellung der Projektkostenbarwerte

Nach LAWA ergibt sich für jede diskontierte Auszahlung ein Barwert  $A_0$ . Die Summe der Barwerte einer Auszahlungsreihe wird Projektkostenbarwert genannt. Die Sanierungsalternative mit dem kleinsten Projektkostenbarwert (nach LAWA) stellt die kostengünstigste Sanierungsalternative dar.

In der BWL versteht man unter der Summe aller diskontierten Auszahlungen den Barwert der Auszahlungsreihe. Hierauf soll der Vollständigkeit halber verwiesen werden.

#### 7.4.3.4 (4) Sensitivitätsanalyse durch Variation maßgebender Parameter

Als einfachste Form zur Berücksichtigung von Risiko bei Investitionsentscheidungen kann die Sensitivitätsanalyse angewendet werden.<sup>105</sup> Festgestellt werden kann durch Variation der erwarteten Nutzungsdauer der Anlage, des Diskontierungzinssatzes (auch Kalkulationszinssatz) und der Kostenentwicklungen in den folgenden Jahren, wie stabil die Ergebnisse einer Wirtschaftlichkeitsrechnung sind.

#### 7.4.3.5 (5) Gesamtbeurteilung

Die Ergebnisse einer Kostenvergleichsrechnung sind kritisch zu hinterfragen. Sämtliche Annahmen und Umstände, die der Kostenvergleichsrechnung zugrunde gelegt wurden, sollten letztmalig überprüft werden. Das Ergebnis ist ein Vorschlag, "der als Grundlage für die endgültige Entscheidungsfindung anzusehen ist."<sup>106</sup>

---

<sup>105</sup> Vgl. Pflaumer [Investitionsrechnung] 1992 S. 131.

<sup>106</sup> Vgl. LAWA 1993 S. 15.

Grob abgeschätzte Kosten lassen die Kostenvergleichsrechnung nicht als Instrument zur endgültigen Entscheidungsfindung zu. Sie können keinen Aufschluss über die wirtschaftlichste Sanierungsalternative geben.

#### 7.4.4 *Kritik an der Kostenvergleichsrechnung*

Der LAWA-Arbeitskreis weist selbst darauf hin, dass Ergebnisse der Kostenvergleichsrechnung nicht dazu dienen können, Grundlage für Gebührenkalkulation, Vermögensbewertung und Finanzplanungen zu sein. Eine Erklärung zu diesem Hinweis fehlt in der LAWA. Durch die Abgrenzung zweier verschiedener Kostenbegriffe kann aber eine Begründung geliefert werden.

Kosten nach DIN 276 sind Aufwendungen für Güter, Leistungen und Abgaben, die für die Planung und Ausführung von Baumaßnahmen erforderlich sind. Diese Kosten werden durch Kalkulation auf der Basis von Baupreisen ermittelt. Baupreise sind nichts anderes als vorausschauende Angaben über eventuell später anfallende Kosten.<sup>107</sup>

Die Kalkulation der Abwassergebühren und die Vermögensbewertung sind an das betriebliche Rechnungswesen gebunden. In der Betriebswirtschaftslehre wird für die Bezeichnung erfasster Zahlungs- und Leistungsvorgänge im betrieblichen Rechnungswesen eine eigene Terminologie verwendet. Kosten werden als der bewertete Verbrauch aller Güter und Dienstleistungen pro Periode und zwar für die Erstellung der eigentlichen betrieblichen Leistung bezeichnet.<sup>108</sup>

Aus den beiden inhaltlich unterschiedlichen Kostenbegriffen geht eindeutig hervor, dass die für Kostenvergleichsrechnungen berechneten Kosten nicht mit den im betrieblichen Rechnungswesen erfassten Kosten übereinstimmen und deswegen auf keinem Fall zur Gebührenkalkulation und Vermögensbewertung herangezogen werden können. Die Kalkulation der Abwassergebühren erfordert darüber hinaus eine Gliederung der Kosten in ansatzfähige und nichtansatzfähige Kosten.<sup>109</sup>

Vorliegende kalkulierte Kosten in der Sanierungsplanung sind nicht unmittelbar für die anderen Teilplanungen zu nutzen. Sie liefern aber meines Erachtens für die Investitions- und Finanzplanung einen ersten Anhaltspunkt über die Höhe möglicher Investitionen in den nächsten Jahren, wenn nicht diskontierte Kosten zugrunde gelegt werden. In den beiden Planungsbereichen werden auch Prognosedaten verwendet.

Andere dynamische Methoden, wie die Kapitalwertmethode erlauben es, neben den Kostenreihen auch die mit den technischen Anlagen erzielten Erlöse in eine Wirtschaftlichkeitsrechnung einfließen zu lassen.<sup>110</sup> Die Beurteilung einer Einzelinvestition und nicht nur Aussagen zur relativen Vorteilhaftigkeit würden möglich werden.

Der Kapitalwert einer Investition wird als Summe aller abgezinsten Ein- und Auszahlungen errechnet. Ein Projekt ist dann vorteilhaft, wenn der Kapitalwert gleich null oder positiv ist. In den meisten Unternehmen treten Unsicherheiten vor allem bei der Prognose von Erlösen auf. Bei Abwasserunternehmen fallen als Erlöse für die Abwasserbeseitigung die Abwassergebühren an. Diese gelten als sichere Einnahmen. Jedoch besteht das Problem der Zurechenbarkeit von

---

<sup>107</sup> Vgl. Keller [Baukostenplanung] 1994 S. 10.

<sup>108</sup> Vgl. Bea/Dichtl/Schweitzer [Leistungsproß] 1994 S. 111.

<sup>109</sup> Vgl. Cattien [Abwassergebühren] 1998 S. 26 ff.

<sup>110</sup> Es wird auf Däumler [Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung] 1998 und Betge [Investitionsplanung] 1995 verwiesen.

Gebührenanteilen auf die Abwasserableitung selbst. Es könnten zwar prozentuale Anteile abgeschätzt werden, dies dürfte jedoch für die Sanierungsplanung zu aufwendig sein.

Die Eignung solcher dynamischer Methoden für Unternehmen, die Gebühren erheben, muss gesondert untersucht werden.

## **8 ANFORDERUNGEN AN PLANUNGSMODELLE**

### **8.1 Vorbemerkungen**

Eine Planung geht immer mit Entscheidungen einher. Vielfältige Einflussfaktoren, die den Planungsprozess und damit auch die Entscheidungsfindung der Sanierungsplanung prägen, wurden in den vorangegangenen Kapiteln näher beschrieben. Ein Entscheidungsproblem entsteht, wenn unter bestimmten Umweltzuständen aus mehreren Handlungsalternativen die Alternative auszusuchen ist, die am geeignetsten zur Zielerfüllung scheint.<sup>111</sup>

Planungs- und Entscheidungsmodelle für die Sanierungsplanung sollten analytische und heuristische Verfahren zur Lösung der Entscheidungsprobleme beinhalten. Analytische Verfahren ermitteln eine optimale Lösung für das Entscheidungsproblem durch einen Algorithmus, d.h. einen systematisierten Rechenvorgang.<sup>112</sup> Kapitaltheoretische Modelle bilden das Entscheidungsproblem in Form von Zahlungsströmen ab, wie etwa eine dynamische Kostenvergleichsrechnung. Auch eine Nutzwertanalyse stellt ein analytisches Verfahren dar, berücksichtigt aber neben monetären auch nicht-monetäre Größen bei der Alternativenauswahl.

Bei heuristischen Verfahren erhält man durch Simulationen und der Anwendung sich in der Vergangenheit bewährter Verhaltensregeln Näherungslösungen, da der Einsatz eines analytischen Verfahrens zu kostenintensiv wäre.

### **8.2 Formulierung der Anforderungen**

An ein Planungs- und Entscheidungsmodell für Sanierungsplanung werden insbesondere durch die Erkenntnisse aus den vorangegangenen Kapiteln bestimmte Anforderungen gestellt. Wenn diese Anforderungen von den untersuchten Planungsmodellen erfüllt werden, kann von einer Allgemeingültigkeit ausgegangen werden. Das Planungsmodell kann dann universell für jedes Untersuchungsgebiet eingesetzt werden. Anderenfalls ist eine Ergänzung eines Planungsmodells um die noch fehlenden Komponenten nötig.

Folgenden Anforderungen sollte ein Planungsmodell gerecht werden:<sup>113</sup>

- Verarbeitung der aktuellen erfassten Zustandsdaten bzw. statistisch gesicherte Schätzungen
- Festlegen von Sanierungsalternativen entsprechend den technischen Anforderungen zur Schadensbehebung
- Einbeziehen von Hydraulik und Umwelt
- Beurteilung nicht-monetärer Kriterien
- Berücksichtigen spezifischer Einflüsse, wie z.B. Wasserschutzgebiete
- Ermittlung von Kosten für Reparatur, Renovation und Erneuerung einschließlich sämtlicher Reinvestitionskosten für eine Sanierung

<sup>111</sup> Vgl. Bea/Dichtl/Schweitzer [Grundfragen] 1992 S. 310.

<sup>112</sup> Vgl. Bea/Dichtl/Schweitzer [Grundfragen] 1992 S. 331.

<sup>113</sup> Eigene Definition der Kriterien.

- Geschlüsselter Ausweis der Kostenberechnungen für Verifizierbarkeit
- Alternativenvergleich durch Wirtschaftlichkeitsrechnungen
- Sichere Prognosen für den mittel- bis langfristigen Sanierungsbedarf
- Frühzeitige Schätzungen der Investitionen für den mittel- bis langfristigen Finanzbedarf
- Bereitstellen von Daten, die ein langfristiges Finanzierungskonzept ermöglichen.

Anhand dieser Anforderungen soll nun durch mich in den Folgekapiteln die Darstellung und Bewertung von Planungsmöglichkeiten erfolgen.

## **9 AUSGEWÄHLTE MODELLE ZUR SANIERUNGSPLANUNG**

### **9.1 Vorbemerkungen**

In meiner Arbeit werden zwei ausgewählte Planungsmodelle vorgestellt. Da das Konzept des Büros PuP im Auftrag und in Zusammenarbeit mit den Berliner Wasserbetrieben entstand, kommt diesem in meinen Betrachtungen eine sehr große Gewichtung bei. Dieses Konzept, mit welchem bereits erste Studien in der Sanierungspraxis der BWB durchgeführt wurden, wird durch mich überarbeitet, ausführlich dargestellt und erklärt.

Ergänzend hierzu soll die Betrachtung des Konzeptes der AQUA-Ingenieure erfolgen.

Die bereits in der Einführung angesprochene Situation, dass beide Unternehmen mit ihren Modellen um Marktanteile im selben Markt kämpfen, erschwert dabei die Verfügbarkeit benötigter Daten. Trotz der hier dankend zu erwähnenden Kooperationsbereitschaft der beteiligten Unternehmen, war es nur bedingt möglich, detaillierte Fragestellungen durch Literaturstudien bereits veröffentlichter Quellen bzw. durch Gespräche zu beantworten.

Durch eine Aus- und Bewertung soll geklärt werden, ob die formulierten Anforderungen durch die Planungsmodelle erfüllt werden. Evtl. Schwachstellen und Potentiale möchte ich aufzeigen.

### **9.2 Konzept des Büros Dr.-Ing. Pecher und Partner und der Berliner Wasserbetriebe**

Ein mir vorliegender Zwischenbericht des Büros PuP über ein durchgeführtes Pilotprojekt in Zusammenarbeit mit den Berliner Wasserbetrieben bildet die Grundlage für nachfolgende Ausführungen. Dieses Pilotprojekt ist als Ansatz für eine Sanierungsplanung bei den Berliner Wasserbetrieben entstanden und wird durch mich aufgearbeitet und um eigene Aussagen ergänzt.

Zu beachten ist dabei, dass dieses Pilotprojekt unter bestimmten Zielstellungen erarbeitet wurde, die in einer übersichtlichen Darstellung fortlaufend beschrieben werden sollen. Damit verbunden ist, dass nur bestimmte Informationen gewonnen werden. Inwieweit diese Informationen als Entscheidungsgrundlage zur Sanierungsplanung dienen, wird durch mich zu klären sein.

Besonderer Dank gilt in diesem Zusammenhang Herrn Dipl.-Ing. Klaus Sympher für seine Bereitschaft und Bemühungen, die Defizite verfügbarer Daten im persönlichen Gespräch auszugleichen. Obwohl im relevanten Fachgebiet, wie mehrfach erwähnt, lediglich eine geringe Anzahl an Literatur veröffentlicht und verfügbar ist, war es mir durch wiederholtes und gezieltes Nachfragen dennoch möglich, die Verifizierbarkeit der getroffenen Aussagen sicherzustellen.

#### **9.2.1 Begriffsklärung**

Für das Pilotprojekt werden aufsummierte Kosten für Reparatur, Renovierung und Erneuerung sowie sämtliche Reinvestitionskosten als Projektkosten bezeichnet, die, wenn sie nach dem Bezugszeitpunkt anfallen, diskontiert werden.<sup>114</sup>

---

<sup>114</sup> Es wird auf Kapitel 7.4.3. verwiesen.

## 9.2.2 Ausgangsdaten

Durch eine flächendeckende Inspektion im Untersuchungsgebiet wurden alle vorgefundenen Schäden mit den entsprechenden Schadenskürzeln und dem jeweiligen Schadensausmaß digital in einer Datenbank erfasst. Diese Schäden wurden entsprechend dem Berliner Schadenskatalog Schadensklassen zugeordnet. Bei der Einordnung von Schäden in Schadensklassen wird die Art und das Ausmaß des Schadens bewertet.

## 9.2.3 Sanierungsvarianten

*Ziel 1: Es soll die Sanierungsvariante ermittelt werden, die zum einen die technischen Anforderungen nach einer mindestens durchzuführenden Schadensbeseitigung und zum anderen den optimalen Finanzmitteleinsatz gewährleistet.<sup>115</sup>*

Zur Variation des Sanierungsumfangs werden im Zwischenbericht deswegen alle notwendigen Berechnungen zunächst für drei Sanierungsvarianten durchgeführt.

Ein Vergleich der Sanierungsvarianten in Bezug auf die entstehenden Projektkosten und die Quantität der berücksichtigten Schäden bei der Schadensbehebung wird in Kapitel 10.2 gezeigt und soll eine Auswahl der günstigsten Sanierungsvariante ermöglichen und zur Erfüllung des Zieles 1 dienen. Der Fortführung der Sanierungsplanung im Pilotprojekt und sich anschließenden Sanierungsplanungen soll zunächst diese günstigste Sanierungsvariante zugrunde gelegt werden.

Sanierungsvariante 1	Berücksichtigung von Schäden der Schadensklassen 1 und 2
Sanierungsvariante 2	Berücksichtigung von Schäden der Schadensklassen 1 bis 3
Sanierungsvariante 3	Berücksichtigung aller Schäden

*Tabelle 9.1 Sanierungsvarianten des Büros PuP/ BWB [Eigene Darstellung.]*

Im Fall von Sanierungsvariante 1 werden für die Berechnungen alle Haltungen maßgebend, denen bei der Schadensklassifizierung Schäden der Schadensklassen 1 und 2 zugewiesen wurden.

Bei Sanierungsvariante 2 werden die Haltungen berücksichtigt, denen Schäden der Schadensklassen 1, 2 und 3 bei der Schadensklassifizierung zugeordnet sind.

Als Sanierungsvariante 3 werden für alle beschädigten Haltungen und deren Schäden notwendige Sanierungskosten berechnet.

Kalkulationsgrundlage für die Berechnung der Kosten für die einzelnen Teilleistungen bildet ein Mutterleistungsverzeichnis<sup>116</sup> der Berliner Wasserbetriebe.

## 9.2.4 Sanierungsalternativen

Die Schadensbeseitigung kann für jede Haltung im Pilotprojekt mit bis zu sechs möglichen Sanierungsalternativen durchgeführt werden.

Als Sanierungsalternative 1 kommt vorwiegend eine Teilerneuerung in Betracht. Für die Sanierungsalternativen 2 und 3 werden meist Reparaturen in Form von partiellen Sanierungen

<sup>115</sup> Dabei ist DIN 752-5 zu beachten, die an sanierte Systeme dieselben Anforderungen wie an neue Systeme stellt. Auf längerfristige Sicht werden alle Schäden zu beseitigen sein.

<sup>116</sup> Zum Verständnis dieser Arbeit ist dies unerheblich.

durchgeführt. Bei Sanierungsalternative 4 werden Renovierungsverfahren angewendet, überwiegend Schlauchrelining, sofern die jeweiligen Randbedingungen dies zulassen.

Als Sanierungsalternative 5 und 6 wird eine Erneuerung in offener bzw. in geschlossener Bauweise immer als Referenzmaßnahmen aufgeführt.

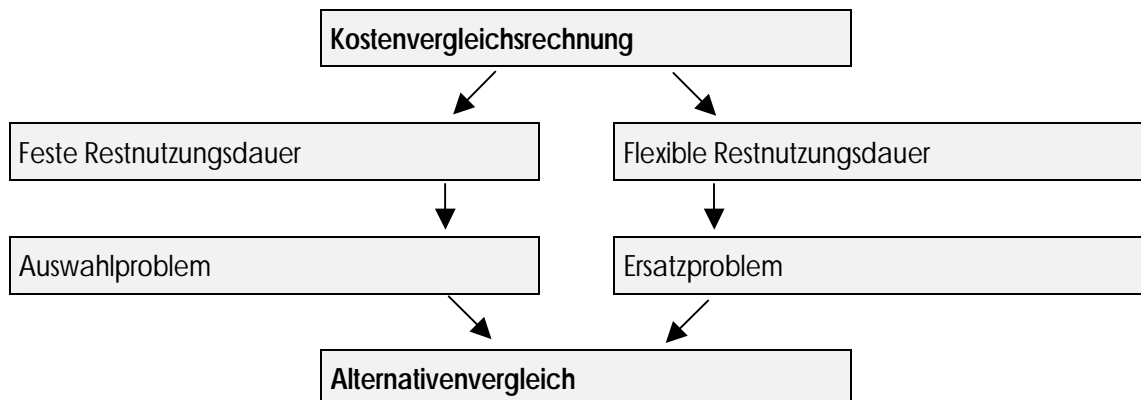
### 9.2.5 Kostenvergleichsrechnung innerhalb einer Sanierungsvariante

*Ziel 2: Für das Untersuchungsgebiet des Pilotprojektes soll herausgefunden werden, welche Sanierungsalternativen an den Kanälen zur wirtschaftlichsten Gesamtlösung innerhalb einer Sanierungsvariante führen.*

Die Sanierungsvarianten müssen unabhängig voneinander betrachtet werden. Innerhalb einer Sanierungsvariante ist für jede relevante Haltung eine Kostenvergleichsrechnung durchzuführen (siehe auch Kapitel 7.4.3).

Im Kapitel 7.1 wurde festgestellt, dass für die Sanierungsplanung eine Kostenvergleichsrechnung sinnvollerweise auf zwei Wegen erfolgen kann, der Bestimmung der relativen Vorteilhaftigkeit einer Sanierungsalternative und der Bestimmung einer voraussichtlichen wirtschaftlichen Nutzungsdauer. Es wurde im Kapitel 7.4 auch erklärt, warum die Bestimmung der absoluten Vorteilhaftigkeit einer Sanierungsalternative (Einzelinvestition) schwierig ist.

Der Inhalt des Konzeptes des Pilotprojektes ist identisch mit dem von mir dargestellten Schema in Abbildung 9.1.



*Bild 9.1 Übersicht über das Planungsmodell mit fester und flexibler Restnutzungsdauer [Eigene Darstellung.]*

Als erster Weg wird im Zwischenbericht gezeigt, dass aus den bis zu sechs möglichen Sanierungsalternativen mit Hilfe der Kostenvergleichsrechnung die kostengünstigste Sanierungsalternative für jede Haltung über eine feste Restnutzungsdauer hinweg herausgefunden werden kann (Auswahlproblem). Einen anderen Weg und eine Erweiterung des Modells stellt die Ermittlung einer flexiblen und kritischen Restnutzungsdauer dar, die den optimalen Ersatzzeitpunkt für eine Haltungserneuerung angibt (Ersatzproblem). Nach Berechnung einer kritischen Restnutzungsdauer wird wie beim Auswahlproblem weiter verfahren.

Beide Herangehensweisen dienen zur Lösung des Entscheidungsproblems und zur Wahl einer Sanierungsalternative (Alternativenvergleich).

## 9.2.6 Die Nutzungsdauer von Sanierungsmaßnahmen

Jeder Sanierungsmaßnahme muss eine Nutzungsdauer zugewiesen werden, die auch sehr oft nur auf Schätzungen beruht, weil keine Langzeiterfahrungen mit vielen, neu am Markt befindlichen Sanierungsverfahren vorliegen.<sup>117</sup> Nach Ablauf der Nutzungsdauer einer Sanierungsmaßnahme muss diese Sanierungsmaßnahme erneut durchgeführt werden, und es entstehen Kosten in Form von Reinvestitionskosten. Diese entstehen solange, bis die Restnutzungsdauer der Haltung abgelaufen und eine Erneuerung fällig ist. Als Sonderfall sollen die Renovierungsverfahren genannt werden, die die Restnutzungsdauer einer Haltung verlängern können. Durch Renovierung wird die Statik des Schlauches ersetzt und die Restnutzungsdauer kann verlängert werden, wenn die Nutzungsdauer des Sanierungsverfahrens größer als die noch vorhandene Restnutzungsdauer der Haltung ist.

## 9.2.7 Diskussion einer festen Restnutzungsdauer

### 9.2.7.1 Bestimmung einer festen Restnutzungsdauer einer Haltung

Bevor eine Kostenvergleichsrechnung zur Lösung des Auswahlproblems durchgeführt werden kann, muss die betriebsgewöhnliche Restnutzungsdauer einer jeden einzelnen Haltung bestimmt werden.<sup>118</sup> Im Pilotprojekt werden gemäß Tabelle 9.2 die Nutzungsdauern für Abwasserkanäle aufgrund von innerbetrieblichen Erfahrungswerten angenommen. Zum Vergleich seien die durchschnittlich empfohlenen Nutzungsdauern nach LAWA aufgezeigt. In Klammern stehende Werte werden als Extremwerte genannt.

Rohrmaterial	Erfahrungswert für die Nutzungsdauer in Jahren	Durchschnittliche Nutzungsdauer in Jahren nach LAWA
Beton	80	50-80 (100)
Steinzeug	100	0-80 (100)

Tabelle 9.2 Nutzungsdauer von Kanälen [Eigene Darstellung.]

Die feste Restnutzungsdauer einer Haltung wird in diesem Konzept in Abhängigkeit vom Baujahr und vom Rohrmaterial wie folgt festgesetzt:

$$\text{Erfahrungsgemäß angenommene Nutzungsdauer} - \text{Alter der Haltung} = \text{Feste Restnutzungsdauer}$$

### 9.2.7.2 Beispiel mit fester Restnutzungsdauer anhand einer Haltung

Ein selbst gewähltes Beispiel soll zum besseren Verständnis angeführt werden. Die Preise sind fiktiv angenommen.

Diese Haltung ist aus dem Jahr 1946 und wird im Jahr 1999 inspiziert. Vorgefundene Schäden sollen behoben werden. Es ist mittels einer Kostenvergleichsrechnung die kostengünstigste Sanierungsalternative aus zwei möglichen Sanierungsalternativen auszuwählen und eine Sanierungsentscheidung zu treffen. Dabei werden hydraulische oder umweltrelevante Einflüsse nicht explizit beachtet.

<sup>117</sup> Es wird auf Kapitel 5.2 verwiesen.

<sup>118</sup> Es wird auf Kapitel 4.2 verwiesen.

Material: Beton                      Angenommene Nutzungsdauer: 80 Jahre

Es ergibt sich eine Restnutzungsdauer von 27 Jahren.

Nach Ablauf der Restnutzungsdauer wird eine Erneuerung für das gesamte Netz fällig. Im Beispiel fallen also Erneuerungskosten für eine Haltung an.

Die Kosten für die Erneuerung der Haltung betragen 150.000 DM.

Folgende zwei Sanierungsalternativen stehen zur Wahl:

1. Sanierungsalternative 1: Injektionsverfahren
  - Nutzungsdauer der Sanierungsmaßnahme: 5 Jahre
  - Kosten der Sanierungsmaßnahme: 5.000,00 DM
2. Sanierungsalternative 2: Schlauchrelining
  - Nutzungsdauer der Sanierungsmaßnahme: 30 Jahre
  - Kosten der Sanierungsmaßnahme: 28.000 DM

Auf den ersten Blick kann nicht entschieden werden, welche Sanierungsalternative die niedrigsten Projektkosten aufweist.

Die kostengünstigste Sanierungsalternative für eine Haltung findet man, wenn für jede Sanierungsalternative die Kosten für Reparatur, Renovierung und/oder Erneuerung sowie sämtliche Reinvestitionskosten für die Sanierungsmaßnahmen über die Restnutzungsdauer einer Haltung aufsummiert werden.

Dabei gilt:

Als Bezugszeitpunkt für die Diskontierung der einzelnen Kosten (Auszahlungen) wird  $t=0$  gewählt.

Bei  $t=0$  findet die Anschaffungsauszahlung für Sanierungsmaßnahmen statt. Alle nach dem Bezugszeitpunkt anfallenden Kosten sind abzudiskontieren. Im Beispiel wird ein Kalkulationszinssatz von 3 %, wie in LAWA empfohlen, angenommen.

Ein Vergleich der je Sanierungsalternative aufsummierten Projektkosten für jede Haltung führt zum Ergebnis der Kostenvergleichsrechnung. Die Sanierungsalternative mit dem geringstem Projektkostenbarwert stellt die kostengünstigste Sanierungsalternative dar.

Die Abbildungen 9.2 und 9.3 zeigen den Verlauf aller Projektkosten für jeweils eine Sanierungsalternative durch Darstellung der aufsummierten Barwerte als Projektkosten ( PK) im Verhältnis zum Wiederbeschaffungswert (WBW), der für eine sofortige Erneuerung der Haltung zu zahlen wäre ( PK/WBW) über die Zeit. Die Kosten für eine sofortige Erneuerung der Haltung (WBW) werden nicht diskontiert.

Sanierungsalternative 1:

- Als Anschaffungsauszahlung bei  $t=0$  Jahre fallen die Kosten für die Ausführung der Sanierungsmaßnahme in Höhe von 5000 DM an. Nach Ablauf der Nutzungsdauer des Injektionsverfahrens werden für die Zeitpunkte  $t=5, 10, 15, 20, 25$  Jahre Wiederholungen für die Sanierungsmaßnahme fällig, für die Reinvestitionskosten in Form weiterer Auszahlungsreihen anfallen. Nach dem Bezugszeitpunkt anfallende Kosten werden diskontiert.
- Nach Ablauf der Restnutzungsdauer zum Zeitpunkt  $t=27$  Jahre wird eine Auszahlung für die Haltungserneuerung in Höhe von 150.000 DM fällig, die wieder diskontiert werden muss.

Sanierungsalternative 2:

- Als Sanierungsmaßnahme wird Schlauchrelining eingesetzt. Dieses Sanierungsverfahren hat eine Nutzungsdauer von 30 Jahren, die Haltung jedoch nur noch eine Restnutzungsdauer von 27 Jahren. Der genannte Sonderfall tritt ein, wenn dieses Verfahren als das kostengünstigere gewählt werden würde. Die Restnutzungsdauer wird verlängert werden und eine Erneuerung wird erst im Jahre  $t=30$  Jahren fällig werden.

Ergebnis:

Den Projektkosten von 88.927,59 DM für Sanierungsalternative 1 stehen Projektkosten von 86.798,01 DM für Sanierungsalternative 2 gegenüber. Das heißt, dass die Sanierungsalternative 2 im Konzept durch die Kostenvergleichsrechnung als die kostengünstigste Sanierungsalternative ausgewählt wird.

Der Graph zeigt jeweils die Projektkosten im Verhältnis zum Wiederbeschaffungswert. Somit sind bezogen auf den Betrachtungszeitpunkt nur 3,33 % bzw. 16,66 % der Projektkosten, die für Erneuerung der Haltung anfallen würden, fällig. Über den gesamten Betrachtungszeitraum fallen 59,29 % bzw. 57,87 % der Projektkosten gegenüber einer sofortigen Erneuerung der Haltung an.

Die letztendliche Entscheidung zugunsten einer Sanierungsalternative muss nun aber auch davon abhängig gemacht werden, welche Höhe an Finanzmitteln zum Betrachtungszeitpunkt tatsächlich zur Verfügung stehen. Wie bereits festgestellt, ist die Sanierungsalternative 2 insgesamt die kostengünstigste Sanierungsalternative. Wenn aber die dafür benötigten, wesentlich höheren Finanzmittel als bei Sanierungsalternative 1 zum Betrachtungszeitpunkt durch das begrenzte Budget nicht abgedeckt werden können und eine Zusatzfinanzierung erforderlich wird, so sind diese zusätzlichen Finanzierungskosten in die Betrachtung einzubeziehen. Es ist so möglich, dass durch die Berücksichtigung solcher zusätzlichen Finanzierungskosten der Vorteil der Sanierungsalternative 2 aufgebraucht wird und die Sanierungsalternative 1 in der Gesamtbetrachtung kostengünstiger ist.

Die Nutzung der Sanierungsalternative 1 wirkt somit in Form eines "internen Kredites". Dies wurde bisher im Konzept vernachlässigt, war aber auch nicht Aufgabe für diese Planung.

Eine detaillierte Aussage zu diesem Problem ist in starkem Maße von der Unternehmenssituation und dem vorliegenden Einzelfall abhängig. In der Regel kann eine Beurteilung und Entscheidung hierzu infolge der benötigten internen Daten nur durch Unternehmensmitarbeiter oder durch vom Unternehmen beauftragte Unternehmensberatungen erfolgen.

Anmerkung: Natürlich kann auch sofort und als erste Sanierungsmaßnahme eine Erneuerung ausgeführt werden, wenn sie sich als die wirtschaftlichste Sanierungsalternative erweist.

**Fehler! Es ist nicht möglich, durch die Bearbeitung von Feldfunktionen Objekte zu erstellen.**

*Tabelle 9.3      Projektkosten für Sanierungsalternative 1 [Eigene Darstellung.]*

Barwertverlauf für fiktives Beispiel bei fester Restnutzungsdauer

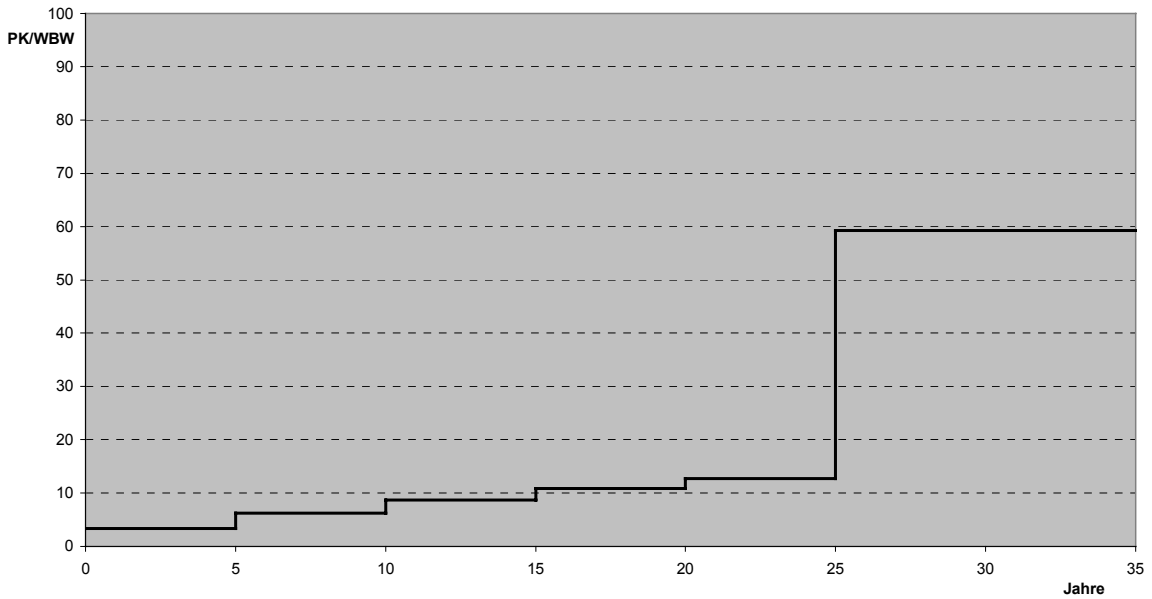
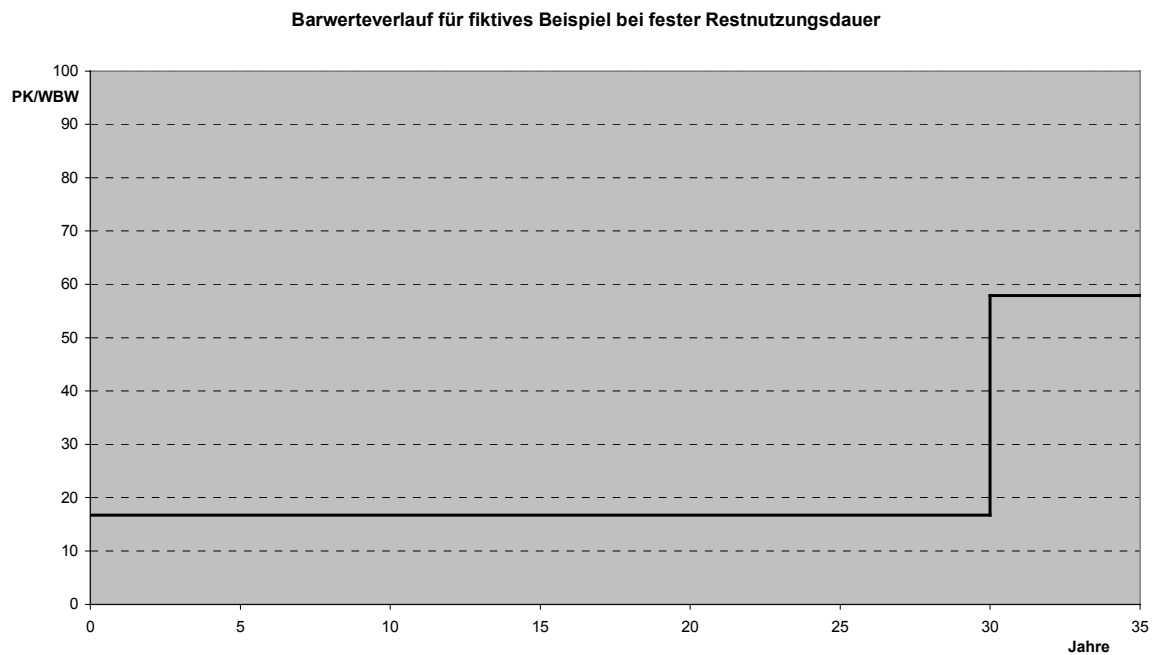


Bild 9.2 Barwertverlauf aufsummierter Projektkosten für Sanierungsalternative 1 [Eigene Darstellung.]

San.alternative Jahr	Partielle San.	Schlauchrelining 25.000,00 DM ND: +30	Erneuerung offen 150.000,00 DM	Summe PK pro Jahr	Summe PK bis Jahr	Erneuerung des gesamten Netzes WBW 150.000,00 DM	PK/WBW in %
0		25.000,00 DM		25.000,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
1				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
2				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
3				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
4				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
5				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
6				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
7				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
8				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
9				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
10				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
11				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
12				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
13				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
14				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
15				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
16				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
17				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
18				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
19				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
20				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
21				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
22				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
23				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
24				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
25				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
26				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
27				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
28				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
29				0,00 DM	25.000,00 DM	150.000,00 DM	16,66666667
30			61.798,01 DM	61.798,01 DM	86.798,01 DM	150.000,00 DM	57,86534262
31				0,00 DM	86.798,01 DM	150.000,00 DM	57,86534262
32				0,00 DM	86.798,01 DM	150.000,00 DM	57,86534262
33				0,00 DM	86.798,01 DM	150.000,00 DM	57,86534262
34				0,00 DM	86.798,01 DM	150.000,00 DM	57,86534262
35				0,00 DM	86.798,01 DM	150.000,00 DM	57,86534262

Tabelle 9.4 Projektkosten für Sanierungsalternative 2 [Eigene Darstellung.]



*Bild 9.3 Barwerteverlauf aufsummierter Projektkosten für Sanierungsalternative 2 [Eigene Darstellung.]*

### 9.2.7.3 Änderung der festen Nutzungsdauer

Aus der Kenntnis heraus, dass im Pilotgebiet die Abwasserkanäle überwiegend betriebsfähig waren, obwohl die Nutzungsdauer zu circa 75 % erreicht war, wurde in einem weiteren Ansatz eine Kostenvergleichsrechnung mit einer um 50 % erhöhten Nutzungsdauer für die Haltungen durchgeführt.

Rohrmaterial	Ansatz für die Nutzungsdauer in Jahren	Durchschnittliche Nutzungsdauer in Jahren nach LAWA
Beton	120	50-80 (100)
Steinzeug	150	50-80 (100)

*Tabelle 9.5 Nutzungsdauer von Kanälen [Eigene Darstellung.]*

Für die Haltung im beschriebenen fiktiven Beispiel ergibt sich eine erhöhte feste Restnutzungsdauer von 67 Jahren. Sanierungsmaßnahmen werden über diese verlängerte feste Restnutzungsdauer fällig. Die Kosten für die Erneuerung fallen dann bei  $t=67$  Jahren an. Der weit in der Zukunft liegende Barwert für die Erneuerung führt zu insgesamt niedrigeren Projektkosten als bei einer Restnutzungsdauer von nur 23 Jahren. Ein erheblich reduzierter Investitionsbedarf ist die Folge.<sup>119</sup>

Zu beachten ist, dass im Fall der Wahl einer Renovierungsmaßnahme zur Schadensbeseitigung die Haltung nach Ablauf der Nutzungsdauer von 30 Jahren immer wieder erneuert werden muss. Eine Renovierung trägt dann entgegen dem beschriebenen Sonderfall nicht zur Verlängerung der Restnutzungsdauer bei.

<sup>119</sup> Es wird auf die Beispielsrechnung in Kapitel 10.2 verwiesen.

Die Restnutzungsdauer hat also einen sehr großen Einfluss auf das Ergebnis einer Kostenvergleichsrechnung.

### *9.2.8 Diskussion einer flexiblen Restnutzungsdauer*

*Ziel 3: Durch Einführung einer flexiblen Restnutzungsdauer wird der unbefriedigende Einfluss einer festen Restnutzungsdauer im Vergleich zur tatsächlichen Nutzungsdauer der Abwasserkanäle ersetzt.*

#### *9.2.8.1 Ermittlung einer kritischen Restnutzungsdauer*

Eine differenziertere Ermittlung der Restnutzungsdauer wird notwendig, weil die Ergebnisse einer Kostenvergleichsrechnung stark von der festgesetzten Restnutzungsdauer beeinflusst werden. Es wird deshalb im folgenden eine kritische Restnutzungsdauer für jede Haltung berechnet. Damit wird die feste Restnutzungsdauer durch eine flexible Restnutzungsdauer ersetzt.

Die Restnutzungsdauer ist dann nicht mehr vom Baujahr und Rohrmaterial abhängig. Bei der flexiblen Restnutzungsdauer wird davon ausgegangen, dass sich die kritische Restnutzungsdauer durch das Ausmaß vorliegender Schäden und durch den notwendigen finanziellen Sanierungsaufwand bestimmen lässt.

#### *9.2.8.2 Randbedingungen*

Es fallen keine Projektkosten für die zum Zeitpunkt  $t=0$  Jahre schadensfreien Haltungen an. Bei schadensfreiem Haltungszustand wird im Zwischenbericht auch von in der Zukunft schadensfreien Haltungen ausgegangen. Die Restnutzungsdauer wird als unendlich für solche Haltungen unterstellt.

Für Haltungen mit Schäden wird eine kritische Restnutzungsdauer, die kleiner als unendlich ist, ermittelt. Die kritische Restnutzungsdauer einer Haltung ist dort, wo der Barwert einer Erneuerung gleich den aufsummierten Barwerten einer Sanierungsmaßnahme (ohne Barwert der Erneuerung) ist.

#### *9.2.8.3 Restriktionen für eine Erneuerung*

Die Summe aller Projektkosten, die sich aus den Kosten für Sanierungsmaßnahmen über die Restnutzungsdauer und einer in jedem Fall danach notwendigen Erneuerung zusammensetzen, muss im Verhältnis zum nicht diskontierten Wiederbeschaffungswert einer sofortigen Erneuerung kleiner oder gleich eins sein (Gleichung 9.1).

Die ermittelten Restnutzungsdauern (RND) können zwischen 0 und unendlich liegen (Gleichung 9.2).

Die Projektkosten setzen sich immer aus Kosten für Reparatur und Erneuerung, Renovierung und Erneuerung oder nur aus Erneuerung zusammen (Gleichung 9.3).

Die Bedingung für die Ermittlung der kritischen Restnutzungsdauer ist, dass die Projektkosten für Reparatur und Renovierung gleich oder kleiner den Barwert einer Erneuerung sind (Gleichung 9.4).

Nur solange diese Bedingung erfüllt ist, wird man sich gegen eine Erneuerung entscheiden. Der Schnittpunkt der beiden Funktionen entspricht der kritischen Restnutzungsdauer. Die Einschränkung dabei ist, dass eine Erneuerung vor Ablauf der kritischen Restnutzungsdauer dann günstiger ist, wenn die ansonsten nochmals notwendig werdende Reinvestition für das Reparatur- oder Renovierungsverfahren barwertmäßig größer ist, als die Differenz des ansonsten eingesparten Barwertes für die Erneuerung.

Es ergibt sich weiterhin, dass die Kosten für Reparatur und Renovierung die Hälfte der Projektkosten bilden (Gleichung 9.5).

$$\text{Gleichung 9.1: } 0 \leq PK/WBW \leq 1$$

$$\text{Gleichung 9.2: } 0 \leq RND \leq 1$$

$$\text{Gleichung 9.3: } PK_{REP} + PK_{REN} + PK_{ER} = PK$$

$$\text{Gleichung 9.4: } PK_{REP} + PK_{REN} \leq PK_{ER}$$

$$\text{Gleichung 9.5: } PK_{REP} + PK_{REN} \leq 0,5 PK$$

#### 9.2.8.4 *Demonstration der flexiblen Restnutzungsdauer anhand eines fiktiven Beispiels*

Die feste Restnutzungsdauer sei für das in Tabelle 9.6 und Abbildung 9.4 dargestellte Beispiel wieder 27 Jahre. Als Kosten für die partielle Sanierung fallen 20.000 DM an, die alle 5 Jahre reinvestiert werden müssen.

San.alternative Jahr	Partielle San. 20.000,00 DM ND: +5	Schlauchrelining	Erneuerung offen 150.000,00 DM	Summe PK pro Jahr	Summe PK bis Jahr	Erneuerung des gesamten Netzes WBW 150.000,00 DM	Erneuerung des gesamten Netzes WBW 150.000,00 DM diskontiert
0	20.000,00 DM			20.000,00 DM	20.000,00 DM	150.000,00 DM	150.000,00 DM
1				0,00 DM	20.000,00 DM	150.000,00 DM	145.631,07 DM
2				0,00 DM	20.000,00 DM	150.000,00 DM	141.389,39 DM
3				0,00 DM	20.000,00 DM	150.000,00 DM	137.271,25 DM
4				0,00 DM	20.000,00 DM	150.000,00 DM	133.273,06 DM
5	17.252,18 DM			17.252,18 DM	37.252,18 DM	150.000,00 DM	129.391,32 DM
6				0,00 DM	37.252,18 DM	150.000,00 DM	125.622,64 DM
7				0,00 DM	37.252,18 DM	150.000,00 DM	121.963,73 DM
8				0,00 DM	37.252,18 DM	150.000,00 DM	118.411,39 DM
9				0,00 DM	37.252,18 DM	150.000,00 DM	114.962,51 DM
10	14.881,88 DM			14.881,88 DM	52.134,05 DM	150.000,00 DM	111.614,09 DM
11				0,00 DM	52.134,05 DM	150.000,00 DM	108.363,19 DM
12				0,00 DM	52.134,05 DM	150.000,00 DM	105.206,98 DM
13				0,00 DM	52.134,05 DM	150.000,00 DM	102.142,70 DM
14				0,00 DM	52.134,05 DM	150.000,00 DM	99.167,67 DM
15	12.837,24 DM			12.837,24 DM	64.971,29 DM	150.000,00 DM	96.279,29 DM
16				0,00 DM	64.971,29 DM	150.000,00 DM	93.475,04 DM
17				0,00 DM	64.971,29 DM	150.000,00 DM	90.752,47 DM
18				0,00 DM	64.971,29 DM	150.000,00 DM	88.109,19 DM
19				0,00 DM	64.971,29 DM	150.000,00 DM	85.542,90 DM
20	11.073,52 DM			11.073,52 DM	76.044,81 DM	150.000,00 DM	83.051,36 DM
21				0,00 DM	76.044,81 DM	150.000,00 DM	80.632,39 DM
22				0,00 DM	76.044,81 DM	150.000,00 DM	78.283,88 DM
23				0,00 DM	76.044,81 DM	150.000,00 DM	76.003,76 DM
24				0,00 DM	76.044,81 DM	150.000,00 DM	73.790,06 DM
25	9.552,11 DM			9.552,11 DM	85.596,92 DM	150.000,00 DM	71.640,84 DM
26				0,00 DM	85.596,92 DM	150.000,00 DM	69.554,21 DM
27			67.528,36 DM	67.528,36 DM	148.125,28 DM	150.000,00 DM	67.528,36 DM
28				0,00 DM	148.125,28 DM	150.000,00 DM	65.561,51 DM
29				0,00 DM	148.125,28 DM	150.000,00 DM	63.651,95 DM
30				0,00 DM	148.125,28 DM	150.000,00 DM	61.798,01 DM
31				0,00 DM	148.125,28 DM	150.000,00 DM	59.998,07 DM
32				0,00 DM	148.125,28 DM	150.000,00 DM	58.250,56 DM
33				0,00 DM	148.125,28 DM	150.000,00 DM	56.553,94 DM
34				0,00 DM	148.125,28 DM	150.000,00 DM	54.906,73 DM
35				0,00 DM	148.125,28 DM	150.000,00 DM	53.307,51 DM

Tabelle 9.6 Projektkosten für Reparatur und Renovierung versus Erneuerung [Eigene Darstellung.]

Ermittlung einer kritischen Restnutzungsdauer

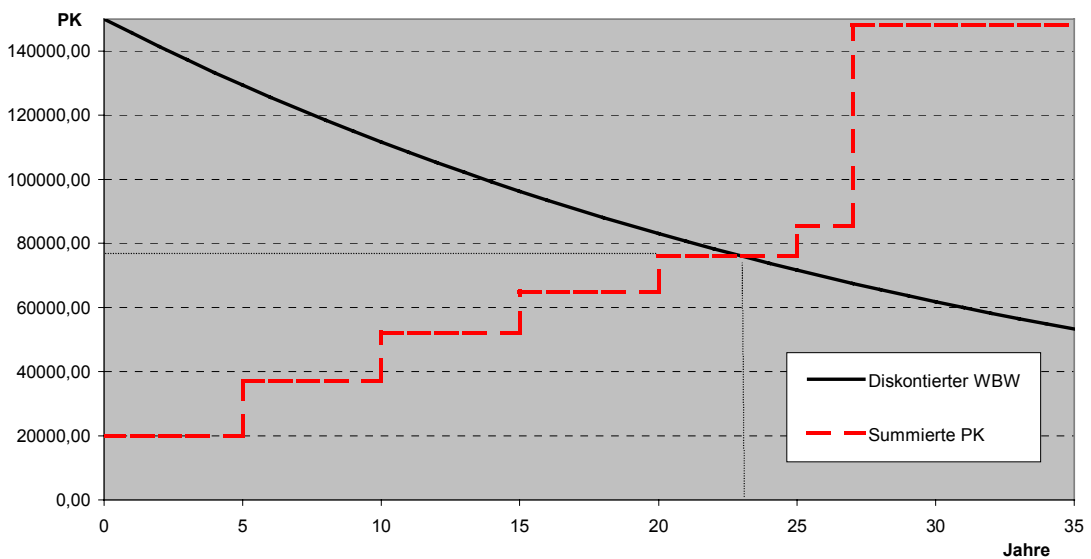


Bild 9.4 Darstellung der Ermittlung der kritischen Restnutzungsdauer [Eigene Darstellung.]

Aus Abbildung 9.4 geht hervor, dass die kritische Restnutzungsdauer für die Haltung bei  $t = 23$  Jahren liegt. Zu diesem Zeitpunkt sind die Projektkosten für Reparatur und Renovierung gleich den Barwert der Erneuerung. Die kritische Restnutzungsdauer ist wirtschaftlicher Natur.

Ab dem Zeitpunkt  $t = 23$  Jahre würde man eine weitere Reparatur und Renovierung nur dann durchführen, wenn das Budget eine Erneuerung nicht gestattet.

Da die Summe der Barwerte einer Erneuerung bei  $t = 23$  Jahre und der vorher bei  $t = 20$  Jahre getätigten Investition für die Reparatur größer ist, als der Barwert einer Erneuerung bei  $t = 20$  Jahre, ist es günstiger in diesem Beispiel, die Erneuerung auf das Jahr 20 vorzuziehen.

### 9.2.9 *Bewertung*

Im Planungsmodell, dessen Ausgangsdaten die einzelnen Schadensbilder der Inspektion sind, werden für die bauliche Schadensbehebung an einer Haltung durch einen Fachingenieur jeweils mehrere Sanierungsalternativen vorgeschlagen. Es erfolgt die Berechnung der Kosten für jede Haltung und jede Sanierungsalternative auf Basis kalkulierter Baupreise. Um aus den verschiedenen Sanierungsalternativen die kostengünstigste Sanierungsalternative zu bestimmen, findet die dynamische Kostenvergleichsrechnung als eine Methode der Wirtschaftlichkeitsrechnung ihre Anwendung. Es wird somit sichergestellt, dass mehrere technisch mögliche Lösungen ins Entscheidungskalkül einbezogen werden.

Nach jeder Kostenvergleichsrechnung wird entsprechend hydraulischen Erfordernissen gegebenenfalls eine Änderung der vorgeschlagenen Sanierungsmaßnahme vorgenommen. Dabei könnten nicht-monetären Faktoren, die bisher außer Acht gelassen werden, eingehen. Der damit verbundene Aufwand ist aber hoch. Es sei darauf verwiesen, dass mit Kosten-Nutzen-Untersuchungen und dem Aufstellen von Indikatorenkataloge und Checklisten, die Einbeziehung nicht-monetärer Kriterien möglich wird.

Wenn weiterführende Untersuchungen ausschließlich für Sanierungsvariante 1 erfolgen, also Schäden der Schadensklassen 1 und 2 saniert werden sollen, muss zusätzlich eine Überprüfung der Prioritätenliste stattfinden.<sup>120</sup> Auf alle Fälle sollten dann Haltungen, denen bei der Zustandsbewertung die Zustandsklasse 1 zugewiesen wurde, überprüft werden. Möglicherweise besitzen auch Haltungen mit Schäden der Schadensklasse 3 durch ihr Schadensausmaß und der damit verbundenen Umweltgefährdung eine hohe Priorität bei der Schadensbeseitigung. Wenn eine Haltung mit einem Schaden der Schadensklasse 3 durch die räumliche Lage der Haltung eine starke Umweltgefährdung darstellt und dem Schaden deshalb ein Bewertungsfaktor von 34 zugewiesen wird und außerdem die Schadensausdehnung einen hohen Streckenzuschlag erfordert, dann wird die Haltung insgesamt in die Zustandsklasse 1 eingeordnet werden. Im vorliegenden Zwischenbericht ist darauf noch nicht eingegangen worden und wird deshalb in weiteren Arbeitsschritten Berücksichtigung finden müssen.

Wasserschutzgebiete waren im bisherigen Untersuchungsgebiet nicht anzutreffen. Wenn Haltungen in Wasserschutzzonen liegen würden, können diese aber problemlos in das Konzept einbezogen werden.

Ziel der durchgeführten Untersuchungen war es nach Aussagen der Beteiligten nicht, Investitionssummen zu ermitteln. Dennoch ist es zweckmäßig, sowohl für die feste als auch für die flexible Restnutzungsdauer alle berechneten Projektkosten mit ihren Barwerten getrennt nach Investitionskosten, laufenden Kosten und Reinvestitionskosten auszuweisen.

---

<sup>120</sup> Zur Auswahl von Sanierungsvariante 1 siehe Kapitel 10.2.

Da die Finanz- und Investitionsplanung auch mit Prognosedaten arbeitet, können Ergebnisse der Kostenvergleichsrechnungen mit entsprechender Aufbereitung als Basis für weitere Planungen dienen.<sup>121</sup> Deshalb bietet es sich an, die ermittelten Kosten auch in nicht diskontierter Form darzulegen.

Allein der graphische Verlauf der aufsummierten Barwerte lässt keinen Schluss über die Höhe absoluter notwendiger Investitionssummen zu verschiedenen Zeitpunkten zu (siehe Abbildung 9.3 und 9.4).

Für  $t=0$  kann eine absolute Investitionssumme aus der graphischen Darstellung ermittelt werden, wenn die Kosten für die Erneuerung des gesamten Netzes bekannt sind. Diese könnte dann zuverlässig im Rahmen einer kurzfristigen Investitionsplanung Verwendung finden, wenn die Sanierungsmaßnahmen tatsächlich stattfinden sollen. Die nach  $t=0$  anfallenden Projektkosten liegen bisher nur in aufsummierter und diskontierter Form vor.

Zahlenwerte in Tabellen würden zum einen die Nachvollziehbarkeit und Verifizierbarkeit der Ergebnisse erleichtern und zum anderen könnten erste Informationen über die Höhe notwendiger Finanzmittel gewonnen werden.

Im Zwischenbericht wird eine Preissteigerungsrate von 0 % angenommen. Die LAWA schlägt die Berücksichtigung von Preissteigerungen auch nur im Zusammenhang mit Sensitivitätsanalysen vor. Die Baupreise für Ortskanäle sind in den letzten Jahren nach Angaben des Statistischen Bundesamtes gesunken. Für langfristige Planungen sollten dennoch Preissteigerungen eingehen, vor allem wenn die Ergebnisse zur Verwendung bei Finanz- und Investitionsplanungen gedacht sind.

Außer Acht gelassen wurden in diesem Konzept Wiederholungsinspektionen. Durch z. B. selektive Teilerhebungen können in gewissen Zeitabständen Zustandsänderungen und neue Schäden erfasst und in das Sanierungskonzept einbezogen werden.

Wiederholungsinspektionen sind im Rahmen der Selbstverpflichtung der BWB im 10-Jahresintervall vorgesehen. Dabei wird voraussichtlich selektiv vorgegangen werden.

Im Zwischenbericht wird davon ausgegangen, dass die laufenden Kosten unabhängig von den Sanierungsalternativen immer in gleicher Höhe anfallen und deshalb nicht betrachtet werden müssen. Als laufende Kosten werden auch Reparaturkosten verstanden. Diese Aussage ist deswegen nicht exakt.

Außer der Nutzungsdauer bei Sanierungsmaßnahmen weichen auch Kanalisationsschächte mit ihren Nutzungsdauern von den Rohrleitungen selbst ab. Die durchschnittliche Nutzungsdauer wird für Schächte mit bis zu 50 Jahren empfohlen. Diese Kosten dürfen nicht vernachlässigt werden.

Für eine unterstellte feste Restnutzungsdauer bedient man sich des Alternativenvergleichs durch die Kostenvergleichsrechnung zur Lösung des Entscheidungsproblems.

Bei der Annahme einer festen Restnutzungsdauer wird davon ausgegangen, dass nach Ablauf der ermittelten festen Restnutzungsdauer diese Haltung zu erneuern ist. Dies geschieht unabhängig davon, ob diese Haltung zum Zeitpunkt des Ablaufes der Restnutzungsdauer tatsächlich Schäden aufweist.

Da dieses Prinzip für alle Haltungen gilt, sind die ausgewiesenen Erneuerungskosten für den Zeitpunkt nach Ablauf der Restnutzungsdauer möglicherweise als Kostenüberschätzung zu bewerten. Andererseits können während der Restnutzungsdauer einer Haltung Schäden auftreten,

---

<sup>121</sup> Es wird auf Kapitel 7.4 verwiesen.

die außerhalb der erfassten Reinvestitionskosten andere Sanierungsmaßnahmen oder sogar eine vorzeitige Erneuerung notwendig werden lassen.

Im Pilotgebiet wurde für eine weitere Berechnung eine fiktiv um 50 % erhöhte feste Nutzungsdauer für alle Haltungen angenommen, um quantitative Auswirkungen auf die Kostenvergleichsrechnungen zu erhalten. Das Ergebnis waren geringere Projektkosten, das die Ermittlung einer kritischen Restnutzungsdauer für jede einzelne Haltung notwendig erscheinen werden ließ.

Die Betriebswirtschaftslehre schlägt für die betriebliche Praxis bei Durchführung von Wirtschaftlichkeitsrechnungen auch eine Ergänzung durch die Ermittlung kritischer Werte vor, weil die Bestimmung der effektiven Restnutzungsdauer und vor allem der wirtschaftlichen Restnutzungsdauer bei allen technischen Anlagen mit Problemen verbunden ist.

Es wurde in Kapitel 4.2 besprochen, dass ein Unternehmen beim Ersatz einer alten Maschine neben Betriebskosten auch häufig Produktionsmengen und -zeiten ins Kalkül ziehen wird, um sich gegebenenfalls anhand wirtschaftlicher Kriterien für den Ersatz der alten Anlage zu entscheiden. So beschreibt Däumler die Berechnung kritischer Mindestwerte für z. B. Absatzmengen und jährliche Einzahlungen sowie kritische Höchstwerte für den Kalkulationszinssatz, jährliche Betriebskosten und Auszahlungen im Rahmen einer Break-Even-Analyse.<sup>122</sup>

Ein Abwasserunternehmen kann nur bis zu einem gewissen Grad die Entscheidung für eine Sanierung und damit einer Investition an den beseitigten m<sup>3</sup>-Abwassermengen oder der Anzahl der Benutzer orientieren. Denn Haushalte und Unternehmen sind an die Benutzung der Kanäle zur Abwasserbeseitigung meist eines Kanalnetzbetreibers gebunden. Sieht man einmal davon ab, dass bei hydraulischen Überlastungen und akuten baulichen Schäden ein Ausfall von Teilen des Netzes, damit eine Unterbrechung der Abwasserbeseitigung und eine Umweltverschmutzung auftreten würden, kann ansonsten die Abwasserbeseitigung auch mit schadhafte Kanälen über lange Zeit hinweg funktionieren, ohne dass ein Ersatz nötig wäre.

Somit birgt der Ansatz zur Bestimmung einer kritischen Restnutzungsdauer aus meiner Sicht große Potentiale.

Wie in Kapitel 7.4.2 empfohlen wurde, sollen in der Sanierungsplanung die Kosten für Reparatur, Renovierung und Erneuerung sowie alle Reinvestitionskosten in eine Kostenvergleichsrechnung eingehen. Die kritische Restnutzungsdauer wird in Abhängigkeit der Höhe anfallender Reparatur-, Renovierungs- und Erneuerungskosten ermittelt. Durch die Ermittlung einer kritischen Restnutzungsdauer wird erst dann eine Haltung erneuert, wenn eine Reparatur oder Renovierung höhere Projektkosten verursachen würde, als der Barwert für die Erneuerung ist. Die Ermittlung der kritischen Restnutzungsdauer dient also der weitestgehend optimalen Ausnutzung der Nutzungsdauer einer Haltung. Dies ist ähnlich dem Ersatzproblem in der Betriebswirtschaftslehre und ermöglicht ein sinnvolles Abweichen von der unrealistischen festen Restnutzungsdauer.

Zusätzlich kann dabei auch berücksichtigt werden, ob eine vorzeitige Erneuerung vor Ablauf der kritischen Restnutzungsdauer günstiger sein kann, als eine Erneuerung unmittelbar bei dem Schnittpunkt der zwei Funktionen (siehe Kapitel 9.2.8.4 und Abbildung 9.4).

Problematisch sind dabei aber zwei Punkte: Erstens werden Restnutzungsdauern ermittelt, die zwar wirtschaftlicher Natur sind, von denen aber nicht mit Sicherheit vorhergesagt werden kann, ob sie technisch erreichbar sind. Man wird die Funktionstüchtigkeit der beschädigten Kanäle mit Sanierungsmaßnahmen über die ermittelte kritische Restnutzungsdauer hinweg erhalten. Die in

---

<sup>122</sup> Hierzu Däumler [Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung] 1998 S. 221.

dieser Zeit neu entstehenden Schäden können nicht vorherbestimmt werden. Treten so schwere Schäden auf, dass Teile des Netzes vor dem Erreichen der kritischen Restnutzungsdauer versagen würden, kann von optimaler und wirtschaftlicher Nutzungsdauer nicht die Rede sein.

Zweitens werden für die bei der Inspektion schadensfreien Haltungen auch in Zukunft keine Sanierungskosten eingerechnet. Die Haltungen sind danach immer schadensfrei, was kaum zutreffen dürfte.

Die beiden Punkte sind auf die gleiche Ursache zurückzuführen. Bei der Ermittlung der kritischen Restnutzungsdauer haben zukünftige Schäden keinerlei Bedeutung. Allerdings kann kein Modell verbindliche Aussagen zum zukünftigen Zustand leisten.

Durch die zwei genannten Probleme wird der zukünftige finanzielle Aufwand durch die flexible Restnutzungsdauer unterschätzt werden. Nicht vorhersehbare Kosten könnten und werden vermutlich auch anfallen, denen dann zum gegebenen Zeitpunkt keine Finanzierung entgegensteht. Es sei denn, es werden aufgrund von Schadensstatistiken und Erfahrungen der betroffenen Abteilungen pauschal Rückstellungen für unerwartete Schäden und Mängel getätigt.

Die kritische Restnutzungsdauer sollte also nicht als absolut maßgebend angesehen werden, aber sie liefert einen Anhaltspunkt, bis zu welchem Zeitpunkt aus Sicht der Gegenwart eine Haltung ungefähr wirtschaftlich nutzbar ist.

Ergebnisse gezielter selektiver Wiederholungsinspektionen können Korrekturen für die kritische Restnutzungsdauer bestimmter Haltungen notwendig werden lassen.

Statistische Auswertungen über die Verteilung erreichter Restnutzungsdauern von bei der Erstinspektion schadensfreien Haltungen können aber zukünftige Sanierungsplanungen ergänzen und somit auch für schadensfreie Haltungen eine realistische Annahme von Restnutzungsdauern ermöglichen.

Der Einsatz des Alterungsmodells wäre unter Umständen möglich, ist aber an bestimmte Bedingungen gebunden, die in Kapitel 9.3.6 diskutiert werden.

Es sei nochmals explizit darauf verwiesen, dass eine Kostenvergleichsrechnung nicht vermag, eine detaillierte langfristige Investitionsplanung zu ersetzen. Sie kann nur ein erster Ansatz über die Höhe von anstehenden Investitionen sein.

Ergänzend sei erwähnt, dass Reparatur- und Renovierungsmaßnahmen prinzipiell als Steuerungsinstrument begriffen werden können, wenn es darum geht, Erneuerungen aufgrund der höheren Kosten hinauszuzögern. Als Gründe sind die zur Verfügung stehenden Budgets und unternehmenspolitische Motive, wie z. B. die Erzielung von Gewinnen in einem bestimmten Jahr oder die Finanzierungspolitik des Unternehmens zu nennen.

### *9.3 Vorgehensweise der AQUA-Ingenieure*

Von Interesse ist das Planungsmodell der AQUA-Ingenieure für die Sanierungsplanung, weil es Prognosen bezüglich des Alterungsprozesses von Kanalnetzen ermöglicht. Es baut damit auf das in Kapitel 4.3 von Herz beschriebene Alterungsmodell für Infrastrukturnetze auf. Parallelen können nicht ohne weiteres gezogen werden, da die näheren Zusammenhänge unbekannt sind, zumindest mir persönlich keine Veröffentlichungen darüber vorliegen.

Ein Überblick über das Planungsmodell, dessen Implementation im windowsbasierenden Programm WertMin 4.0 erfolgt, soll nachfolgend gegeben werden. Wesentliche Inhalte werden skizziert. Die im Handbuch genannten 12 Arbeitsschritte geben einen Einblick über den Gesamtumfang des Planungsmodells. Eine Verifizierbarkeit der einzelnen Arbeitsschritte ist mir durch das Handbuch und

weitere Veröffentlichungen schwer möglich. Im Gespräch mit Herrn Dipl.-Ing. Jansen konnten einige offene Fragen geklärt werden. Auf Mutmaßungen zu anderen offenen Fragen soll verzichtet werden, um eine fälschliche Darstellung zu vermeiden.

### 9.3.1 *Vorbemerkungen*

Das Problem der Bestimmung der Restnutzungsdauer von Kanalnetzen, besonders von einzelnen Haltungen wurde bereits mehrfach angesprochen. Eine andere Möglichkeit, die Restnutzungsdauer zu bestimmen, ist neben der Ermittlung einer flexiblen Restnutzungsdauer oder sachverständiger Einschätzung, die statistische Auswertung des örtlichen Alterungsprozesses eines Kanalnetzes, wie es WertMin 4.0 vornimmt.

Eine Gesamtübersicht über WertMin 4.0 zeigt die Abbildung 9.5. Im nachfolgenden werden Aussagen zu selektiven Inspektionsstrategien und zu folgenden Teilschritten von WertMin 4.0 getroffen:

- Importieren von Projektdaten
- Prüfung auf fehlende und inkonsistente Daten
- Eichung und Berechnung des Alterungsmodells
- Modellierung der Alterungs- und Zustandsprognose
- Berechnung des Sanierungsbedarfs und der Sanierungskosten.

### 9.3.2 *Selektive Inspektionsstrategien*

Dem Kapitel 3 können erste Ausführungen zu den verschiedenen Inspektionsmöglichkeiten nach DIN 752-5, nämlich der flächendeckenden und der selektiven Inspektion und damit verbundenen statistischen Erfordernissen entnommen werden. In verschiedenen Beiträgen von Fachzeitschriften werden für die selektive Inspektion die selektive Erstinspektion und die selektive Wiederholungsinspektion unterschieden. Unter den Autoren befindet sich auch Herr Dipl.-Ing. Jansen, einer der Mitentwickler von WertMin 4.0. Aus diesem Grund und weil bisher kaum selektive Inspektionen in Deutschland durchgeführt wurden, soll hier näher darauf eingegangen werden.<sup>123</sup>

Das Kanalnetz wird vor der selektiven Erstinspektion in zehn bis zwölf homogene Schichten unterteilt, die sich hinsichtlich folgender Merkmale unterscheiden sollten:<sup>124</sup>

- Entwässerungssystem
- Abwasserqualität
- Lage im Verkehrsraum
- Tiefenlage
- Nennweite
- Material
- Verlegeart
- Alter
- sonstige regionale Besonderheiten.

---

<sup>123</sup> Es wird auf Kapitel 3.2 verwiesen.

<sup>124</sup> Vgl. Hochstrate/Jansen/Schönborn [Qualitätsprüfung] 1997 im Internet [AQUA] 1999.

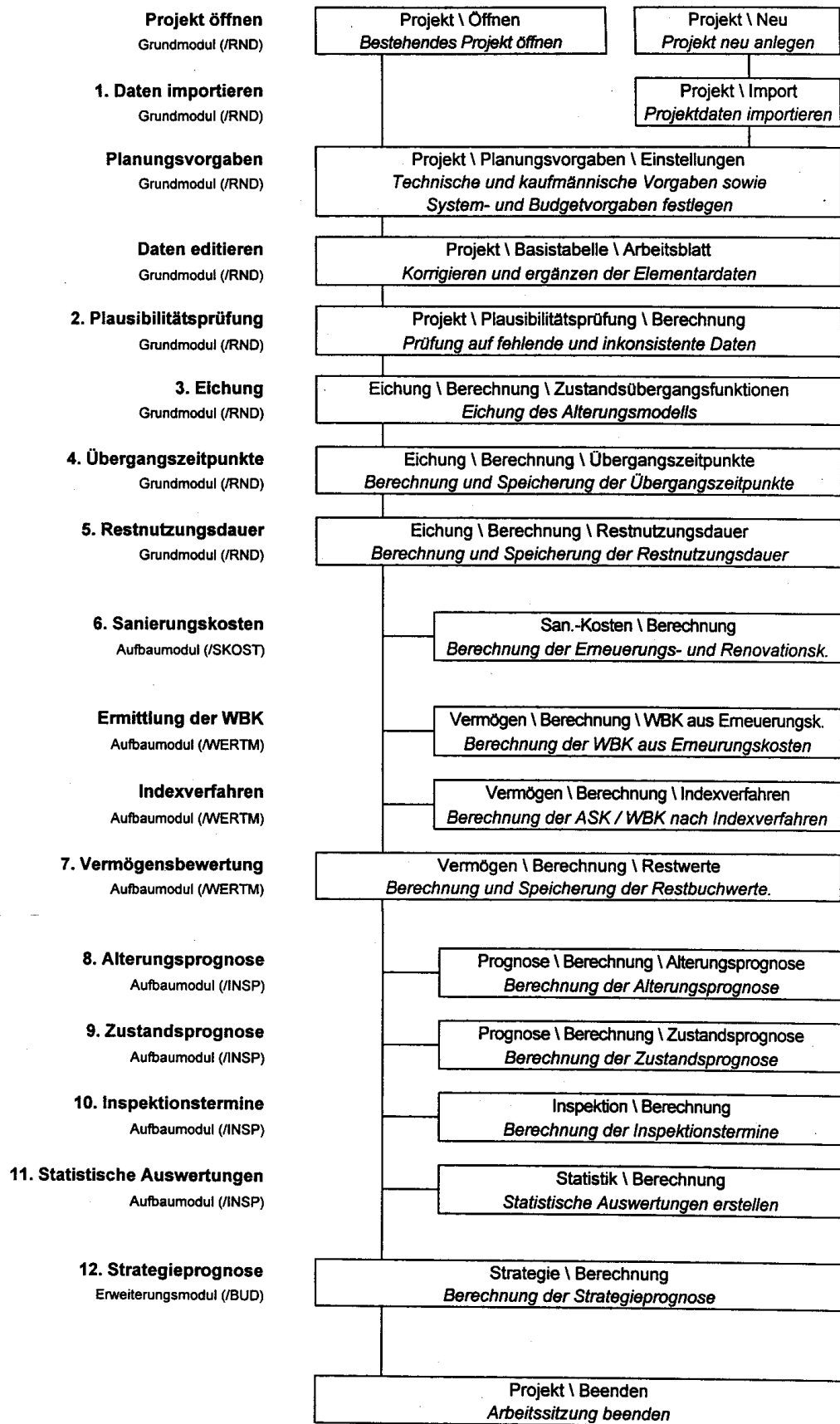


Bild 9.5 Abfolge der Arbeitsschritte [Nach AQUA-WertMin 4.0 Handbuch 1998 S. 45f.]

Bei der selektiven Erstinspektion wird aus jeder der Schichten eine Klumpenstichprobe ausgewählt und aus diesem Klumpen sind dann alle Haltungen zu inspizieren. Durch Kombination des geschichteten Stichprobenverfahrens mit dem Klumpenstichprobenverfahren wird erreicht, dass alle im Netz vorhandenen Merkmalsausprägungen durch eine Stichprobe erfasst und in die Hochrechnung einbezogen werden.

Eine zuverlässige Aussage über den Zustand des Gesamtnetzes soll gewährleistet werden, indem man Schichten, in denen Haltungen mit Schäden hoher Priorität eingeordnet sind, vollständig inspiziert.<sup>125</sup> Dies ist für eine selektive Erstinspektion unmöglich, weil abgesehen von außen sichtbaren Schäden und funktionalen Störungen kaum Kenntnisse bezüglich der räumlichen Lage von Schäden am Entwässerungssystem beim Kanalnetzbetreiber vorliegen. Von den Autoren wird dies aber im Zuge der selektiven Erstinspektion genannt und ist somit nicht nachvollziehbar.

Stichproben für die selektive Wiederholungsinspektion werden nicht zufällig ausgewählt, vielmehr wird die haltungsindividuelle Zustandsverschlechterung der Vergangenheit berechnet, auf die Zukunft übertragen und neue Inspektionstermine aufgrund der Ergebnisse der selektiven Erstinspektion festgesetzt.<sup>126</sup>

Durch selektive Erstinspektion, gekoppelt mit selektiven Wiederholungsinspektionen, sollen der Zustand und seine fortschreitende Altersentwicklung durch gezielt geplante flexible Inspektionsintervalle kontrollierbar werden. Diese sollen die festen Inspektionsintervalle der flächendeckenden Inspektion ersetzen sowie Kosten und Zeit einsparen. Eine Auseinandersetzung mit der selektiven Inspektion erfolgte bereits in Kapitel 3.

Außerdem werden für die selektive Erstinspektion Inspektionsumfänge von circa 20 % der Gesamtnetzlänge genannt.<sup>127</sup> Da die Größe einer Stichprobe aber nach statistischen Gesichtspunkten ermittelt werden muss, ist eine pauschale Angabe mit einem definierten Prozentsatz nicht verwertbar. Sie ist sogar für Kanalnetzbetreiber mit großen Kanalnetzen, und für diese könnte eine selektive Erstinspektion hauptsächlich von Interesse sein, irreführend und falsch.

### 9.3.3 Ausgangsdaten

Für den Datenimport ist eine Kanaldatenbank mit Bestands- und Zustandsdaten Voraussetzung. Ein vorliegendes Kanalkataster muss die Baujahre aller Haltungen und die aktuellen Zustände für einen repräsentativen Teil der Haltungen beinhalten. Die Daten können aus allen existierenden Kanaldatenbanken in WertMin 4.0 importiert werden.<sup>128</sup> Da derzeit die Kanalnetzbetreiber unterschiedliche Zustandsklassifizierungsmodelle verwenden, ist es erforderlich, für den Datenimport in WertMin 4.0 die Schäden mit einem einheitlichen Zustandsklassifizierungsmodell zu bewerten. Die meisten Klassifizierungsmodelle bewerten eine Haltung auf Grundlage des größten Einzelschadens und vernachlässigen Schadenslängen.<sup>129</sup>

Die AQUA-Ingenieure setzen das Zustandsklassifizierungsmodell S&K-KAIN ein, welches neben einer Zustandsklassifizierung nach dem ATV-M 149 auch die Einbeziehung von Streckenschäden nach dem "Berliner Modell" ermöglicht. Darüber hinaus erfolgt die "Erstellung eines individuellen

---

<sup>125</sup> Vgl. Hochstrate/Jansen/Schönborn [Qualitätsprüfung] 1997 im Internet [AQUA] 1999.

<sup>126</sup> Vgl. Hochstrate/Jansen/Schönborn [Qualitätsprüfung] 1997 im Internet [AQUA] 1999 und 9.3.5.

<sup>127</sup> Vgl. Hochstrate/Jansen/Schönborn [Qualitätsprüfung] 1997 im Internet [AQUA] 1999.

<sup>128</sup> Vgl. AQUA-WertMin 4.0 Handbuch 1998 S.17.

<sup>129</sup> Hierzu Stein [Instandhaltung] 1998.

Klassifizierungsmodells z. B. in Form der technischen Wertminderung nach WertR91.<sup>130</sup> In diesem Zusammenhang ist der Begriff der Zustandsklassifizierung nach dem Substanzwertverfahren zu nennen. Der Begriff wurde in Veröffentlichungen von Jansen und Hochstrate geprägt und wird erstmalig in die Fachliteratur durch Stein in Ansätzen [Instandhaltung] 1998 eingeführt. Stein bezieht sich dabei auf Jansen und Hochstrate. Dabei "(...) soll die bisher gebräuchliche, prioritätsorientierte Zustandsklassifizierung, die zur vordringlichen Behebung schwerer Schäden dient, ergänzt werden durch eine substanzwertorientierte Zustandsklassifizierung, die eine Abschätzung der Sanierungskosten und der Restnutzungsdauer der Haltungen erlaubt."<sup>131</sup>

Unterschieden werden durch die AQUA-Ingenieure also die Zustandsklassifizierung nach baulicher Priorität, bei der jeder Schaden bewertet wird und der Beurteilung der technischen Wertminderung aufgrund des Gesamtzustandes einer Haltung. Ein interner Kriterienkatalog existiert bei den AQUA-Ingenieuren für solch eine Bewertung nach dem Substanzwertverfahren, ist aber noch nicht allgemeingültig anwendbar.<sup>132</sup>

### 9.3.4 Eichung und Berechnung des Alterungsmodells

#### 9.3.4.1 Berechnung von Zustandsübergangsfunktionen

Der Alterungsprozeß kann durch Zustandsübergangsfunktionen (bzw. Überlebensfunktionen nach Herz), wie in Kapitel 4.3 gezeigt wurde, abgebildet werden. Dafür sind aus der Zustandsklassifizierung entsprechend Abbildung 9.6 die verschiedenen Anteile von Haltungen an den einzelnen Zustandsklassen in Abhängigkeit vom Baujahrgang abzuleiten.

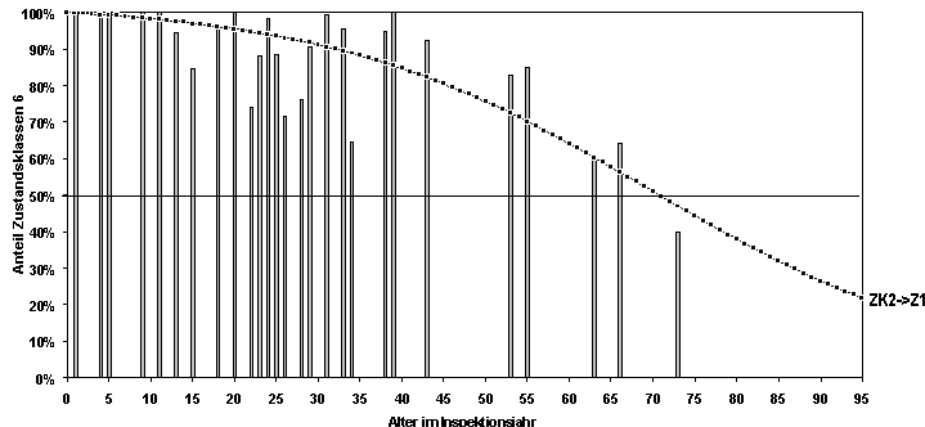


Bild 9.6 Zustandsübergangsfunktion von Klasse 2 auf Klasse 1 [Internet [AQUA] 1999.]

Die Zustandsübergangsfunktionen ergeben sich durch eine Querschnittsauswertung aller Inspektionsdaten. Der Erhaltungszustand nicht inspizierter Daten wird mit einem Durchschnittszustand des betreffenden Baujahrganges abgeschätzt.<sup>133</sup> Altersabhängige Sprünge in

<sup>130</sup> Im Gespräch mit Herrn Dipl.-Ing. Karl Jansen (AQUA-Ingenieure) am 20.07.1999 und am 03.08.1999.

<sup>131</sup> Vgl. Stein [Instandhaltung] 1998 S. 338.

<sup>132</sup> Im Gespräch mit Herrn Dipl.-Ing. Karl Jansen (AQUA-Ingenieure) am 03.08.1999.

<sup>133</sup> Vgl. AQUA-WertMin 4.0 Handbuch 1998 S. 18.

der tatsächlichen Zustandsverteilung werden bei Berechnung der Zustandsübergangsfunktionen geglättet.<sup>134</sup>

#### 9.3.4.2 *Bestimmung der individuellen Alterungsgeschwindigkeit*

Das Alter einer Haltung und ihr Zustand in der Gegenwart bilden die Basis für die Berechnung der bisherigen Alterungsgeschwindigkeit.<sup>135</sup> Es wird davon ausgegangen, dass die zukünftige Alterungsgeschwindigkeit gleich der bisherigen Alterungsgeschwindigkeit ist. Als Begründung wird genannt, dass sich die Hauptursachen für eintretende Wertminderungen, wie z. B. Bodenverhältnisse und Belastungen) nur in Ausnahmefällen ändern.<sup>136</sup>

Die individuelle Alterungsgeschwindigkeit wird für jede Haltung als "so genannte Halbwertszeit des zugehörigen Korridors bestimmt."<sup>137</sup>

#### 9.3.4.3 *Berechnung von Zustandsübergangszeitpunkten*

Für jede erstinspizierte Haltung kann die linear ermittelte Alterungsgeschwindigkeit aus der Vergangenheit auf die Zukunft übertragen werden. Die Verweilzeiten einer Haltung in den Zustandsklassen können berechnet werden.

Eine Haltung durchläuft alle Zustandsklassen bis zu einer gewünschten Erneuerung. Der Zeitpunkt der Erneuerung kann durch Festlegen des Interventionszustandes individuell beeinflusst werden.

#### 9.3.4.4 *Festlegen einer Interventionsklasse*

An eine Haltung wird immer eine Mindestanforderung bezüglich ihres Zustandes bestehen. Dazu müssen für ein Kanalnetz Interventionsklassen festgelegt werden. Wenn eine Haltung die definierte Interventionsklasse erreicht hat, muss die Nutzungsdauer einer Haltung als beendet angesehen werden. Aus der Zustandsübergangsfunktion kann in Abhängigkeit einer gewählten Interventionsklasse relativ einfach auf die betriebsgewöhnliche mittlere Restnutzungsdauer für das Gesamtnetz geschlossen werden.

Bei Wahl der Zustandsklasse 1 als Interventionsklasse in Abbildung 9.7 erreichen 50 % aller untersuchten Haltungen mindestens eine Nutzungsdauer von 70 Jahren.<sup>138</sup> Durch Berechnung der Alterungsgeschwindigkeiten für die einzelnen Haltungen und die Wahl eines akzeptierten End- bzw. Interventionszustandes sind dann auch die Restnutzungsdauern einer Haltung bekannt.

Die Höhe des Sanierungsbedarfs ist von der Interventionsklasse abhängig. Wenn eine Haltung diese Interventionsklasse erreicht, wird eine Sanierung fällig. In WertMin 4.0 endet die akzeptierte Nutzungsdauer einer Haltung oder eines Schachtes spätestens mit Erreichen der Zustands- bzw. Interventionsklasse 1.<sup>139</sup> Dabei kann in Wert Min 4.0 diese Interventionsklasse bei höheren Anforderungen an den Zustand entsprechend auch anders, z. B. Zustands- bzw. Interventionsklasse 3, ausgewählt werden, um möglicherweise besondere Gefährdungspotentiale zu berücksichtigen. Die mittlere Nutzungsdauer verkürzt sich dann dementsprechend.

---

<sup>134</sup> Vgl. AQUA-WertMin 4.0 Handbuch 1998 S. 60.

<sup>135</sup> Vgl. Jansen, K. [Verkehrswert] 1998 im Internet [AQUA] 1999.

<sup>136</sup> Vgl. Jansen, K. [Verkehrswert] 1998 im Internet [AQUA] 1999.

<sup>137</sup> Im Gespräch mit Herrn Dipl.-Ing. Karl Jansen (AQUA-Ingenieure) am 03.08.1999.

<sup>138</sup> Vgl. Hochstrate/Jansen [Vorbeugende Instandhaltung] 1996 im Internet [AQUA] 1999.

<sup>139</sup> Vgl. AQUA-WertMin 4.0 Handbuch 1998 S. 64.

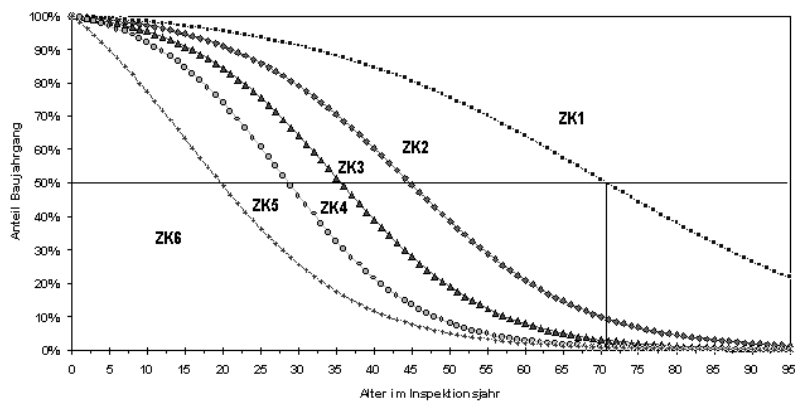


Bild 9.7 Alle Zustandsübergangsfunktionen mit Darstellung der mittleren betriebsgewöhnlichen Restnutzungsdauer [Internet [AQUA] 1999.]

### 9.3.5 Modellierung der Alterungs- und Zustandsprognose

Der Alterungsprozeß wird unter Zugrundelegung der ermittelten Alterungsgeschwindigkeit für die nächsten Jahrzehnte simuliert. In Abhängigkeit vom Interventionszustand wird nach Ablauf der Nutzungsdauer einer Haltung ein resultierender Sanierungsbedarf als zu sanierende Länge berechnet. Jedes Bauteil kann im Rahmen des ungestörten Alterungsprozesses nur einmal sanierungsbedürftig werden. Der prognostizierte Sanierungsbedarf ist für die ersten 3 bis 4 Jahrzehnte aussagekräftig. Nach diesem Zeitraum überlagert er sich mit dem der 2. und 3. Generation, was in WertMin 4.0 nicht berücksichtigt wird.

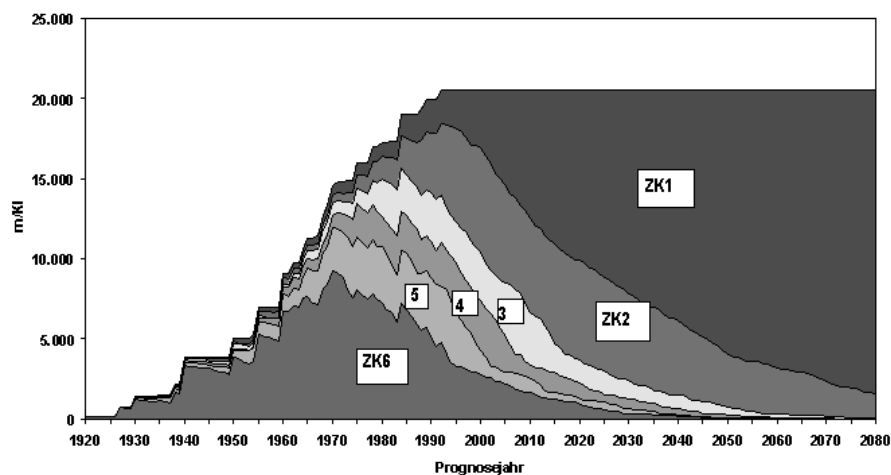


Bild 9.8 Alterungsprognose [Internet [AQUA] 1999.]

### 9.3.6 Bewertung

Meine Arbeit wird infolge der begrenzten Verfügbarkeit an Informationen an dieser Stelle nur Eckpunkte des Konzeptes der AQUA-Ingenieure diskutieren können. Ein Anspruch auf Vollständigkeit kann dabei selbstverständlich nicht erhoben werden. Es ist vorstellbar, dass eine weitere Arbeit speziell zum Thema Modellierung und Prognose von Alterungsprozessen Vorteile und Nachteile des Konzeptes der AQUA-Ingenieure ausführlicher herausarbeiten kann.

Es ist anzunehmen, dass selektive Inspektionsergebnisse unmittelbar nach der Hochrechnung unter Zugrundelegung der Schätztheorie mit WertMin 4.0 verarbeitet werden können. Dabei sind Schwierigkeiten, die bei Schätzungen für geschichtete Stichproben und Klumpenstichproben auftreten können, zu berücksichtigen.<sup>140</sup>

Eine substanzwertorientierte Zustandsklassifizierung ist die Grundlage für die Implementierung erfasster Inspektionsergebnisse in WertMin 4.0.

Wenn Zustandsklassen nicht bereits nach dem Zustandsklassifizierungsmodell S&K-KAIN unter Beachtung zusätzlicher Kriterien ermittelt worden sind, muss eine Überarbeitung der vorhandenen Inspektionsdaten erfolgen, die einen nicht unerheblichen Aufwand erfordert. Die Kriterien für eine substanzwertorientierte Zustandsklassifizierung sind intern bei den AQUA-Ingenieuren festgelegt, aber noch nicht veröffentlicht. Sie sollen eine Gesamtbeurteilung des Zustandes einer Haltung, nicht nur von Einzelschäden und ihren Streckenausdehnungen ermöglichen.

Um die Alterungsgeschwindigkeit für jede Haltung und damit die individuelle Restnutzungsdauer berechnen zu können, bedarf es genauen Kenntnissen über das Baujahr und den aktuellen Inspektionszustand. Letzteres wird relativ einfach zu beschaffen sein. Als problematisch muss das Baujahr gesehen werden, weil von einem Großteil der Haltungen alter Baujahrgänge (50 Jahre und älter) oft keine genauen Angaben vorliegen. In Kapitel 10.2 kann dies an einem konkreten Teilnetz in Berlin nachvollzogen werden. Die Sichtung von Archiven, wo alte Bauakten eingesehen und die Baujahre entnommen werden können, kann unter Umständen hilfreich sein.

Wenn keine Baujahrgänge bekannt sind, ist es unmöglich, nicht inspizierte Daten mit einem Durchschnittszustand des jeweiligen Baujahrganges abzuschätzen. Überhaupt ist das ganze Planungsmodell dann in Frage zu stellen, weil somit die Ausgangsbasis fehlt, die für die Prognosen notwendig ist. Eine zuverlässige Prognose hinsichtlich des Alterungsverhaltens eines Netzes ausschließlich auf Schätzungen zu formulieren, ist wenig plausibel.

Unterstellt man, dass alle Baujahrgänge bekannt sind, muss aber dennoch kritisch nach der angenommenen konstanten Alterungsgeschwindigkeit gefragt werden. Es werden als Grundlage zur Berechnung der zukünftigen Alterungsgeschwindigkeit nur das Alter und die aktuelle Zustandsklasse einbezogen. Für Haltungen, wo sich z. B. bezüglich der Lage im Verkehrsraum und damit hinsichtlich statischer Belastungen im Laufe der Zeit Änderungen ergeben, wäre eine angenommene konstante Alterungsgeschwindigkeit nicht richtig.

Die Einbeziehung von Einflüssen wie Qualität transportierter Abwässer in ein mathematisch-stochastisches Modell wie es nach Herz formuliert und von den AQUA-Ingenieuren in ähnlicher Weise angewendet wird, ist nicht vorstellbar. Es bestehen Überlegungen, die Komponente Material mit einzubeziehen, Ergebnisse liegen aber auch hier noch nicht veröffentlicht vor.

Über die Zulässigkeit einer Reihe getroffener Annahmen im Planungsmodell der AQUA-Ingenieure und die Erfüllung der in Kapitel 8 gesetzten Anforderungen kann nicht abschließend geurteilt werden, weil nicht ausführlich nachvollziehbar ist, wie das Planungsmodell im Einzelnen arbeitet.

---

<sup>140</sup> Es wird auf Kapitel 3.4 verwiesen.

## 10 ANWENDUNGSBEISPIELE

### 10.1 Vorbemerkungen zum Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet, für das eine Sanierungsplanung erstellt wurden ist, liegt im Einzugsgebiet Lückstraße im Bezirk Lichtenberg im Osten Berlins. Als Betrachtungszeitpunkt wird das Jahr 1997 zugrunde gelegt. In die vorliegende Auswertung wurden 479 Haltungen von insgesamt 501 Haltungen einbezogen. Die Differenz ergibt sich u. a. aus einer Anzahl von nicht inspizierbaren Haltungen, die unzugänglich waren. Die Gesamtlänge der Haltungen im Untersuchungsgebiet beträgt 23,4 km. Die exakten Baujahre der Haltungen im Untersuchungsgebiet waren lediglich für 1,5% aller Haltungen bekannt. Für alle anderen Haltungen wurde das Baujahr auf 1920 abgeschätzt. Kennzeichnend für die Haltungen im Untersuchungsgebiet ist weiterhin, dass über 50 % der Gesamtlänge der Haltungen Zustandsklasse 1 aufweisen und somit hohe Priorität bei der Sanierung haben.

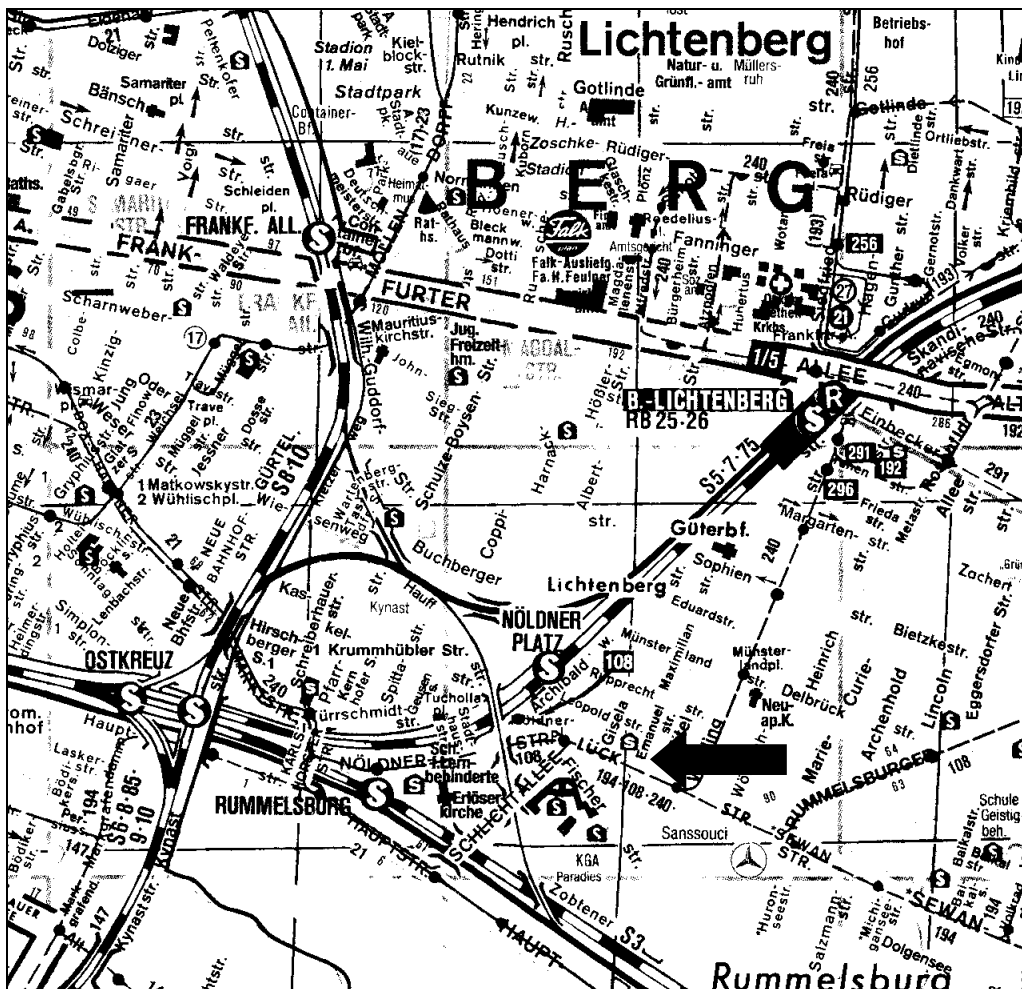


Bild 10.1 Auszug aus Berliner Stadtplan [Falk Verlag Berlin.]

## 10.2 *Beispielsrechnung mit dem Planungsmodell des Büros Dr.-Ing. Pecher und Partner*

Im Anhang 8 bis 11 sind die mit dem Planungsmodell des Büros PuP erzielten Ergebnisse für das Untersuchungsgebiet Lückstraße abgebildet. Nachfolgend soll hierzu eine Erläuterung erfolgen. Hingewiesen sei auf die Ausführungen zum Planungsmodell des Büros PuP im Kapitel 9.2 und auf den Zwischenbericht von Herrn Dipl.-Ing. Sympher.

Die Anhänge 8, 9 und 11 zeigen den Verlauf der Projektkosten jeweils für die Sanierungsvarianten (SV) 1 bis 3 durch Darstellung der aufsummierten Barwerte als Projektkosten (PK) im Verhältnis zum Wiederbeschaffungswert (WBW), der für eine sofortige Erneuerung des gesamten Netzes zu zahlen wäre, über die Zeit. Der Wiederbeschaffungswert wird nicht diskontiert, sondern immer als feste Bezugsgröße beibehalten.

Diese Gesamtprojektkosten für jede SV setzen sich dabei aus den für jede Haltung minimalen Projektkosten zusammen. Um herauszufinden, welche Sanierungsmaßnahmen für eine Haltung die minimalsten Projektkosten entstehen lassen, wurden Kostenvergleichsrechnungen durchgeführt und aus mehreren Sanierungsalternativen für jede Haltung die kostengünstigste gewählt.

Anhang 8 zeigt die Ergebnisse für den Fall einer angenommenen festen Nutzungsdauer von 80 Jahren für Betonrohre bzw. 100 Jahren für Steinzeugrohre. Von den 501 Haltungen im Untersuchungsgebiet sind circa 90 % der Rohrleitungen aus dem Werkstoff Steinzeug. Die Restnutzungsdauer ergibt sich damit für den überwiegenden Teil der Haltungen zu 23 Jahren.

Für Sanierungsmaßnahmen im Betrachtungszeitpunkt fallen für die SV 1 rund 22 % der Projektkosten an, die für eine sofortige Erneuerung des gesamten Netzes im Untersuchungsgebiet zu zahlen wären. Im Vergleich sind das bei SV 2 circa 35 % und bei SV 3 circa 42 %, für den Fall der Beseitigung aller Schäden. Die Investitionen bei  $t=0$  für SV 1 ergeben sich zu nur 53 % der Investitionen für SV 3. Beim Vergleich der Gesamtprojektkosten betragen diese für SV 1 ungefähr 86 % der Gesamtprojektkosten, die für SV 3 fällig werden würden.

Der Grund für die Wahl von SV 1 zur Erfüllung des in Kapitel 9.2.3 genannten Zieles 1 ergibt sich aus diesen angeführten Vergleichen hinsichtlich der Höhe entstehender Projektkosten. Vor allem die niedrigeren Investitionskosten in der Gegenwart sprechen für SV 1. Da das Berliner Kanalnetz insgesamt circa 8500 km umfasst und damit verbunden Sanierungen in Größenordnungen anfallen werden, die zu erheblichen Finanzierungsproblemen führen, ist die Zielsetzung kurz- bis mittelfristig annehmbar. Es ist besser, flächendeckend die Schäden der Schadensklassen 1 und 2 zu beseitigen, als nur an bestimmten Teilnetzen alle Schäden. Eine Umweltgefährdung kann mit dieser Strategie ausgeschlossen werden. Außerdem werden sich Renovierungs- und Erneuerungsmaßnahmen auf ganze Haltungen beziehen und damit einhergehend auch Schäden anderer Schadensklassen mitbeseitigt.

Der graphische Verlauf der Projektkosten für SV 1 zeigt gemäß Anhang 8 bei  $t=20$  einen Anstieg der Projektkosten. Diese werden für die Haltungen als Reinvestitionskosten fällig, denen im Zeitpunkt  $t=0$  eine Sanierungsalternative mit einer Nutzungsdauer für die Sanierungsmaßnahme von 20 Jahren zugewiesen wurde. Das kann z. B. entsprechend Tabelle 5.2 eine Sanierung mittels partiellen Inliner gewesen sein, deren Nutzungsdauer im Jahr 20 abgelaufen ist. Für die anderen Haltungen wurden bei  $t=0$  Sanierungsalternativen als die kostengünstigsten gewählt, die eine Nutzungsdauer größer 20 Jahre haben und somit bis zum Ende der Restnutzungsdauer im Jahr  $t=23$  Jahre keine weiteren Projektkosten verursachen. Im Jahr 23 werden nach Ablauf der Restnutzungsdauer für diese Haltungen Erneuerungskosten anfallen. Deswegen ist ein großer Anstieg der Projektkosten abgebildet. Renovierungsverfahren, wie z.B. das Schlauchrelining, verlängern die

Restnutzungsdauer im Beispiel der festen Restnutzungsdauer von 23 auf 30 Jahre und erfordern erst im Jahr 30 Erneuerungsmaßnahmen.

Aus der Tatsache heraus, dass ein großer Teil der Haltungen im Untersuchungsgebiet noch funktionstüchtig ist, wurde die Nutzungsdauer erhöht und mit der erhöhten festen Restnutzungsdauer von 73 Jahren bei Steinzeugrohren eine Kostenvergleichsrechnung durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigen in Anhang 9 einen wesentlich niedrigeren Projektkostenverlauf gegenüber Anhang 8, der aber der Struktur nach weitestgehend dieser entspricht. Es können die verschiedenen Anstiege der Projektkosten abermals mit den immer wieder anfallenden Reinvestitionskosten für die einzelnen Sanierungsalternativen erklärt werden. Die Barwerte, die im Jahr 73 für die Erneuerungen der meisten Haltungen fällig werden, sind entsprechend niedrig durch die weit in der Zukunft liegenden Zahlungen und des damit verbundenen hohen Diskontierungsfaktors. Damit sind auch die geringeren Gesamtprojektkosten im Fall der erhöhten festen Restnutzungsdauer erklärbar und die Feststellung, dass die Restnutzungsdauer einer Haltung einen großen Einfluss auf das Ergebnis von Kostenvergleichsrechnungen hat.

Das Ziel 3, im Kapitel 9.2.8 beschrieben, wird dergestalt erfüllt, dass für jede einzelne Haltung eine kritische Restnutzungsdauer in Abhängigkeit vom Schadensausmaß und vom finanziellen Sanierungsaufwand ermittelt wird.

Dem Anhang 10 kann entnommen werden, dass die kritische Restnutzungsdauer dort liegt, wo die Projektkosten für Reparatur und Renovierung gleich den Barwert einer Erneuerung sind (siehe Schnittpunkt der Funktionen). Die kritische Restnutzungsdauer ist also wirtschaftlicher Natur. Für die Sanierungsalternative 1 ergibt sich diese für das Jahr 39.

Anders ist das bei Sanierungsalternative 2, weil in dem Fall die Summe der Barwerte einer Erneuerung bei  $t=63$  und der bei  $t=60$  getätigten Reinvestition für eine Reparatur oder Renovierung größer ist, als der Barwert einer Erneuerung im Jahr 60. Folglich wird man als kritische Restnutzungsdauer das Jahr 60 ansehen.

Diese spezifischen kritischen Restnutzungsdauern werden dann anstelle der festen Restnutzungsdauer verwendet, um auch hier wieder die kostengünstigste Sanierungsalternative für jede Haltung zu finden und dem in Kapitel 9.2.8 formulierten Ziel 2 gerecht zu werden.

Der Projektkostenverlauf ist für die flexible Restnutzungsdauer in Anhang 10 dargestellt.

Anzumerken bleibt, dass mit Einführung der flexiblen Restnutzungsdauer die Investitionen für Sanierungen verteilter anfallen.

### *10.3 Beispielsrechnung mit dem Planungsmodell der AQUA-Ingenieure*

Eine Beispielsrechnung mit WertMin 4.0 führt zu nicht repräsentativen Ergebnissen, da wie in Kapitel 10.1 ausgeführt, das Baujahr im Untersuchungsgebiet für 98,5 % der betreffenden Haltungen auf 1920 geschätzt werden musste. Desweiteren sind die vorliegenden Zustandsklassen mit 50 % auf Zustandsklasse 1 verteilt. Eine aufwendige Überarbeitung und Neuklassifizierung der Zustandsklassen der Berliner Wasserbetriebe mit dem Klassifizierungsmodell der AQUA-Ingenieure müsste erfolgen. Dies führt in unserem Fall zu sehr unbefriedigenden Ergebnissen. Es würde eine betriebsgewöhnliche mittlere Restnutzungsdauer aus den Zustandsübergangsfunktionen ermittelt werden, die zu kurz und völlig unrealistisch ist. Wenn als Interventionsklasse die Zustandsklasse 1 angesehen wird, würde ein Netz wiedergegeben, welches gar nicht mehr funktionieren dürfte.

## 11 ZUR SITUATION IN BERLIN

Die nachfolgenden Statistiken dienen der Bestätigung von Aussagen in den vorangegangenen Kapiteln. Bereits im Rahmen meines Großen Übungsbeleges wurde von mir eine ausführliche Darstellung des Zustandes und des Untersuchungsgrades der Kanalisation Berlins erbracht, auf die an dieser Stelle verwiesen sei.

### 11.1 Der Zustand der Kanalisation

#### 11.1.1 Der Netzbestand

Die Berliner Wasserbetriebe leiten mit circa 8500 km Kanalisation das von 3,5 Mio. Einwohnern, Gewerbe- und Industriebetrieben anfallende Niederschlags- und Abwasser ab.<sup>141</sup> Sie sind damit der größte Kanalnetzbetreiber in Deutschland. Von den 8500 km Kanalnetzlänge entfallen 22,4 % auf Mischwasserkanäle und 77,6 % auf Schmutz- und Regenwasserkanäle. Weite Flächen gehören einer Wasserschutzzone an. Die Angaben beziehen sich auf Oktober 1996.



Bild 11.1 Versorgungsgebiet der BWB [internet [BWB] 1999.]

<sup>141</sup> Vgl. Jacobi [Zustandserfassung] 1997 S. 3.

### 11.1.2 Die Altersverteilung der Kanäle

Nach Abbildung 11.2 sind insgesamt 34 % der Kanäle nicht älter als 50 Jahre. Der überwiegende Anteil, nämlich 61 % der Kanäle haben ein Alter zwischen 50 und 100 Jahren. Ungefähr 5 % der Kanäle weisen ein Alter von mehr als 100 Jahren auf.

Angesichts der Tatsache, dass die durchschnittliche Nutzungsdauer für Rohrleitungen zwischen 80 und 100 Jahren liegt, wird mit dieser Übersicht der in den kommenden Jahrzehnten anfallende Sanierungsbedarf verdeutlicht.

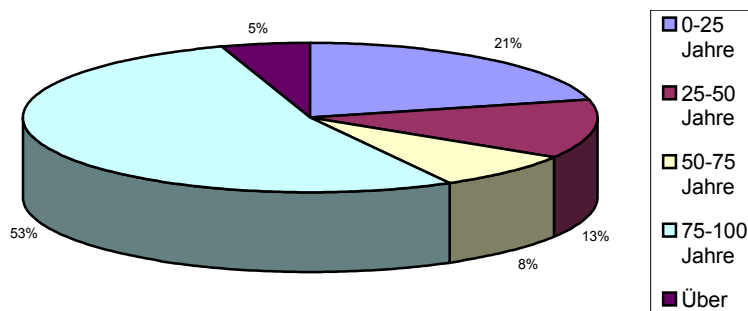


Bild 11.2 Altersverteilung der Kanäle in Berlin [Eigene Darstellung.]

### 11.1.3 Die Materialverteilung der Kanäle

Mit 60,5 % Anteil ist Steinzeug das am häufigsten vorliegende Material gefolgt von Beton- und Stahlbeton, das mit 23,2 % am zweithäufigsten vorliegt. Ähnlich wie im gesamten Deutschland sind selten Faserzement und Mauerwerk als Material im Kanalnetz zu finden. Das Material Kunststoff liegt überhaupt nicht vor.

### 11.1.4 Die Profil- und Querschnittsverteilung der Kanäle

In Berlin sind 10 % aller Kanäle begehbar. 45 % aller Kanäle sind kleiner als DN 250 und nehmen damit die Hälfte aller Kanäle im nichtbegehbaren Bereich ein.

Angaben über die Profilverteilung im Berliner Kanalnetz liegen nicht vor.

## 11.2 Der Untersuchungsgrad

### 11.2.1 Allgemeines

Im Oktober 1996 waren 5780 km von 8573 km Kanalstrecke ersterfasst, das waren ungefähr 68 % des Berliner Kanalnetzes. Unter Ersterfassung ist die Digitalisierung der Bestandsdaten zu verstehen. Auch zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist die Ersterfassung noch nicht abgeschlossen. Ein Abschluss der Erfassungsarbeiten ist aber für das kommende Jahr angedacht. Die Digitalisierung ist Voraussetzung für eine Zustandserfassung und -bewertung.

Durch eine Inspektion konnten bis Oktober 1996 bereits 2442,42 km Kanalstrecke aufgenommen und bewertet werden. Das waren 28,5 % der Gesamtlänge. Von der 2.442 km langen erfassten und ausgewerteten Kanalstrecke entfallen 1.556 km auf den Betriebsbereich Ost und 886 km auf den Betriebsbereich West.

	Inspizierte Länge (in km)	Gesamtlänge (in km)	Anteil (in %)
Mischwasserkanäle	955,22	1.923	49,7
Schmutzwasserkanäle	838,75	3.619	23,2
Regenwasserkanäle	648,54	3.031	21,4
<b>Ausgewertete Netzlänge</b>	<b>2442,51</b>	<b>8.573</b>	<b>28,5</b>

*Tabelle 11.1 Inspizierte Kanallängen in Berlin [Eigene Darstellung nach Angaben der BWB.]*

Dem Jahresbericht der Wasserwirtschaft Berlin ist zu entnehmen, dass 1998 560 km Kanalstrecke inspiziert wurden. Diese Länge korrespondiert mit der von mir in Kapitel 3 angegebenen Länge von 400 km für eine durchschnittliche jährliche Inspektionsleistung.<sup>142</sup>

### 11.2.2 Die Schadensbilder der Berliner Kanalisation

Die Schmutz- und Regenwasserkanäle haben mit einem Anteil von 77,6 % den größten Anteil am Kanalnetz in Berlin. Sie sind fast zu 25 % inspiziert und ausgewertet wurden. Zu fast 50 % erfasst und ausgewertet sind die Mischwasserkanäle.

Es wird an dieser Stelle auf die Schadensverteilung bei Schmutz- und Mischwasserkanälen eingegangen. Eine differenzierte Betrachtung in Ost und West ist hierfür notwendig.

Schadensgruppe	Ost 680,08 km	West 158,67 km	Gesamt 838,75 km
Brüche	1,92	1,46	1,87
Undichtigkeiten	1,24	0,00	1,10
Hindernisse	6,61	5,83	6,53
Wurzeln	10,40	16,91	11,09
Schäden an Rohrverbindung	29,85	45,07	31,45
Lageabweichung	10,28	2,85	9,50
Verschleiß	12,30	4,91	11,52
Korrosion	0,50	0,43	0,49
Verformung	0,45	0,00	0,40
Risse	23,90	20,33	23,52
Fehlanschlüsse	0,00	0,00	0,00
Abzweige	2,54	2,21	2,51

*Tabelle 11.2 Anteil der Schadensbilder als Schäden pro km im Schmutzwassersystem [in %] [Eigene Darstellung nach Angaben der BWB.]*

<sup>142</sup> Hierzu auch [Wasserwirtschaft Berlin] 1999.

Schadensgruppe	Ost 292,42 km	West 662,79 km	Gesamt 955,22 km
Brüche	3,64	1,37	2,21
Undichtigkeiten	0,06	0,01	0,03
Hindernisse	6,30	4,84	5,38
Wurzeln	8,09	24,58	18,45
Schäden an Rohrverbindung	28,34	21,62	24,11
Lageabweichung	7,18	6,28	6,61
Verschleiß	9,46	13,44	11,96
Korrosion	0,33	0,38	0,36
Verformung	0,03	0,00	0,01
Risse	33,29	21,83	26,08
Fehlanschlüsse	0,00	0,00	0,00
Abzweige	3,30	5,65	4,78

*Tabelle 11.3 Anteil der Schadensbilder als Schäden pro km im Mischwassersystem [in %] [Eigene Darstellung nach Angaben der BWB.]*

Aus Tabelle 11.2 und Tabelle 11.3 kann abgelesen werden, dass Schäden an Rohrverbindungen in Ost und West die häufigste Schadensursache sind. Danach folgen Schäden wie Risse, Verwurzelungen, Verschleiß und Lageabweichungen.

Im Betriebsbereich Ost treten diese Schäden zumeist ausgeprägter auf, als das im Betriebsbereich West der Fall ist. Zurückzuführen ist dies auf mangelhafte Instandhaltungsmaßnahmen in DDR-Zeiten.

Da für den Betriebsbereich Ost ausgedehnte Wasserschutzzonen ausgewiesen sind, müssen die in diesem Bereich auftretenden Schäden bei der Prioritätenfestsetzung zur Schadensbehebung in besonderem Maße beachtet werden. Im Betriebsbereich West stellen Verwurzelungen ein häufigeres Problem als im Betriebsbereich Ost dar.

Es fällt auf, dass Undichtigkeiten und Korrosion in beiden Betriebsbereichen kaum auftreten, obwohl diese Schadensbilder bei der letzten ATV-Umfrage im Jahr 1997 als häufig auftretende Schäden angegeben wurden.

## 12 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Eine Inspektion als Voraussetzung für die Sanierungsplanung zu begreifen, ist nach DIN 752-5 vorgeschrieben und auch für eine hohe Qualität der Sanierungsplanung wichtig. Die beiden vorgestellten Planungsmodelle erfüllen diese Notwendigkeit, wobei das Konzept des Büros PuP auf der Inspektionsstrategie und das Konzept der AQUA-Ingenieure auf der prognostischen Inspektionsstrategie aufbaut.<sup>143</sup> Aus dem jeweiligen Inhalt der Planungsmodelle geht hervor, dass Sanierungsplanung differenziert betrachtet werden muss.

Für die operative Sanierungsplanung stellt sich das primäre Ziel, als Vorbereitung zur Durchführung von Sanierungsmaßnahmen an konkreten Teilen des Netzes für jede Haltung mehrere Sanierungsverfahren vorzuschlagen, mit einer Kostenvergleichsrechnung auf ihre Wirtschaftlichkeit zu überprüfen und unter Beachtung aller Randbedingungen das günstigste Verfahren auszuwählen.

Dabei ermöglicht das Konzept des Büros PuP die Ermittlung einer kritischen Restnutzungsdauer in Abhängigkeit vom Schadensausmaß und den dafür notwendigen finanziellen Sanierungsaufwand und vermag dem Kanalnetzbetreiber Anhaltspunkte für das Ende der wirtschaftlichen Nutzungsdauer und den Ersatzzeitpunkt einer jeden einzelnen Haltung und damit von zusammenhängenden Teilen des Entwässerungssystems zu geben. Dies setzt die Kenntnis über detaillierte Schadensbilder voraus. Eine durchgeführte Zustandsbewertung unter Einbeziehung von Streckenzuschlägen dient lediglich zur Prioritätenfestsetzung für die Sanierungsreihenfolge. Das Planungsmodell des Büros PuP ermöglicht eine projektbezogene Sanierungsplanung und wird auf Basis von Datenmaterial flächendeckender Inspektionen erfolgen. Der Investitionsbedarf für den Zeitpunkt unmittelbar nach Inspektion wird sehr genau durch eine Kalkulation ermittelt werden.

Neben diesen zeitnahen Investitionen werden bei der Kostenvergleichsrechnung auch die mittel- bis langfristigen Kosten errechnet, die in nicht diskontierter Form und bei Einbeziehung von Preissteigerungen den ersten Schritt für eine langfristige Planung darstellen. Da der Netzzustand sich innerhalb der nächsten fünf Jahre ab Inspektion wieder verschlechtert und dieser Prozeß bei Kostenvergleichsrechnungen unmöglich zu berücksichtigen ist, können die dabei prognostizierten Kosten nur mittelfristig eine sichere Verwendung für weitere Planungen finden.

Nicht alle Schäden sind sofort zu beseitigen. Deshalb wird man die Schadensbeseitigung, wenngleich auch in einem vertretbaren Maß, hinauszögern. Ein Sanierungsrückstand tritt neben der weiteren Zustandsverschlechterung in diesem Zeitraum ein.

Die Kenntnisse hinsichtlich des Alterungsprozesses von Kanalnetzen und das Planungsmodell der AQUA-Ingenieure ermöglichen unter bestimmten Bedingungen Aussagen über Zustandsentwicklung eines Kanalnetzes ab dem Inspektionszeitpunkt. Man kann daraus ableiten, in welchen Zeiträumen oder zu welchen Zeitpunkten jeweils Sanierungs- oder Erneuerungsmaßnahmen einzuplanen sind. Ansätze für eine gezielte strategische Planung hinsichtlich langfristig benötigter Investitionen und Finanzierungen werden dadurch möglich.

Den Beschreibungen über das Alterungsmodell nach Herz und den kurz skizzierten Aussagen zum Planungsmodell der AQUA-Ingenieure folgend, müssen zum Zwecke einer hohen Aussagekraft solcher Modellierungen ausführliche Schadensstatistiken vorliegen. Dies ist dann schon nicht mehr erfüllt, wenn das Baujahr einer Vielzahl von Haltungen unbekannt bzw. nahezu homogen ist. Auch Ergebnisse einer selektiven Inspektion können bei unsachgerechter Durchführung mit Fehlern

---

<sup>143</sup> Es wird auf Kapitel 6.2 verwiesen.

behaftet sein, die dann zu Fehleinschätzungen hinsichtlich des anfallenden Sanierungs- und Finanzierungsbedarfs führen. Die Berechnung von Stichprobenfehlern bei Klumpenstichproben birgt erhebliche Schwierigkeiten in sich.<sup>144</sup>

Dass Zustandsentwicklungen des Kanalnetzes durch statistische Wahrscheinlichkeiten beschrieben werden können, geht aus den Darstellungen von Herz hervor. Bisher liegen keine Veröffentlichungen über wissenschaftliche Untersuchungen von Kanalnetzen mit dem Alterungsmodell vor.<sup>145</sup> Es muss auch mittels wissenschaftlicher Studien überprüft werden, wie genau Prognosen sind, denen die Zustandsklassen nach dem Substanzwert zugrunde liegen.

Von meiner Seite kann mit den mir zur Verfügung stehenden Informationen aber nicht ausreichend eingeschätzt werden kann, wie zuverlässig die langfristigen Prognosen mit dem Planungsmodell der AQUA-Ingenieure sind und ob die Ergebnisse den dafür erforderlichen Aufwand rechtfertigen. Als Aufwand und das Entstehen möglicher Kosten sei auf die Notwendigkeit der Überarbeitung der Zustandsklassifizierung und der Zufallsauswahl im Falle einer selektiven Inspektion verwiesen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass ein vorgeschriebener Ablauf für die Sanierungsplanung nicht existiert. Projektbezogene Sanierungsplanungen sind von strategischen langfristigen Sanierungsplanungen zu unterscheiden. Um die Sanierungsplanung als ein potentiell Arbeitsgebiet zu begreifen, ist die Orientierung an dem allgemeinen Planungsprozess zu empfehlen, der die Möglichkeit bietet, für das zur Zeit noch unstrukturierte Arbeitsgebiet eine gewisse Systematik zu entwickeln.<sup>146</sup> Dabei können beabsichtigte Ziele, Erklärungen zur Wahl bestimmter Abläufe der Sanierungsplanung und mögliche Lösungswege formalisiert, also in schriftlicher Form nachvollziehbar dargelegt werden.

Für Kanalnetze größerem Umfangs bietet sich die selektive Inspektion parallel zu flächendeckenden Inspektionen an. Unabhängig davon, welches Planungsmodell ein Kanalnetzbetreiber in sein Unternehmen für die Sanierungsplanung integrieren möchte, sind neben den diskutierten Problemen sämtliche Einführungskosten zu bedenken.

Die Komplexität der Sanierungsplanung und die mit ihr verbundenen Probleme bezüglich einer Umsetzung in praxistaugliche Modelle können im Rahmen einer Diplomarbeit natürlich nur bedingt ausführlich dargestellt und diskutiert werden. Für eine gezielte Nutzbarmachung der vorhandenen wissenschaftlichen Datenbasis und der bis zum heutigen Tag erarbeiteten Konzepte bedarf es weiterführender Studien an geeigneter Stelle. Insbesondere das ganzheitliche Wirken von Aspekten der Betriebswirtschaftslehre und des Ingenieurbaus auf die Sanierungsplanung erfordert weitere Betrachtungen.

---

<sup>144</sup> Es wird auf Kapitel 3.3 verwiesen.

<sup>145</sup> Es wird auf Kapitel 4.3 verwiesen.

<sup>146</sup> Es wird auf Kapitel 2.2.1 verwiesen.

## 13 *LITERATURVERZEICHNIS*

- [1] Abwassertechnische Vereinigung: ATV-Handbuch - Bau und Betrieb der [Kanalisation]. 4. Auflage, Ernst & Sohn Verlag, Berlin 1995
- [2] Abwassertechnische Vereinigung: ATV-Handbuch - Betriebstechnik, [Kosten] und Rechtsgrundlagen der Abwasserreinigung. 4. Auflage, Ernst & Sohn Verlag, Berlin 1995
- [3] Adam, D.: [Planung] und Entscheidung - Modelle, Ziele, Methoden; mit Fallstudien und Lösungen. 4. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden 1996
- [4] Allgemeine RahmenVwV: über [Mindestanforderungen] an das Einleiten von Abwasser in Gewässer. Vom 25.11.1992
- [5] AQUA-Ingenieure: AQUA-[WertMin] für Windows - EDV-Programm zur Berechnung und Prognose der Wertminderung beschädigter Abwasserkanäle (Version 4.0). Saarbrücken, Ingolstadt 1999
- [6] AQUA-Ingenieure: AQUA-WertMin. 4.0 Handbuch 1998
- [7] ATV-A 133: Erfassung, Bewertung und Fortschreibung des Vermögens kommunaler Entwässerungseinrichtungen.[ATV A 133] Arbeitsblatt, Abwassertechnische Vereinigung, September 1996
- [8] ATV-M 143: Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Entwässerungskanälen und -leitungen, [Teil 1]: "Grundlagen". Merkblatt, Abwassertechnische Vereinigung, Dezember 1989
- [9] ATV-M 143: Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Entwässerungskanälen und -leitungen, [Teil 2]: "Optische Inspektion". Merkblatt, Abwassertechnische Vereinigung, Juni 1991
- [10] ATV-M 143: Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Entwässerungskanälen und -leitungen, [Teil 5]: "Allgemeine Anforderungen an Leistungsverzeichnisse für Reliningverfahren". Merkblatt, Abwassertechnische Vereinigung, Juni 1998
- [11] ATV-M 149: Zustandserfassung, -klassifizierung und -bewertung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden. [ATV M 149] Merkblatt, Abwassertechnische Vereinigung, April 1999
- [12] Bea/Dichtl/Schweitzer: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre Band 1 [Grundfragen]. 6. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena 1992
- [13] Bea/Dichtl/Schweitzer: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre Band 2 [Führung]. 6. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena 1993
- [14] Bea/Dichtl/Schweitzer: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre Band 3 [Leistungsprozeß]. 6. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena 1994
- [15] Beckereit, M.: [Effizienz durch Privatisierung] - Leere Kassen zwingen zum Umdenken. Wasser & Boden, Heft 07/08/1999
- [16] Betge, Peter: [Investitionsplanung] - Methoden - Modelle - Anwendungen. 2. Auflage, GablerVerlag, Wiesbaden 1995

- [17] Bohley, P.: [Statistik] - ein einführendes Lehrbuch für Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler. 6. Auflage, München, Wien, Oldenbourg 1999
- [18] Bohn, T. (Hrsg.): [Projektcontrolling] im Umweltbereich - Technisch und wirtschaftlich optimale Abwicklung von Abwasser - und Abfallprojekten. Expert-Verlag, Renningen-Malmsheim 1996
- [19] Bohn, T.: [Wirtschaftlichkeit] und Kostenplanung bei kommunalen Abwasserreinigungsanlagen. Expert-Verlag, Renningen 1993
- [20] Bücken, R.: [Statistik] für Wirtschaftswissenschaftler. 3. Auflage, München, Wien, Oldenbourg 1997
- [21] Cattien, C.: Das Problem der [Abwassergebühren] in den neuen Bundesländern - Dargestellt am Beispiel des Landes Brandenburg. Peter Lang Verlag, Frankfurt am Main 1998
- [22] Däumler, Klaus-Dieter: Grundlagen der [Investitions- und Wirtschaftlichkeitsrechnung]. 9. Auflage, Verlag Neue Wirtschaftsbriefe, Herne, Berlin 1998
- [23] Deutsche Gesellschaft für grabenloses Bauen und Instandhalten von Leitungen [GSTT]: Leitfaden zur Auswahl von Bauverfahren für den Bau und die Instandhaltung erdverlegter Leitungen unter umweltrelevanten und ökonomischen Gesichtspunkten. Hamburg 1996
- [24] DIN 276: [Wohnungsbau]: Normen, Richtlinien; DIN-Taschenbuch 110. 6. Auflage, Deutsches Institut für Normung, Berlin 1994
- [25] DIN EN 752-1: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Teil 1: "Allgemeines und Definitionen". Deutsches Institut für Normung, November 1995
- [26] DIN EN 752-2: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Teil 2: „Anforderungen“. Deutsches Institut für Normung, September 1996
- [27] DIN EN 752-3: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Teil 3: „Planungen“. Deutsches Institut für Normung, September 1996
- [28] DIN EN 752-4: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Teil 4: "Hydraulische Berechnung und Umweltschutzaspekte". Deutsches Institut für Normung, November 1997
- [29] DIN EN 752-5: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, Teil 5: "Sanierung". Deutsches Institut für Normung, November 1997
- [30] DIN EN 752-6: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, [Teil 6]: "Pumpenanlagen". Deutsches Institut für Normung, September 1996
- [31] DIN EN 752-7: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden, [Teil 7]: "Betrieb und Unterhalt". Deutsches Institut für Normung, Juni 1998
- [32] Dudey, J.: Abschätzung von Baukosten für öffentliche [Kanalnetze]. Korrespondenz Abwasser, Heft 05/1993
- [33] Dudey, J.: Einfluss der technischen [Standards] auf die Abwassergebühr. Korrespondenz Abwasser, Heft 02/1997
- [34] Dyk, C./Lohaus, J.: Der Zustand der Kanalisation in der BRD - Ergebnisse einer ATV-Umfrage 1997. Korrespondenz Abwasser, Heft 05/1998
- [35] Frank Bleichelt: Zuverlässigkeits- und [Instandhaltungstheorie]. Teubner Verlag, Stuttgart 1993

- [36] Friedemann, Christian: [Umweltorientierte Investitionsplanung]. Gabler Verlag, Wiesbaden 1998
- [37] Gabler Wirtschafts-Lexikon. Taschenbuch-Kassette mit 6 Bänden, ungekürzte Wiedergabe der zweibändigen Originalausgabe. 12. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden 1988
- [38] Gärtner, Th./Rudolph, K.-U.: [Kostensenkungsprogramm] bei Neubau, Umbau und Betrieb von Kläranlagen. Erschienen in Schmitz, Claus-Walter: Kommunales Abwasser. Economica Verlag, Bonn 1998
- [39] Gäser, Alfons: Organisationsmodelle und [Investitionsmanagement] zum Bau und Betrieb der kommunalen Abwasserbeseitigung. Expert-Verlag, Renningen-Malmsheim 1995
- [40] Gerke, W./Bank, M.: [Finanzierung] - Grundlagen für die Investitions- und Finanzierungsentscheidung in Unternehmen.
- [41] Gossow, K.: Kanalbau: [Nutzungsdauer] der wichtigsten Parameter. Korrespondenz Abwasser, Heft 01/1995
- [42] Grunwald, G.: [Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen] bei Kanalsanierungen. Dissertation Ruhr-Universität Bochum, 1996
- [43] German Society for Trenchless Technology [GSTT]: Grabenlose Verfahren der Schadensbehebung in nicht begehbaren Abwasserleitungen, Arbeitskreis Nr. 3 Grabenloses Bauen-Leitungsinstandhaltung. Heft 1, 3. Auflage, Juli 1998
- [44] Guttenberger, S.: Finanzwirtschaftliche [Entscheidungsprozesse]. Merkur Verlag, Rinteln 1995
- [45] Handbuch Wasserversorgungs- und Abwassertechnik: Abwassertechnik, Band 2. Vulkan Verlag, Essen 1995
- [46] Hanusch, H.: [Nutzen-Kosten-Analyse]. 2. Auflage, Vahlen Verlag, München 1994
- [47] Hartwig, E./Krug, R.: [Selektive Kanalinspektion] als Grundlage zur Ermittlung der Zustands- und Kostenentwicklung des Kanalnetzes im VW-Werk Wolfsburg Korrespondenz Abwasser, Heft 08/1998
- [48] Heinhold, M.: [Investitionsrechnung]. 2. Auflage, Oldenburg Verlag, München, Wien 1996
- [49] Herz, R./Hochstrate, K.: [Erneuerungsstrategien] für städtische Infrastrukturnetze Erschienen in Jahrbuch für Regionalwissenschaft 1987, Band 8
- [50] Herz, R./Schlichter, G./Siegener, W.: [Angewandte Statistik] für Verkehrs- und Regionalplaner. 2. Auflage, Werner Verlag, Düsseldorf 1992
- [51] Herz, R.: [Alterung] und Erneuerung von Infrastrukturbeständen - Ein Kohortenüberlebensmodell. Erschienen in Jahrbuch für Regionalwissenschaft 1995, Band 14/15
- [52] Herz, R.: [Erneuerungsbedarfsprognosen] für alternde Wasserrohrnetze. Bbr, Heft 12/1996
- [53] Hochstädter, Dieter: [Statistische Methodenlehre] - Ein Lehrbuch für Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler. 7. Auflage, Deutscher Verlag, Thun, Frankfurt am Main 1991
- [54] Hochstrate, K./Jansen, K./Schönborn, F.: [Qualitätsprüfung] selektiver Inspektionsstrategien nach DIN EN 752-5 durch Genehmigungsbehörden. Korrespondenz Abwasser, Heft 11/1997
- [55] Hochstrate, K./Jansen, K.: Finanzierung und Werterhaltung von Abwasserkanalnetzen durch [vorbeugende Instandhaltung]. Korrespondenz Abwasser, Heft 02/1996

- [56] Hochstrate, K./Jansen, K.: Prognosegestützte [Inspektions- und Sanierungsstrategien]. Wasser, Luft, Boden, Heft 10/1996
- [57] Hochstrate, K./Krug, R.: Anpassung der Abschreibungssätze/Nutzungsdauern an veränderte Bau- und Betriebszustände nach ATV - A 133 Umwelttechnik Aktuell, Heft 02/1997
- [58] Hochstrate, K./Schönborn, F.: Selektive Kanalinspektionsstrategien. Umwelttechnik Aktuell, Heft 03/1996
- [59] Hochstrate, K.: [Optimierung des Netzzustandes] unter schwierigen rechtlichen und finanziellen Randbedingungen. Vortrag am Lehrstuhl für Stadtbauwesen, TU Dresden, 1998
- [60] Informationszentrum Raum und Bau der Fraunhofer Gesellschaft: [Kosten-Nutzen-Analysen] in der öffentlichen Versorgung. 3. Auflage, RB Verlag, Stuttgart 1992
- [61] Internet: [AQUA] [www.aqua-ingenieure.de](http://www.aqua-ingenieure.de) Homepage der AQUA-Ingenieure vom 28.08.1999
- [62] Internet: [BWB] [www.bwb.de](http://www.bwb.de) Homepage der Berliner Wasserbetriebe vom 28.08.1999
- [63] Jacobi, Dieter: Ergebnisse der [Zustandserfassung] und -bewertung im Berliner Entwässerungsnetz. 3. Internationales Symposium für Leitungsnetze in Lindau 1997
- [64] Jahresbericht der [Wasserwirtschaft Berlin]. In Wasser & Boden, Heft 08/09/1999
- [65] Jansen, K.: Ermittlung des Verkehrswertes von Kanälen mit TV-Inspektion.[Verkehrswert] ATV-Bundestagung 1998
- [66] Janßen, Wiard: [Wirtschaftlichkeitsanalysen] in Projekten der öffentlichen Verwaltung. Frankfurt a. Main, Berlin, Bern, Lang Verlag 1998
- [67] Keller, S.: [Baukostenplanung] für Architekten: norm- und praxisgerechte Kostenermittlung nach DIN 276; Kalkulation und Finanzierung. 2. Auflage, Bauverlag, Berlin 1994
- [68] Kröpfl/Peschek/Schneider/Schönlieb: [Angewandte Statistik] - Eine Einführung für Wirtschaftswissenschaftler und Informatiker; mit 9 Tabellen. Carl Hanser Verlag, Wien 1994
- [69] Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: (Hsrg.) Leitlinien zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen.[LAWA] 2. Auflage, München 1998
- [70] Lücke, W.: [Investitionslexikon]. 2. Auflage, Vahlen-Verlag, München 1991
- [71] Macharzina, K.: [Unternehmensführung] - Das internationale Managementwissen. 2. Auflage, Gabel Verlag, Wiesbaden 1995
- [72] Meerwarth, W.: [Koordinierte Planung] der Erneuerung städtischer Infrastrukturnetze. Institut für Städtebau und Landesplanung, Schriftenreihe Heft 26, Universität Karlsruhe 1994
- [73] Meier, Claus: Investitions- und [Folgekosten] bei Bauvorhaben - Bedeutung und Planungskonsequenzen. 2. Auflage, expert-Verlag, Renningen-Malmsheim 1996
- [74] Milojevic,N./Jacobi, D./Sympher, K.-J.: [Generelle Sanierungsplanung] - Umsetzung der EN 752-5 in Berlin. Korrespondenz Abwasser, Heft 02/1999
- [75] Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (MUNR): Abwasserentsorgung in Brandenburg - [Orientierungswerte] für den Kostenaufwand bei der Abwasserableitung und -behandlung. 2. Auflage, Potsdam 1996
- [76] Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg (MUNR): Abwasserentsorgung in Brandenburg - [Rechtsgrundlagen], Betriebsformen, Kosten. 3. Auflage, Potsdam 1996

- [77] Moore/Shannon: Reliable [circuits] using less reliable relays. J. of the Franklin Institute, 1956
- [78] Neumann: Probabilistic [logics] and the synthesis of reliable organisms from unreliable components. In: Probabilistic Logics, Automata Studies (eds. Shannon/McCarthy) Princeton University Press, Princeton 1956
- [79] Pecher, R.: Abschätzung der betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauer und des Verkehrswertes von Kanälen mit TV-Untersuchungen.[Verkehrswert] Korrespondenz Abwasser, Heft 01/1998
- [80] Pecher, R.: Kostengünstige Sanierung von bestehenden Kanalnetzen - Zusammenwirken von [Hydraulik] und Bauzustand. Korrespondenz Abwasser, Heft 09/1998
- [81] Pflaumer, P.: [Investitionsrechnung]. Oldenbourg Verlag, Wien, München 1992
- [82] Reicherter, E./Günther, F.W.: Ein Modell zur [Kostenschätzung] für Abwasserkanalisationen. Korrespondenz Abwasser, Heft 02/1997
- [83] Sawatzki, J.: [Vermögensbewertung] und Gebührenermittlung auf Grundlage der betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauer für Abwasserkanäle und Leitungen. Korrespondenz Abwasser, Heft 09/1994
- [84] Sawatzki, J.: Verfahrensmodell zur [Klassifizierung] an Entwässerungskanälen. Korrespondenz Abwasser, Heft 12/1991
- [85] Schmidt, J.: [Wirtschaftlichkeit] in der öffentlichen Verwaltung. Erich-Schmidt Verlag, Berlin 1996
- [86] Schneider, E.: Wirtschaftlichkeitsrechnung. Theorie der [Investition]. J.C.B. Mohr/Polygraphischer Verlag A.G., 8. Auflage, Tübingen, Zürich 1973
- [87] Simon: [WertR91] Wertermittlungsrichtlinien - Textsammlung mit einer Einführung. 2. Auflage, Rehm Verlag, München, Berlin 1997
- [88] Staehelin, E.: [Investitionsrechnung]. 1. Auflage, Chur 1993
- [89] Statistisches Bundesamt: [Statistisches Jahrbuch 1998]. Wiesbaden 1998
- [90] Stein, D.: [Instandhaltung] von Kanalisationen. 2. Auflage, Ernst & Sohn Verlag, Berlin 1993
- [91] Stein, D.: [Instandhaltung] von Kanalisationen. 3. Auflage, Ernst & Sohn Verlag, Berlin 1998
- [92] Stein, D.: [Sanierung] von Abwasserkanälen. Korrespondenz Abwasser, Heft 07/1999
- [93] Sympher, Klaus: Generelle Sanierungsplanung Lückstraße. [Zwischenbericht] im Auftrag der Berliner Wasserbetriebe, Ingenieurbüro Dr. Pecher & Partner, Berlin 1998
- [94] Szyperski, N.: [Enzyklopädie] der Betriebswirtschaftslehre, Band 9, Handwörterbuch der Planung. 1. Auflage, C. E. Poeschel Verlag, Stuttgart 1989
- [95] Tragsdorf, K.: [Vorlesung] Unternehmensführung. Vorlesungsreihe Universität Leipzig, 1998
- [96] Trujillo Alvarez, Raul: [Bedarfsprognose] und Strategieentwicklung für die Rehabilitation städtischer Wasserrohrnetze, 1995. Institut für Städtebau und Landesplanung, Schriftenreihe Heft 27, Universität Karlsruhe 1994
- [97] Wasserhaushaltsgesetz: [WHG] in der Fassung vom 12.11.1996, Erschienen in Sartorius I - Verfassungs- und Verwaltungsgesetze der Bundesrepublik Deutschland. C.H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, München 1995
- [98] Wittling, A.: Rechtlich zulässige Finanzierungsmethoden, insbesondere [Abschreibungen]. Umwelttechnik Aktuell, Heft 04/1996

- [99] Wöhe, G.: [Bilanzierung] und Bilanzpolitik: betriebswirtschaftlich, handelsrechtlich, steuerrechtlich; mit einer Einführung in die verrechnungstechnischen Grundlagen. 9. Auflage, Vahlen Verlag, München 1997
- [100] Zusatzverweis: Quellennachweis für Deckblatt. Coverdarstellung des Programmpaketes WertMin 4.0 der AQUA-Ingenieure 1999

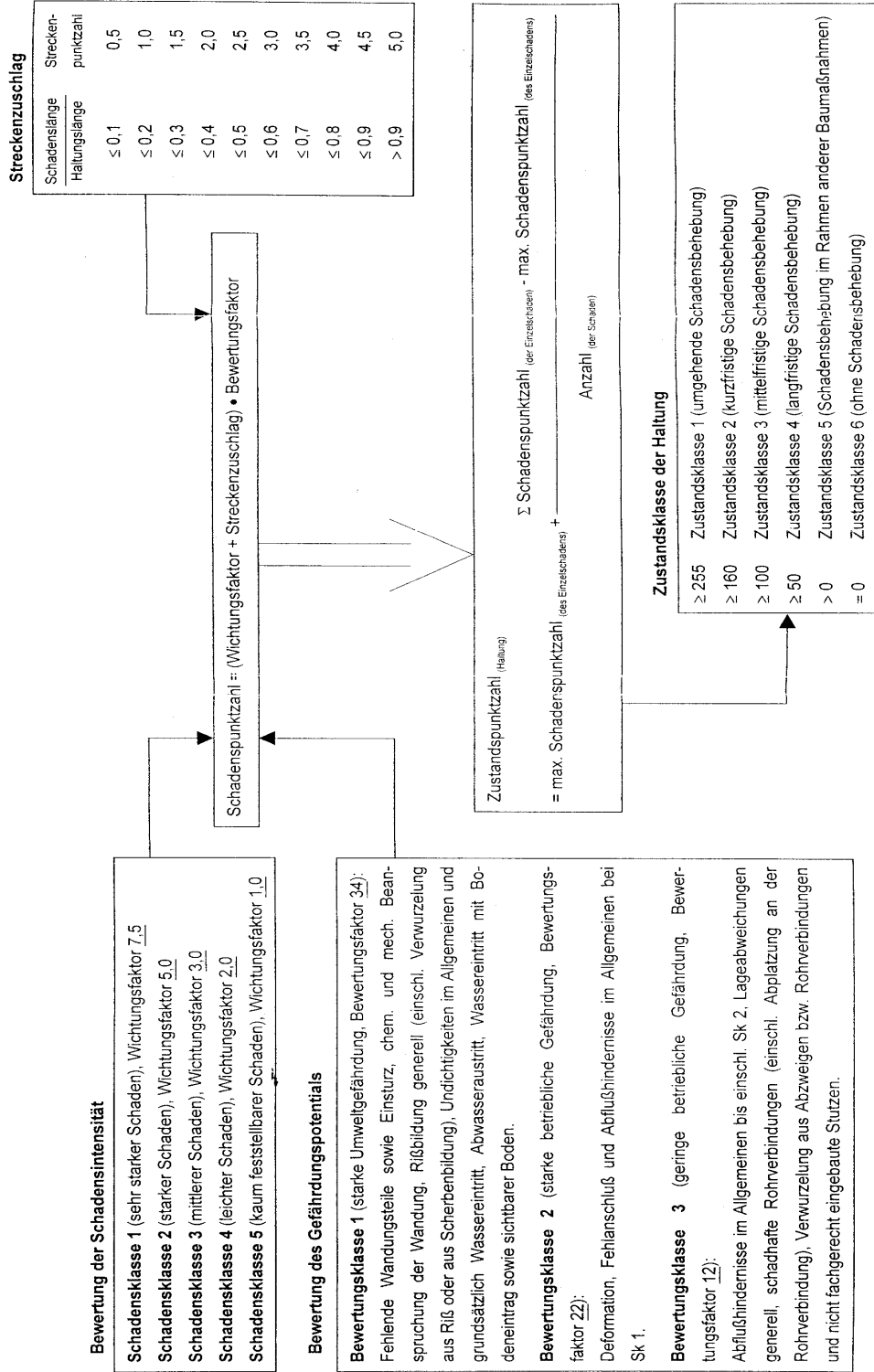
## ***ANHANG***

Anhang 1: Schadenskatalog der BWB.....	100
Anhang 2: Bewertungsschema der BWB.....	101
Anhang 3: Funktionen der Gleichverteilung.....	102
Anhang 4: Funktionen der Normalverteilung.....	103
Anhang 5: Funktionen der Logarithmischen Normalverteilung.....	104
Anhang 6: Funktionen der Exponentialverteilung.....	105
Anhang 7: Funktionen der Weibull-verteilung.....	106
Anhang 8: Projektkostenverlauf bei Nutzungsdauer 1.....	107
Anhang 9: Projektkostenverlauf bei Nutzungsdauer 2.....	108
Anhang 10: Ermittlung der kritischen rest. Nutzungsdauer.....	109
Anhang 11: Projektkostenverlauf bei flexibler Nutzungsdauer.....	110

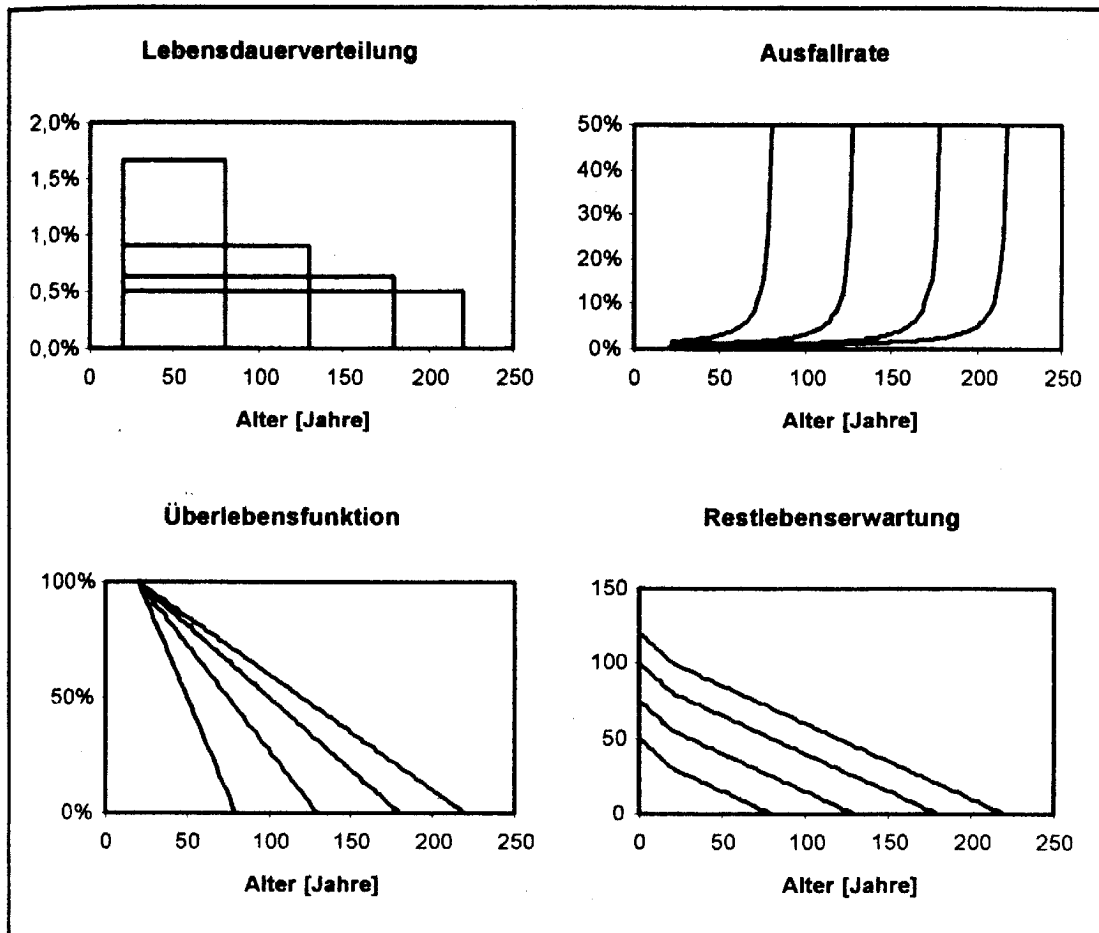
ANHANG 1

	Schadensklasse 1 unverzügliche Schadensbehebung	Schadensklasse 2 kurzfristige Schadensbehebung	Schadensklasse 3 mittelfristige Schadensbehebung	Schadensklasse 4 langfristige Schadensbehebung	Schadensklasse 5 Schadensbeseitigung im Rahmen anderer Baumaßnahmen
Rohrbruch Einsturz	Einsturz	fehlende Rohrstücke	-	-	-
Risse (b in mm)	> 5 mm	2-5 mm	0,5-2 mm	0,2-0,5 mm	< 0,2 mm
Sichtbare Undichtigkeiten	fließendes Wasser	feucht, tropfendes Wasser	-	-	-
Versatz der Rohrverbindung in horizontaler Richtung	-	> 2 cm	1 - 2 cm	< 1 cm	-
	-	> 3 cm	2 - 3 cm	1 - 2 cm	< 1cm
	-	> 4 cm	3 - 4 cm	2 - 3 cm	< 2cm
	-	> 5 cm	4 - 5 cm	3 - 4 cm	< 3 cm
Verlagerung in % der Profilhöhe	-	> 50 %	25 - 50 %	10 - 25 %	< 10 %
	> 2 cm	1 - 2 cm	0,5 - 1 cm	0,1 - 0,5 cm	< 0,1 cm
Verwurzelung	> 1 cm	0,5 - 1 cm	< 0,5 cm	-	-
	> 50 %	25 - 50 %	10 - 25 %	< 10 %	-
Abflußhindernisse % der Querschnittsfläche	> 50 %	25 - 50 %	10 - 25 %	< 10 %	-
	> 50 %	25 - 50 %	10 - 25 %	< 10 %	-
Verschleiß	> 3 cm	1 - 3 cm	< 1 cm	-	-
Korrosion	Einsturz	fehlende Rohrstücke	allgemeiner Angriff	-	-
Verformung	-	> 10 %	5 - 10 %	< 5 %	-

# ANHANG 2



### ANHANG 3

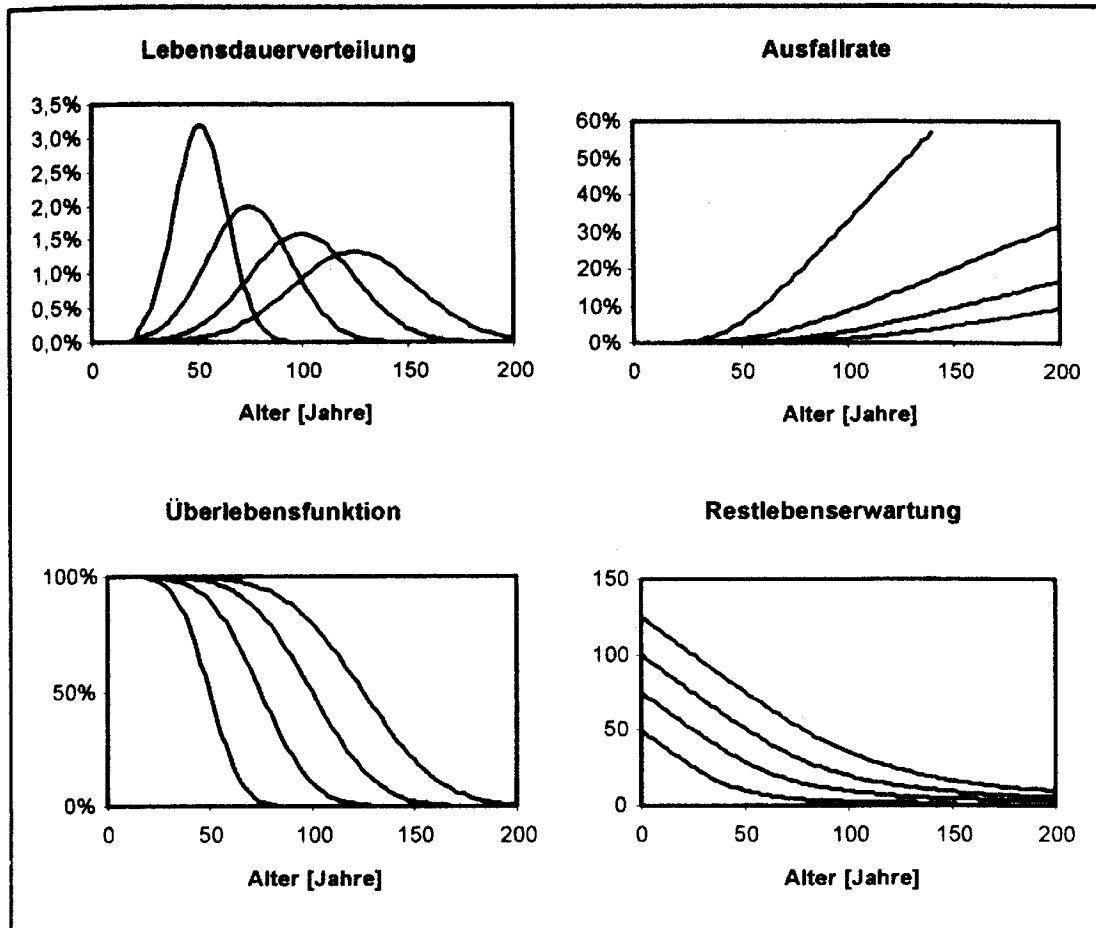


*Funktionen der Gleichverteilung*

*(Lebensdauervertelung, Ausfallrate, Überlebensfunktion, Restlebenserwartung der mit  $c=20$ ,  $d=60$ ,  $110$ ,  $160$ ,  $200$  Jahre und  $\mu=50$ ,  $75$ ,  $100$ ,  $125$  Jahre)*

Quelle: Trujillo [Bedarfsprognose] 1995 S.33

## ANHANG 4

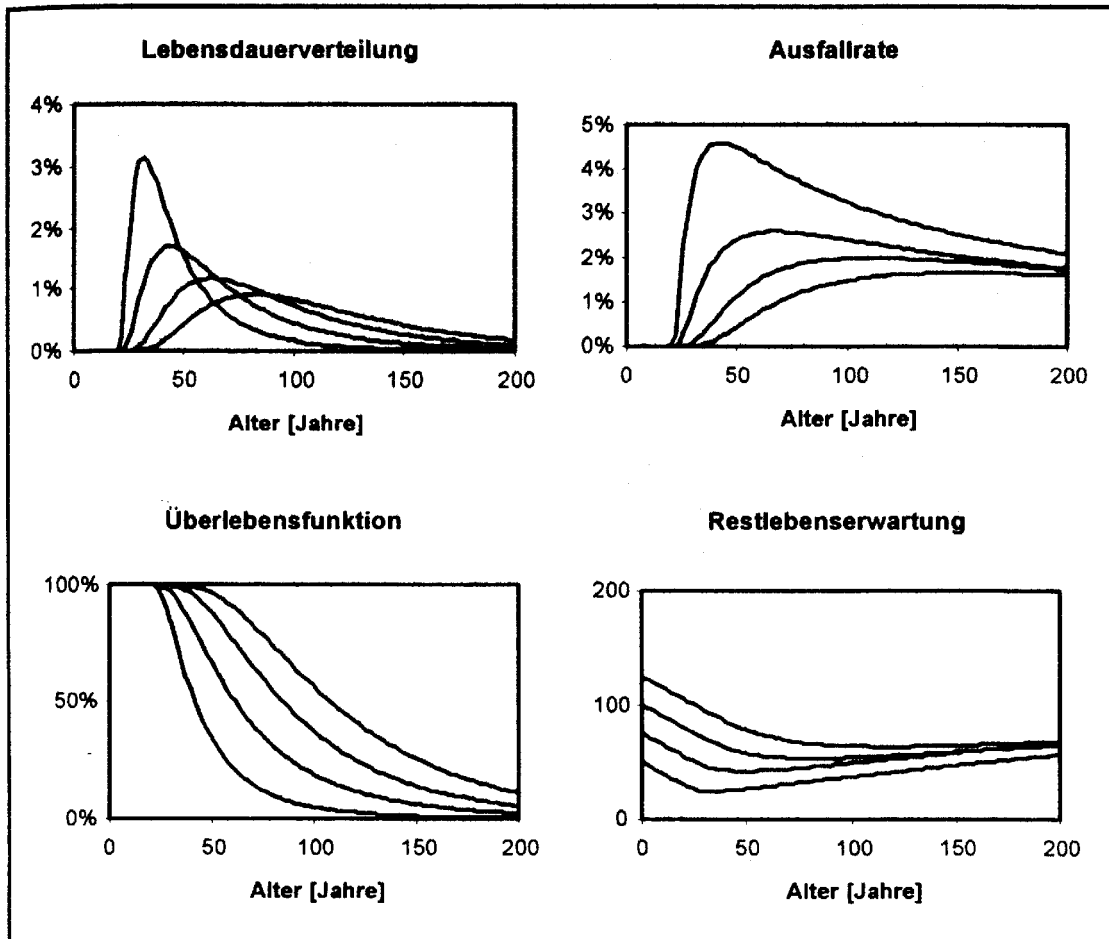


### Funktionen der Normalverteilung

(Lebensdauervertellung, Ausfallrate, Überlebensfunktion, Restlebenserwartung mit  $c=20$ ,  $\mu=50, 75, 100, 125$  Jahre und  $\sigma=12, 20, 25, 30$  Jahre)

Quelle: Trujillo [Bedarfsprognose] 1995 S.35

## ANHANG 5

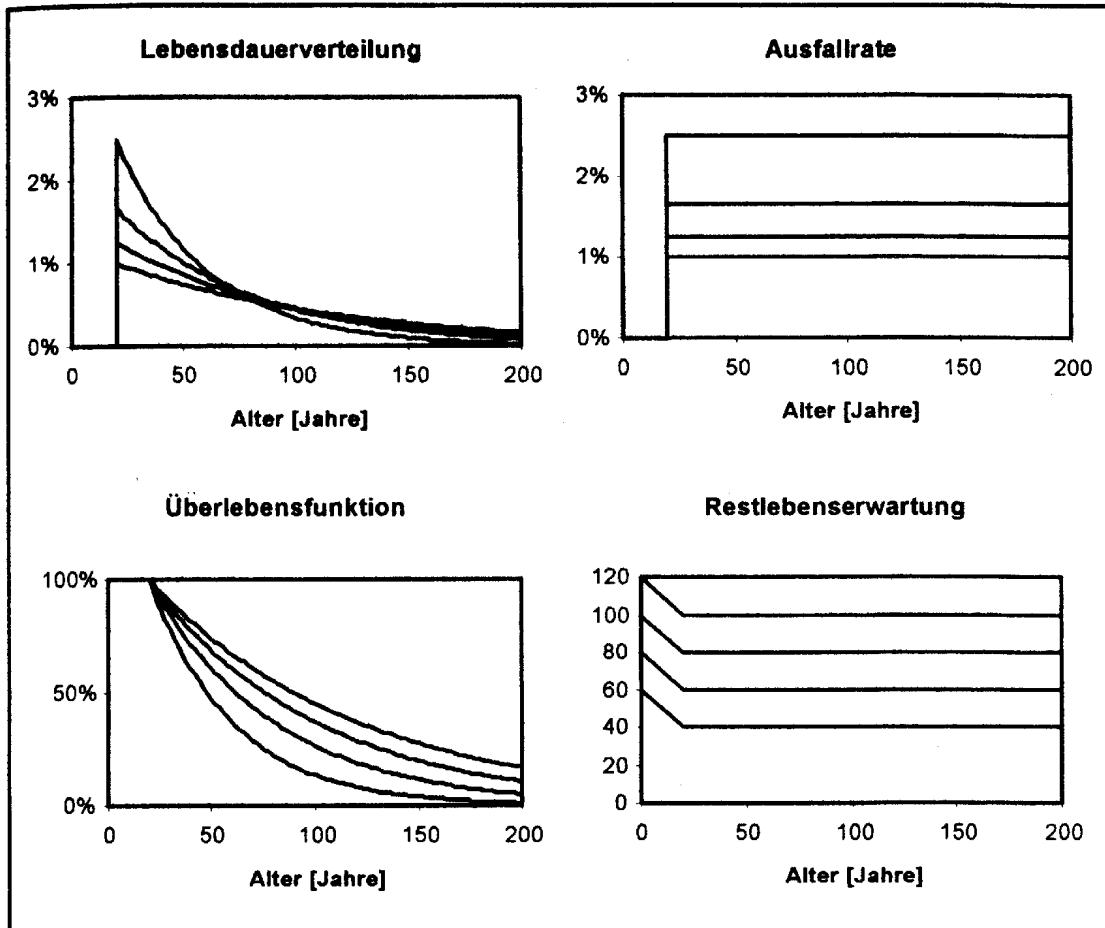


*Funktionen der Logarithmischen Normalverteilung*

*(Lebensdauervertelung, Ausfallrate, Überlebensfunktion, Restlebenserwartung der mit  $c=20$ ,  $\mu=22, 42, 65, 88$  Jahre und  $\sigma=2,2; 2,1; 1,9; 1,8$  Jahre)*

Quelle: Trujillo [Bedarfsprognose] 1995 S.37

## ANHANG 6

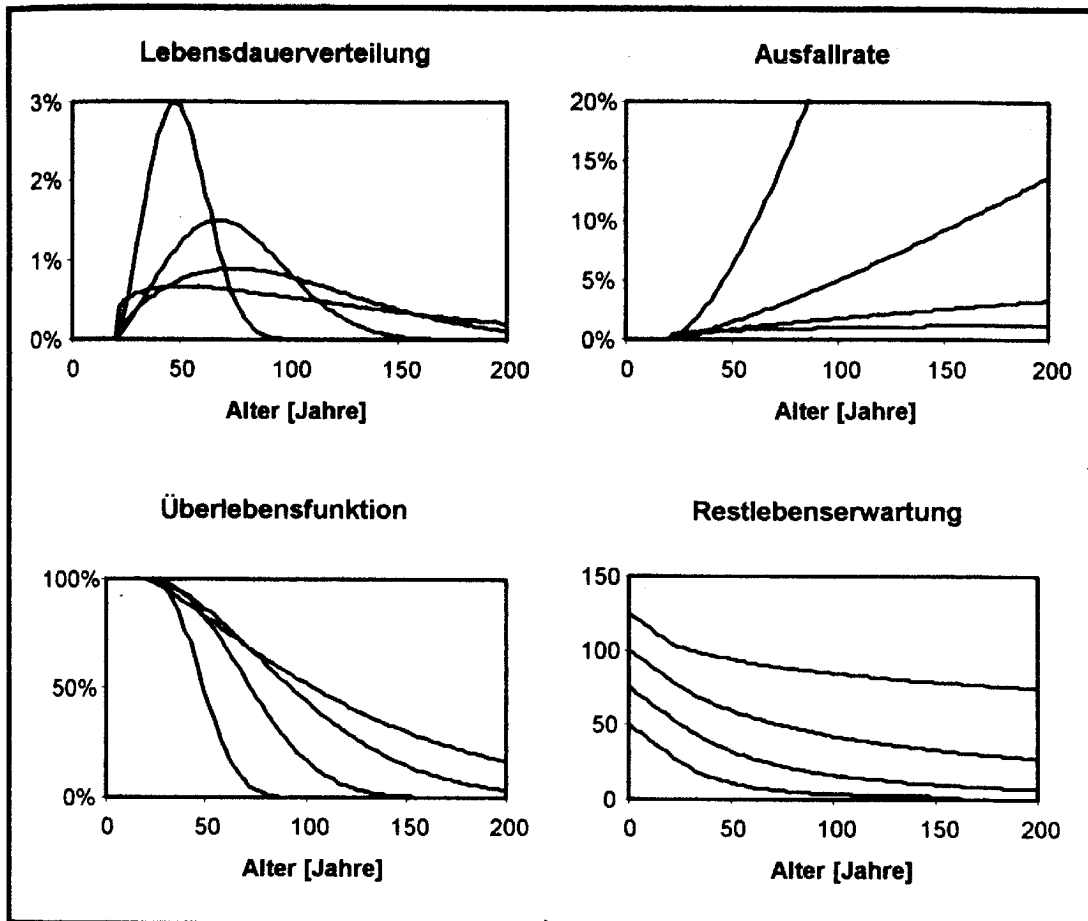


### Funktionen der Exponentialverteilung

(Lebensdauervertelung, Ausfallrate, Überlebensfunktion, Restlebenserwartung der mit  $c=20$ ,  $\lambda=1/40$ ,  $1/60$ ,  $1/80$ ,  $1/100$  und  $\mu=60, 80, 100, 120$  Jahre)

Quelle: Trujillo [Bedarfsprognose] 1995 S.39

## ANHANG 7



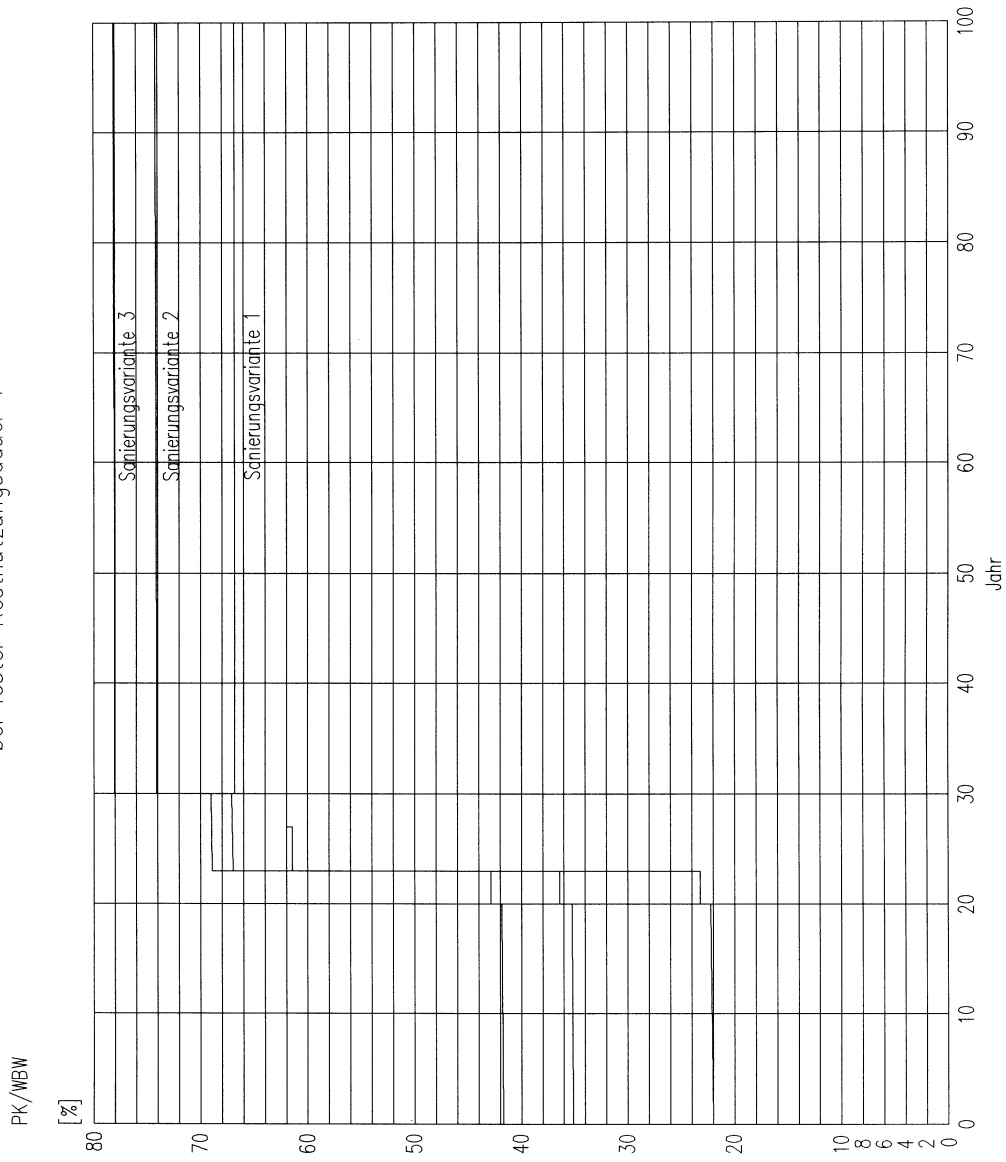
### Funktionen der Weibull-Verteilung

(Lebensdauervertelung, Ausfallrate, Überlebensfunktion, Restlebenserwartung mit  $c=20$ ,  $\alpha=2,5$ ;  $2,25$ ;  $1,75$ ;  $1,25$  und  $\mu=50$ ,  $75$ ,  $100$ ,  $125$  Jahre)

Quelle: Trujillo [Bedarfsprognose] 1995 S.41

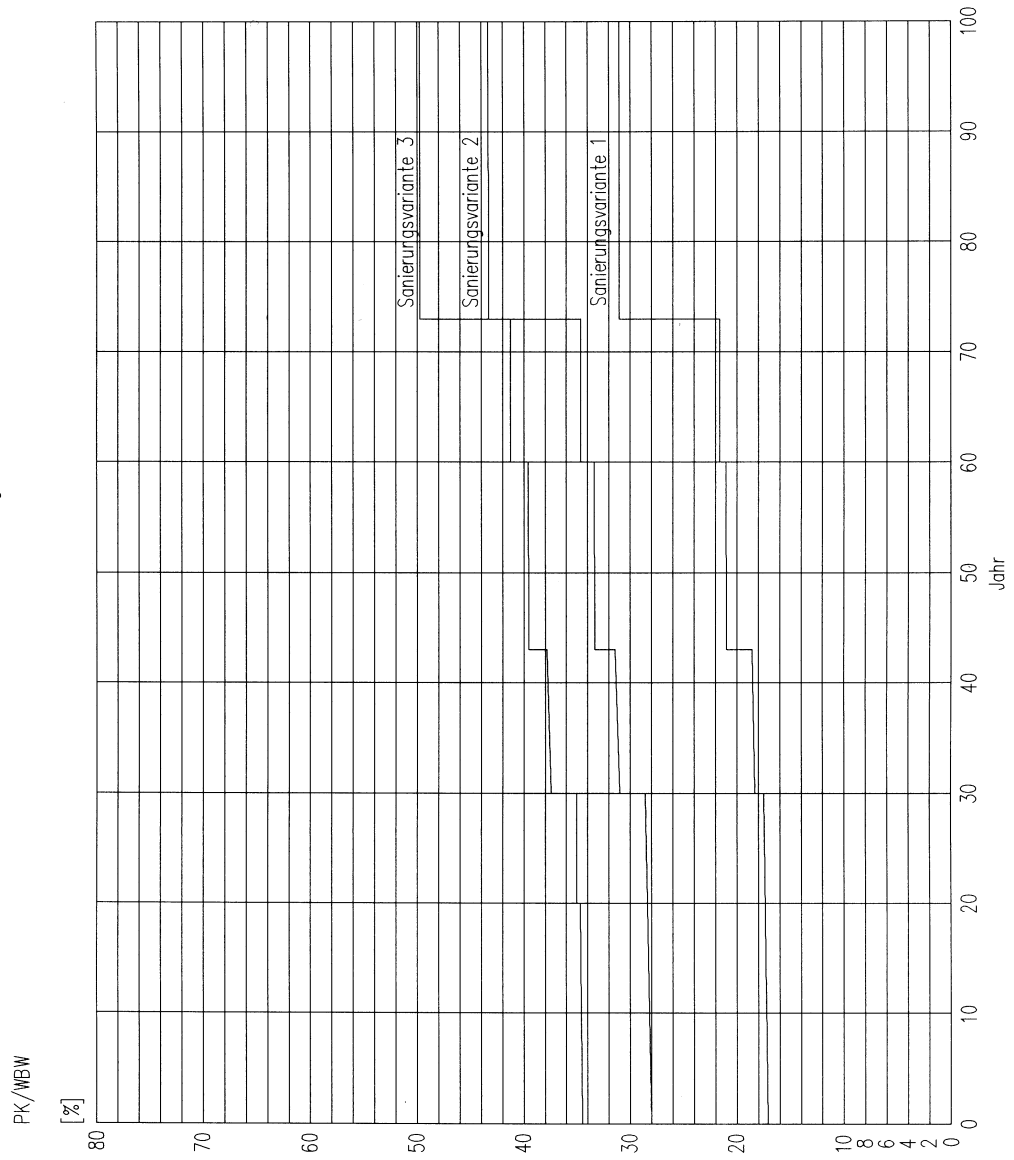
# ANHANG 8

Barwertverlauf aufsummierter Projektkosten  
bei fester Restnutzungsdauer 1

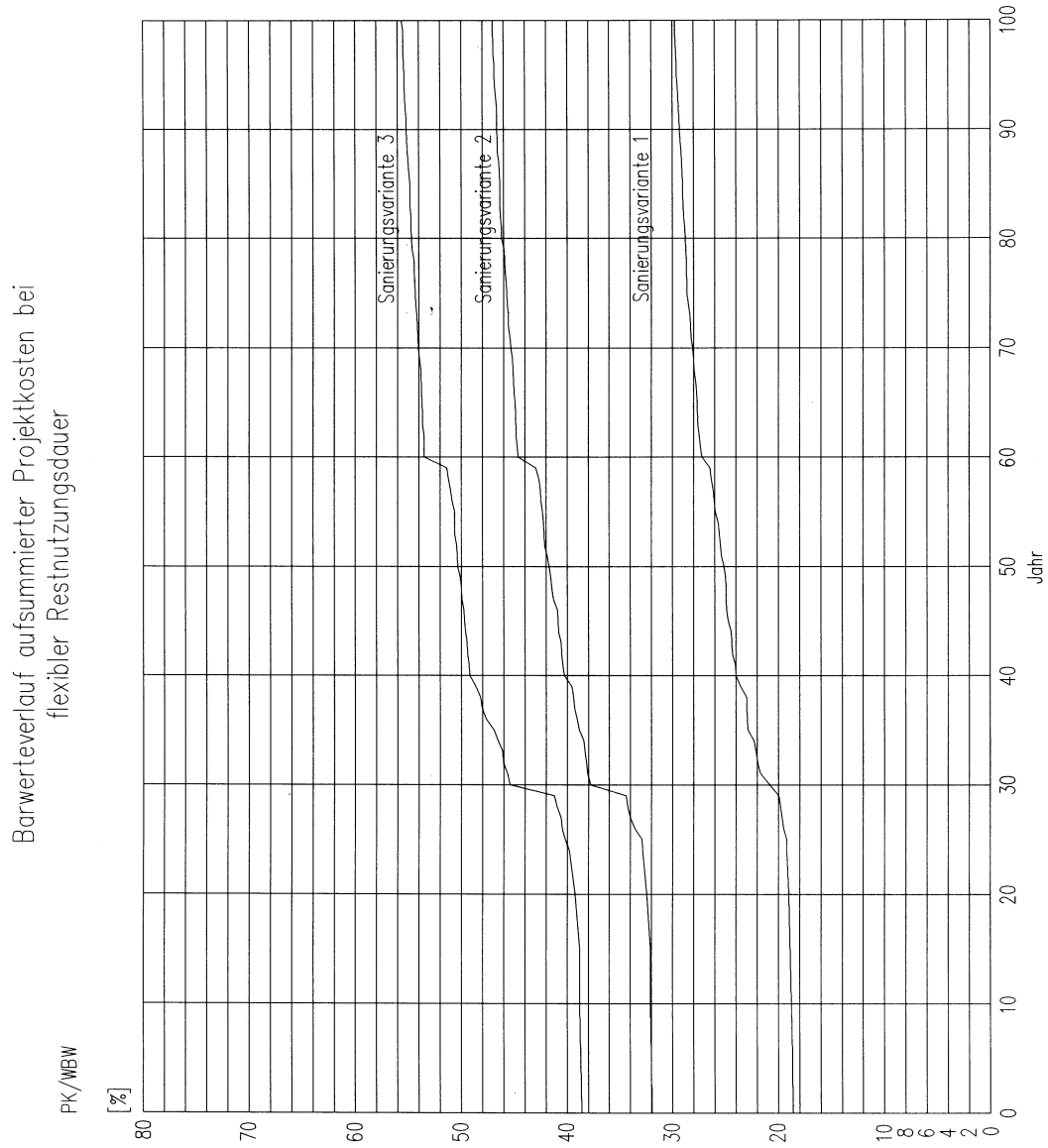


## ANHANG 9

Barwertverlauf aufsummierter Projektkoste  
bei fester Restnutzungsdauer 2



# ANHANG 10



## ANHANG 11

Beispiel: Ermittlung der kritischen RND

