



Quelle: Harald Roscher

Neubewertung des Alterungs- und Ausfallverhaltens von Wasserrohrleitungen

Ergebnisse und Folgerungen für die Praxis aus dem DVGW-Forschungsvorhaben W6/03/07

Das Kernziel eines 17-monatigen DVGW-Forschungsvorhabens bestand darin, das Alterungs- und Ausfallverhalten von Wasserrohrleitungen und somit die technische Nutzungsdauer der Leitungen unternehmensübergreifend durch Bestimmung der werkstoffabhängigen Ausfallwahrscheinlichkeit sicherer als bisher zu prognostizieren und miteinander zu vergleichen. Hierzu wurden die Bestands- und Schadensdaten von zehn Wasserversorgungsunternehmen (WVU) mit einer Gesamtleitungslänge von 20.600 Kilometern statistisch untersucht.

Hintergrund

Rohrnetze in der Wasserversorgung unterliegen einem kontinuierlichen Alterungsprozess, welcher meist einen Anstieg der Scha-

densraten mit zunehmendem Alter zur Folge hat. Diesem Alterungsprozess ist mit entsprechender Instandsetzung zu begegnen. Die Instandsetzung stellt den größten Anteil der Betriebskosten von Wasserversorgungsunternehmen dar. Eine der wichtigsten Optionen der Instandsetzung sind Erneuerungsmaßnahmen. Für die Entscheidung über die Erneuerung einer Leitung bestehen zurzeit keine einheitlichen Kriterien. Als übliche Hauptkriterien werden meist (ohne Veranlassungsgründe durch Dritte) das bisherige Schadensverhalten, die Schadensprognose, die Risikoabschätzung des Leitungsausfalls sowie das Alter von Leitungen (Netzabschnitten) herangezogen (inkl. Kriterien wie Rohrwerkstoff, Nennweite und Leitungslänge). Die Schadensentwicklung in Wasserrohrnetzen wird meist durch mehr

oder weniger aussagefähige Schadensstatistiken festgehalten. Die Umgebungs- und Verlegebedingungen der Leitungen und deren Einfluss auf das Schadens- bzw. Ausfallverhalten wie etwa aggressive Böden, Bodenbewegungen, Verkehrslasten oder auch die Trinkwassergüte werden statistisch selten erfasst und sind daher unternehmensübergreifend bisher nicht quantifizierbar.

Soweit unternehmensspezifische Umgebungseinflüsse in einer betrieblichen Schadenstatistik mitgeführt werden, sind die auftretenden Schadensfälle von ihrer Anzahl her meist nicht ausreichend, um ohne zusätzliche Informationen belastbare Abhängigkeiten festzustellen und Ursache-Wirkungs-Analysen durchführen zu können. Nicht selten weisen gleiche Rohrwerkstoffe

bei unterschiedlichen Wasserversorgungsunternehmen (WVU) unterschiedliches Ausfallverhalten und damit unterschiedliche technische Nutzungsdauern auf. Insofern besteht bei den WVU ein offenkundiges Interesse, die schadensverursachenden Einflüsse auf Leitungen durch eine verbesserte und ausgeweitete Datenbasis innerhalb einer unternehmensübergreifenden Schadenstatistik sicherer als bisher zu bewerten, soweit diese schadensverursachenden Faktoren so charakterisiert sind, dass sie statistisch auswertbar sind. Eine erweiterte und detaillierte Schadenstatistik würde zudem erlauben, die angewandten mathematischen Prognoseverfahren (für Ausfall- und Schadensentwicklungen) besser als bisher beurteilen zu können. Die Aussagefähigkeit und damit die Ergebnisgüte eines solchen Verfahrens ist abhängig von

- der Detaillierung, dem Umfang und der Belastbarkeit der verfügbaren Statistik,
- der Anwendbarkeit und Kalibrierfähigkeit des Rechenverfahrens und
- der Quantifizierungsmöglichkeit des Ausfallrisikos.

Ließe sich die Fragestellung: „Wann muss eine Wasserleitung frühestens bzw. spätestens erneuert werden?“ aussagesicherer als bisher beantworten, könnten Wasserrohrnetze sicherer und meist kostengünstiger sowie über eine längere Nutzungsdauer betrieben werden.

Definition und Abgrenzung der altersabhängigen Ausfallrate

Die im vorliegenden Forschungsvorhaben verwendete werkstoffbezogene und altersabhängige Ausfallrate ist identisch mit der Definition der im Bereich der Demografie gebräuchlichen Sterbe- oder Mortalitätsrate. Diese gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Mensch, der das Alter X erreicht hat, im Alter $X+1$ sterben wird. Aufgrund des allgemeinen Anstiegs der mittleren Lebenserwartung steigt auch die Sterberate, wie Abbildung 1 zu unterschiedlichen Zeitpunkten (1932, 1950, 1970 und 1997) zeigt.

Die Ausfallrate, bezogen auf Rohrleitungen, kann über das Verhältnis

$$\frac{\text{Anzahl der Schäden an Leitungen im Alter } t_s}{\text{Länge aller Leitungen mit dem Alter } \geq t_s} \quad (1)$$

berechnet werden, wobei t_s das Alter der Leitung bei Eintritt eines Schadens darstellt. Die so definierte Ausfallrate ist mathematisch ausgedrückt eine bedingte Wahrscheinlichkeit (Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines

Fehlers im Alter von t_s -Jahren unter der Voraussetzung, dass bis zum Alter t_s noch kein Fehler aufgetreten ist). Diese werkstoffbezogene und altersabhängige Ausfallrate ist nicht identisch mit der netzbezogenen Schadensrate laut technischem Regelwerk (DVGW-Arbeitsblatt W 402), die sich aus dem Verhältnis ableitet:

$$\frac{\text{Jährliche Anzahl Schäden}}{\text{Länge aller Leitungsabschnitte}} \quad (2)$$

Die Ausfallrate (Gleichung 1) ist ihrem Wesen nach ebenfalls eine Schadensrate, jedoch ist sie immer auf den Rohrwerkstoff und den Betrachtungszeitraum bezogen und damit konkreter als die allgemeine netzbezogene Schadensrate (Gleichung 2). Sie kann für Werkstoffgruppe und auch auf Einzelleitungen angewandt werden.

Angewandtes mathematisch-statistisches Verfahren

Zur Bestimmung von Ausfallfunktionen (wie Ausfallwahrscheinlichkeiten und Ausfallraten) existieren unterschiedliche mathematische Verfahren, wie

- die Kaplan-Meier-Schätzung,
- der Log-Rank-Test,
- das Cox-Regressionsmodell oder
- parametrische Modelle zur Überlebenszeit.

Ziel dieser Verfahren ist es, Ausfallfunktionen zu bestimmen, welche die Aussage (bei Vorlage der entsprechenden Basisdaten) erlauben, mit welcher Wahrscheinlichkeit innerhalb eines Jahres ein bestimmter Leitungsstrang aufgrund des bisherigen Scha-

densverhaltens seiner Zugehörigkeitsgruppe (z. B. Werkstoffgruppe, Nennweitengruppe) einen Fehler (Ausfall) aufweist.

Das Kaplan-Meier-Verfahren, das im Bereich der Medizin häufig eingesetzt wird, ist zur Untersuchung der vorliegenden Aufgabenstellung besonders geeignet. Hierbei wird eine Gruppe von Probanden (hier die eingebauten Leitungsstränge) von der Entstehung (Einbaujahr) bis zum Auftreten eines ersten Fehlers (Schaden) bzw. bis zum Ausfall des Leitungsabschnitts beobachtet. Dabei tritt in der Versorgungswirtschaft häufig der aus statistischer Sicht missliche Fall ein, dass aus verschiedenen Gründen auch Leitungen, die noch keinen Fehler aufgewiesen haben, stillgelegt oder entfernt werden. Die Probanden (Leitungen) fallen aus der statistischen Beobachtungsmöglichkeit heraus. Eine Aussage über die zukünftige Entwicklung dieses Teils der Leitungen ist nicht mehr möglich, da ihr Ausfallverhalten nicht mehr beobachtet werden kann. Die Gesamtstatistik wird dadurch mehr oder weniger stark verzerrt.

Mit Hilfe des Kaplan-Meier-Verfahrens können diese Effekte berücksichtigt werden. Bleibt ein risikobedingtes (hier alterungsbedingtes) Ausscheiden eines Beobachtungsobjektes während des Beobachtungszeitraumes aus oder lässt sich dieses nicht weiter beobachten, wird es innerhalb des Kaplan-Meier-Verfahrens zensiert. Man spricht in diesem Zusammenhang von einer sogenannten Rechts-Zensierung. Bei der Bildung von möglichst homogenen Beobachtungsgruppen (hier Werkstoffgenerationen oder

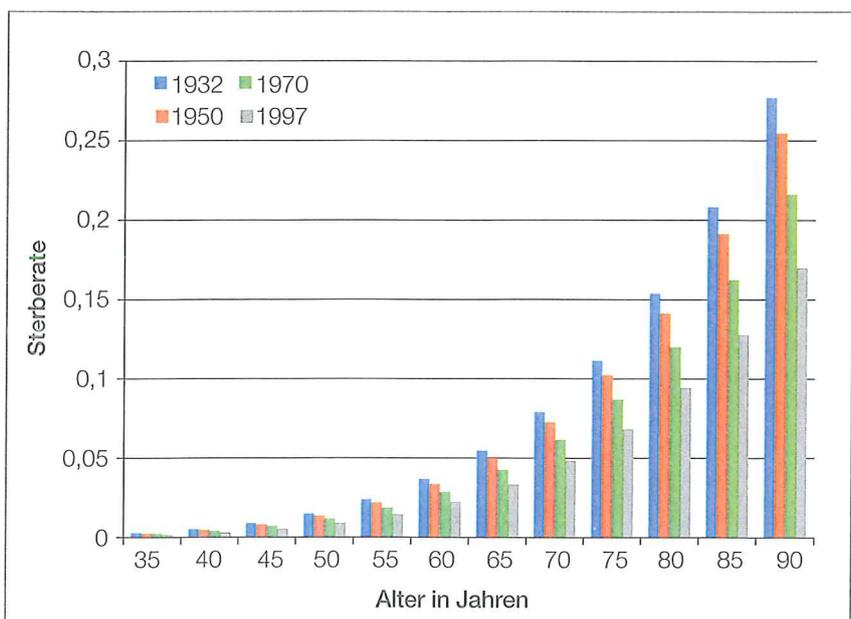


Abb. 1: Sterberate (altersabhängige Sterbewahrscheinlichkeit, Ausfallrate) des Menschen in Abhängigkeit vom Alter zu unterschiedlichen Zeitpunkten

Quelle: Rechenzentrum für Versorgungsnetze Wehr GmbH

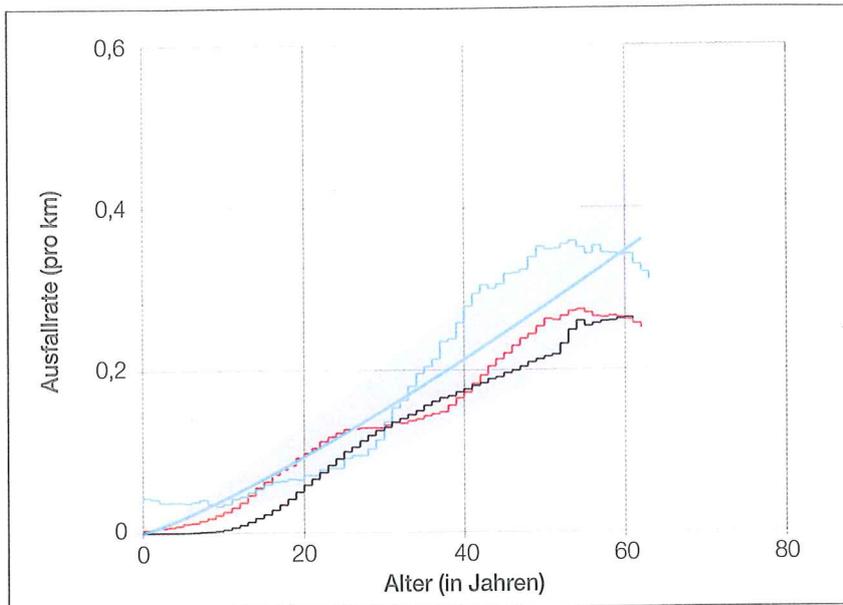


Abb. 2: Ausfallkurven von Graugussleitungen der dritten Generation (hier: Verlegezeitraum 1946-1965), ≤ DN 300. Daten der Gütegruppe A. Schwarz = Unternehmen A, Hellrot = Unternehmen B, Hellblau = Unternehmen C.

Werkstoffgruppen) kann anhand der ermittelten Schadensfunktionen die Ausfallwahrscheinlichkeit bzw. die Ausfallrate jedes dokumentierten Alters abgelesen werden.

Qualität der Daten und Datenumfang

Voraussetzung zur Berechnung statistisch abgesicherter Ausfallraten ist die belastbare und repräsentative Datengrundlage. Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes wurden die Schadensentwicklungen an Wasserrohrleitungen auf der Grundlage von ca. 20.500 Kilometer Netzlänge (Ver-

teilungsnetz) detailliert untersucht. Die ermittelten Ausfallraten der hierbei untersuchten Werkstoffgruppen weisen aufgrund unterschiedlicher Datenqualität und Datenumfang unterschiedliche Aussagekraft und Genauigkeiten auf. Nutzbar sind dokumentierte Schäden nur dann, wenn folgende Attribute dokumentiert sind und den jeweiligen Leitungsgruppen plausibel zugeordnet werden können:

- Schadensart und Schadensursache,
- Alter der Leitung zum Zeitpunkt des Schadenseintritts sowie

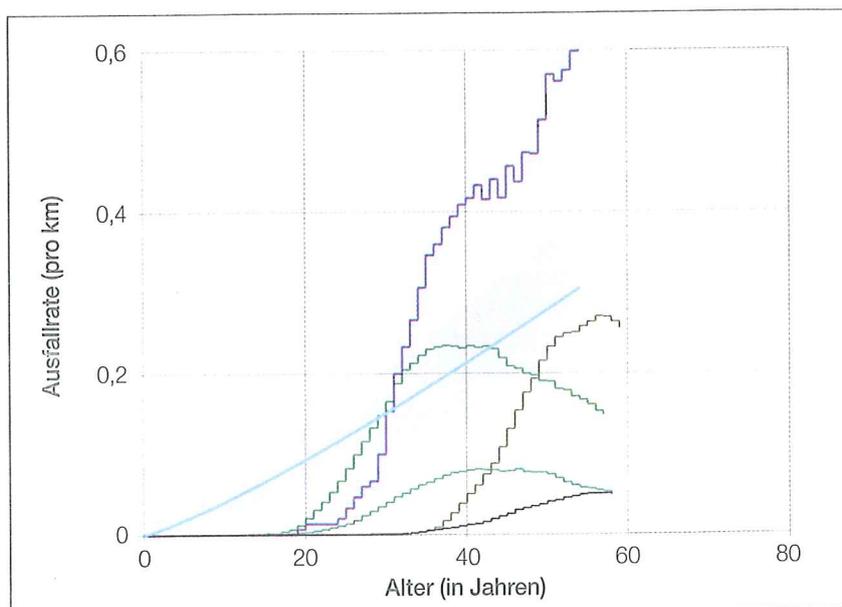


Abb. 3: Ausfallkurven von Graugussleitungen der dritten Generation (Verlegezeitraum 1946-1965), ≤ DN 300. Daten der Gütegruppe B. Dunkelblau = Unternehmen D, Dunkelgrün = Unternehmen E, Olivgrün = Unternehmen F, Türkisgrün = Unternehmen G, Schwarz = Unternehmen H.

- die Altersverteilung der Leitungen zum Zeitpunkt des Schadenseintritts.

Diese Informationen sind dann gegeben, wenn die Schäden in einem GIS/NIS dokumentiert und georeferenziert sind sowie die Altersverteilung auf Basis dieser Dokumentation erstellt werden kann.

Darüber hinaus ist die Georeferenzierung aktueller und historischer Bestands- und Schadensdaten Voraussetzung für eine lokale Nutzung der generierten werkstoffspezifischen Ausfallfunktionen von Werkstoff- und Leitungsgruppen. Lokale Nutzung bedeutet hierbei, dass die Ausfallwahrscheinlichkeit einer Werkstoffgruppe (oder -untergruppe) auf einzelne Leitungen oder Leitungsabschnitte übertragen werden kann, wenn lokale Zusatzinformationen verfügbar und nutzbar sind. Solche Zusatzinformationen sind Schadens- und Umgebungsdaten, wie in der Nachbarschaft an werkstoffgleichen Leitungen bereits aufgetretene Schäden, Bodenaggressivität und weitere Sonderrisiken. Durch solche Zusatzinformationen können die gruppenbezogene Schadensentwicklung ortsbezogen und „strangspezifisch“ übertragen und zusätzliche Abhängigkeiten erkannt werden, was dazu führt, dass sich die Belastbarkeit der Analyseergebnisse erhöht.

Ermittelte unternehmensspezifische Funktionen für Ausfallwahrscheinlichkeiten und Schadenserwartung

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden die Schäden an Leitungen der Werkstoffe Grauguss (GGL – Grauguss lamellar), Duktiguss (GGG – Grauguss globular), Stahl (St), Faserzement (FZ), PVC und PE mit unterschiedlichen Gesamtlängen untersucht. Die Aussagesicherheit der Untersuchung ist abhängig vom Verhältnis der Höhe der Schadenseintrittswahrscheinlichkeit und des Stichprobenumfangs (Leitungslänge). Bei vorgegebener oder geforderter statistischer Sicherheit gilt: Je niedriger die Schadenseintrittswahrscheinlichkeit ist, desto höher muss der Stichprobenumfang sein.

Bei einer angesetzten statistischen Sicherheit von 10 Prozent ist der vorliegende Datenumfang der zehn am Forschungsvorhaben beteiligten Unternehmen für GGL, GGG, und St hinreichend groß (vorausgesetzt, die vorliegenden Schadensdaten sind genau). Für die Werkstoffe PVC, PE und FZ reichte die statistische Basis im Forschungsvorhaben nicht aus, um eine derartige Genauigkeit zu erreichen.

Die Qualität der von den zehn Wasserversorgungsunternehmen gelieferten und im

Quelle: Rechenzentrum für Versorgungsnetze Wehr GmbH

Quelle: Rechenzentrum für Versorgungsnetze Wehr GmbH

Rahmen des Forschungsvorhabens untersuchten Daten erwies sich teilweise als sehr unterschiedlich. Häufig waren

- Baujahre und somit das Alter der Leitungen unbekannt, was dazu führt, dass auch der Querverweis von Schäden zur schadhafte Leitung zu Fehlern führt;
- die Werkstoffart der beschädigten Leitungen unbekannt oder falsch ausgewiesen;
- die Altersverteilung der Leitungen zum Zeitpunkt des Schadenseintritts aufgrund fehlender Informationen zu ungenau.

Um im Forschungsvorhaben dennoch aussagekräftige Bewertungen durchführen zu können, wurden daher zwischen Unternehmen mit Schadensdaten hoher Datengüte (Gütegruppe A) und Unternehmen mit Schadensdaten geringerer Datengüte (Gütegruppe B) unterschieden. Die Ausfallkurven der Unternehmen der Gütegruppe A wurden den Ausfallfunktionen der Unternehmen Gütegruppe B für die Werkstoffgruppen Grauguss, Duktguss und Stahl gegenübergestellt. Um zu veranschaulichen, wie stark die Ausfallkurven der Daten der Gütegruppe B vom jeweils ermittelten Streubereich abwichen, wurden diese zusammen mit dem werkstoffspezifischen Streubereich abgebildet.

In Abbildung 2 und 3 werden die Ausfallkurven der Unternehmen der Gütegruppe A bzw. Gütegruppe B und der jeweiligen Streubereich gezeigt. Zu beachten ist, dass die dargestellten ungünstigen Kurvenverläufe der Gütegruppe B maßgeblich auf die unzureichende Qualität der Ausgangsdaten und weniger auf umgebungsspezifische Einflussfaktoren zurückzuführen sind. Eine Darstellung der werkstoffspezifischen Ausfallraten ist nicht für jedes der zehn teilnehmenden WWU möglich gewesen, da nicht jeder Rohrwerkstoff bei jedem WWU verbaut wurde bzw. für eine statistische Auswertung unzureichende Rohrleitungslängen vorlagen.

Ausfallkurven für Graugussleitungen (GGL) ≤ DN 300

Die Abbildungen 2 bis 4 zeigen die Auswertungen der Schäden für unterschiedliche Werkstoffgruppen in den unterschiedlichen Unternehmen mit unterschiedlicher Datengüte. In Abbildung 2 sind als farbige Treppenkurven die Ergebnisse der Schadensauswertung mit Hilfe des Kaplan-Meier-Verfahrens dargestellt. Für jedes Unternehmen lassen sich mit Hilfe dieses Verfahrens unterschiedliche Ausfallraten berechnen. Als durchgehende Linie ist der jeweilige Mittelwert dargestellt und die Fläche repräsentiert den Streubereich der Ausfallraten (obere und untere Hüllkurve).

Abbildung 2 mit Darstellung der Ausfallkurven der Unternehmen aus Gütegruppe A lässt für eine 50 Jahre alte GGL-Leitung der dritten Generation eine Schadensrate zwischen 0,25 und 0,35 Schäden pro Kilometer und Jahr erwarten. Die Ausfallkurven der Gütegruppe B (Abb. 3) liegen für den gleichen Rohrwerkstoff deutlich weiter auseinander (0,05 bis > 0,6). Die hohen Differenzen der Ausfallraten in den Gruppen der Datengüte A und B können folgende Ursachen haben:

1. Die unterschiedlichen Schadensraten bei gleichen Werkstoffen sind etwa aufgrund der Verlegetechnik, Werkstoffeigenschaften, Umgebungs- und Verlegebedingungen sowie Betriebsweise physikalisch verursacht.
2. Die Schadensrate wird statistisch bedingt niedriger ausgewiesen, als sie tatsächlich ist. Die Schadensdokumentationen an Leitungen dieses Typs und Alters sind nicht mehr vorhanden, obwohl Leitungen dieses Typs noch im Netz eingebaut sind.
3. Die Schadensrate wird statistisch bedingt höher ausgewiesen, als sie tatsächlich ist. Die Schäden an diesen Leitungen sind dokumentiert und damit nutzbar, jedoch wurde zwischenzeitlich ein großer Anteil der Leitungen dieses Typs und Alters stillgelegt oder ausgebaut (jedoch nicht dokumentarisch erfasst).

Auch aus der Form der gezeigten Kurven ist häufig erkennbar, ob die Datengrundlage vertrauenswürdig ist. Folgt nach einer maximalen Ausfallrate in mittleren Altersbereichen ein drastisches Absinken der Schadensrate, so weist dies auf die fehlende Dokumentation alter Schäden hin oder auf die falsche Zuordnung/Dokumentation von leitungsspezifischen Einbaujahren. Dieser Fehler tritt häufig dann auf, wenn Wasserrohrnetze unbekanntes Einbaujahres übernommen wurden und das Jahr der Netzübernahme fälschlicherweise als Einbaujahr dokumentiert wurde.

Ausfallkurven für Graugussleitungen (GGL) ≤ DN 300 und > DN 300

Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse der Ausfallraten des Werkstoffs GGL der dritten Generation mit unterschiedlichen Nennweiten auf Grundlage der Daten aus Gütegruppe A. Es ist deutlich erkennbar, dass die Schadenseintrittswahrscheinlichkeit großkalibriger Leitungen (hier Nennweite > DN 300) deutlich niedriger liegt als die der kleinkalibrigen Leitungen (hier Nennweite ≤ DN 300). Bei den dargestellten WWU differieren die Schadensraten einer ca. 50 Jahre alten Leitung um den Faktor 5 bis 10. Laut Abbildung 4 ist für ▶

swan
ANALYTICAL INSTRUMENTS

AMI Turbiwell – Berührungsfreie Trübungsmessung für Trinkwasser, Oberflächenwasser und Abwasser.



- Messung nach ISO 7027.
- Messbereich:
0 - 200 FNU
- Geringer Wasserverbrauch.
- Berührungsfreie optische Elemente – keine Verschmutzungsgefahr.
- Autom. Abschlämmung zum Spülen der Messzelle.
- Für den Einsatz in Quellwässern geeignet.

www.swan.ch

SWAN Analytische Instrumente GmbH
Am Vogelherd 10
DE-98693 Ilmenau
Telefon +49 3677 46260
Telefax +49 3677 462626
info@swaninstrumente.de

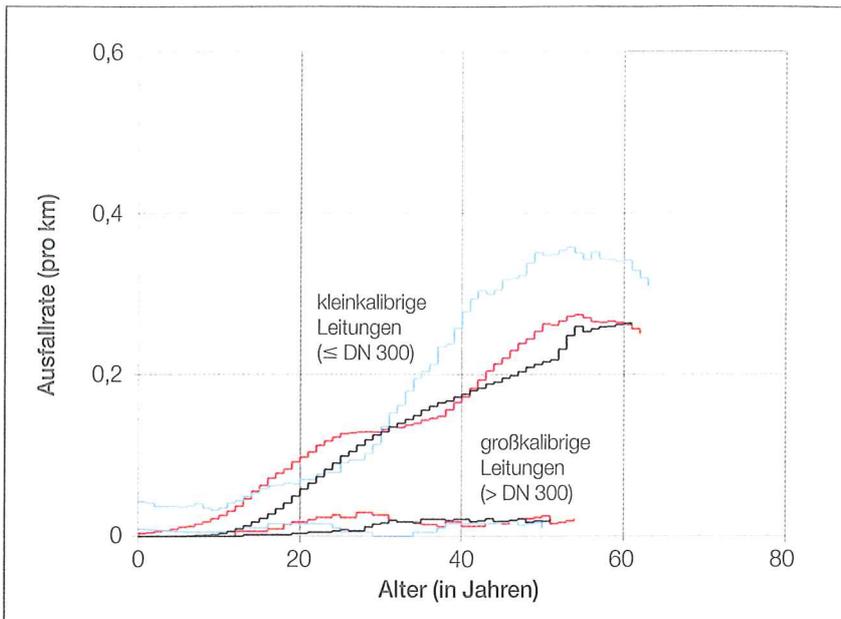


Abb. 4: Vergleich der Ausfallraten des Werkstoffs GGG der 3. Generation unterschiedlicher Nennweiten. Schwarz = Unternehmen A, Hellrot = Unternehmen B, Hellblau = Unternehmen C.

Quelle: Rechenzentrum für Versorgungsnetze Wehr GmbH

Grund für diese relativ große Streubreite ist u. a., dass bei Unternehmen A die sonst meist unzureichend korrosionsgeschützten GGG-Leitungen der ersten Generation bereits ab Werk mit einer äußeren Korrosionsschutzschicht (sog. Synoplast-Umhüllung) verlegt wurden, während in Unternehmen C GGG-Leitungen mit der damals üblichen, aber vergleichsweise weniger wirksamen Bitumenbeschichtung verlegt wurden.

Onlinebasierte Auswertung und Vergleich von Schäden

Die Prüfung der Datenqualität und Beurteilung der Güte von Schadensfunktionen ist häufig nur durch einen Vergleich der Auswertungsergebnisse mit anderen Unternehmen möglich. Daher wurde im Rahmen des Projekts ein Datenmodell entwickelt, mit dem eine serverunterstützte Plausibilitätsprüfung der Ausgangsdaten sowie die Berechnung der Schadensfunktionen aus den gelieferten Schadensdaten und ein Vergleich der Ergebnisse untereinander möglich wird (Abb. 6).

Leitungen großer Nennweiten nahezu keine alterungsabhängige Erhöhung der Schadensraten zu erkennen. Dies kann sowohl

- es fehlt die Dokumentation alter Schäden an Leitungen dieses Werkstoffs und Nennweite.

- physikalisch und real bedingt sein (größeres Flächenträgheitsmoment der Leitungen, geringere Bruchgefährdung, kleinere Längsbiegespannungen, verzögerte Korrosionsprozesse aufgrund größerer Wanddicken, intensivere Wartungs- und Inspektionsmaßnahmen aufgrund der meist höheren Bedeutung großkalibriger Leitungen) oder

Ausfallkurven für Duktulgussleitungen (GGG) ≤ DN 300

In Abbildung 5 ist der Verlauf der Ausfallraten des Werkstoffs Duktulguss der ersten Generation der Unternehmen dargestellt, die eine hohe Datengüte aufweisen. Hier nach differieren die Schadensraten für eine GGG-Leitung der ersten Generation zwischen 0,03 und 0,3 um den Faktor 10.

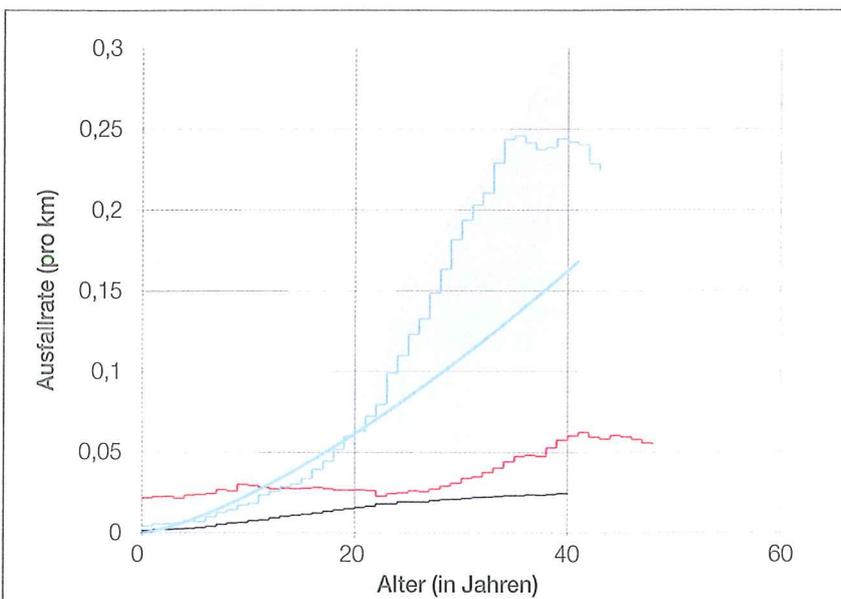
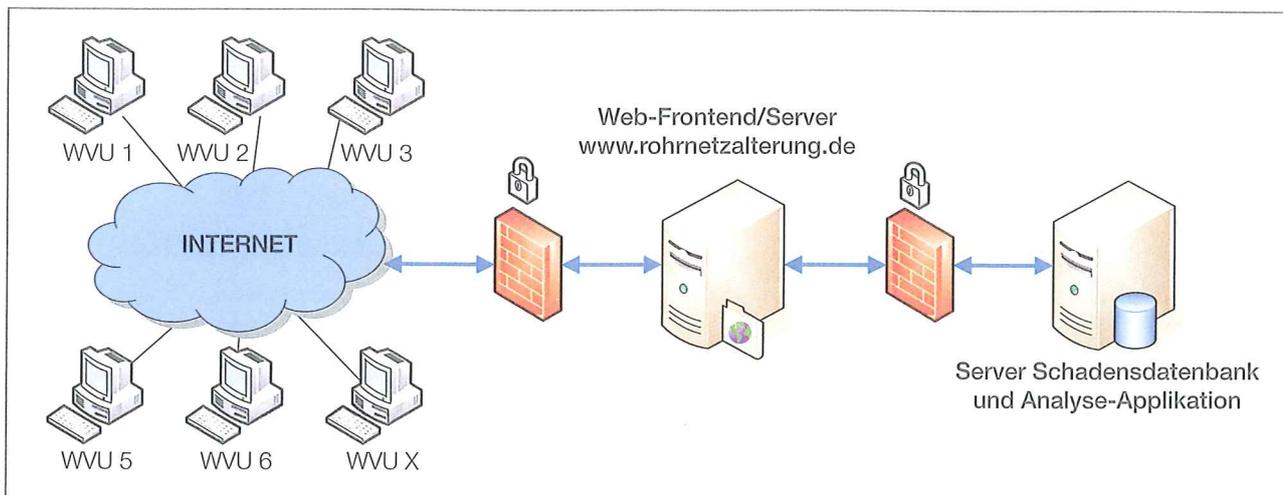


Abb. 5: Ausfallkurven von Duktulgussleitungen der ersten Generation (Verlegezeitraum 1966-1980), ≤ DN 300. Daten der Gütegruppe A. Schwarz = Unternehmen A, Hellrot = Unternehmen B, Hellblau = Unternehmen C.

Quelle: Rechenzentrum für Versorgungsnetze Wehr GmbH

Das so erstellte Datenmodell sieht vor, dass jedes WWU seine Schadens- und Leitungsdaten über das Internet anonymisiert und verschlüsselt eingeben kann. Der zugehörige Dienstleistungsserver überprüft zunächst formal die Rohdaten (Schadensdaten und komplette Leitungsstatistik einschließlich Altersangaben und Zu- und Ausbauten pro Jahr) auf Vollständigkeit und Plausibilität bzw. grobe Unstimmigkeiten (z. B. Korrosionsschaden an PE-Leitung). Anschließend werden mit Hilfe des Kaplan-Meier-Verfahrens die Schadensfunktionen berechnet und mit der Streubreite der Ergebnisse aus vergleichbaren Unternehmen mit hoher Datengüte verglichen. Die Ergebnisse in Form von Schadensstatistiken, alterungsabhängige Ausfallraten und Prognosen der zukünftigen Anzahl von Schäden des WWU in den kommenden Jahren werden an den Anwender (das WWU) – zunächst ohne weitere Prüfung – zurückgesandt.

Parallel hierzu werden die Ergebnisse vom Server im Detail geprüft und mit allen anderen Ergebnissen der gleichen Werkstoffgruppen, die in einer Schadensdatenbank gespeichert sind, verglichen. Sofern die Überprüfung ergibt, dass die Datengüte ausreichend hoch ist, werden diese Daten in die Schadensdatenbank übernommen, ansonsten abgelehnt. Bei Übernahme der Daten in die Datenbank werden pro Werkstoffgruppe die Mittelwerte und der Streubereich neu berechnet. Das jeweilige WWU wird anschließend darüber informiert, dass



Quelle: Peterson, Sorge

Abb. 6: Datenmodell zur jährlichen Erstellung und Plausibilisierung von Schadensfunktionen

die Daten in den Datenpool hoher Güte übernommen wurden.

Folgerungen für die Praxis

Für den Netzbetreiber ist es von großer Bedeutung, das spezifische Alterungsverhalten der eigenen Wasserrohrleitungen derart gut zu kennen, dass eine sichere Prognose der zukünftigen Schadensentwicklung möglich wird. Da dies in der Regel bisher nicht der Fall ist, arbeitet die Praxis oft ersatzweise mit Richtkennwerten, die bezogen auf die verfügbare Nutzungsdauer neu verbauter Rohrwerkstoffe bisher zwischen 50 und 100 Jahren liegen (je nach Werkstoff und Umgebungseinflüssen).

Um die zukünftige (prognostizierte) Erhöhung der technischen Nutzungsdauern abzusichern und zu begründen, sind folgende Schritte notwendig:

- Die Netz- und Schadensstatistik eines Wasserversorgungsunternehmens (WVU) muss jährlich objekt- und ursachenbezogen vorliegen (mit jährlichen Netz- und Schadensänderungen), um belastbare und damit gültige Ausfallfunktionen erstellen zu können.
- Die Netzstatistik muss dabei den werkstoff-spezifischen Zu- und Abgang mit zugehörigen Altersangaben enthalten (Neubau, Ausbau, Ersatz, Erneuerung, Stilllegung).
- Die Auswertung der Schadensfunktionen muss rechnerunterstützt, nachrechenbar und möglichst automatisiert erfolgen. Der Entwurf eines Datenmodells, das im Rahmen des Forschungsberichts getestet wurde, liegt vor.
- Die werkstoffspezifischen Ausfallfunktionen weisen für unterschiedliche WVU unterschiedliche Verläufe innerhalb einer Werkstoffgruppe auf. Werkstoffbezogene Einflüsse (Werkstoffgenerationen und Nenn-

weiten) wurden quantifiziert. Von den externen (also zunächst werkstoffunabhängigen) Einflüssen konnte auf Basis der Daten eines WVU der Einfluss von Bodenbewegungen auf das Ausfallverhalten nachgewiesen werden. Für weitere externe Einflussfaktoren, wie z. B. Streuströme oder Bodenaggressivität, konnte bei den entsprechenden Datensätzen keine Korrelation nachgewiesen werden. Die fehlende Nachweisbarkeit ist vermutlich auf den nicht ausreichenden Stichprobenumfang zurückzuführen.

- Auf Basis einer Extrapolation des Trendverlaufs der Ausfallfunktionen neuer Rohrwerkstoffe (Duktilguss und Stahl der neuesten Generation sowie Polyethylen und ggf. PVC) kann aktuell auf eine wesentlich höhere zu erwartende technische Nutzungsdauer gegenüber den restlichen Werkstoffgruppen geschlossen werden. So stellt sich eine (prognostizierte) Ausfallrate von 0,2 Schäden pro Kilometer und Jahr einer älteren Graugussleitung (dritte Generation) bei ca. 60 Jahren gegenüber einer neuen Duktilgussleitung bei ca. 160 Jahren ein.
- Die im Rahmen des Forschungsvorhabens erstellten Ausfallfunktionen für die Werkstoffe PVC, PE und FZ sind als nicht belastbar anzusehen, da Datenumfang und -qualität nicht für eine statistische Absicherung ausreichen.

Um belastbare Ausfallraten und damit eine weitestgehend gesicherte Prognose der technischen Nutzungsdauer von Trinkwasserrohrleitungen der Rohrwerkstoffe PVC, PE und FZ ermitteln zu können, sollte das beschriebene Forschungsvorhaben erweitert werden. Hierzu ist die Untersuchung weiterer Unternehmen, welche einen hohen Anteil PVC-, FZ-Leitungen und gegebenenfalls PE-Leitungen aufweisen, erforderlich.

Danksagung

Das beschriebene Forschungsvorhaben wurden durch den DVGW gefördert und konnte mit Unterstützung der zehn beteiligten Unternehmen durchgeführt werden, wofür sich die Projektbearbeiter an dieser Stelle ausdrücklich bedanken möchten. Das Projekt wurde bearbeitet von

- Rechenzentrum für Versorgungsnetze Wehr GmbH, Düsseldorf (Datenaufbereitung, Datenanalyse, Datenmodellentwicklung),
- IWW Zentrum Wasser, Mülheim und Biebesheim (Projektleitung, werkstoff- und schadensbezogene Beurteilung),
- Universität Duisburg-Essen, LS Informationslogistik und LS Siedlungswasserwirtschaft, Duisburg und Essen (Datenmodellentwicklung, Datenanalyse).

Autoren:

Dr.-Ing. Dirk König
 Marc Wallerath
 Rechenzentrum für Versorgungsnetze Wehr GmbH
 Oberbiller Str. 203
 40227 Düsseldorf
 Tel.: 0211 601273-00
 Fax: 0211 727537
 E-Mail: d.koenig@rzvn.de
 Internet: www.rzvn.de

Dr. Hans-Christian Sorge
 IWW-Rheinisch Westfälisches Institut für Wasserforschung gGmbH
 Justus-von-Liebig-Str. 10
 64584 Biebesheim
 Tel.: 069 25490-8020
 Fax: 069 25490-8009
 E-Mail: c.sorge@iww-online.de
 Internet: www.iww-online.de