

Methoden zur Rehabilitationsplanung von Trinkwassernetzen

Netzstrategie ■ Wasserversorgungsunternehmen sollen eine technisch und wirtschaftliche Rehabilitationsstrategie entwickeln, um langfristig im Sinne eines Generationenvertrages die Trinkwasserversorgungsnetze optimal zu warten und zu erhalten, sowie die Kosten für deren Betrieb und Erhaltung gering halten. Um die Gebühren entsprechend effizient einzusetzen, bedarf es einer zustandsorientierten und vorausschauenden Rehabilitationsstrategie. Die Aufzeichnung von alterungsabhängigen Schäden an verschiedenen Rohrmaterialien ermöglicht es, entsprechende Alterungsprozesse an den verlegten Rohrleitungen indirekt beschreiben zu können.

In Mitteleuropa ist die Versorgung der Bevölkerung mit einwandfreiem Trinkwasser 24 Stunden am Tag zu einem vernünftigen Preis glücklicherweise der Normalfall. In vielen Ländern der Erde ist das aber nicht immer gegeben. Ziel eines Wasserversorgungsunternehmens sollte es sein, das Versorgungsnetz in einem einwandfreien Zustand zu erhalten, um nachfolgenden Generationen keinen Investitionsstau zu übergeben.

Im internationalen Vergleich [1] kann man von einem guten Zustand österreichischer Wasserversorgungsnetze sprechen. Dies spiegelt sich auch in den Vorgaben der zulässigen Schadensrate der ÖVGW W 100 wieder. Als Richt-

wert für eine geringe Schadensrate wird hier ein Wert von sieben Schäden/100 km angegeben wird, der DVGW-Richtwert liegt bei 10 Schäden/100 km. Als Vergleich dazu liegt die Schadensrate mancher englischer Versorgungsgebiete wie Themse Water (430 Schäden/100 km) oder Three Valleys (226 Schäden/100 km) deutlich höher [2]. Um diesen aktuell guten Zustand in Österreich auch zukünftig beibehalten zu können, bedarf es einer vorausschauenden, wirtschaftlich vertretbaren und auf die aktuelle Situation abgestimmte Instandhaltung der Versorgungsnetze.

Datengrundlage

Der Zustand einer Trinkwasserleitung lässt sich zum einen anhand von

Wasserverlustmessungen, über Durchflussmessungen und daraus abgeleiteten Inkrustationen oder anhand von mathematischen Modellen, welche an die Schadensaufzeichnungen angepasst sind, beschreiben. In der Regel sind Wasserverlustmessungen sowie Schadensaufzeichnungen und daraus abgeleitete Kennzahlen die häufigsten Methoden, um den Zustand im Netz zu beschreiben und um daraus Handlungsschwerpunkte abzuleiten. Ein Wasserversorgungsnetz ist nie zu 100 Prozent dicht. Zulässige Toleranzen bei der Verlegung, bei der Rohrbettung, bei den Verbindungen, äußere Einflüsse im Betrieb sowie die Alterung der verwendeten Rohrmaterialien führen zu kleineren und größeren Leckagen. Um diese auftretenden Wasserverluste mengenmäßig einordnen zu können und um daraus Maßnahmen zur Reduzierung abzuleiten, bedarf es normativer Vorgaben für Richt- und Grenzwerte. Nationale wie auch internationale Organisationen (IWA, DVGW, ÖVGW) geben Kennzahlen und Richtwerte vor, die aus verschiedenen Eingangsgrößen berechnet werden. Um aussagekräftige Kennzahlen über Wasserverluste zu bekommen, müssen die Eingangsdaten in einer entsprechenden Qualität vorliegen.

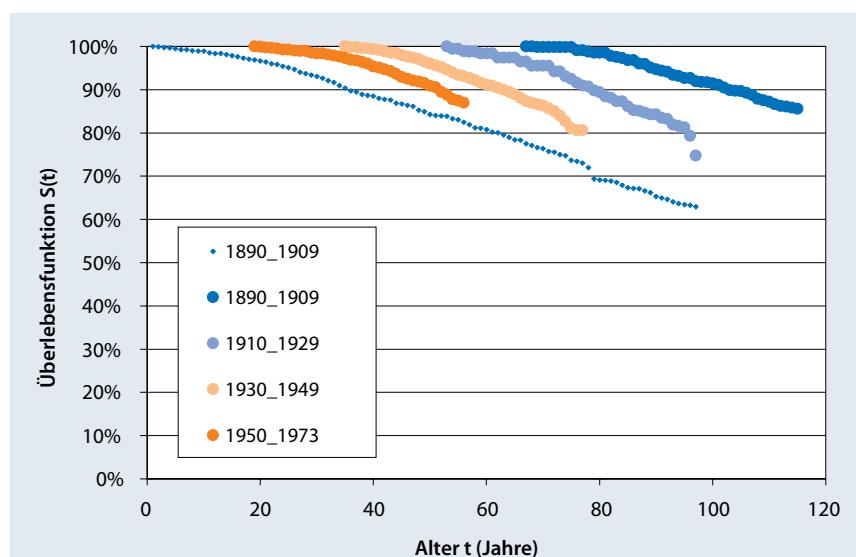


Abb. 1 Beispiel einer Überlebensfunktion für vier Bauperioden für das Material Grauguss der Netze Graz, Linz und Villach [4]

Bei einigen österreichischen Wasserversorgungsunternehmen werden schon über mehrere Jahre sehr detaillierte Schadensaufzeichnungen durchgeführt. Als Beispiel sei hier die Schadensaufzeichnung der Grazer Stadtwerke AG

genannt, die bis in das Jahr 1974 zurückreicht oder jene der Innsbrucker Kommunalbetriebe AG, die bis ins Jahr 1976 zurückreicht. Nur eine detailliert geführte Schadensaufzeichnung ermöglicht es, aus den aufgezeichneten Schäden entsprechende Schlüsse zu ziehen. Anhand dieser Aufzeichnungen können Aussagen über die Entwicklung von Schäden bezogen auf Leitungs-materialien getroffen werden. Dadurch ist es möglich, Erneuerungsprioritäten im Versorgungsnetz festzulegen. Anhand von Schadensaufzeichnungen können auch Alterungsparameter mathematischer Überlebensfunktionen kalibriert werden, um so die örtlichen Besonderheiten des Schadensverhaltens einzelner Leitungsgruppen besser abbilden zu können.

Alterungsmodelle für die Rehabilitationsplanung

Alterungsprozesse lassen sich nach Herz [3] mathematisch als alterungs-abhängige Wahrscheinlichkeit des Übergangs in schlechtere Zustände beschreiben, Zustände wie lebendig oder tot, heil oder kaputt, funktionstüchtig oder nicht. Diese Übergangsraten, Sterberaten oder Ausfallraten verändern sich im Laufe des Alters, je nach Material und Beanspruchung, und sind funktional verknüpft mit Überlebens-wahrscheinlichkeiten und Lebenserwartung.

Betrachtung des Erstschatdens

Aufgrund der Schadensaufzeichnungen liegt von manchen Materialien nur ein Schadensbereich innerhalb eines bestimmten Zeitraums vor. Zum einen sind die Daten rechtsseitig zensiert, da mit dem Datum der Analyse manche Leitungen noch keinen Schaden gehabt haben, andererseits sind manche Daten linksseitig zensiert, da sie vor Beginn der Schadensaufzeichnungen möglicherweise bereits einen Schaden gehabt haben, dieser aber nicht bekannt ist. Leitungen in Graz, Innsbruck, Klagenfurt, Linz oder Wien sind zum Teil schon seit über 100 Jahre in Betrieb. Schadensaufzeichnungen liegen in der Regel aber erst seit 30 Jahren oder weniger vor. Von Leitungen aus Materialien wie Grauguss, von denen beispielsweise in Graz die ersten Rohre 1872 verlegt wurden, liegen mit Beginn

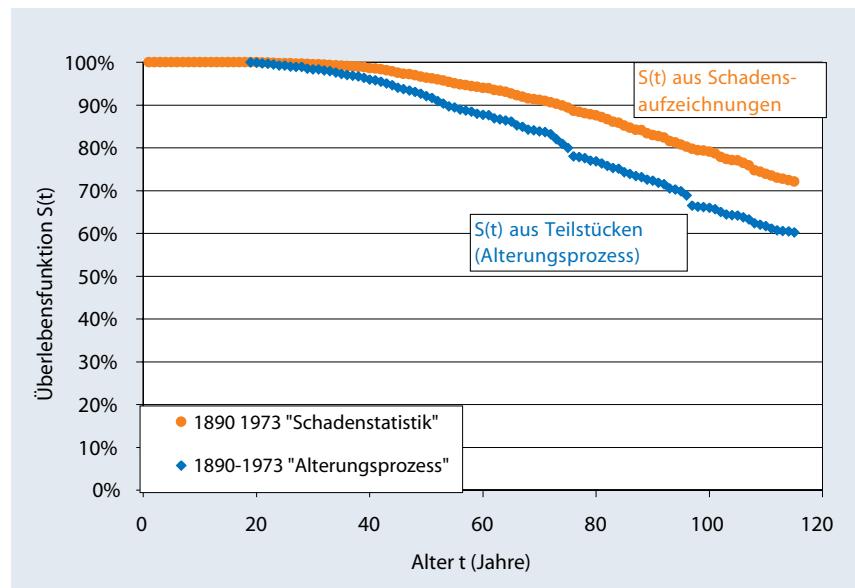


Abb. 2 Vergleich der Überlebensfunktionen berechnet anhand der Schadensaufzeichnungen und erweitert um die Berücksichtigung des Alterungsverhaltens [4]

der Schadensaufzeichnung 1974 daher nur Schadensaufzeichnungen einer Zeitspanne von 33 Jahren vor. Was in den ersten 100 „Lebensjahren“ geschehen ist, ist unbekannt. Wendet man nun Alterungsmodelle an, ohne die Tatsache zu berücksichtigen, dass nur von einer kurzen Periode Ausfälle aufgezeichnet wurden, so zeigt sich, dass die Überlebensfunktion einen flachen Verlauf annehmen wird, da hier entsprechende Anfangsschäden nicht berücksichtigt werden können, da die Information fehlt.

Wenn bekannt ist, dass sich über einen bestimmten Zeitraum Materialeigenschaften bei der Herstellung von Rohrleitungen nur geringfügig verändert haben und der Alterungsprozess bei den Rohrleitungen deshalb ähnlich voranschreiten sollte, lässt sich die Alterungsfunktion dieser Leitungen auch aus Teilstücken zusammensetzen. Das heißt, aus zeitlich beschränkten Informationen lassen sich vollständige Alterungsfunktionen zusammensetzen [4].

In Abbildung 1 ist ein Vergleich der Überlebensfunktionen der beiden Berechnungsmethoden dargestellt. Jene aus Teilschritten zusammengefügte Überlebensfunktion weist geringere Werte für die Überlebensfunktion aus. Somit überleben beispielsweise bei den 80-jährigen Leitungen in diesem Bei-

spiel bis zu 10 Prozent weniger Leitungen als bei der Berechnung unter der Annahme, dass erst ab 1974 Schäden aufgetreten sind. Nach Varetza [5] sind jedoch schon vor 1974 mehrere Schäden an Trinkwasserleitungen in Graz aufgetreten, die Schadensstatistik wird aber erst seit 1974 in Graz geführt.

Somit kann man festhalten, dass der Verlauf der Überlebensfunktion und daraus abgeleitet die Ausfallrate für die Betrachtung des Erstschatdens nach bisherigen Berechnungsmethoden zu geringe Ausfälle beschreibt (Abb. 2). Unter der Berücksichtigung des Alterungsprozesses der Materialien lässt sich wie hier beschrieben, der Ausfallsprozess besser beschreiben. Die Methodik der Berechnung stützt sich nicht auf Schäden, sondern auf den Alterungsprozess des Materials. Da keine Schäden vor 1974 aufgezeichnet wurden, kann auch dieser Verlauf nicht exakt der Realität entsprechen, die Aussagekraft dieses Verlaufs und somit die Zuverlässigkeit der Aussage ist aber aus der Sicht des Autors größer.

Betrachtung von Folgeschäden

Gangl et al. [6] beschreiben ein Modell für die mittelfristige Budgetplanung, welches strangbezogen die Abfolge von Folgeschäden beschreibt. Wenn man davon ausgeht, dass der aufgetretene Folgeschaden aufgrund des Alterungsverhaltens des Rohres aufgetreten ist,

und man zukünftig mit einem Anstieg der Schadensrate zu rechnen hat, dann stellt sich die Frage, in welchem Zeitraum man mit diesem Folgeschaden zu rechnen hat. Auf Basis der bisher aufgetretenen Schäden auf Leitungssträngen, kann eine Prognose über den Zeitraum von zukünftig zu erwartenden Schäden auf diesen Strängen gemacht werden. Eine detaillierte Beschreibung der Berechnungsschritte kann in [4] nachgelesen werden. Bei der Betrachtung von Folgeschäden wird auf die Häufigkeiten der zeitlichen Verteilung von Schäden eingegangen. In Abbildung 3 ist beispielhaft dargestellt, was unter dem zeitlichen Verlauf von Folgeschäden verstanden wird. Auf einer Leitung ist der erste Schaden mit einem Alter von 40 Jahren aufgetreten, der zweite Schaden ist mit einem Alter von 53 Jahren. Somit beträgt die Zeitspanne des Folgeschadens 13 Jahre.

In der rechten Hälfte von Abbildung 3 ist die Häufigkeitsverteilung der Zeitspannen zwischen dem 1. und 2. Schaden aufgetragen. Dieser rechtschiefe Verteilung kann entnommen werden, dass in 50 Prozent der Fälle der zweite Schaden nach sechs Jahren folgt, in 80 Prozent der Fälle folgt der zweite Schaden nach 13 Jahren. Dem zeitlichen Verlauf der Folgeschäden kann eine mathematische Funktion angepasst werden, um somit eine Prognose für zukünftige Schäden je Leitungsgruppe zu geben.

Externe Kosten

Soziale Kosten sind Kosten, die durch Dritte getragen werden müssen, welche nicht direkt in den Prozess eingebunden sind, durch den diese Kosten verursacht werden. Diese Kosten in Bezug auf Versorgungsnetze sind aber insofern signifikant, da der Wert von Trinkwasser historisch stets unterbewertet wurde und sauberes Trink-

wasser als allgemeines Gut angesehen wird. Als Beispiel wird in der Australischen Wasser Rahmenreform [7] eine Vollkostenrechnung vorgeschlagen, welche soziale Kosten inkludiert [8]. Verschiedene Kostenansätze sollten daher berücksichtigt werden, wenn es um die Entscheidung einer weitergehenden Reparaturstrategie geht, oder die Leitung doch rehabilitiert werden soll.

In Österreich regelt die ÖNORM B 2533 [9] die Anordnung der Einbauten im Straßenkörper. Trinkwasserleitungen sollen gemäß dieser Norm im städtischen Bereich in der Regel in der Fahrbahn verlegt werden. Eine Reparatur oder Rehabilitation beeinflusst daher zwangsläufig den öffentlichen Verkehr, auch wenn grabenlose Techniken verwendet werden. Nach Gangl et al. [10] können die sozialen Kosten für die eintägige Sperrung eines Fahrstreifens gleich hoch angesetzt werden wie für die reine Reparatur des Schadens, die derzeit in der Kalkulation berücksichtigt werden. Das innerstädtische Verkehrsaufkommen hat zusätzlich aber auch eine saisonale Abhängigkeit mit Urlaubszeiten. In Städten wie Graz ist das Verkehrsaufkommen in den Sommermonaten geringer [4]. Studien in den USA [11] oder Neuseeland [12] zeigen ein ähnliches Bild. Daher verursacht eine geplante Erneuerung in verkehrsschwachen Monaten eine geringere Beeinflussung als eine Grabung infolge eines Rohrbruchs in verkehrsstarken Monaten. Ähnlich wie der innerstädtische Verkehr haben aber auch Schäden an Trinkwasserleitungen eine saisonale Abhängigkeit in Bezug auf das Leitungsmaterial [13]. Wenn monatliche Schadensspitzen mit Verkehrsspitzen zusammen fallen, dann wird der Einfluss hinsichtlich sozialer Kosten noch deutlicher. Für die österreichische Stadt

Graz haben die Analysen gezeigt, dass in den Monaten Mai und Juni bei Graugussleitungen die höchste Schadenswahrscheinlichkeit auftritt. Dies fällt zusätzlich noch mit Spitzen in der Verkehrsbelastung zusammen.

Einen weiteren großen Einflussfaktor auf das Schadensverhalten ist die Straßenkonstruktion oberhalb der vergrabenen Leitung. Berechnungen von Friedl [14] zeigen, dass der Straßenverkehr selbst zwar keinen Einfluss auf das Bruchverhalten der Leitung hat, die zulässigen Spannungen für Leitungen aus Asbestzement oder PVC im Zuge von Straßensanierungsarbeiten jedoch überschritten werden, wenn die Restüberdeckung bei der dynamischen Verdichtung am Unterbauplanum nur mehr 40 cm beträgt.

Einsparpotential koordinierter Baumaßnahmen

In vielen Städten in Österreich definiert der Straßenerhalter Vorgaben, in welcher Form eine Baustelle abgewickelt werden muss. Diese Vorgaben können innerhalb von Österreich deutlich unterschiedlich sein [15]. Auch hinsichtlich möglicher koordinierter Bauabwicklungen gibt es Unterschiede, die zum Teil zu einer deutlichen finanziellen Einsparung führen können.

Variante 1: gemeinsame Bauabwicklung innerhalb eines Mehrspartenunternehmens. In der Regel sind hier die Sparten Abwasserentsorgung (Kanal) aufgrund der Tiefenlage und Gas aufgrund des ähnlichen Bauverfahrens betroffen. Eine Teilung der Straßenwiederherstellungskosten oder in manchen Fällen auch eine Aufteilung der Grabungskosten bei gemeinsamer Ausschreibung sind möglich.

Variante 2: Mitverlegung von Leitungen im Zuge von Straßenbau-

Sparte	Grabungskosten			Asphaltkosten		
	Einzel	Gemeinsam	Einsparung	Einzel	Gemeinsam	Einsparung
Wasser	55,0 €	44,0 €	20%	45,0 €	31,5 €	30%
Gas	37,0 €	29,6 €	20%	37,0 €	25,9 €	30%
Strom	8,0 €	6,4 €	20%	18,0 €	12,6 €	30%

Tabelle 1 Kostenreduktion bei koordinierten Baumaßnahmen [16]

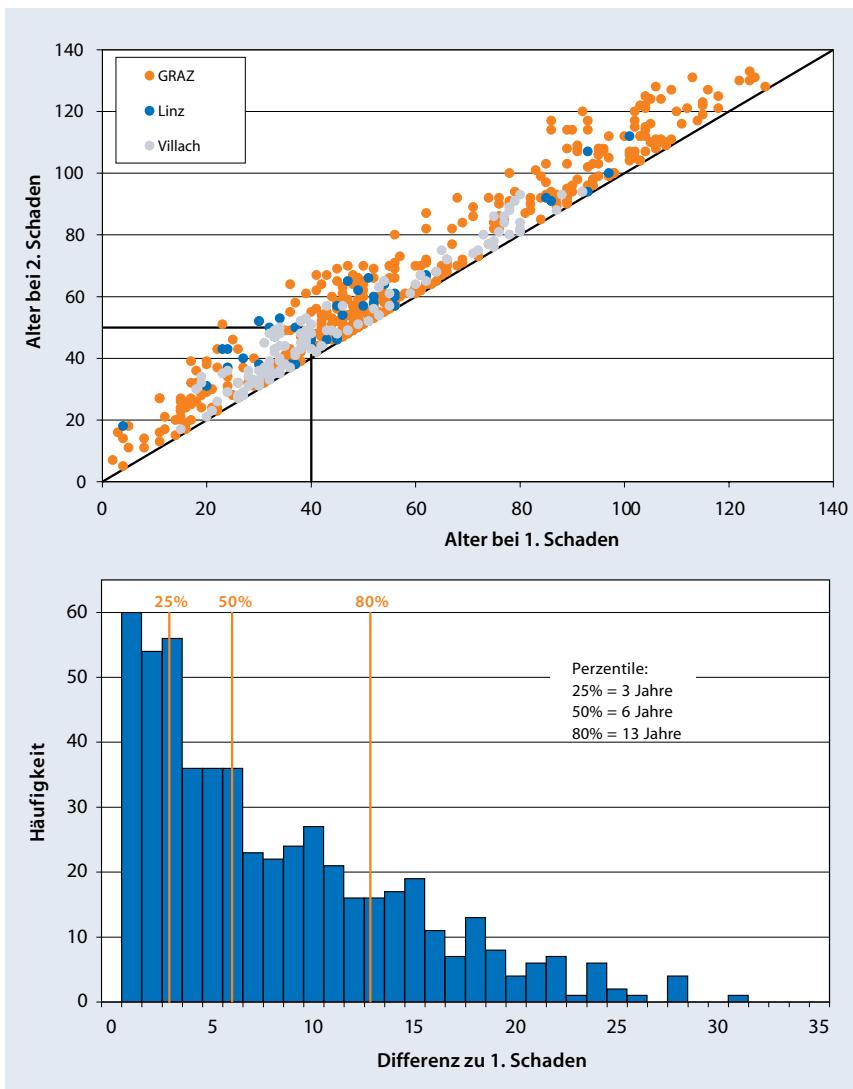


Abb. 3 Häufigkeitsverteilung der Zeitabstände des 2. Schadens nach dem 1. Schaden [6]

Vorbereitung	Meeting	Personen	Kosten	Kosten/ Meeting	Meetings	jährl. Kosten
1 Tag (8 h)	1/2 Tag (4 h)	2	70 [€/h]	1.680,0 €	6	10.080,0 €

Tabelle 2 Kosten für Koordination von geplanten Baumaßnahmen

arbeiten des Straßenerhalters. Hier besteht die Möglichkeit, je nach Umfang der geplanten Straßenbauarbeiten, dass neben den Grabungskosten zusätzlich für die Wiederherstellung der Straßenkonstruktion keine Kosten oder nur Anteile an Kosten von Seiten des WVU zu bezahlen sind.

Variante 3: Kosten für eine definitive Wiederherstellung im Rohrgrabenbereich sind an den Straßenverwalter bei einer gemeinsamen Bauabwicklung zu bezahlen, Kosten für ein Provisorium entfallen hier.

Variante 4: keine Vergünstigungen für das Versorgungsunternehmen bei gemeinsamer Bauabwicklung mit dem Straßenerhalter. Kosteneinsparung durch Kooperation mit anderen Leitungsträgern, da aufgrund der größeren Wiederherstellungsfläche der Straßenkonstruktion die definitive Straßenwiederherstellung günstiger wird.

Einen weiteren Unterschied gibt es hinsichtlich der Kosten für die Benutzung des öffentlichen Raumes. Auch hier hat sich gezeigt, dass in manchen

Städten eine zusätzliche Benutzungsgebühr für die in Anspruch genommene Fläche zu zahlen ist. Burger & Hochedlinger [16] haben das Einsparpotential koordinierter Baumaßnahmen für die österreichische Stadt Krems erhoben, wenn die Sparten Wasser, Gas und Strom gemeinsam verlegt werden können (Tab. 1). Die Koordination geplanter Baumaßnahmen der unterschiedlichen Infrastrukturunternehmer (Wasser, Gas, Abwasser, ...) wird in Österreich in der Regel durch das Straßen- oder Tiefbauamt durchgeführt und die Kosten dafür von der Gemeinde getragen. Eine Erhebung des Autors für die sieben größten österreichischen Städte hat gezeigt, dass Koordinationsbesprechungen mindestens viermal und maximal neunmal jährlich stattfinden. Die Kosten für eine Besprechung können mit 1.680 Euro angesetzt werden. Für im Mittel sechs Koordinationsbesprechungen sind daher Kosten von 10.000 Euro anzusetzen (Tab. 2). Die Anzahl geplanter Baustellen hängt sehr stark vom Zustand des Versorgungsnetzes und der Rehabilitationsstrategie zusammen. Als Kennzahl können im Mittel drei geplante Baumaßnahmen per 100 km angesetzt werden. Für eine Netzlänge von 500 km können daher umgelegt pro Baustelle 670 Euro angesetzt werden.

Anwendung in der Praxis

Mit Hilfe des Erstschadensmodells lässt sich eine Größenordnung angeben, mit welcher Häufigkeit von Erstsäden das Wasserversorgungsunternehmen zu rechnen hat. Eine Prognose, welche Leitung im Detail ausfallen wird, kann jedoch nicht getroffen werden. Für die Materialgruppe GG DN 100 mit Baujahr ab 1890 wurde bei einem ►

CTU

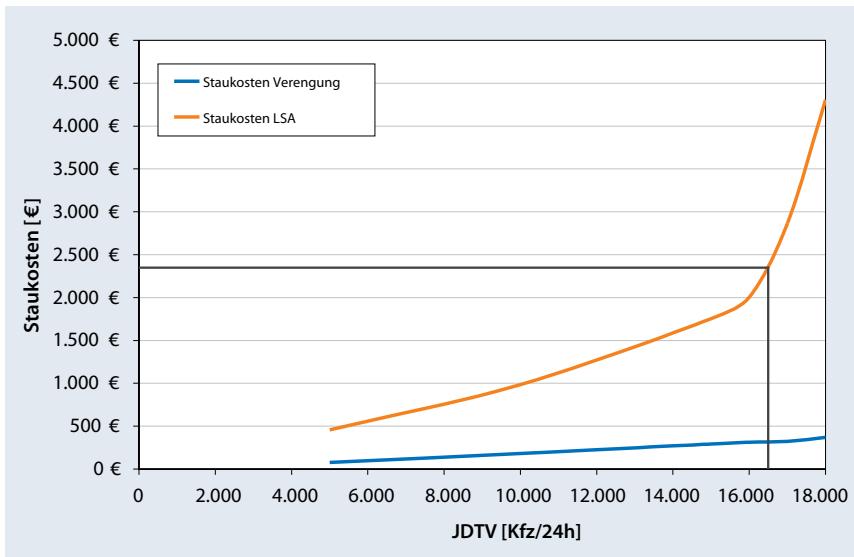


Abb. 4 Staukosten aufgrund Verkehrsbeeinflussung einer Baumaßnahme [10]

Schadensfolge	2. Schaden	3. Schaden	4. Schaden	5. Schaden	6. Schaden
"50 %"	8 Jahre	5 Jahre	4 Jahre	3 Jahre	2 Jahre
"80 %"	15 Jahre	10 Jahre	8 Jahre	7 Jahre	6 Jahre

Tabelle 3 Schadensfolge für GG DN 100 in Graz mit Baujahr vor 1950 in Abhängigkeit der Eintrittswahrscheinlichkeit

österreichischen Versorger folgende Überlebensfunktion berechnet:

$$\hat{S}(t) = (e^{-(0,0076*t)^{2,983}})^{\exp(0,6)}$$

Somit kann für 75-jährige Leitungen eine jährliche Ausfallrate von 1,36 Prozent berechnet werden. Die Leitungslänge der in Betrieb befindlichen Leitungen beträgt 5.330 Meter, somit fallen im Betrachtungsjahr rund 72 Meter aus. Für die Berechnung der Schadensauswertungen wurde eine mittlere Betrachtungslänge von 200 Meter angenommen. Somit ist damit zu rechnen, dass für die derzeit 75-jährigen Leitungen innerhalb der nächsten zwei bis drei Jahre ein Schaden auftreten wird.

Reparatur oder Rehabilitation?

Wurden für einen Leitungsstrang bereits Schäden aufgezeichnet, dann stellt sich die Frage, ab welcher Schadensanzahl eine Leitung einer Rehabilitation unterzogen werden soll. Um diese Entscheidung treffen zu können, sind zum einen die zeitlichen Abstände zukünftiger Schäden auf diesem Strang notwendig. Anhand dieser Abstände

können mit entsprechenden Reparaturkosten der Vergangenheit zukünftig zu erwartende Reparaturkosten abgeschätzt werden. Zum anderen ist es notwendig, Rehabilitationskosten für diesen Leitungsstrang anzugeben, um somit einen Kostenvergleich durchzuführen.

Sind zukünftige Reparatur- und Rehabilitationskosten bekannt, kann mit Hilfe einer Kosten-Barwert-Methode ein Kostenvergleich durchgeführt werden. Übersteigen innerhalb einer definierten Betrachtungsperiode die Reparaturkosten die Rehabilitationskosten, wird eine Sanierung/Erneuerung wirtschaftlicher als eine weiterführende Reparaturstrategie. Dem angeführten Beispiel liegen Daten einer Graugussleitung GG DN 100 mit Baujahr vor 1950 zugrunde, auf der bereits drei Schäden aufgezeichnet wurden. Die Schadensfolge für diesen Leitungsstrang ist in Tabelle 3 dargestellt. Für den Kostenvergleich werden Reparaturkosten von 4.500 Euro je Schaden und Rehabilitationskosten von 187 Euro je Laufmeter angesetzt. Die Betrachtungslänge des Leitungsstranges

beträgt 200 Meter. Um für zukünftige Schäden mögliche Reparaturkosten ansetzen zu können, kann man die bisherigen Schadenskosten auf dem Leitungsstrang heranziehen und entsprechend aufzinsen. Nach Fuchs-Hanusch et al. [17] kann für den Baukostenindex, also der jährlichen Erhöhung der Kosten für Bauleistungen, ein Wert von 4,805 Prozent angesetzt werden. Dieser basiert auf einem Durchschnittswert, welcher im österreichweiten Abwasserbenchmarking für die Indexierung der Errichtungskosten verwendet wird. Als Barwertzinssatz werden 2,5 Prozent angesetzt. Weiters wird angenommen, dass der Erstschaten auf der erneuerten/sanierten Leitung nicht vor einem Alter von 40 Jahren auftritt.

Die Straße, in der die Leitung liegt, hat einen jährlich durchschnittlichen täglichen Verkehr von 16.500 Kfz/24 Stunden. Unter der Annahme, dass im Fall einer Reparatur die Fahrbahn für zwei Tage gesperrt und für vier Tage einseitig befahrbar ist, fallen Staukosten in der Höhe von 6.120 Euro an. Bei einer Sperre von sechs Tagen bei einer geplanten Rehabilitation sind Staukosten in der Höhe von 14.400 Euro anzusetzen. Bei einer geplanten Baumaßnahme in den Sommermonaten bei 20 Prozent weniger Verkehr reduzieren sich diese Kosten auf 8.640 Euro (Abb. 4). Bei einer koordinierten Baumaßnahme reduzieren sich die Kosten per Laufmeter ebenfalls um 20 Prozent von 187 auf 150 Euro pro Meter.

Der Kostenvergleich zeigt, dass für einen Betrachtungszeitraum von 25 Jahren und einer Eintrittswahrscheinlichkeit der Folgeschäden von 50 Prozent eine Erneuerung noch vor dem vierten Schaden wirtschaftlich wird. Innerhalb des Betrachtungszeitraums übersteigen die Reparaturkosten die Rehabilitationskosten. Für eine Folgeschadensverteilung mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 80 Prozent kommt es innerhalb des definierten Betrachtungszeitraumes von 25 Jahren nur unter der Berücksichtigung von Staukosten zu Mehrkosten der Reparaturstrategie gegenüber der Rehabilitation im Jahr 2009. Somit wäre in diesem Fall ohne externe Faktoren

Maßnahme 2009	Betrachtungsjahr	Reparatur	Reparatur		
	2034	50 %	50 % + Stau	80 %	80 % + Stau
Rehabilitation	37.500 €	115.097 €	215.891 €	25.126 €	47.626 €
Rehabilitation + Stau	51.900 €	115.097 €	215.891 €	25.126 €	47.626 €
Rehabilitation + red. Stau + Koordination	38.638 €	115.097 €	215.891 €	25.126 €	47.626 €

Tabelle 4 Kosten-Barwert-Vergleich von Reparatur und Rehabilitation für Zeitraum 25 Jahre

eine weiterführende Reparaturstrategie wirtschaftlich (Tab. 4).

Schlussfolgerung

Aufbauend auf mehrjährigen Schadensaufzeichnungen ist es möglich, Größenordnungen über die Ausfalls-wahrscheinlichkeit von Leitungen anzugeben, für die bislang noch kein Schaden aufgezeichnet wurde. Mit Hilfe des hier beschriebenen statistischen Modells für die Prognose von Erst-schäden kann über den Ansatz der schrittweisen Berechnung der Über-lebensfunktion, der Alterungsprozess der Leitungen auch zu einem Zeitpunkt berücksichtigt werden, wo noch keine Schadensaufzeichnungen geführt wurden. Somit kann für eine ganzheitliche Betrachtung des Versorgungsnetzes eine verbesserte langfristige Rehabili-tationsplanung und somit auch Bud-getplanung erstellt werden. Für die strangbezogene mittelfristige Rehabili-tationsplanung wurde weiters ein

Modell zur Prognose jener Zeitperio-den vorgestellt, in denen mit weiteren Schäden zu rechnen ist.

Mit Hilfe einer Kostenvergleichsrech-nung, also der Gegenüberstellung von Rehabilitationskosten mit dem Verlauf möglicher Folgeschäden mit unter-schiedlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten, wird dem Entscheidungsträger eine Bandbreite gegeben, innerhalb der eine für das Wasserversorgungsunter-nehmen optimale Strategie entwickelt werden kann. Der Einfluss von externen Kosten, die bisher meist nur qualitativ berücksichtigt wurden, können eben-falls monetär in den Überlegungen ein-bezogen werden. Der Einfluss auf die Entscheidung einer Rehabilitation oder weiterführenden Reparaturstrategie wurde somit deutlich hervorgehoben. Unter Einbeziehung einer größtmög-lichen Informationsdichte können so-mit die zunehmend beschränkten finanziellen Mittel für ein vorausschau-

endes Asset-Management verbessert eingesetzt und in modernen Software-produkten transparent abgebildet wer-den [18].

Literatur

Die komplette Literaturliste ist zu finden auf <http://www.fachzeitschriften-wvgw.de/index.php?id=168>

Autor:

Dr.-Ing. Gerald Gangl
RBS wave GmbH
Kronenstr. 24
70173 Stuttgart
Tel.: 0711 128-48414
Fax: 0711 289-513-08

E-Mail: g.gangl@rbs-wave.de
Internet: www.rbs-wave.de



1/3 Seite
RBS Wave