Sonderdruck

72. Jahrgang · Nr. 10 · Oktober 2025 · 10889

DWA
Klare Konzepte. Saubere Umwelt.

Korrespondenz
Abwasser · Abfall
10|25

# Gemeinsam für sauberes Wasser.

## Die Stadtentwässerung Frankfurt am Main setzt auf Gütesicherung Kanalbau RAL-GZ 961

GÜTEZEICHEN RAL KANALBAU

Dipl.-Ing. (FH) Michael Voß
Abteilungsleiter
Abwasserableitung,
Betrieb Planen und Bauen
Stadtentwässerung
Frankfurt am Main

**Spurenstoff-Kongress**
Seite 704

**DWA international**
Seite 708

**Junge DWA: Datenstrukturen und BIM**
Seite 711

**Infrastrukturgehalt: IT-gestützte Planung**
Seite 714

**Prozessübergreifende Automatisierung**
Seite 730

**KARL und Nährstoff-elimination**
Seite 740

**Zirkuläre Sanitärsysteme**
Seite 752

# Infrastrukturerhalt – IT-gestützte Planung als Antwort auf Sanierungsstau, Fachkräftemangel und Transformationsprozesse

*Martin Wolf (München), Peter Nitzsche-John, Tom Mösl (Olching)*


## Zusammenfassung

*Die Sicherung der Funktionsfähigkeit kommunaler Entwässerungssysteme ist eine strategische Aufgabe mit generationenübergreifender Verantwortung. Der Beitrag zeigt am Beispiel des AmperVerbands, wie IT-gestützte, regelbasierte Modelle genutzt werden können, um angesichts wachsender Herausforderungen wie Sanierungsstau, Fachkräftemangel und urbaner Transformation den Erhalt von Kanalinfrastrukturen effizient und vorausschauend zu gestalten.*

*Zentrale Grundlage ist die automatisierte Auswertung vorhandener Zustandsdaten mit dem Modell stratIS-kanal, das den manuellen Ingenieurplanungsprozess nachbildet. Ergänzt um eine objektscharfe Asset-Simulation wird daraus ein integriertes Planungs- und Prognosewerkzeug, das technische sowie kaufmännische Aspekte berücksichtigt – bis hin zur Gebührenentwicklung. So können nicht nur operative Sanierungsmaßnahmen fundiert abgeleitet werden, sondern auch strategische Investitionsentscheidungen vorbereitet werden.*

*Die untersuchten Strategieoptionen zeigen eindrücklich: Ein „Weiter so" führt langfristig zu Substanzverlust und Investitionsspitzen. Nur durch frühzeitige Reinvestitionen und vorausschauende Planung lassen sich Instandhaltungsbedarfe glätten, Substanzwerte erhalten und Synergien mit weiteren Akteuren (zum Beispiel Wärmeplanung) nutzen. Der Beitrag macht deutlich, dass nachhaltiger Infrastrukturerhalt bereits frühzeitig eine flächendeckende fundierte Planung und klare Kommunikation erfordert – und eine koordinierte Strategie den Weg für zukunftsfähige Stadtentwicklung ebnet.*


*Schlagwörter*: Entwässerungssysteme, Wirtschaft, Kanalisation, Infrastruktur, Erhaltung, IT-Modell, Sanierung, Simulation, Prognose, Investition, Strategie

DOI: 10.3242/kae2025.10.001


## Abstract

### Infrastructure maintenance – IT-based planning as a response to renovation backlogs, skills shortages and transformation processes

*Safeguarding the functionality of municipal drainage systems is a strategic task and requires stewardship across generations. This article uses the example of the AmperVerband to illustrate how IT-based, rule-driven models can ensure efficient and forward-looking management of sewer infrastructure in the face of growing challenges such as renovation backlogs, skilled labour shortages and urban transformation.*

*A core foundation is the automated analysis of existing condition data using the stratIS-kanal model, which replicates the manual engineering planning process. Supplemented by object-specific asset simulation, this becomes an integrated planning and forecasting tool that incorporates both technical and commercial factors, including fee development. In this way, operational renovation measures can be derived on a sound basis and strategic investment decisions can be prepared.*

*The strategy options examined make it clear that business as usual will lead to asset deterioration and investment spikes in the long term. Only timely reinvestment and forward-looking planning can smooth maintenance needs, preserve asset values, and unlock synergies with other parties (such as heat planning). The article underlines that sustainable infrastructure maintenance requires comprehensive, informed planning and clear communication from the outset—and that a coordinated strategy paves the way for future-proof urban development.*


*Keywords*: Drainage systems, economy, sewerage, infrastructure, maintenance, IT model, renovation, simulation, forecast, investment, strategy

## 1 Veranlassung

### 1.1 Bedeutung von Infrastrukturerhalt

Infrastrukturen sind die Lebensadern unserer Gesellschaft. Ihre Verlässlichkeit bildet die Grundlage für funktionierende Abläufe, Kooperation – und im weiteren Sinne für Wohlstand, Fortschritt und gesellschaftlichen Zusammenhalt. Ein früher Hinweis auf den Zerfall einer Gesellschaft ist häufig der Verfall der Infrastruktur. Der Bau von Abwasserkanälen gilt als eine

der größten medizinischen Errungenschaften der Menschheit: Er ermöglichte durch verbesserte hygienische Bedingungen überhaupt erst das Leben in dicht besiedelten urbanen Räumen. Kanalnetze zählen zudem regelmäßig zu den wirtschaftlich wertvollsten Vermögenswerten einer Kommune.

Der Erhalt von Infrastruktur ist eine generationenübergreifende Aufgabe – er kostet Geld und erfordert personelle Ressourcen für Planung und Umsetzung. Aufgrund der meist langen Nutzungsdauern bleiben Versäumnisse lange unbemerkt. Doch wird der Erhalt über längere Zeiträume vernachlässigt, entsteht ein Sanierungsstau, der nur mit großem Aufwand – oder gar nicht mehr – aufgeholt werden kann. Infrastruktur muss daher vorausschauend und nachhaltig unterhalten werden. Dabei ist auch die endliche Lebensdauer technischer Anlagen zu berücksichtigen. Verantwortlich geplante Unterhaltsmaßnahmen sichern zunächst nur das Erreichen dieser Nutzungsdauer. Darüber hinaus sind rechtzeitig auch Reinvestitionen vorzusehen – also substanzielle Erneuerungen einzelner Infrastrukturteile. Das verbreitete Motto „wird schon noch gehen“ führt – gerade bei knappen Haushaltsmitteln – zu immer mehr vermeintlicher Effizienz und Kostensenkung und riskiert dabei langfristig die Substanz.

Aktuelle Beispiele machen die Folgen jahrelang verschleppter Infrastrukturvorsorge drastisch sichtbar: Die Deutsche Bahn steht vor einem organisatorisch und finanziell kaum noch aufholbaren Investitionsstau – sichtbar an zunehmenden Ausfällen sowie an chronischen Verspätungen. Ebenso müssen Autobahnbrücken wegen akuter Einsturzgefahr gesperrt oder Fahrspuren auf intakte Bereiche verlagert werden. Neben begrenzten Finanzmitteln erschweren auch fehlende personelle Kapazitäten – etwa für Planung und Umsetzung – infolge des Fachkräftemangels die Bewältigung der anstehenden Aufgaben zunehmend.

Auch in den meisten Kanalnetzen besteht – aus den genannten Gründen – ein erheblicher Sanierungsstau, dessen Abbau Jahrzehnte in Anspruch nehmen wird. Gefordert sind vorausschauendes Planen und entschlossenes Handeln – sofern die bereits in anderen Infrastrukturbereichen sichtbaren dramatischen Folgen nicht einfach hingenommen werden sollen. Wie der Mensch ab einem gewissen Alter regelmäßig zur Vorsorgeuntersuchung geht, so braucht auch das älter gewordene Kanalnetz flächendeckende Zustandsanalysen und Planungen – einschließlich der frühzeitigen Berücksichtigung finanzieller und personeller Ressourcen. In der Praxis bilden solche vorbeugenden Maßnahmen jedoch noch die Ausnahme – obwohl in vielen Städten das Alter der Kanalnetze längst „Vorsorge“ erfordern würde. Was beim Menschen zum Infarkt führt, kann auch Infrastrukturen gefährden – wie die genannten aktuellen Negativbeispiele eindrucksvoll belegen. Ein „weiter so“ ist nicht mehr tragfähig. Dass diese Erkenntnis nicht neu ist, zeigt ein Zitat von Julius Frontinus, Kurator der römischen Wasserversorgung: „Viele und bedeutende Probleme entstehen durch Mängel, denen man begegnen muss, bevor sie anfangen, größeren Unterhaltungsaufwand zu erfordern.“ [1]

### 1.2 Einsatz von KI und Automatisierung in Zustandserfassung und Planung

Voraussetzung für vorausschauendes Handeln im Kanalnetz ist eine hochwertige, vollständige und flächendeckende Erfassung des aktuellen Zustands – gemäß DIN EN 13508-2 und DWA-M 149-2 – sowie die Ermittlung der kurz- und mittelfristig notwendigen Maßnahmen (s. DIN EN 752, DIN EN 14654-2 und DWA-A 143-1) [2–6].

Derzeit wird der Einsatz künstlicher Intelligenz (KI) bei der Kanalzustandserfassung erprobt – teilweise kommt sie bereits produktiv zum Einsatz. Als Vorteile werden unter anderem genannt: eine gesteigerte Effizienz, eine objektive und konsistente Schadensbewertung, die Entlastung des Fachpersonals sowie die Möglichkeit, die Aufmerksamkeit auf komplexe Schadensbilder zu fokussieren. Es ist zu erwarten, dass durch den Einsatz von KI auch die Inspektionsleistung gesteigert werden kann. Ob dies jedoch auch mit einer tatsächlichen Qualitätsverbesserung der Erfassung einhergeht, bleibt noch zu evaluieren.

Unabhängig davon, ob die Zustandsdaten klassisch durch Inspekteure oder mithilfe von KI erfasst werden – sie müssen anschließend systematisch ausgewertet werden. Ein erster Schritt ist dabei in der Regel die Einordnung in Zustandsklassen nach DWA-M 149-3 [7]. Diese Klassifizierung zeigt allerdings lediglich die Dringlichkeit eines Handlungsbedarfs auf. Für fundierte Entscheidungen braucht es weiterführende Informationen: konkrete Maßnahmenvorschläge und zugehörige Kostenschätzungen – Ergebnisse, die üblicherweise erst im Rahmen einer Sanierungsplanung durch technisches Fachpersonal generiert werden. Für den Kanalnetzbetreiber sind solche Aussagen sowohl für strategische konzeptionelle Planungen als auch für das tägliche operative Geschäft unverzichtbar – etwa für die Budgetierung, die operative Vorbereitung von Maßnahmen oder die Koordination mit anderen Beteiligten. Schätzverfahren, wie zum Beispiel einfache Substanzbewertung oder über Kennzahlen, leisten zwar einen wichtigen Beitrag zur ersten Sensibilisierung im Hinblick auf Substanzerhalt, erfüllen jedoch (gemäß deren eigener Zielsetzung) nicht die Anforderungen an konkrete, transparente und praxisgerechte Planungsergebnisse [8–10].

Die Planung von Sanierungsmaßnahmen erfolgt in einem strukturierten, aufeinander aufbauenden Prozess gemäß DIN EN 14654-2/DWA-A 143-1 [5, 6]. Im ersten Schritt („Strategie“) wird ein flächendeckender Überblick über die zu erwartenden Sanierungsarten und Kosten entwickelt, um daraus eine nachhaltige Gesamtstrategie abzuleiten. Darauf folgt die „Konzeption“, in der gebietsbezogene Maßnahmenpakete geschnürt und Schnittstellen zu anderen Akteuren identifiziert werden. Abschließend erfolgt die „Objektplanung“ – die detaillierte Ausarbeitung der Maßnahmen bis zur Ausführungsreife, inklusive technischer Planung und Vorbereitung der Umsetzung. Idealerweise orientieren sich diese Schritte von Beginn an am Prinzip der ingenieurmäßigen Planung und werden im weiteren Verlauf schrittweise verfeinert.

Die oben genannten Aufgaben lassen sich im Prinzip einfach lösen: Ein fachlich qualifizierter Mitarbeiter entwickelt – auf Grundlage der optischen Inspektion und ergänzender Daten – einen konkreten Vorschlag zur Sanierung der jeweiligen Haltung. Im ersten Planungsschritt werden dabei üblicherweise die Sanierungsart (Reparatur, Renovierung oder Erneuerung) sowie die zugehörigen Kosten ermittelt. Für eine netz- oder gebietsweite Betrachtung ist dieser manuelle Ansatz jedoch unmöglich: Eine flächendeckende Auswertung mit Variantenanalysen für mehrere tausend Haltungen ist personell wie zeitlich – insbesondere angesichts des Fachkräftemangels – kaum realisierbar.

Vor diesem Hintergrund liegt es nahe, auch die Sanierungsplanung selbst zu automatisieren. Ziel ist es, flächendeckende Auswertungen überhaupt erst in einer praxisgerechten und transparenten Form realisierbar zu machen. Insbesondere bietet die Automatisierung zudem die Chance, das vorhandene Personal gezielt zu entlasten – und auf Aufgaben zu konzentrieren, die (noch) nicht von KI oder automatisierten Verfahren übernommen werden können.

## 2 Umsetzungsbeispiel AmperVerband

### 2.1 Veranlassung

Die im vorliegenden Beitrag dargestellten Vorgehensweisen, Ergebnisse und Schlussfolgerungen basieren auf einem Projekt für den AmperVerband. Er betreibt im Westen von München ein rund 500 Kilometer langes Kanalnetz (Schmutzwasserkanal im Trennsystem) einschließlich Abwasserreinigung. Der Verband steht vor folgenden Herausforderungen:

- Das Kanalnetz wurde überwiegend zwischen 1960 und 1980 errichtet und erreicht in großen Teilen nun das Ende seiner kalkulatorischen Nutzungsdauer von 66 Jahren. Für den AmperVerband bedeutet das: In den kommenden Jahrzehnten sind umfassende Reinvestitionen in das Kanalnetz und die Abwasserreinigung unausweichlich.
- Eine flächendeckende Zustandserfassung liegt dem AmperVerband bereits vor. Was bislang jedoch fehlte, war eine systematische Auswertung dieser Daten im Hinblick auf konkrete Maßnahmen und deren Kosten.

Die genannten Herausforderungen wurden zugleich auch als Chance verstanden: vor dem Hintergrund von Wärmeplanungen und städtischen Transformationsprozessen – etwa infolge des Klimawandels – die bevorstehenden Investitionen ins Kanalnetz frühzeitig mit anderen Akteuren und Zielen zu koordinieren bzw. zu verknüpfen. Daher lauten die übergeordneten Ziele des Projekts:

- Transparenz schaffen: Einen umfassenden Überblick über notwendige Sanierungsmaßnahmen und die damit verbundenen Kosten gewinnen
- Synergien erkennen: Potenzielle Verknüpfungen zwischen Maßnahmen im Schmutzwasserkanalnetz und anderen städtischen Entwicklungen frühzeitig identifizieren
- Zukunft sichern: Eine tragfähige Strategie sowie deren Finanzierung – einschließlich möglicher Rücklagenbildung – vorausschauend planen und absichern.

### 2.2 Vorgehensweise und Ziele

Da eine manuelle Auswertung der Inspektionsdaten – inklusive Variantenuntersuchungen – für mehrere tausend Haltungen nicht realisierbar war, entschied sich der AmperVerband für den Einsatz eines IT-Modells. Dieses ermöglicht in kurzer Zeit eine flächendeckende, objektscharfe Ermittlung aller erforderlichen Sanierungsmaßnahmen – von Reparatur über Renovierung bis zur Erneuerung – inklusive konkreter Einzelmaßnahmen je Haltung (zum Beispiel Kurzliner, Edelstahlmanschetten, Teilerneuerungen) sowie zugehöriger Kosten. Auf dieser Grundlage lassen sich zusätzlich Variantenuntersuchungen mit unterschiedlichen Randbedingungen durchführen.

Darauf aufbauend wurde – unter Einbeziehung der Anlagenbuchhaltung und kaufmännischer Rahmenbedingungen – eine objektscharfe Strategieprognose in Form einer Asset-Simulation erstellt. Damit konnten verschiedene Handlungsoptionen analysiert und verglichen werden.

Ziel des AmperVerbands war es, eine systematische, objektive und vorausschauende Sanierungsstrategie zu entwickeln. Diese sollte sowohl technisch fundiert als auch in kaufmännischer Hinsicht planbar sein – und eine transparente Entscheidungsgrundlage für Gremien und Aufsichtsbehörden liefern. Die gewonnenen Erkenntnisse aus der strategischen Analyse werden anschließend in die operative Maßnahmenplanung überführt.

Die wesentlichen Arbeitsschritte sind in Abbildung 1 dargestellt.

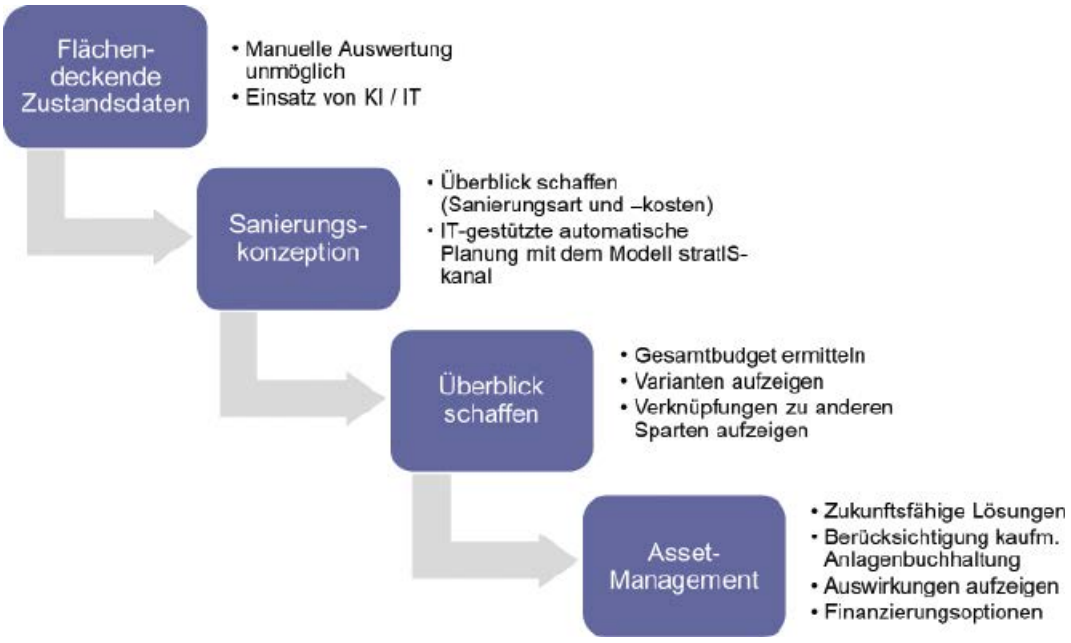


*Abb. 1: Wesentliche Schritte des AmperVerbands auf dem Weg zu einem nachhaltigen Infrastrukturerhalt*

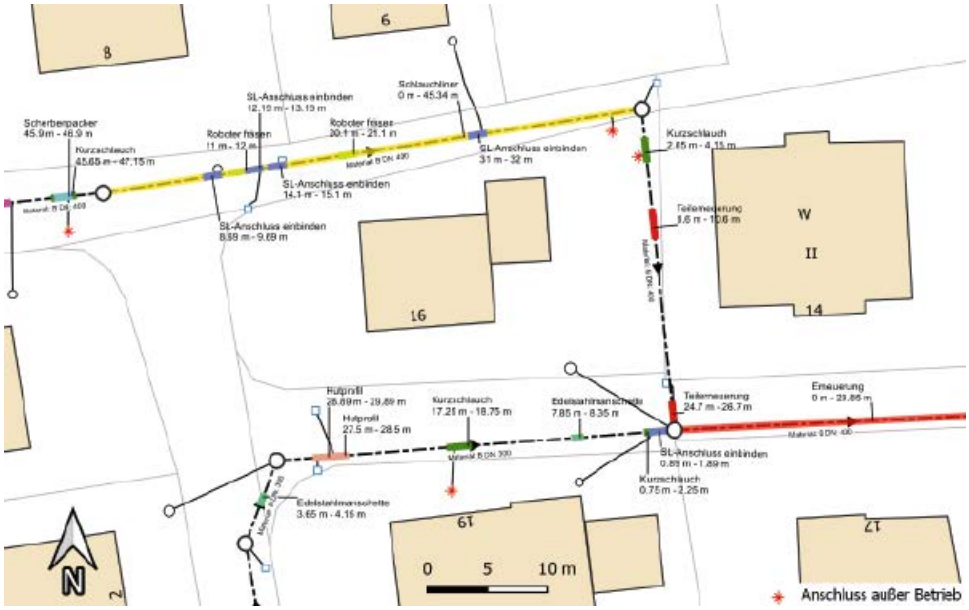


*Abb. 2: Ergebnis einer automatischen Sanierungskonzeption – Detailausschnitt*

### 2.3 Automatische Kanalsanierungsplanung

Für das dargestellte Projekt kam das Planungs- und Strategieprognosemodell stratIS-kanal zum Einsatz. Das Modell basiert auf dem Prinzip der klassischen Ingenieurplanung – diese wird jedoch automatisiert ausgeführt, wodurch eine flächendeckende Planung auch großer Netzbereiche ermöglicht wird. Für jede Haltung werden auf Basis der Zustandsdaten konkrete Einzelmaßnahmen einschließlich Kosten ermittelt. Pro Haltung generiert das System mehrere Sanierungsalternativen, deren Wirtschaftlichkeit anschließend durch eine Kostenvergleichsberechnung bewertet wird [16]. Dabei berücksichtigt das Modell – analog zur manuellen Planung – auch komplexe Einflüsse wie Schadenüberlagerungen, Zusammenlegungen von Maßnahmen oder die Lage von Stutzen und Anschlüssen. So entsteht ein Überblick über mögliche Sanierungsarten sowie Einzelmaßnahmen, wie zum Beispiel Teilerneuerungen, die mit anderen Spartenträgern koordiniert werden müssen. Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse einer automatischen Planung mit stratIS-kanal im Detail.

Zurzeit diskutierte Modelle für die Künstliche Intelligenz (KI) basieren auf dem Prinzip des maschinellen Lernens durch neuronale Netze sowie großer Datenmengen. Sie stellen (heute) im Wesentlichen noch „Black-Box-Modelle“ mit zwar wahrscheinlichen und auf den ersten Blick plausiblen Ergebnissen, jedoch mit undurchsichtigen Entscheidungsfindungen dar. Im Gegensatz dazu stellt stratIS-kanal kein KI-System im engeren Sinne dar. Es folgt nachvollziehbaren, regelbasierten Algorithmen, die den Ingenieurplanungsprozess transparent abbilden. Randbedingungen und Präferenzen des Netzbetreibers können gezielt einbezogen werden. stratIS-kanal stellt damit ein IT-Werkzeug mit hoher Nachvollziehbarkeit und Anpassungsfähigkeit dar.

Obwohl das Modell bereits mit Standardparametern eine direkt einsetzbare Sanierungsplanung liefern kann, hat sich eine an das jeweilige Netz angepasste Feinjustierung in der Praxis bewährt. Dazu zählen zum Beispiel spezifische Preisstrukturen, individuelle Sanierungspräferenzen, zusätzliche Informationen, besondere örtliche Gegebenheiten oder auch Besonderheiten in den Inspektionsdaten. Entsprechende Anpassungen wurden für den AmperVerband durchgeführt.

### 2.4 Prognosemodell – Asset-Simulation

Auf Basis der zuvor beschriebenen objektscharfen Sanierungsplanung wurde das in stratIS-kanal integrierte Prognosemodell aufgesetzt. Ziel war es, die wesentlichen kurz- und langfristigen Auswirkungen verschiedener Strategien in technischer und finanzieller Hinsicht zu ermitteln und vergleichend zu bewerten. Hierfür wurden die Verschlechterung der Zustandsklassen (gemäß DWA-M 149-3: Sanierungsdringlichkeit [7]) sowie der Anstieg der Instandhaltungskosten als zusammenfassende Indikatoren für den fortschreitenden Verschleiß und die Alterung der Anlagen herangezogen. Diese Faktoren wurden für unterschiedliche Kanaleigenschaften (wie z. B. Material oder Baujahresdekaden) analysiert und berücksichtigt. Zusätzlich wurde die kaufmännische Anlagenbuchhaltung objektscharf aufbereitet und in das Modell integriert. So entstand ein System zur technischen und kaufmännischen Asset-Simulation. Damit steht dem AmperVerband ein leistungsfähiges Instrument zur Verfügung, das sowohl eine flächendeckende Planung als auch die fundierte Bewertung kurz- und langfristiger Auswirkungen ermöglicht – praxisnah, transparent und auf Grundlage realer Zustands- und Sanierungsdaten.

Im Rahmen der Asset-Simulation wurden unter anderem folgende Handlungsoptionen untersucht:

- „Feuerwehrstrategie“: Reaktive Instandhaltung mit kurzfristiger Orientierung auf den reinen Funktionserhalt des Kanalnetzes
- „Weiter-so“-Strategie: Fortschreibung der bisherigen Aktivitäten, einschließlich einer auf vordringlichen Schäden beschränkten Sanierungstätigkeit
- Umfassende Ingenieurstrategie: Berücksichtigung sämtlicher vorhandener Schäden bei der Planung von Sanierungsmaßnahmen
- Erweiterte umfassende Ingenieurstrategie: Zusätzlich vorbeugende Berücksichtigung realitätsnaher Randbedingun-

gen wie zum Beispiel Muffendichtheit oder fortschreitende Zustandsverschlechterung
- Vorausschauende Netzerhaltungsstrategie: Ergänzende Einbeziehung von Nutzungsdauern und der kaufmännischen Anlagenbuchhaltung zur Auswahl geeigneter Sanierungsverfahren.

Im ersten Schritt wurden für jede Strategie die Gesamtsanierungskosten sowie die Verteilung der Sanierungsarten auf die Kanalbestandslänge ermittelt. Für die Praxis sind jedoch insbesondere die daraus abgeleiteten Jahresbudgets von Bedeutung. Diese hängen maßgeblich von der zeitlichen Umsetzung (zügig oder gestreckt) und dem gewählten Interventionszeitpunkt (vorbeugend oder reaktiv) ab. Zusätzlich wurden weitere Kriterien erfasst und bewertet, darunter:

- die Entwicklung der Betriebssicherheit
- die kalkulatorischen Kosten (zur Abschätzung der Gebührenentwicklung)
- der Substanzwert gemäß DWA-A 143-14 [11]
- der potenzielle Bedarf und Einfluss einer Rücklage als mögliches Finanzierungsinstrument.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Allgemeines

Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse der Strategieanalyse für das Kanalnetz des AmperVerbands dargestellt. Diese gehen über eine rein klassische Schadensbehebung hinaus und zeigen auf, wie sich durch Variantenvergleiche sowie die Berücksichtigung mittel- und langfristiger Auswirkungen fundierte Entscheidungen zum nachhaltigen Substanzerhalt und zur Koordination mit weiteren Akteuren im urbanen Raum treffen lassen. Auf eine detaillierte Darstellung der methodischen Grundlagen wird an dieser Stelle verzichtet – entsprechende Informationen können weiterführender Literatur entnommen werden [12–15].

Die dargestellten Auswertungen haben exemplarischen Charakter und sind auf viele andere Kommunen in Deutschland übertragbar, in deren Kanalnetzen ein vergleichbarer Reinvestitionsbedarf besteht. Darüber hinaus sind sie auch im Kontext aktueller gesellschaftlicher Diskussionen relevant – insbesondere im Hinblick auf den generellen Sanierungsstau in der öffentlichen Infrastruktur, die Notwendigkeit nachhaltiger Erhaltungsstrategien sowie die effektive Begleitung städtischer Transformationsprozesse.

### 3.2 Reinvestitionsrate und Gesamtkosten

In der Praxis stehen häufig kurzfristige Lösungen im Vordergrund: Ziel ist es, mit optimiertem Personal- und Mitteleinsatz die bestehende Funktion des Kanalnetzes aufrechtzuerhalten. Zum Einsatz kommen dabei überwiegend Reparaturverfahren, mit denen sich kurzfristig große Kanalbestandslängen vergleichsweise kostengünstig in Betrieb halten lassen. Gerade bei einem absehbaren Ende der Nutzungsdauer ist es aber entscheidend, die Erneuerungs- bzw. Reinvestitionsrate im Blick zu behalten.

Abbildung 3 zeigt die Verteilung der Kanalbestandslänge auf die Sanierungsarten (Reparatur, Renovierung, Erneuerung) für verschiedene Handlungsoptionen sowie deren Gesamtkosten, ausgedrückt als Verhältnis zum Wiederbeschaffungswert. Daraus wird ersichtlich, wie sich die Wahl der Strategie auf die gewählten Maßnahmen pro Haltung auswirkt. Während bei der „Weiter so"-Strategie vor allem Reparaturen zum Einsatz kommen, steigt der Anteil an Renovierungen und insbesondere Erneuerungen erst bei vorausschauend ausgerichteten Investitionsstrategien.

Bemerkenswert ist zudem: Selbst eine umfassende, aber ausschließlich am optisch sichtbaren Zustand orientierte Sanierungsplanung führt noch nicht zu einem nennenswerten Anteil an Erneuerungen. Erst durch die Integration weiterer techni-

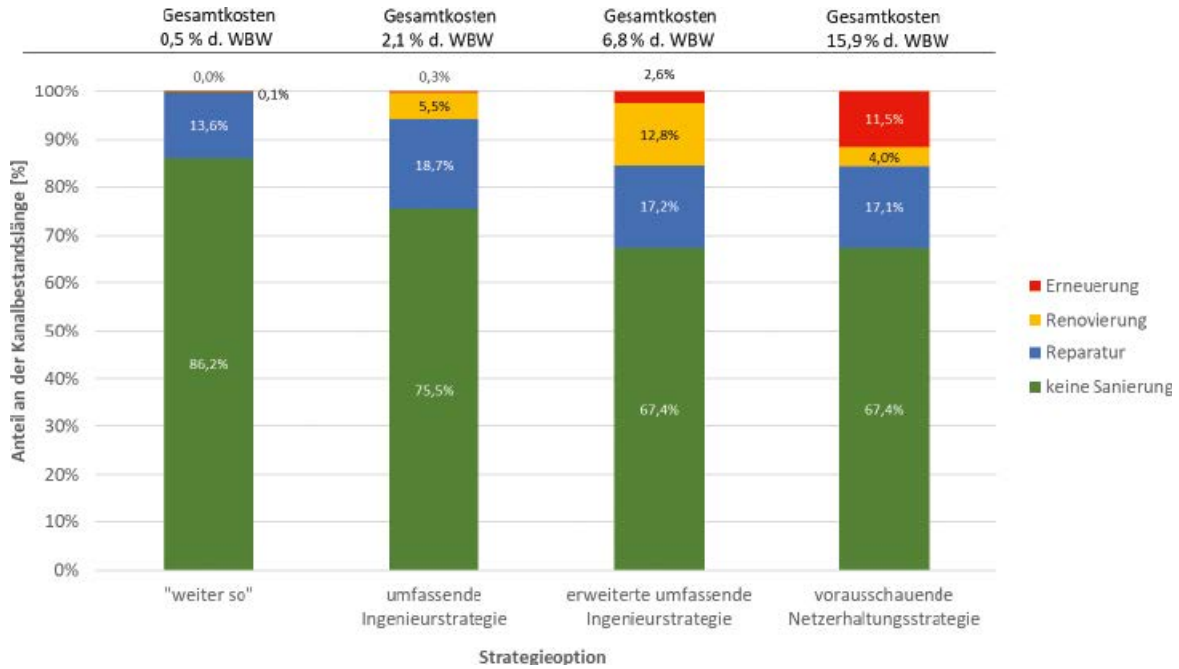


*Abb. 3: Verteilung der Kanalbestandslänge auf die Sanierungsarten für unterschiedliche Handlungsoptionen mit Angabe der Gesamtkosten im Verhältnis zum Wiederbeschaffungswert (WBW)*

scher und kaufmännischer Randbedingungen – etwa Zustandsverschlechterung, Muffendichtheit, Nutzungsdauer und Anlagenbuchhaltung – ergibt sich ein deutlicher Anstieg.

Auf den ersten Blick fällt die erhebliche Steigerung der Gesamtsanierungskosten zwischen der „Weiter so"-Strategie und einer langfristig ausgerichteten Investitionsstrategie auf – von 0,5 % auf rund 16 % des Wiederbeschaffungswerts, also um den Faktor 32. Verteilt man diese Kosten hypothetisch jedoch auf einen Zeitraum von 20 Jahren, ergeben sich für die langfristig ausgerichtete Strategie jährliche Sanierungskosten von 0,8 % des Wiederbeschaffungswerts. Vergleicht man dies mit üblichen Abschreibungssätzen von 1 bis 2 % pro Jahr, wird deutlich: Ein grundsätzliches Finanzierungsproblem liegt nicht zwingend vor. Vielmehr stellt sich die Herausforderung in der praktischen Umsetzung – bedingt durch personelle Engpässe und begrenzte technische Kapazitäten sowie die sich überlagernden Reinvestitionsbedarfe (siehe Kapitel 3.5).

### 3.3 Reinvestitionen als Chancen zur Koordinierung und Transformation

Nachhaltige Investitionsstrategien stellen nicht nur finanziell, sondern auch organisatorisch und technisch eine erhebliche Herausforderung dar. Gleichzeitig eröffnen sie neue Möglichkeiten: Im urbanen Raum gewinnen Themen wie Wärmeplanung, Klimaanpassung und die Koordination mit anderen Akteuren im Straßenraum zunehmend an Bedeutung. Die Kenntnis über anstehende Reinvestitionen im Kanalnetz – also über notwendige Erneuerungen – bietet die Chance, diese mit städtebaulichen Transformationsprozessen und Maßnahmen anderer Beteiligter aktiv und wirtschaftlich zu verknüpfen.

Abbildung 4 visualisiert die Sanierungsarten im Lageplan für verschiedene Strategieoptionen. Bei der „Weiter so"-Strategie werden keine Erneuerungen vorgesehen – somit entstehen auch keine Kooperationspotenziale mit anderen Beteiligten. Die Situation ändert sich deutlich, wenn stattdessen eine vorausschauende Investitionsstrategie verfolgt wird. Werden zusätzlich Randbedingungen verändert, zeigen sich Haltungen mit erweiterter Investitionsbereitschaft. Die dargestellten zu erneuernden Haltungen stellen nun sinnvolle Optionen im Rahmen konkreter Planungen dar. Erst durch Variantenberechnung werden Chancen für den städtischen Transformationsprozess sichtbar – Chancen, die bei einem „Weiter so" mit Fokus auf den Funktionserhalt ungenutzt blieben.

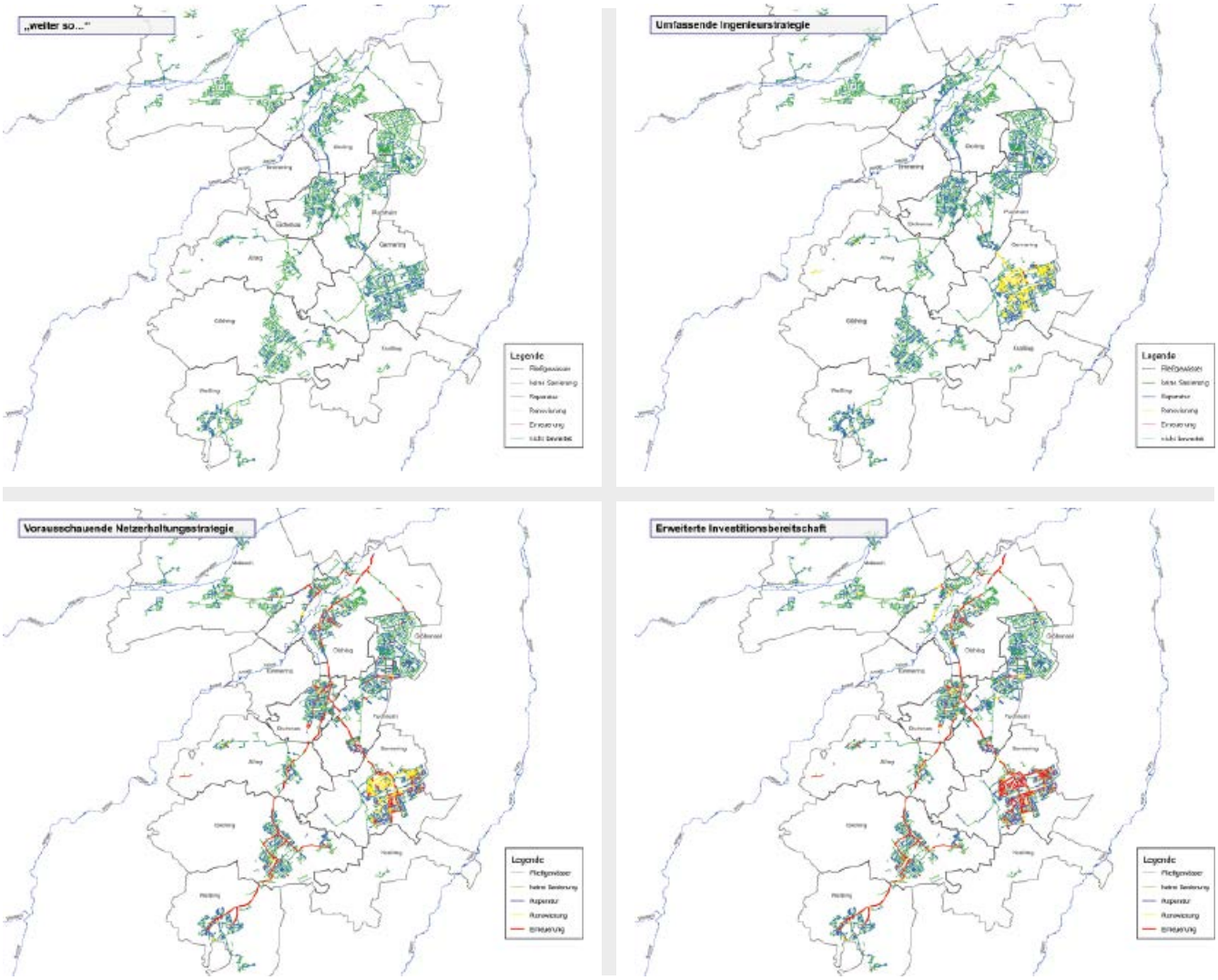


*Abb. 4: Visualisierung der Veränderung der gewählten Sanierungsarten für unterschiedliche Strategieoptionen*

### 3.4 Aufzeigen von Entwicklungen – Beispiel Betriebssicherheit

Zur Bewertung der Betriebssicherheit wurde die Entwicklung der Zustandsklassenverteilung gemäß DWA-M 149-3 [7] für unterschiedliche Strategieoptionen prognostiziert. Die Zustandsklassen geben an, wie dringend eine Haltung sanierungsbedürftig ist. Aus ihrer zeitlichen Entwicklung lassen sich Rückschlüsse auf die künftige Betriebssicherheit des Kanalnetzes ziehen: Ein wachsender Anteil an Haltungen in den dringenden Zustandsklassen ZK 0–2 signalisiert ein erhöhtes Ausfallrisiko. Im Idealfall organisiert der Kanalnetzbetreiber seine Sanierungsaktivitäten so, dass Maßnahmen beim Erreichen einer definierten Interventionsklasse ausgelöst werden. Eine hohe Interventionsklasse (zum Beispiel ZK 3) steht für präventives Handeln, während eine niedrige Klasse (zum Beispiel ZK 1) ein lediglich reaktives Eingreifen bedeutet.

Abbildung 5 zeigt die Entwicklung der Betriebssicherheit für verschiedene Handlungsoptionen – von ambitionierten, aktiven und vorbeugenden Strategien (oben) bis hin zu reaktiven „Feuerwehrstrategie“ (unten). Während bei vorausschauenden Maßnahmen die Zahl der vordringlich sanierungsbedürftigen Objekte deutlich abnimmt, steigt sie bei rein reaktiven Strategien massiv an.

### 3.5 Sanierungsbedarf – eine Frage des Betrachtungshorizonts

In Abstimmung mit dem AmperVerband wurde auf Grundlage der automatisierten Sanierungsplanung sowie der Ergebnisse der Prognoseberechnung – unter Berücksichtigung der tatsächlich zu erwartenden technischen Nutzungsdauern – eine vorläufige Vorzugsstrategie entwickelt. Ausgangspunkt war die ingenieurtechnisch fundierte Planung, in der sowohl die fortschreitende Zustandsverschlechterung als auch die Muffendichtheit berücksichtigt wurden. Die Auswahl der Sanierungsart erfolgte nach Wirtschaftlichkeitskriterien [16].

Abbildung 6 zeigt den Verlauf des Budgetbedarfs – differenziert nach Instandhaltungs- und Investitionskosten – für die kommenden Jahre. Renovierungsmaßnahmen wurden dabei als Investitionen eingeordnet. Beschränkt man den Blickwinkel auf einen Zeitraum von 20 Jahren, erscheinen – nach einer kurzen Anlaufphase – moderate Jahresbudgets von 3 bis 4 Millionen Euro als ausreichend. Ein völlig anderes Bild ergibt sich jedoch bei einer langfristigen Betrachtung. Ab etwa 2055 wird deutlich, dass die in der Vergangenheit zahlreich vorgenommenen Renovierungen – mit einer angenommenen Nutzungsdauer von 40 bis 50 Jahren – nun auf ihr Lebensende zusteuern. Zusätzlich wird ab 2065 eine massive Reinvestitionswelle sichtbar, da dann die tatsächliche technische Nutzungsdauer des meist zwischen 1960 und 1980 errichteten Schmutzwasserkanalnetzes erreicht wird. Diese fällt ungünstig zusammen mit der ebenfalls ablaufenden Nutzungsdauer der zwischen heute und 2044 vorgesehenen Renovierungen.

Für die kommenden 20 bis 30 Jahre kann der Sanierungsbedarf mit dem gewählten Modellansatz einer automatisierten Planung verlässlich und konkret bestimmt werden. Der darüberhinausgehende Zeitraum stellt eine fundierte Abschätzung dar, beruhend auf netzspezifisch ermittelten technischen Nutzungsdauern von 60 bis 120 Jahren. Die Ergebnisse zeigen eine realistische Entwicklungstendenz.

Diese Erkenntnis sollte schon heute in die operative Planung und die strategische Finanzplanung einfließen – als Er-

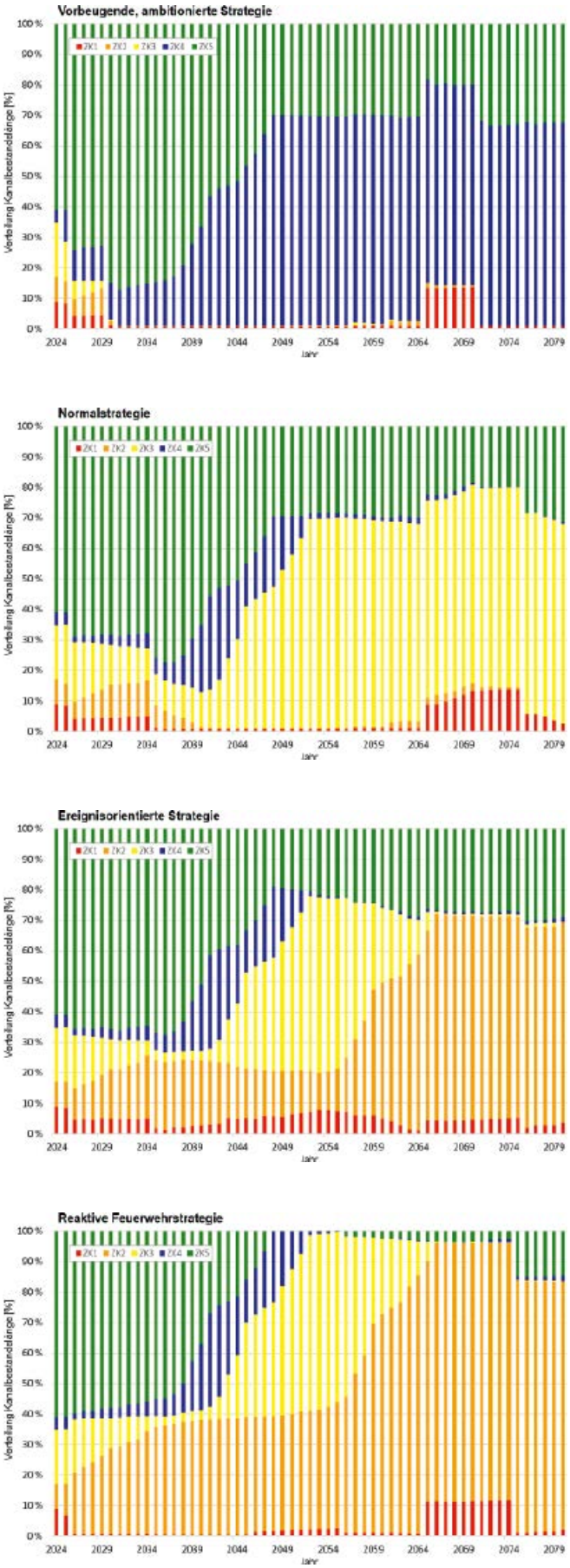


*Abb. 5: Entwicklung der Betriebssicherheit für unterschiedliche Strategieoptionen – von ambitioniert bis reaktiv*

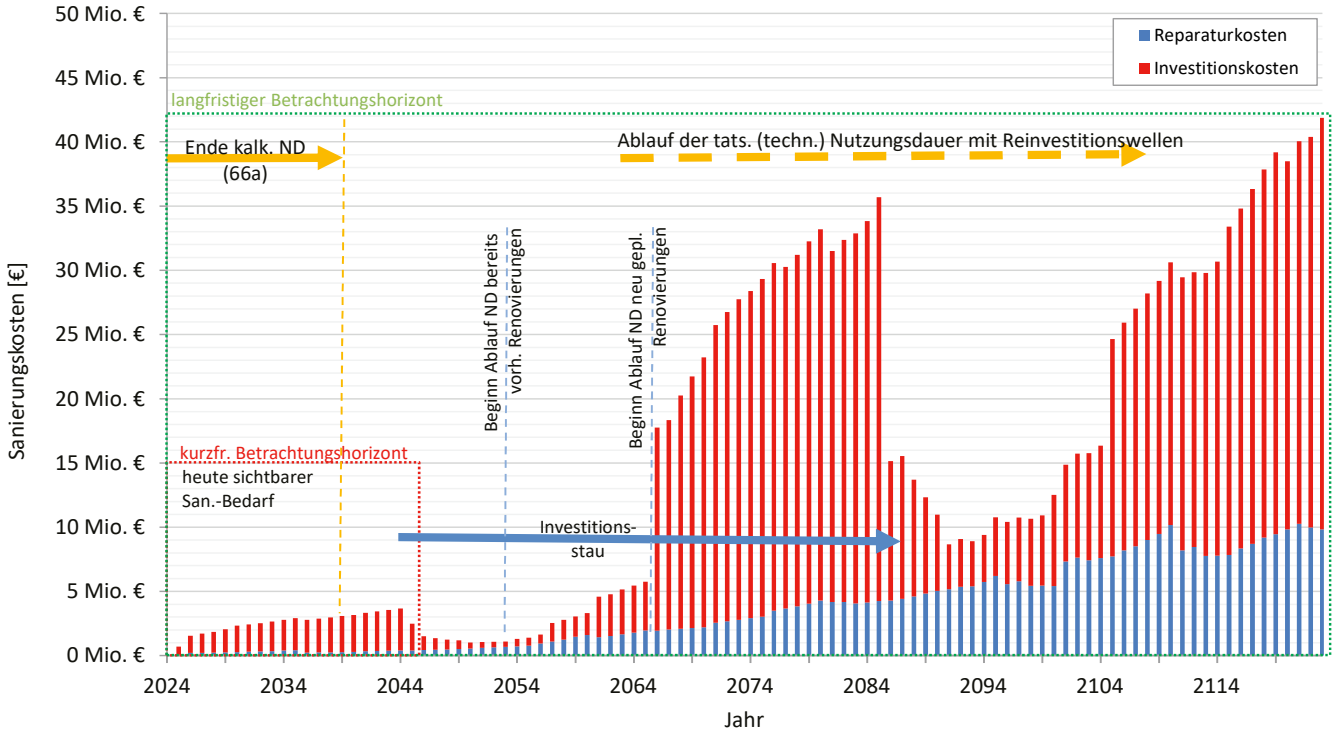


*Abb. 6: Zu erwartender Budgetverlauf für die vorläufige Vorzugsstrategie, differenziert nach Instandhaltungs- und Investitionskosten*

gänzung zu den üblichen technischen und wirtschaftlichen Entscheidungskriterien bei der Wahl von Sanierungsarten. Die Erfahrungen aus anderen Infrastrukturbereichen belegen eindrücklich, welche Folgen es hat, wenn dieser Schritt unterbleibt und Instandhaltung lediglich kurzfristig und „optimiert" betrieben wird (vgl. Kapitel 1).

Rechnerisch ist die kalkulatorische Nutzungsdauer für große Teile des Kanalnetzes bereits erreicht oder überschritten. Die für den AmperVerband ermittelten tatsächlichen betriebsgewöhnlichen Nutzungsdauern liegen glücklicherweise in vielen Fällen deutlich über den kalkulatorischen Nutzungsdauern.

### 3.6 Ingenieurwelt und kaufmännische Welt

Ein zentrales Ergebnis des Projekts: Eine rein technisch saubere Planung genügt nicht. Erst durch die Einbindung zusätzlicher – insbesondere kaufmännischer – Aspekte wie Anlagenbuchhaltung, Restbuchwert oder Rücklagenbildung entsteht eine tragfähige, generationengerechte Sanierungsstrategie. In der modifizierten Vorzugsstrategie wurde daher der Substanzwert gezielt in den Mittelpunkt gestellt. Ziel war es, den bestehenden Reinvestitionsstau vorausschauend abzubauen, die absehbare Reinvestitionswelle zu entzerren und bei der konkreten Sanierungsplanung einen stärkeren Fokus auf substanzsichernde Maßnahmen zu legen. Statt vorrangig auf Reparaturen und Renovierungen zu setzen, wurden gezielt Haltungen identifiziert, bei denen eine Erneuerung – auch unter kaufmännischen Gesichtspunkten – sinnvoll erscheint und zur Erhöhung der Reinvestitionsrate beiträgt. Einfluss auf die Investitionsbereitschaft einer Haltung haben neben der technischen Machbarkeit insbesondere:

- die Parameter, Annahmen und Gewichtung der Wirtschaftlichkeitsberechnung bei der Auswahl der Sanierungsart
- mögliche Veränderungen lokaler Randbedingungen durch Straßen-, Stadtplanung oder Transformationsprozesse, die Erneuerungen gegebenenfalls günstiger machen, oder
- kaufmännische Randbedingungen, zum Beispiel der kalkulatorische Restbuchwert eines Objekts.

Exemplarisch dargestellt wird der Einfluss der Hinzunahme des kalkulatorischen Restbuchwertes als weiteres Kriterium bei der Wahl der Sanierungsart. Für die modifizierte Vorzugsstrategie wurde für Haltungen, die aus kaufmännischer Sicht bereits weitgehend abgeschrieben sind und gleichzeitig einen deutlichen Sanierungsbedarf aufweisen, eine Erneuerung vorgesehen. Abbildung 7 zeigt den mittelfristigen Budgetverlauf für die vorläufige und die modifizierte Vorzugsstrategie. Der Finanzbedarf steigt, nach der Anlaufphase, von ursprünglich 3 bis 4 Millionen Euro pro Jahr auf 5 bis 8,5 Millionen Euro pro Jahr. Dafür wird jedoch die Reinvestitionswelle weitestgehend vermieden. Dies verdeutlicht: Nur durch frühzeitige Investitionen lassen sich massive Ausgaben ab etwa 2060 vermeiden und die generationengerechte Finanzierbarkeit des Kanalnetzerhalts sichern. Die Haltungen mit „Investitionsbereitschaft" eröffnen zugleich neue Chancen im Rahmen der städtischen Transformation (s. Kapitel 3.3, Abbildung 4).

Zusätzlich wurde im Prognosemodell der Verlauf des relativen Substanzwerts gemäß DWA-A 143-14 für die betrachteten Strategieoptionen berechnet. Der relative Substanzwert beschreibt den Wert eines Wirtschaftsguts im Verhältnis zum Wiederbeschaffungswert unter Berücksichtigung von Alter und technischer Restnutzungsdauer. Er ist für ein Objekt zum Zeitpunkt seiner einwandfreien Erstellung gleich 1 und bei der Außerbetriebnahme, das heißt zum Ablauf der technischen Nutzungsdauer, gleich 0. Angestrebt wird ein langfristiger relativer Substanzwert von 0,5. Liegt dieser Wert darunter, weist das auf einen bestehenden Investitionsstau hin [11, 12].

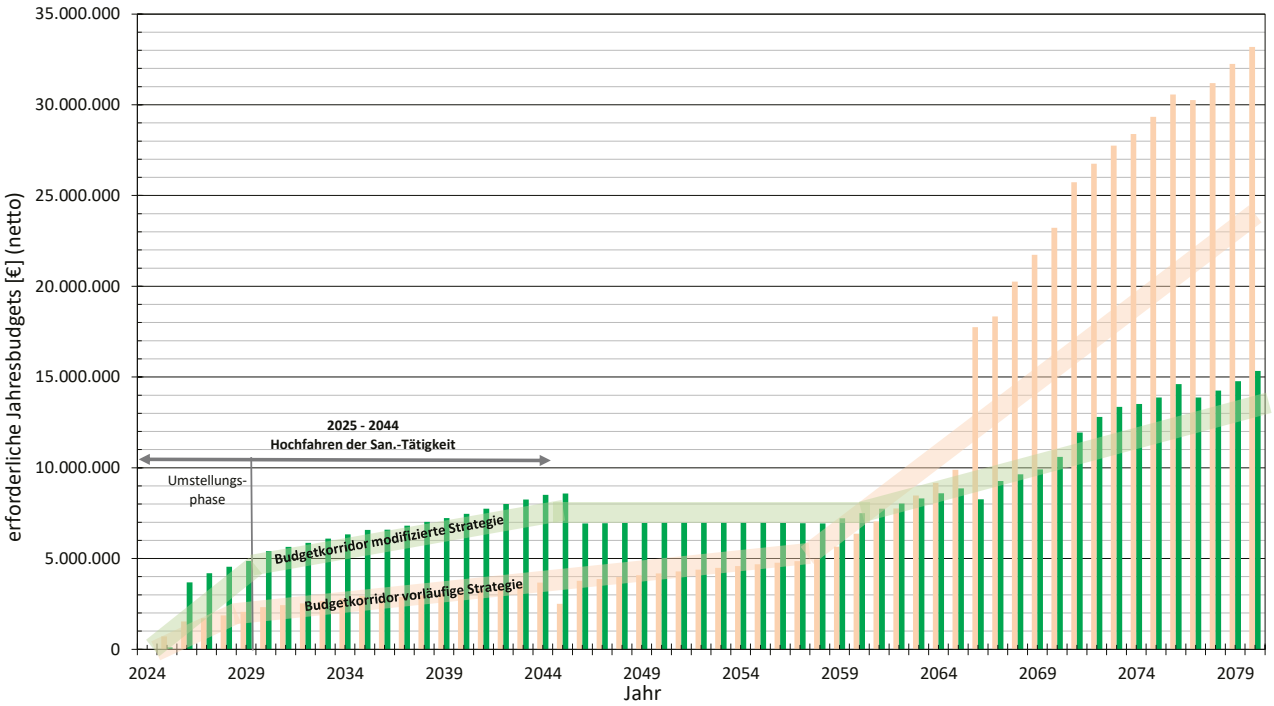


*Abb. 7: Erforderliche rechnerische Jahresbudgets und empfohlener Budgetkorridor für vorläufige und modifizierte Vorzugsstrategie*

Abbildung 8 zeigt die Entwicklung des relativen Substanzwerts für verschiedene Handlungsoptionen des AmperVerbands. Deutlich erkennbar ist: Erst mit der modifizierten Vorzugsstrategie – die zusätzlich zu den technischen auch die kaufmännischen Kriterien einbezieht – wird ein langfristiger Substanzerhalt erreicht. Strategien, die sich ausschließlich am baulichen Zustand orientieren, verfehlen dieses Ziel deutlich.

### 3.7 Vorsorgendes Handeln– Rücklage

Mit der entwickelten Vorzugsstrategie wurde für den AmperVerband ein Weg aufgezeigt, wie ein vorausschauender Erhalt des Infrastrukturguts „Kanalnetz“ technisch und finanziell realisiert werden kann. Klar ist: Substanzerhalt kostet Geld. Und der Verband steht nicht nur im Bereich des Kanalnetzes, son-

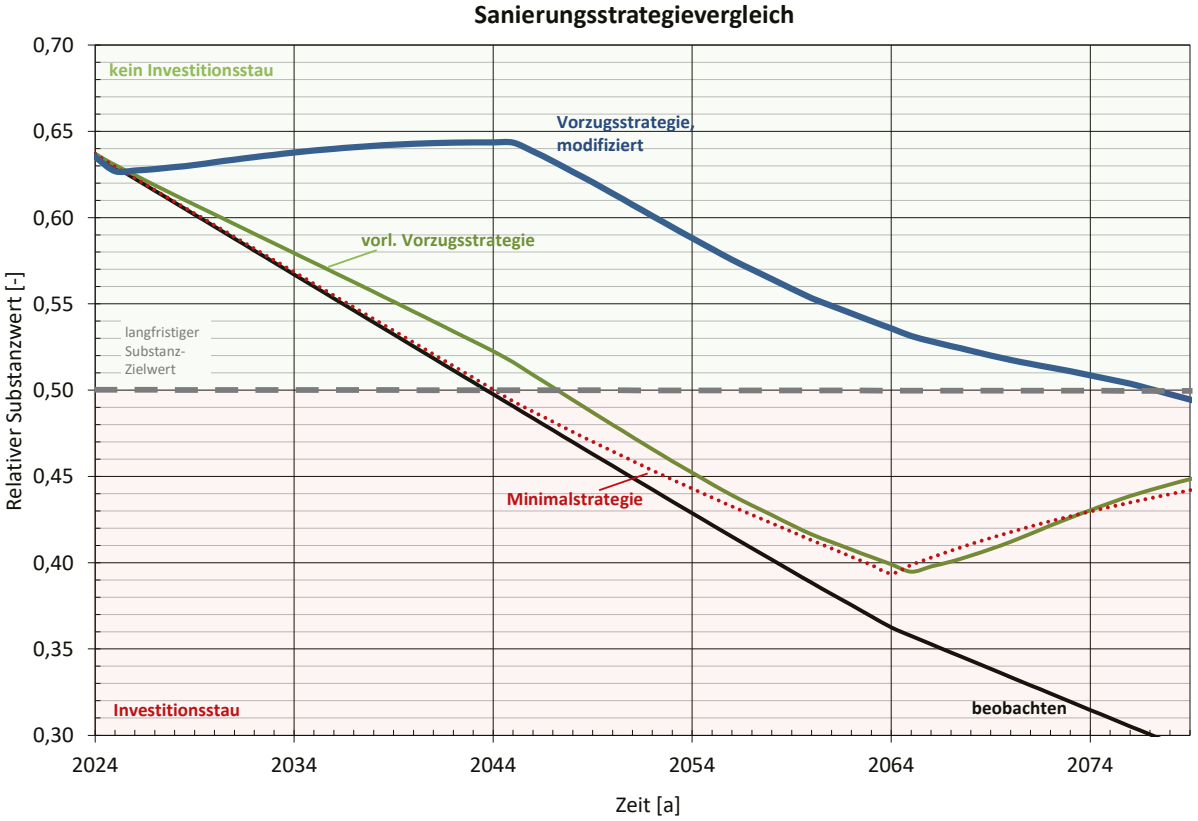


*Abb. 8: Entwicklung des relativen Substanzwerts für unterschiedliche Strategieoptionen*

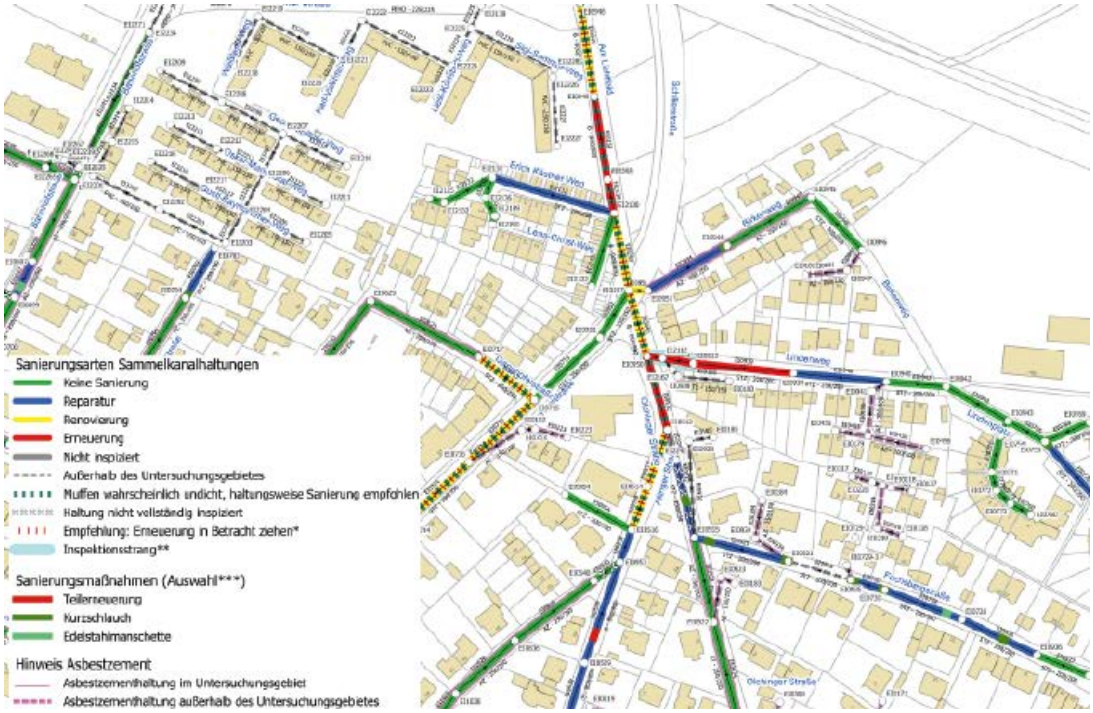


*Abb. 9: Planausschnitt der Sanierungskonzeption als Grundlage für die operative Kanalsanierungsplanung*

dern auch bei der Abwasserreinigung vor erheblichen Reinvestitionen in den kommenden Jahren.

Zur Abschätzung der Gebührenentwicklung wurde die Anlagenbuchhaltung haltungsscharf aufbereitet, in das Prognosemodell integriert und im Rahmen der Asset-Simulation analysiert. Dabei wurden die Auswirkungen verschiedener Handlungsoptionen auf die kalkulatorischen Kosten im Kanalnetz ermittelt sowie weitere Investitionserfordernisse im Verband berücksichtigt. Das Ergebnis war eindeutig: Die bisherige Schmutzwassergebühr – in Bayern auf Basis der Anschaffungs- bzw. Herstellungskosten kalkuliert – wird zukünftig nicht ausreichen. Ohne Anpassung droht ein deutlicher Gebührenanstieg.

Um diesen Anstieg zu dämpfen, wurde die Einführung einer Rücklage für „Zukunftsaufgaben“ vorgesehen. Grundlage hierfür ist die Differenz zwischen Wiederbeschaffungs- und Anschaffungskosten. Zur Finanzierung dieser Rücklage müsste die Schmutzwassergebühr bereits heute schrittweise angehoben werden. Realisiert ist eine stufenweise Erhöhung der Schmutzwasserwassergebühr innerhalb von sechs Jahren um 1,00 €/m³, zusätzlich zur jeweiligen Gebühr.

### 3.8 Vorsorgendes Handeln – Kommunikation

Nachhaltiger Infrastrukturerhalt ist nicht nur eine technische, sondern auch eine kommunikative Aufgabe. Die erforderlichen Investitionen konkurrieren oft mit anderen öffentlichen Ausgaben und sind durch ihre Unsichtbarkeit im Untergrund schwer vermittelbar. Umso wichtiger ist eine nachvollziehbare und belastbare Darstellung des Sanierungsbedarfs, geplanter Maßnahmen und der Folgen eines Nicht-Handelns. Die Gremien des AmperVerbands wurden daher umfassend über die Strategie, deren Alternativen und die jeweiligen Auswirkungen informiert. Der vorgeschlagene Weg wurde einvernehmlich begrüßt und die Einführung des „Zukunftseuros“ beschlossen.

Das Beispiel zeigt: Die Herausforderungen des Infrastrukturerhalts sind groß, doch mit klarer Analyse, transparenter Kommunikation und strategischem Handeln lassen sich tragfähige Lösungen finden, die auch politisch und gesellschaftlich akzeptiert werden.

### 3.9 Zurück zur Planung für die Praxis

Nach der Strategie- und Budgetplanung folgt die konkrete Bedarfsplanung bzw. Sanierungskonzeption. Mit der im Projekt gewählten Vorgehensweise auf Basis der Ergebnisse der automatisierten Sanierungsplanung ist ein nahtloser Übergang sichergestellt. Im letzten Schritt wird die automatische Planung nun ergänzt – um Erkenntnisse aus der Strategieanalyse (etwa zu Entscheidungskriterien bei der Wahl der Sanierungsart oder zur Investitionsbereitschaft einzelner Objekte) und aktualisiert. Das Ergebnis ist eine flächendeckende, transparente und realitätsnahe Sanierungskonzeption, abgestimmt auf aktuelle Zustände und zukünftige Anforderungen. Abbildung 9 zeigt einen beispielhaften Planausschnitt dieser automatisiert erstellten Sanierungskonzeption. Dargestellt sind objektscharf die Sanierungsart, konkrete Einzelmaßnahmen pro Haltung sowie weitere Empfehlungen für die operative Planung. Damit ist der Weg von der strategischen Analyse bis hin zur operativen Umsetzungsplanung durchgehend nachvollziehbar, technisch fundiert und unmittelbar in die Praxis überführbar.

## 4 Schlussfolgerungen

Der Erhalt kommunaler Kanalnetze steht vor einem grundlegenden Wandel. Altersbedingter Reinvestitionsbedarf, die zunehmende Dynamik städtischer Transformationsprozesse und ein wachsender Fachkräftemangel erfordern neue, integrative Lösungsansätze. Eine erste, grobe Einschätzung kann zwar zum Beispiel über die zurzeit in Vorbereitung befindliche Sub-

stanzbewertung oder andere Schätzverfahren durchgeführt werden, die sich definitionsgemäß für die grundsätzliche Sensibilisierung und erste „Standortbestimmung“ eignen. Ein regelbasiertes Modell, das den Planungsprozess automatisiert, bietet dabei einen erweiterten und vielversprechenden Weg: Es ermöglicht nicht nur eine wirtschaftlich effiziente Auswertung vorhandener Zustandsdaten, sondern auch eine strategisch fundierte Ableitung von Maßnahmen. Das Beispiel des AmperVerbands zeigt eindrucksvoll: Aus technischen Zustandsdaten lässt sich – mithilfe intelligenter Planungsmodelle – ein umfassendes Werkzeug zur praxisgerechten Steuerung des Infrastrukturerhalts entwickeln.

Die Kombination aus technischer und kaufmännischer Perspektive erlaubt belastbare Aussagen zu Substanzentwicklung, Investitionsbedarf und Gebührenwirkungen in Verbindung mit nachvollziehbaren konkreten Maßnahmen und Kosten. Voraussetzung hierfür ist eine vollständige und systematische Zustandserhebung durch optische Inspektion sowie ein transparentes, nachvollziehbares Planungsmodell.

Die Ergebnisse sind praxistauglich, anschlussfähig an kommunale Entscheidungsprozesse und schaffen eine neue Qualität der Steuerung: weg vom reaktiven Reparaturbetrieb hin zu einer langfristig tragfähigen Erhaltungsstrategie. Damit wird nicht nur die Substanz gesichert, sondern auch Vertrauen aufgebaut: bei Bürgern Verwaltungsgremien und politischen Entscheidungsträgern.

Strategischer Infrastrukturerhalt wird so zu einem gestaltbaren Prozess, mit dem Ziel, Ressourcen effizient zu nutzen, Substanz langfristig zu erhalten und die Zukunftsfähigkeit kommunaler Entwässerungssysteme zu sichern. Darüber hinaus ermöglicht der frühzeitige Blick auf notwendige Maßnahmen auch eine bessere Koordination mit anderen Akteuren im öffentlichen Raum: etwa mit Straßenbaulastträgern, Fernwärmenetzbetreibern oder Versorgern. So wird vorausschauender Infrastrukturerhalt einschließlich automatisiertem Planungsprozess zu einem Schlüsselbaustein integrierter Stadtentwicklung – und zu einer echten Chance im Rahmen urbaner Transformation. Der AmperVerband hat gezeigt, wie auf dieser Basis auch intern ein neues Verständnis entstehen kann – zwischen Planung und Betrieb, zwischen Technik und Finanzen, zwischen Verwaltung und Politik.

Die Ergebnisse für den AmperVerband sind netzspezifisch. Die dargestellten Erkenntnisse lassen sich jedoch in der Tendenz grundsätzlich auch auf andere Kanalnetze und Infrastrukturgüter übertragen.

## Literatur


[1] Sextus Iulius Frontinus (97–103 n. Chr.): *De Aquaeductu Urbis Romae* (Über die Wasserversorgung der Stadt Rom), aus: Frontinus-Gesellschaft e.V. (Hrsg.): *Wasserversorgung im Antiken Rom*, R. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 1983

[2] DIN EN 13508-2: *Untersuchung und Beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 2: Kodiersystem* für die optische Inspektion, Beuth, Berlin, 2011

[3] Merkblatt DWA-M 149-2: *Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 2: Kodiersystem* für die optische Inspektion, Hennef, 2013, ergänzt 2023

[4] DIN EN 752: *Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Kanalmanagement*, Beuth, Berlin, 2017

[5] DIN EN 14654-2: *Management und Überwachung von betrieblichen Maßnahmen in Abwasserleitungen und -kanälen, Teil 2: Sanierung*, Beuth, Berlin, 2021

[6] Arbeitsblatt DWA-A 143-1: *Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 1: Planung und Überwachung von Sanierungsmaßnahmen*, Hennef, 2015

[7] Merkblatt DWA-M 149-3: *Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 3: Beurteilung nach optischer Inspektion*, Hennef, 2024

[8] Merkblatt DWA-M 149-10: *Zustandserfassung und -beurteilung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 10: Substanzklassifizierung*, in Vorbereitung

[9] Kerres, K., Breuer, T., Funke-Kleinken, A., Gredigk-Hoffmann, S., Sariyildiz, M., Orlik, S., Schmidt, T., Caradot, N., Rouault, P., Zamzov, M., Hippe, M., Wedmann, T., Hochstrate, K., Sympher, K.-J., Wolf, M., Stein, R., Uhlenbroch, A., Kropp, I., Kästner, A., Janda, A., Plogmeier, C., Jathe, R., Zwafing, R.: *Entwicklung eines Standards zur Bewertung und Klassifizierung der baulichen Substanz von Abwasserkanälen und Schächten (SubKanS)*, Abschlussbericht des BMWi-Verbundvorhabens SubKanS, Förderkennzeichne 03TNH007A-J, FH Aachen, 2021

[10] Kerres, K., Gredigk-Hoffmann, S., Orlik, S., Schmidt, T., Zamzow, M., Jathe, R., Zwafink, R., Plogmeier, C., Hippe, M., Kropp, I., Sympher, K.-J., Uhlenbroch, A., Wolf, M.: Entwicklung eines Standards zur Bewertung und Klassifizierung der baulichen Substanz von Kanalhaltungen, *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* 2021, *68* (6), 440–449

[11] Arbeitsblatt DWA-A 143-14: *Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden, Teil 14: Entwicklung einer Sanierungsstrategie*, Hennef, 2017

[12] Wolf, M.: *Untersuchungen zu Sanierungsstrategien von Abwasserkanalnetzen und deren Auswirkungen auf Wertentwicklung und Abwassergebühren*, Mitteilungen des Instituts für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München, Heft 95, Oldenbourg Industrieverlag, München, 2006

[13] Wolf, M.: Untersuchungen zu Sanierungsstrategien von Abwasserkanalnetzen und deren Auswirkungen auf Wertentwicklung und Abwassergebühren, *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* 2007, *54* (11), 1156–1165

[14] Lichtenberg, U., Wolf, M.: Strategische Sanierungsplanung als Ausgangspunkt zur Kanalnetzsanierung, *KA Korrespondenz Abwasser, Abfall* 2018, *65* (11), 986–994

[15] Meissner, J., Wolf, M.: KI-gestützte Strategie- und Sanierungsplanung in Neu-Ulm, *wwt wasserwirtschaft wassertechnik* 2023, *72* (3), 30–35

[16] DWA, DVGW: *Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien)*, DWA, Hennef, 2012


## Autoren


*Dr.-Ing. Martin Wolf*
*aquadocs Ingenieurgesellschaft mbH*
*Schäftlarnstraße 10, Kontorhaus 2*
*81371 München*

*E-Mail: wolf@aquadocs.de*

*Tom Mösl, M. A., Peter Nitzsche-John, Dipl.-Ing.*
*AmperVerband*
*Josef-Kistler-Weg 20, 82140 Olching*

*E-Mail: moesl@amperverband.de*
*nitzsche-john@amperverband.de*


Kanalnetze fit für die Zukunft. aquadocs
Ingenieurgesellschaft mbH