

RISIKOBASIERTE INSTANDHALTUNGSSTRATEGIE

ANSÄTZE FÜR TRINKWASSERVERSORGUNGSYSTEME

Der erforderliche Instandhaltungsaufwand für städtische Trinkwassernetze, aber auch für Fernwassersysteme orientiert sich meist an Kennzahlen zu momentanen und künftigen Schadens- und Wasserverlusten oder auch am durchschnittlichen Leitungsalter. Der nachfolgende Beitrag beschreibt Ansätze, wie zudem die Entwicklung des Leitungszustandes, die Versorgungssicherheit, das Schadensausmass und das Unternehmensimage risikobasiert im Rahmen einer Instandhaltungsstrategie berücksichtigt werden können.

Hans-Christian Sorge; Dominik Nottarp-Heim*

IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser Beratungs- und Entwicklungsgesellschaft GmbH

RÉSUMÉ

STRATÉGIE BASÉE SUR LES RISQUES POUR LA MAINTENANCE DES SYSTÈMES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE

Pour les réseaux urbains d'eau potable et les systèmes de distribution d'eau à distance, les conduites principales d'amenée et de transport sont au cœur de l'approvisionnement en eau potable. Elles revêtent donc une importance technique cruciale. C'est pourquoi il existe pour ces conduites, outre leur exploitation, des exigences de maintenance très élevées, afin de garantir la qualité et la sécurité nécessaires en matière d'approvisionnement. La maintenance repose principalement sur l'inspection, l'entretien et la rénovation des systèmes de conduites et de leurs éléments. Une approche basée sur les risques évalue non seulement la probabilité d'endommagements ou d'interruptions de l'approvisionnement (p. ex. sous forme de taux de dommages), mais aussi l'ensemble de leurs implications financières. Le besoin en maintenance de chaque segment de conduite dépend alors de l'ensemble des coûts auxquels il faut très probablement s'attendre en cas de dommage. Cela améliore l'efficacité économique de la maintenance (p. ex. renouvellement ou assainissement des conduites), car les moyens sont affectés de manière ciblée aux segments les plus critiques.

CHARAKTERISIERUNG VON TRINKWASSERLEITUNGEN

Wie alle technischen Systeme unterliegen auch Trinkwasserleitungen und zugehörige Bauteile einem Zustandsverschlechterungsprozess (z. B. Korrosion, Versprödung, Abnutzung), der sich nachteilig auf die Versorgungsqualität auswirken kann (z. B. Leitungsschäden, Trübungen, Versorgungsausfall). Zur Verzögerung oder Eingrenzung dieses Prozesses dienen Wartungsmassnahmen, Reparaturen oder Sanierungsmassnahmen im Rahmen der Instandhaltung. Zur Erstellung einer Instandhaltungsstrategie werden etwa für städtische Trinkwasserversorgungsnetze meist die Schadens- bzw. Wasserverlusten als die wichtigsten Kenngrössen zur Bewertung des Leitungszustands verwendet [1]. Insbesondere bei Fernwassersystemen sind weitere Kenngrössen wie Angaben zum Schadensrisiko notwendig, da sich aus versorgungstechnischen und ökonomischen Gründen das Mass der erforderlichen Instandhaltung nicht hauptsächlich an Schadensraten orientieren sollte.

Vor allem Leitungen mit geringer Redundanz und hoher Transportkapazität (z. B. Haupt-, Zubringer- und Transportleitungen) weisen eine erhebliche versorgungstechnische Bedeutung auf [2]. Daraus resultieren zusätzliche Anforderungen an die Leitungsbe-

* Kontakt: c.sorge@iww-online.de

wertung als Grundlage einer belastbaren und nachhaltigen Instandhaltungsstrategie. Um Umfang, Zeitraum und Lokalität geeigneter Instandhaltungsmassnahmen (hier: Sanierung oder Erneuerung) im Rahmen einer Instandhaltungsstrategie ermitteln zu können, wurde von IWW ein neues Risikobewertungskonzept entwickelt. Innovativer Kern ist die plausible Kombination aus deterministischen und probabilistischen Bewertungsmethoden, wie etwa Nutzungsdauerprognosen, statische Bauteilberechnungen, Zustandsbewertungen, georeferenzierte Analysen und detaillierte Kostenbetrachtungen. Dieses Konzept erlaubt eine sehr detaillierte Risikobewertung von beliebig vielen Leitungsabschnitten. Darauf basierend werden die erforderlichen Instandhaltungsmassnahmen ermittelt (was und wo) und zusammen mit den zugehörigen Kosten in einer Art Massnahmenkatalog zusammengestellt (wie und wann). Die im Konzept genutzten Ansätze wurden bisher vollständig oder in Teilen zur Zustands- und Risikobewertung von Fernleitungen bzw. innerstädtischen Hauptleitungen von drei deutschen Wasserversorgungsunternehmen angewandt [3].

GRUNDLAGEN DER RISIKOBEWERTUNG

Das Risiko kann als ein Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmass beschrieben werden [4]. Die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens oder Totalausfalls für beliebige Leitungsabschnitte kann wiederum durch verschiedene Einflussfaktoren auf den Leitungszustand und das Schadenaufverhalten unter Beachtung der entgegengebrachten Widerstände der Rohrleitung oder Bauteile berechnet werden. Einen ganz wesentlichen Einfluss auf die Eintrittswahrscheinlichkeit von Schäden/Brüchen an Rohrleitungen übt daher neben den Belastungen die Belastbarkeit der Rohrleitung aus. Belastungen sind massgeblich Einwirkungen wie Flächen- und Verkehrslasten über der Rohrleitung, Bodenlasten sowie Innendruck. In Abhängigkeit des Rohrwerkstoffes werden ungünstige geologische Einflüsse (z.B. Bodenaggressivität, Bodenarten) sowie das Korrosionsverhalten der Rohrleitung in die Berechnung einbezogen. Die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit basiert auf probabilistischen Methoden zur Nutzungsdauerprognose mittels des Kohorten-Überlebensmodells [5], der Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit nach

DIN EN 1990 [6] sowie materialtechnischer Zustandsbewertungen. Es wird unterschieden zwischen dem zeitabhängigen Eintreten von Einzelschäden (wie z.B. Lochkorrosionsschäden) und dem Totalversagen der Leitung (z.B. Brüche).

Zur Ermittlung des Schadensausmasses werden zunächst potenzielle Schadensbilder u.a. in Abhängigkeit des Rohrwerkstoffes, Verbindungsarten, Nennweite und Durchflussraten definiert (z.B. Menge an ausfliessendem Wasser durch Schalenbruch bei spröden Werkstoffen). Dabei werden zudem die Auswirkungen und Folgen berücksichtigt, die durch zu-

standsbedingte Leitungsschäden bzw. Totalausfälle verursacht werden (Wasserverluste und Schadensausmass bei Brüchen grösser als bei Perforierungen durch Korrosion). Das Schadensausmass ist definiert als die Summe aus Reparaturaufwand, Dauer des Versorgungsausfalls, Schadenskosten an Infrastrukturen (z.B. Verkehrswege, Gebäude, Überflutungsschäden) sowie den Folgen für das Unternehmensimage (Fig. 1).

Den in Figur 1 gezeigten unterschiedlichen Einflüssen mit verschiedenen Eintrittswahrscheinlichkeiten müssen für eine Gesamtbetrachtung ein oder mehrere plau-

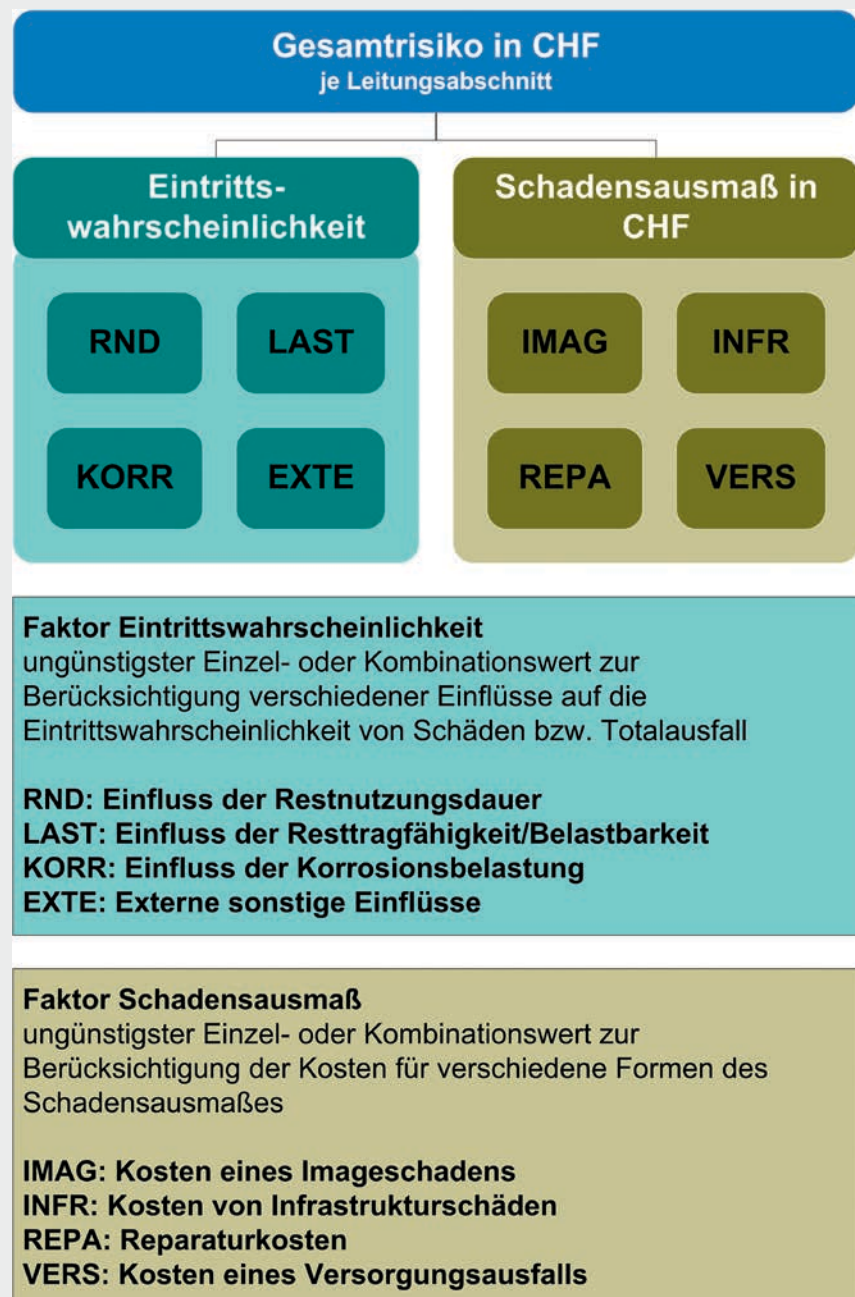


Fig. 1 Hauptfaktoren zur Berechnung des Gesamtrisikos an einzelnen Leitungsabschnitten
Principaux facteurs entrant dans le calcul du risque global lié aux différents segments de conduites

Eintrittswahrscheinlichkeiten		Grundlage der Berechnung oder Schätzung	Zugehöriges Schadensausmass			
			IMAG	INFR	VERS	REPA
Totalausfall	E_{RND}	= 1 / RND	X	X	X	
	E_{LAST}	< 1-1,5 wenn Belastbarkeit der Leitung überschritten – z. B. nach DIN 1990 [6]	X	X	X	
Einzelschaden	E_{KORR}	abhängig von Bewertung nach DVGW GW 9 [7] oder DIN 50930-6 [8]	X	X	X	X
	E_{EXTE}	z. B. VDI/VDE 2180 [9]	(X) ¹			

¹Annahme: In ungünstigen Fällen kann auch ein nicht eigenverschuldeter Schaden an einer Trinkwasserleitung zu Versorgungsausfällen und dadurch zu einer negativen Wahrnehmung des Versorgungsunternehmens in der Öffentlichkeit führen. Damit kann ein Imageschaden verbunden sein.

Tab. 1 Eintrittswahrscheinlichkeiten verschiedener Einflüsse auf Trinkwasserleitungen und damit verbundene Arten des Schadensausmasses (Erläuterung der Abkürzungen s. Fig. 1)

Probabilité que divers facteurs agissent sur les conduites d'eau potable et degrés d'endommagement consécutif (abréviations, voir Fig. 1)

sible Teilfaktoren zum Schadensausmass zugeordnet werden. Diese Zuordnung ist in Tabelle 1 exemplarisch aufgezeigt. Zu den externen Einflüssen werden hier vor allem Fremdschäden gezählt (z.B. im Rahmen von Tief- und Leitungsbaumassnahmen). Dadurch können aktuelle sowie künftige Leitungsabschnitte mit dem höchsten technischen Risiko bzw. deren zugehörigen Kosten, die in einem Schadensfall sehr wahrscheinlich auftreten würden, identifiziert werden und mit Schadensvermeidungskosten (= Instandhaltungskosten) verglichen werden. Sobald die abschnittsbezogenen Instandhaltungskosten geringer als die prognostizierten Schadenskosten (= Risikokosten) sind, sollte der betroffene Abschnitt saniert bzw. erneuert werden.

- maximale Anzahl und Dauer von Versorgungsunterbrechungen (pro Jahr bzw. pro Schadensfall)
- jährlich verfügbares Budget für Instandhaltungen (z. B. Wartung, Reparaturen, Erneuerung)
- maximale Deckungssummen von Versicherungen für den Schadensfall

Orientierungswerte für Trinkwasserleitungen werden im deutschen Regelwerk, etwa im DVGW-Arbeitsblatt W 400-3, Tabelle 2, gegeben [10]. Schwierigkeiten können sich bezüglich der Prognose künftiger Schadens- und Wasserverlustraten ergeben. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn für Trendprognosen zu wenig Schadensdaten zur Verfügung stehen.

Im hier beschriebenen Konzept wird diese Problematik dadurch gelöst, dass zur Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Schäden, Ausfällen oder Störungen weitere Parameter berücksichtigt werden:

- mittlere Nutzungsdauer von Werkstoffgruppen
- Rohrwerkstoff-Charakteristik (Bruchanfälligkeit, Bruchverhalten)
- Verlegebedingungen (z.B. aggressiver Boden)
- Bebauungsbedingungen (z.B. hohe Verkehrs- und Flächenlasten)

DATENERHEBUNG

Oftmals liegen nicht alle für eine belastbare Risikobewertung notwendigen

STRUKTURIERUNG DES RISIKOBEWERTUNGSANSATZES

Die Struktur und die Inhalte einer risikobasierten Instandhaltungsstrategie für Trinkwasserleitungen nach den hier beschriebenen Ansätzen zeigt die Übersicht in Figur 2. Die einzelnen Teilschritte werden in den nächsten Abschnitten näher beschrieben.

SOLLWERTDEFINITION

Die risikobasierte Instandhaltungsstrategie wird unter Berücksichtigung regelwerkskonformer Rahmenbedingungen – der sog. Sollwerte – erstellt. Anhand der Sollwerte wird die vom Versorgungsunternehmen angestrebte mittel- und langfristige Versorgungssituation unter Berücksichtigung technischer, kaufmännischer, ökologischer und sicherheitsbedingter Aspekte definiert. Typische Sollwerte können z. B. gebildet werden für:

- eine maximal zulässige Schadensrate (Schäden pro Jahr und Kilometer)
- maximal zulässige Wasserverlustraten (%/Jahr; m³/km/h)

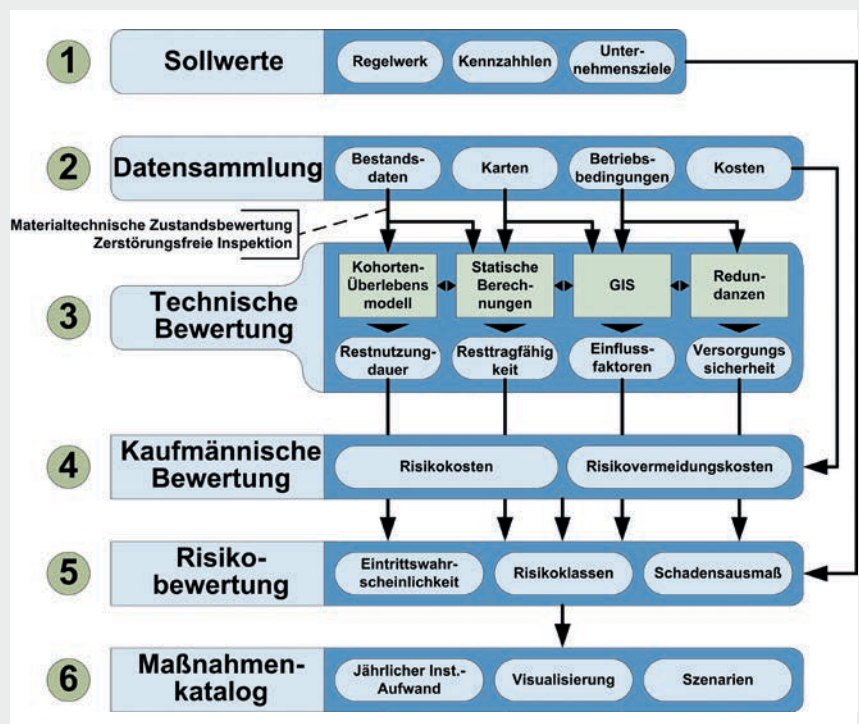


Fig. 2 Teilarbeitsschritte und wesentliche Inhalte zur Erstellung einer risikobasierten Instandhaltungsstrategie

Etapas et contenus essentiels pour l'élaboration d'une stratégie de maintenance basée sur les risques

Daten im Unternehmen vor. Die Dringlichkeit der Beschaffung fehlender Daten wird nach deren Relevanz für Auswertungen beurteilt. Das Fehlen notwendiger Daten für eine Risikoanalyse kann bereits das erste ernsthafte Risiko darstellen [11]. Somit kann bereits durch eine angemessene Datenerhebung, Nachrecherche und Dokumentation das Risiko gesenkt werden, ohne einen einzigen Leitungsabschnitt zu erneuern. Bei fehlenden Daten/Informationen bzw. Unsicherheiten (z. B. fehlenden Angaben zum passiven Korrosionsschutz) sind üblicherweise plausible ungünstigere Werte anzunehmen – mit einer entsprechenden Erhöhung des Risikowertes. Erforderliche typische Daten für eine Risikobewertung sind nachfolgend auszugsweise aufgelistet:

- Daten aus hydraulischen Netzberechnungsprogrammen
- NIS/GIS-Daten (z. B. Betriebsmittel, digitale Geländemodelle, georeferenziertes Planwerk, Bodenkarten, hydrogeologisches Kartenmaterial, Sachdaten)
- Bestandsdokumentationen (Kartenmaterial wie Lagepläne oder Schnittzeichnungen)
- Statistik zu Rohrleitungsschäden
- Betriebsdaten (Reparaturkosten, Daten zur Wasserqualität, Angaben zum kathodischen Korrosionsschutz)
- technische Gutachten und Dokumentationen zum Rohrleitungszustand

- Angaben zu Reparaturdauern
- Erfahrungen des Betriebspersonals

Erfahrungen aus der bisherigen Erstellung risikobasierter Instandhaltungsstrategien haben gezeigt, dass die Datenerfassung und Auswertung stark reduziert werden können, wenn diese in Abhängigkeit der betrachteten Rohrwerkstoffe auf wenige wichtige Parameter begrenzt werden (Fig. 3). Damit verbunden ist eine erhebliche Reduzierung des zugehörigen Aufwandes für die Datenerhebung und Risikobewertung ohne relevanten Qualitätsverlust. Zudem werden weitaus weniger Daten benötigt. Unter diesen Voraussetzungen wird die sonst meist datenintensive Risikobewertung bzw. risikobasierte Instandhaltungsstrategie auch für kleinere Wasserversorgungen mit einfachem Datenbestand interessant.

GEOREFERENZIERTER BEWERTUNG

Unter Verwendung eines geografischen Informationssystems (GIS) ist es möglich, durch die Verschneidung und Kombination von bereits bekannten georeferenzierten Grössen (z. B. Strassen- und Verkehrsanlagen) neue Informationen zu erzeugen. Ein anschauliches Beispiel ist die Identifizierung und Verschneidung von gefährdeten, dicht besiedelten Gebieten in Leitungsnähe, was im Schadensfall zu ernsthaften Konsequenzen

führen kann (z. B. Gebäudeschäden, Strassenunterspülung). Bevor die Verschneidung und Kombination georeferenzierter Informationen erfolgt, sollte das zu bewertende Leitungssystem stufenweise in sinnvolle Leitungsabschnitte eingeteilt werden (sog. Sektionierung). In einem ersten Schritt wird eine grobe Sektionierung des Leitungssystems mit z. B. hydraulisch sinnvoller Aufteilung in Leitungsabschnitte durchgeführt:

- Verbrauchsabgänge, Netzverbindungen, Absperrarmaturen
- Nennweite, Rohrwerkstoff, Verlegejahr

Über die erwähnte Verschneidung können nun jedem indizierten Leitungsabschnitt relevante georeferenzierte Grössen sowie deren Einfluss auf Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmass zugeordnet werden. Anschliessend erfolgt eine detaillierte Sektionierung, bei der Leitungsabschnitte mit einer offensichtlich besonderen Sensitivität belegt werden, wie beispielsweise:

- kritische Infrastrukturen (z. B. Autobahnen, Bahndämme, Dürer)
- kritische Geländestrukturen (wie z. B. extreme Verlegetiefen oder Hangneigungen)
- sensible Kunden in Leitungsnähe bzw. Direktanschlüsse (wie z. B. Krankenhäuser)

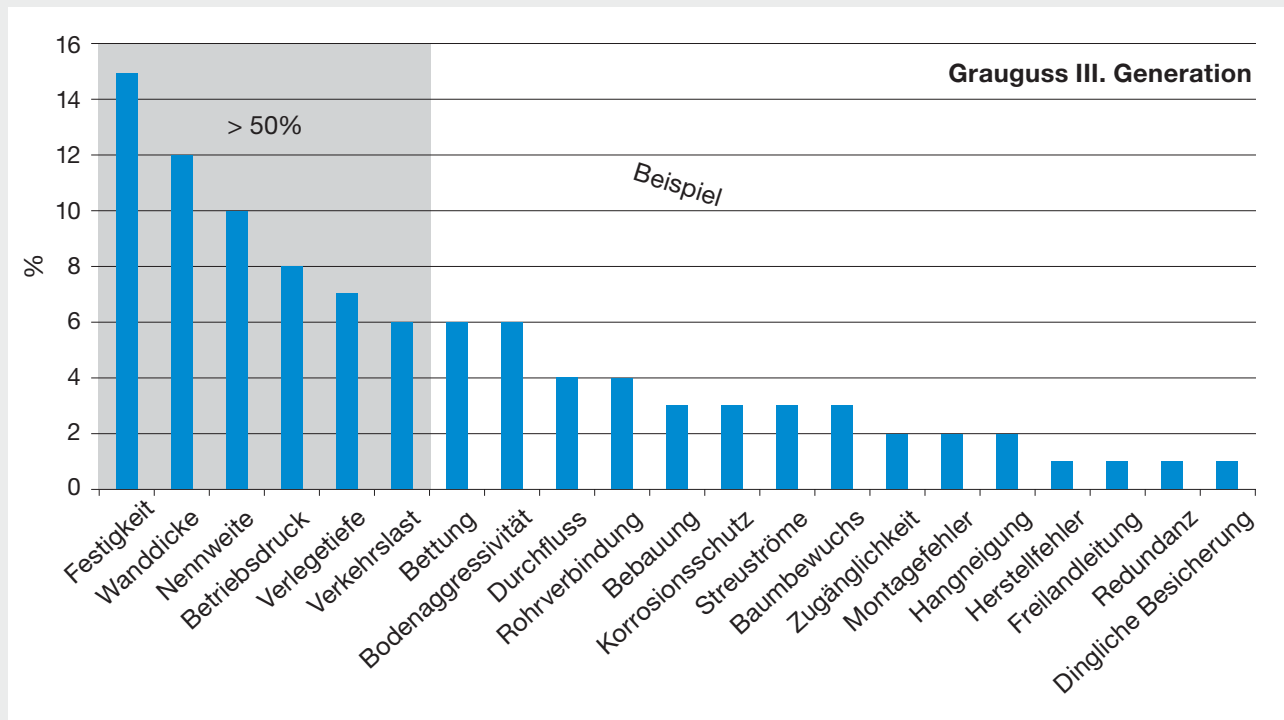


Fig. 3 Anteiliger Einfluss relevanter Parameter auf das Schadensrisiko in Abhängigkeit der Werkstoffgruppe
 Effet partiel de paramètres pertinents sur le risque de dommage selon le groupe de matériaux

- Leitungsverlegung in Schutzrohren (wirkt sich risiko-reduzierend aus)

Hinzugezogen werden die Erfahrungen des Betriebspersonals, z. B. zu besonders (schadens-)auffälligen oder kritischen Leitungsabschnitten.

STRUKTURELLE INTEGRITÄT

Einen ganz wesentlichen Einfluss auf die Eintrittswahrscheinlichkeit von Schäden/Brüchen an Rohrleitungen übt neben den Belastungen die Belastbarkeit der Rohrleitung aus. Belastungen sind massgeblich Einwirkungen aus:

- Verkehr- und Flächenlasten über der Rohrleitung, Bodenlasten
- Innendruck

Diese Einwirkungen verursachen Spannungen in der Rohrwand, die zum Versagen (Bruch, übermässige Verformung) der Leitung führen können, sobald diese den Bauteilwiderstand (zul. Spannungen) der Rohrleitung überschreiten. Der Bauteilwiderstand (Belastbarkeit) ist hauptsächlich abhängig von folgenden Faktoren:

- Festigkeitseigenschaften wie Elastizitätsmodul sowie Zug- und Druckfestigkeiten (z. B. Ring-, Biegezugfestigkeit)
- Rohrgeometrie (Durchmesser, Wanddicke)

Weiteren Einfluss können folgende Faktoren ausüben:

- Bodenaggressivität (z. B. Korrosion bei Metall)
- Trinkwasserqualität (z. B. Karbonatisierung bei Faserzement)

Um den statischen Belastungsgrad für eine Risikobeurteilung von Rohrleitungen zu errechnen, müssen die vorhandenen und zulässigen Bauteilspannungen unter Berücksichtigung bestimmter Teilsicherheitsbeiwerte ermittelt werden. Geeignete Algorithmen hierfür liefern z. B. entsprechende Regelwerke zur statischen Berechnung von Leitungen in Verbindung mit Teilsicherheitskonzepten nach DIN EN 1990 [6, 12, 13]. Neben den oben genannten Einwirkungen und Bauteilwiderständen wird durch diese Berechnungsalgorithmen auch der Einfluss der Verlege- bzw. Bettungsbedingungen auf das Tragverhalten der Rohrleitungen berücksichtigt (z. B. Bettung in Sand oder Verlegung im Grundwasser).

Eine Möglichkeit, um insbesondere fehlende Werkstoffkennwerte zu ermit-

eln, bieten sog. materialtechnische Zustandsbewertungen [14]. Hierbei werden stichprobenartig einzelne Rohrleitungsproben aus dem Versorgungssystem entnommen und anschliessend labor-technisch untersucht und bewertet. Diese Untersuchungsergebnisse können auf gleichartige Leitungsabschnitte übertragen werden.

Mittels rohrstatischer Berechnungen lässt sich für jeden indizierten Rohrleitungsabschnitt (Einzelelement) der statische Belastungsgrad angeben. Zusätzlich lassen sich mit diesen Ergebnissen für spröde Rohrwerkstoffe die maximal zulässigen Betriebsdrücke errechnen - diese Ergebnisse können als Randbedingung der Betriebsweise der Leitung relevant sein (z. B. im Rahmen eines sog. Druckmanagements).

REDUNDANZ (VERSORGUNGSSICHERHEIT)

Die Bewertung des Ausmasses eines Ausfalls von Leitungsabschnitten auf die Versorgungssituation erlaubt gleichzeitig auch Aussagen zur Versorgungssicherheit. Als Bewertungskriterien eignen sich Angaben zu folgenden Punkten:

- Dauer der Versorgungsunterbrechung (hier könnte gleichzeitig ein Sollwert berücksichtigt werden - z. B. Vermeidung von Unterbrechungen > 24 h)
- Anzahl betroffener Abnehmer (wie z. B. Gesamtanzahl, sensible Kunden, Lieferverträge)
- Redundanzen im Versorgungssystem (z. B. Behältervolumen, weitere Einspeisepunkte, Ringleitungen)
- Möglichkeiten einer Ersatzversorgung (Art, Menge, Verfügbarkeit, Rüstzeit)
- Förderkapazität der Leitungen
- Einspeisemengen und Verbräuche

Leitungen mit hoher Förderkapazität, geringer Redundanz und einem grossen zu beliefernden Versorgungsgebiet bzw. einer Höchstzahl an Abnehmern stellen i. A. die Abschnitte mit dem grössten potenziellen Schadensausmass dar. Verstärkt wird dies durch die mögliche Bruchanfälligkeit von bestimmten Leitungen. Brüche sind zudem meist mit grösseren Wasserverlusten verbunden als Leckagen durch Risse oder Perforierungen.

NUTZUNGSDAUERPROGNOSEN

Um mittel- bis langfristige Trends hinsichtlich einer Zustands- oder Risikoentwicklung prognostizieren und darstellen zu können, bedarf es einer Zeitkomponente zu den bisher genann-

ten Eingangsgrössen. Hierfür ist die prognostizierte Nutzungsdauer für jeden indizierten Leitungsabschnitt geeignet. Die Prognose der Nutzungsdauer orientiert sich an Angaben zu folgenden Faktoren:

- Rohrwerkstoff/Rohrgeneration (Werkstoffgruppen)
- Verlegejahr/Alter
- Jahr der Ausserbetriebnahme von bereits sanierten/ersetzten Leitungsabschnitten
- verlegte Leitungslängen je Rohrwerkstoff und Jahr
- Nennweitenklassen

Solange eine Leitung noch in Betrieb ist, kann deren noch verfügbare Nutzungsdauer ausschliesslich mittels Prognosen geschätzt werden. Im Rahmen der hier vorgestellten risikobasierten Instandhaltungsstrategie werden für jede Werkstoffgruppe die verfügbare Nutzungsdauer mittels passender Prognosealgorithmen, wie z. B. des sog. Kohorten-Überlebensmodells [5, 15], sowie Angaben aus der Fachliteratur [16] oder Erfahrungswerten bestimmt. Die daraus resultierenden plausiblen Werte werden für weitere Berechnungen ausgewählt.

MONETÄRE BEWERTUNG

Für eine umfassende Risikobewertung ist wie bereits erwähnt eine monetäre Bezifferung des Risikos sehr empfehlenswert, da durch die Verwendung einer einheitlichen monetären Grösse eine gewisse Vergleichbarkeit von Bewertungsergebnissen nach unterschiedlichen Konzepten und für verschiedene Anlagen erreicht wird. Dies ist insbesondere beim Risikomanagement innerhalb des Wasserversorgungsunternehmens hilfreich, wenn es um die Bestimmung des tragbaren Risikos geht bzw. wie ein nicht tragbares Risiko und die damit verbundenen Kosten durch Erneuerungsmassnahmen gesenkt werden können. Eine Übersicht relevanter Kostengruppen und deren Erhebung sind nachfolgend aufgelistet:

A) Risikokosten

- Reparaturkosten (Schadensbehebung an einer Rohrleitung)
- Kosten des Versorgungsausfalls (ggf. nicht verkauftes Wasser, nicht bediente Lieferverträge)
- Kosten durch Schäden an umliegender Infrastruktur (z. B. Strassenunterspülung, Schäden an Gebäuden)

- Kosten in Folge eines Imageschadens (z.B. Imagekampagne)
- B) Risikovermeidungskosten
 - Erneuerungskosten (Erneuerung der Rohrleitung)
 - Kosten baulicher Umgestaltung (z.B. Umlegung der Leitungstrasse)

Imageschäden können unabhängig von der Verursacherschuld eines Leitungsschadens für das Versorgungsunternehmen meist erst dann entstehen, wenn

- ein Schadensfall direkt mit einer merklichen Versorgungsunterbrechung verbunden ist und
- ein Schadensfall wiederholt auftritt (bestimmte Anzahl in einem definierten Zeitraum).

Ein Imageschaden wird des Weiteren erst dann relevant, wenn im Schadensfall (Bruch, Leckage) weitere wirtschaftliche Auswirkungen im Unternehmen als direkte Folge eines Schadens spürbar werden, wie etwa:

- Mehraufwand in der Verwaltung (Erfahrungswerte des Unternehmens)
- unter Umständen wegfallende Vertragswerte von Grossabnehmern, wenn diese in wiederholten Fällen von Leitungsschäden betroffen sind (Menge und

Qualität des bezogenen Trinkwassers) und sich daher alternative Wasserbezugsquellen suchen (sofern möglich)

- Kosten einer Imagekampagne und Pressearbeit (Erfahrungswerte des Unternehmens)

Bei der Betrachtung von Imageschäden sollten weitere Gefährdungen, die nicht in direktem Zusammenhang mit Leitungszustand und Instandhaltung stehen, nicht berücksichtigt werden - z.B. potenzielle Fehlermöglichkeiten bei Bewertung von mikrobiologischen Probenahmen bzw. Kosten/Folgekosten für ausgesprochene Abkochgebote im Falle mikrobiologischer Belastung des abgegebenen Trinkwassers.

RISIKOBEWERTUNG

Für jeden indizierten Leitungsabschnitt - dies können bis zu mehrere Tausend sein - erfolgt durch die vorangegangenen Analysen letztendlich eine Angabe der jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeit und des jeweiligen Schadensausmasses. Durch die Angabe der relevanten Eintrittswahrscheinlichkeit in Werten zwischen 0 und 1 und des monetären Schadensausmasses ist es möglich, unterschiedliche Anlagenteile hinsichtlich ihres Risikos miteinander zu vergleichen - selbst wenn diese

mit unterschiedlichen Ansätzen oder Konzepten bewertet wurden (vor dem Hintergrund einer Instandhaltungsstrategie). Neben der Darstellung des momentanen Risikos ist eine Darstellung der zukünftigen Risikoentwicklung im Verlaufe kommender Jahre realisierbar. Dadurch kann der teilweise Einfluss der (Rest-) Nutzungsdauer auf die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Totalausfalls, aber auch u.U. eines Schadens für jedes beliebige künftige Betrachtungsjahr und das daraus resultierende Risiko je Leitungsabschnitt ermittelt werden.

ABLEITUNG INSTANDHALTUNGSBEDARF

Zur Ableitung des notwendigen Instandhaltungsbedarfs muss das aus den Sollwerten ermittelte zulässige bzw. akzeptable Risiko bekannt sein. Es wird vorausgesetzt, dass ausschliesslich Sanierungs- oder Erneuerungsmassnahmen Einfluss auf das Erreichen des zulässigen Risikos ausüben und dass die Erneuerung von Leitungen mittels langlebiger robuster Rohrwerkstoffe erfolgt. Das Risiko wird in diesem Falle durch folgende Gegebenheiten reduziert:

- Reduktion der Eintrittswahrscheinlichkeit von Schäden (aufgrund langer Nutzungsdauer und hoher Festigkeitseigenschaften des neuen Rohrwerkstoffs)

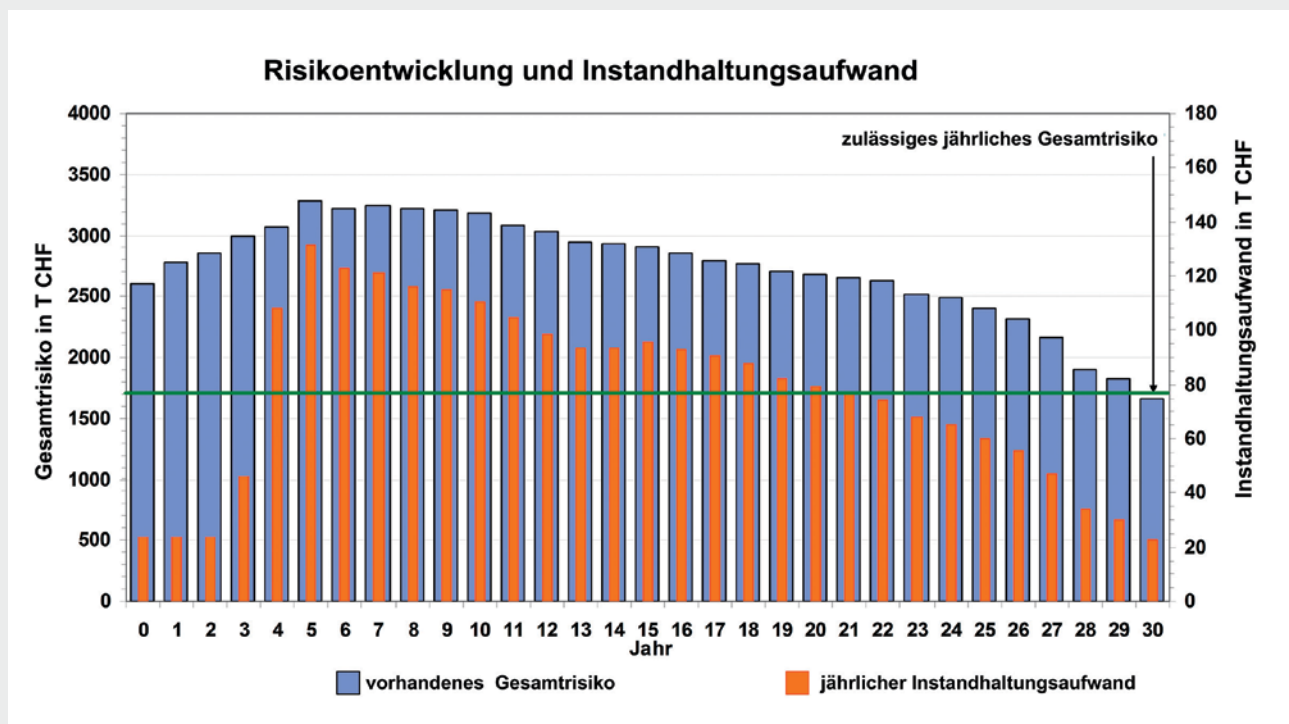


Fig. 4 Entwicklung der Risikofolgekosten und der jährlichen erforderlichen Instandhaltungskosten für ein Leitungssystem mit sog. Rehabilitationsstau, bei welchem in einem Zeitraum von 30 Jahren das angestrebte Soll-Risiko erreicht und gehalten wird
 Evolution des coûts consécutifs au risque et des coûts annuels nécessaires de maintenance pour un système de conduites avec retenue de rénovation, pour lequel le risque nominal visé est atteint et maintenu en l'espace de 30 ans

- Reduktion des Schadensausmasses (aufgrund Verlegung von z.B. nicht spröd brechenden Rohrwerkstoffen)

Unter Berücksichtigung der finanziellen Mittel, die dem Versorgungsunternehmen pro Jahr für Instandhaltungsmassnahmen am Leitungssystem zur Verfügung stehen, können die Anzahl der maximal erneuerbaren Leitungsabschnitte pro Jahr und das dadurch neue (reduzierte) Gesamtrisiko ermittelt werden. Auf Grundlage dessen wird ein Massnahmenkatalog erstellt, der die jährlich am dringendsten zu erneuernden Leitungsabschnitte auflistet bis das Sollrisiko erreicht wird bzw. anschliessend gehalten wird.

Umgekehrt kann der Bedarf an finanziellen Aufwendungen für die Leitungserneuerung ermittelt werden, der erforderlich ist, um innerhalb eines vorbestimmten Zeitraums (z.B. 10-30 Jahre) das Sollrisiko für das Leitungssystem zu erreichen und anschliessend zu halten.

PRAKTISCHE ANWENDUNG DES ANSATZES UND NUTZEN

Der genannte Ansatz wurde bisher vollständig oder in Teilen zur Zustands- und Risikobewertung von Fernleitungen bzw. städtischen Leitungssystemen von drei Versorgungsunternehmen angewandt. Hierbei konnten unternehmensspezifische Besonderheiten berücksichtigt werden, wie etwa:

- sehr heterogene Werkstoffstruktur des bewerteten Leitungssystems (> 10 Werkstoffgruppen, DN 80 bis DN 1400)
- besondere Gefährdungen durch städtische Bebauungsstrukturen
- Auswirkungen der Fahrweisen von Wasserwerken auf die Eintrittswahrscheinlichkeit von Leitungsschäden
- Bewertung des kathodischen Korrosionsschutzes
- besondere geologische Einflüsse (Salzstöcke, Erdfälle)

Durch die systematische Umsetzung der risikobasierten Instandhaltungsstrategie (Durchführung von Sanierungs- oder Erneuerungsmassnahmen) und den daraus resultierenden Erhalt bzw. die daraus resultierende Verbesserung des Leitungszustands werden üblicherweise im Versorgungsunternehmen mittel- bis langfristig sichergestellt:

- Vermeidung von Schadens- bzw. Risikofolgekosten, die aus nicht durchge-

fürten Instandhaltungsmassnahmen resultieren (s. beispielhaft in Fig. 4) sowie Reduzierung von Reparaturkosten aufgrund voranschreitender Zustandsverschlechterung und daraus resultierender Leitungsschäden

- sinkende Schadensbeseitigungskosten und weniger Versorgungsunterbrechungen für Teilabschnitte aufgrund einer sich verringernden Anzahl von Rohrbrüchen oder Leckagen durch Zustandsverschlechterung
- Wahrung bzw. Verbesserung des Unternehmens-Images in der Öffentlichkeit
- Vermeidung des Verlustes des Versicherungsschutzes beim Auftreten von Leitungsschäden infolge unterlassener Instandhaltung (mögliche Verletzung von Versicherungsaufgaben)

Die Anwendung des hier genannten Ansatzes zur Erstellung einer risikobasierenden Instandhaltungsstrategie berücksichtigt generelle Empfehlungen an die Instandhaltung von Versorgungssystemen [10, 17, 18]:

- Verbesserung oder Erhalt der Versorgungsqualität bei geringstmöglichem Gesamtaufwand
- Verringerung von Rohrschäden und Versorgungsunterbrechungen
- Verringerung der Gefährdung von Mensch, Fremdanlagen und Umwelt
- Verbesserung der Datenqualität, da die Nachhaltigkeit einer Instandhaltungsstrategie massgeblich von der verfügbaren Datenbasis bestimmt wird

BIBLIOGRAPHIE

- [1] DVGW-Merkblatt W 403 (2010): Entscheidungshilfen für die Rehabilitation von Wasserverteilungsanlagen. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn
- [2] DVGW-Arbeitsblatt W 392-2 (2011): Inspektion, Wartung und Betriebsüberwachung von Wasserverteilungsanlagen - Teil 2: Fernwasserversorgungssysteme; Massnahmen, Verfahren und Bewertungen. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn
- [3] Sorge, H-C. et al. (2012): Instandhaltung von Transportleitungen. *Energie Wasser Praxis*, 63(5), 20-28
- [4] Haskins, S. (2007): Risk management: current state, gaps, and looking ahead. Konferenzbeitrag LESAM 2007 Conference Lisbon, Portugal. In: *Leading Edge Asset Management, Band 2, IWA International Water Association, London, Lisbon, 1-9*
- [5] Herz, R. (2002): Developing Rehab Strategies For Drinking Water Networks. Konferenzbeitrag 9th International Conference on Durability of Materials and Components Brisbane, Australia. In

house publishing, Rotterdam

- [6] DIN EN 1990:2010-12 (2012): Grundlagen der Tragwerksplanung. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin
- [7] DVGW-Arbeitsblatt GW 9 (2011): Beurteilung der Korrosionsbelastungen von erdüberdeckten Rohrleitungen und Behältern aus unlegierten und niedrig legierten Eisenwerkstoffen in Böden. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn
- [8] DIN 50930-6 (2013): Korrosion der Metalle - Korrosion metallener Werkstoffe im Innern von Rohrleitungen, Behältern und Apparaten bei Korrosionsbelastung durch Wässer - Teil 6: Bewertungsverfahren und Anforderungen hinsichtlich der hygienischen Eignung in Kontakt mit Trinkwasser. Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin
- [9] Technische Regel VDI/VDE 2180 Blatt 5 (2010): Sicherung von Anlagen der Verfahrenstechnik mit Mitteln der Prozessleittechnik (PLT) - Empfehlungen zur Umsetzung in die Praxis. VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik, Düsseldorf
- [10] DVGW-Arbeitsblatt W 400-3 (2006): Technische Regel Wasserverteilungsanlagen (TRWV) - Teil 3: Betrieb und Instandhaltung. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn
- [11] DVGW-Hinweis W 1001 (2008): Sicherheit in der Trinkwasserversorgung - Risikomanagement im Normalbetrieb. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn
- [12] ATV-DVWK-A 127 (2000): Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen, 3. Auflage; korrigierter Nachdruck 4/2008. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Hennef
- [13] BS-EN 1295 (1998), Structural design of buried pipelines under various conditions of loading. General requirements. British Standard
- [14] Sorge, H-C. (2013): Metallische Trinkwasserleitungen - materialtechnische Zustandsbewertung. *Aqua & Gas*, 2013(6), 68-72
- [15] Sægrov, S. et al. (2007): Ageing of water and wastewater networks - what is at stage and what are the real challenges? Konferenzbeitrag LESAM 2007 Conference Lisbon, Portugal. In: *Leading Edge Asset Management, Band 2, IWA International Water Association, London, Lisbon, 1-10*
- [16] DVGW-Hinweis W 401 (1997): Entscheidungshilfen für die Rehabilitation von Wasserrohrnetzen (zurückgezogen). Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn
- [17] DVGW-Arbeitsblatt W 402 (2010): Netz- und Schadenstatistik - Erfassung und Auswertung von Daten zur Instandhaltung von Wasserrohrnetzen. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn
- [18] Heyen, B. (2011): Entscheidungshilfen für die Rehabilitation von Wasserverteilungsanlagen. *Energie | wasser-praxis* (5), 48-53