

Zustandsbewertung und Nutzungsdauerprognose einer Rohwasserleitung DN 600 aus Grauguss

Rohrleitungsanalyse ■ Das Wasserversorgungsunternehmen „Waterbedrijf Groningen“ betreibt im Onnenpolder in den Niederlanden eine Aufbereitungsanlage zur Notwasserversorgung der Provinz Groningen. Im Zuge von Erneuerungsmaßnahmen an dieser Anlage waren die zugehörigen Rohwasser-Transportleitungen DN 600 korrosionschemisch zu bewerten.

Die Transportleitungen wurden 1962 in dem für den Onnenpolder typischen Marschland in ca. 1,50 m Tiefe ohne Sandbettung o. Ä. als Parallelleitung verlegt. Der Grundwasserspiegel liegt ganzjährig nur wenige Zentimeter unter Geländeoberkante. Trotz dieser relativ ungünstigen Verlegebedingungen für metallische Leitungen in aggressivem Boden (organische Bestandteile, salzhaltig, hoher Wassergehalt) waren die Leitungen bisher unauffällig und ohne Störfälle. Dennoch war das nun erreichte Betriebsalter der Leitungen von ca. 47 Jahren Grund für den Wasserversorger, die noch zu erwartende Restnutzungsdauer abschätzen zu lassen.

Die Fa. Applus RTD wurde beauftragt, eine Bewertung der Leitungen vorzunehmen und eine Handlungsempfehlung zum weiteren, sicheren Betrieb abzugeben. Während die Applus RTD eine Bewertung der Leitung vornahm, erhielt das IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung im Unter-

auftrag die Aufgabe, die Leitungsbeurteilung durch gezielte Material- und Wassergüteanalysen zu unterstützen.

Die Untersuchungen

Die zu erwartende Restnutzungsdauer metallischer Wasserleitungen wird von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Die wesentlichen Einflussfaktoren sind

- die Verlege- und Umgebungsbedingungen (z. B. Bodenart, Verlegetiefe),
- die Belastungen (z. B. Verkehrslasten, Bodenlasten, Innendruck),
- der Korrosionsschutz (Innen- und Außenwand),
- die Werkstoffeigenschaften (z. B. Festigkeitseigenschaften, Geometrie) und
- die Wassergüteparameter hinsichtlich Innenkorrosion.

Während Verlege- und Umgebungsbedingungen sowie Belastungen noch vor Ort ohne Zugang zur Leitung erfasst bzw. abgeschätzt werden können, sind die Ermittlung von Werkstoffeigenschaften sowie die Beurteilung des Korrosions-

schutzes oftmals nur mit Aufgrabungen und Bergung von Leitungsproben möglich. Die Beurteilung der Wassergüteparameter kann mittels Auswertung der zugehörigen Analysedaten erfolgen. Für eine belastbare Abschätzung des wasserseitigen Einflusses auf das Korrosionsverhalten der Gussrohre ist es von Vorteil, einen möglichst langen Zeitraum – mindestens 10 bis 15 Jahre – zu bewerten. Durch das Wasserversorgungsunternehmen wurden IWW folgende Informationen zur Verfügung gestellt:

- Fotos der Leitungstrasse,
- sog. Probenbegleitschein mit Angaben zu Verlegetiefe, Bodenart und Grundwasserstand, Bettung, Überdeckung, Verlegejahr und Verbindungsart, Innendruck,
- Messergebnisse der Wassergüteüberwachung der letzten 35 Jahre mit Angaben zu Sauerstoff-, Nitrat-, Sulfat-, Chlorid-Gehalt, Hydrogencarbonat, pH-Wert und
- zwei Rohrleitungsproben (jeweils 1,20 m lang, unbeschädigt) (Abb. 1).



Abb. 1 Die zu untersuchenden Rohrproben (l ~ 1,20 m) wurden aus der Trinkwasser-Transportleitung herausgetrennt und zum IWW-Regionalstandort Biebesheim am Rhein versandt (Gewicht einer Leitungsprobe: 250 kg).



Abb. 2 Rohrinneinnenseite bei der augenscheinlichen Begutachtung. Eine äußere, gleichmäßige Schicht aus Korrosionsprodukten und Inkrustationen ließ sich ohne Kraftaufwand von der Rohrwand lösen. Darunter kam die graphitierte Schicht zum Vorschein.

Parameter	Einheit	Wert	Bemerkung
Bodenzone E1	–	G4	Überschüttung, $D_{pr} = \text{max. } 92\%$
Bodenzone E20	–	G4	Leitungszone und Bettung, $D_{pr} = \text{max. } 92\%$
Bodenzone E3	–	G4	anstehender Boden neben dem Rohr, $D_{pr} = \text{max. } 92\%$
Bodenzone E4	–	G4	anstehender Boden unter dem Rohr, $D_{pr} = \text{max. } 92\%$
innerer Reibungswinkel ϕ	°	20	Reibungswinkel der Leitungszone bzw. Überschüttung

Tabelle 1 Bodenparameter für rohrstatische Berechnungen nach ATV A-127

G4 = bindiger Boden mit organischen Anteilen
 D_{pr} = Verdichtungsgrad bezüglich Proctordichte

Verlege- und Umgebungsbedingungen

Die zu untersuchende Leitung ist mit ca. 1,50 m Überdeckung vollständig in Boden mit organischen Anteilen sowie relativ hohem Salz- und Wassergehalt verlegt. Daraus resultiert bedingt durch die hohe Bodenaggressivität eine hohe Korrosionsgefahr für die Außenseite der Rohrleitung. Im Falle einer Beschädigung des passiven Korrosionsschutzes (Bitumenbeschichtung) sind Korrosions- bzw. Abtragungsraten an der Rohrwand um 0,1 mm pro Jahr zu erwarten [1].

Für rohrstatische Berechnungen nach dem Arbeitsblatt 127 der Abwassertechnischen Vereinigung e.V. (ATV A-127) werden bodenmechanische Parameter der Bettung und des umgebenden Bodens benötigt (Bodenzonen) [2]. Diese Parameter wurden im Rahmen der Untersuchungen anhand der übermittelten Informationen abgeschätzt und sind in **Tabelle 1** aufgelistet.

Belastungen

Die Leitung ist auf unbebautem und für gewöhnlich unbefahrenem Gelände verlegt, sodass als reguläre Mindestverkehrsbelastung gemäß ATV-A 127 Fahrzeuge mit 12 to Gesamtgewicht angenommen werden können. Bodenlasten ergeben sich aus der abgeschätzten Bodenart (Klei, Torf, Ton mit org. Anteilen) und wurden für gesättigten Boden mit einer Wichte zwischen 14 und 21 kN/m^3 angenommen (ungünstigere Werte maßgebend). Der maximale Betriebsdruck wurde vom Wasserversorgungsunternehmen für die untersuchte Leitung/Anlage mit 3 bar angegeben. Größere Druckschwankungen oder Druckstöße treten nicht auf.

Korrosionsschutz

Die vom Versorgungsunternehmen gelieferten Rohrproben der zu untersuchenden Leitung wurden einer ersten augenscheinlichen Begutachtung unterzogen und die Qualität des Korrosionsschutzes (passiver Korrosions-

schutz) untersucht. Die Qualität des Korrosionsschutzes wird hauptsächlich nach der Art (z. B. bituminös) und durch die Kriterien „Haftung“ (lose – fest) bzw. „Bedeckungsgrad“ (fehlt – vollflächig) beurteilt.

An den bezüglich des Korrosionsschutzes der Innenoberfläche zu untersuchenden Proben konnte nach Entfernung der vollflächigen Deckschicht (Inkrustierungen, Ablagerungen) keine Bitumenschicht (ursprünglich als innerer Korrosionsschutz appliziert) vorgefunden werden. An der Rohrinneinnenseite waren Korrosionserscheinungen in Form von flächiger und muldenförmiger Graphitierung festzustellen (**Abb. 2**). Unter „Graphitierung“ bzw. „Spongiose“ versteht man eine spezielle selektive Korrosionsart des Gusseisens, bei der infolge mangelhafter Ausbildung einer schützenden Deckschicht aus Eisenkorrosionsprodukten die metallische Matrix des Werkstoffes (Ferrit und Perlit) herausgelöst wird. Graphit und die anderen Phasen bleiben als mehr oder minder festes poröses Gerüst zurück, sodass die ursprüngliche Form des Rohres weitgehend erhalten bleibt. Das Ausmaß des Korrosionsangriffs an der Rohrinneinnenseite wurde messtechnisch erfasst und die Messwerte für weitere Berechnungen zur Ermittlung des Leitungszustands herangezogen (**Tab. 2, Abb. 3**). ▶

Verteilerschacht aus PE



VERSCHLIESSBARER DECKEL
 - Rund $\text{Ø } 1000 \text{ mm}$
 - Höhe 1200 mm
 - für 2-8 fach Verteiler

Tel.: 07024/929242
 Fax: 07024/929244
 Neuffenstraße 78
 D 73240 Wendlingen
 www.m-colshorn.de



An der Rohraußenoberfläche war der Korrosionsschutz in Form einer ca. 5 mm dicken Bitumenbeschichtung augenscheinlich völlig intakt. Dies konnte im Verlaufe der Untersuchung bestätigt werden, da an der Rohraußenwand nach intensiver Reinigung (Sandstrahlen) nahezu keine Korrosionsangriffe oder sonstige Verletzungen der Rohroberfläche detektiert wurden (Abb. 4).

Werkstoffeigenschaften

Zur Charakterisierung und Berechnung der Tragfähigkeit der Leitung wurden metallographische und statische Untersuchungen an Teilen der Rohrprobe durchgeführt. Der Abnutzungsvorrat sowie die Restnutzungsdauer können abgeleitet bzw. prognostiziert werden, sofern Tragfähigkeit, Korrosionsraten und Belastungen der Leitung bekannt sind [3]. Von der Rohrprobe wurde ein entsprechender Metallschliff angefertigt und das Metallgefüge mikroskopisch erfasst. Die mikroskopischen Betrachtungen zeigten die für Grauguss typischen Graphitlamellen in feiner Anordnung. Daraus konnte geschlossen werden, dass es sich bei der untersuchten Leitung um geschleuderten Grauguss handelt. Die Fliehkräfte, welche bedingt durch die Rotation der flüssigen Metallmasse beim Schleudergießen auftreten, führen zu einer Verdichtung und feineren Ausbildung der Graphitlamellen, während die noch flüssige Metallmasse langsam erstarrt. Schleudergussrohre aus Grauguss mit Lamellengraphit wurden hauptsächlich zwischen 1926 und 1965 produziert [3]. Die Angabe des Verlegejahres der untersuchten Leitung von 1962 scheint somit plausibel. Relevante Festigkeitsparameter von Graugussleitungen zur Berechnung der Tragfähigkeit sind die Zugfestigkeit sowie der Elastizitätsmodul. Beide Parameter wurden entsprechend den Vorgaben nach DIN EN 10002-1 (Zugversuche) and DIN 50125 (Probenform) ermittelt. In Tabelle 3 sind die zugehörigen Werte aufgelistet.

Mittels der Algorithmen der ATV-A 127 (Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen) und unter Berücksichtigung der zugehörigen Belastungsbedingungen bzw. Festigkeits-

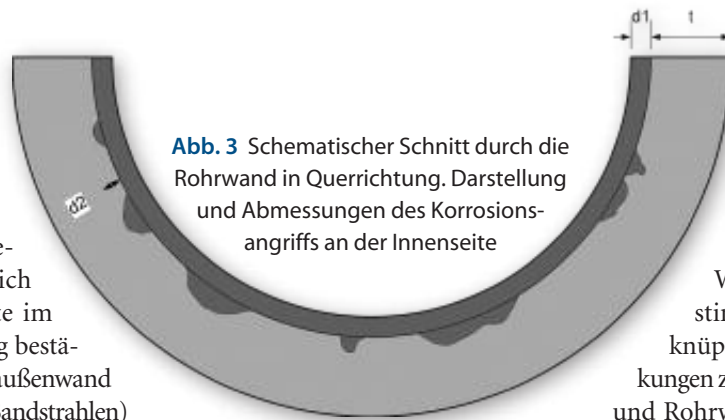


Abb. 3 Schematischer Schnitt durch die Rohrwand in Querrichtung. Darstellung und Abmessungen des Korrosionsangriffs an der Innenseite

eigenschaften wurde errechnet, dass die Rohrleitung bis zu einer gleichmäßigen Wanddicke von 9,1 mm eine noch ausreichende Tragfähigkeit besitzt (sog. Mindestwanddicke). Aus der Differenz zwischen empirischer Restwanddicke (10 mm) und Mindestwanddicke (9,1 mm) ergibt sich ein sehr geringer Abnutzungsvorrat von 0,9 mm.

Wassergüteparameter

Bei deckschichtbildenden Werkstoffen, wie z. B. Gusseisen, ist die Güte der

sich aufgrund der Korrosionsreaktion ausbildenden Deckschicht aus Eisenkorrosionsprodukten und Wasserinhaltsstoffen an bestimmte Voraussetzungen geknüpft, die durch die Wechselwirkungen zwischen Wasserinhaltsstoffen und Rohrwerkstoff und den Betriebsbedingungen bestimmt werden [4]. Die während der Untersuchung vorgefundene Schädigung (Graphitierung) an der Innenseite der Leitungsprobe erforderte daher die nähere Prüfung der Güteparameter des durchfließenden Rohrwassers sowie der zugehörigen hydraulischen Betriebsbedingungen (z. B. Fließgeschwindigkeit).

Vom Wasserversorgungsunternehmen wurden Analysendaten des Wassers für den Zeitraum 1975 bis 2008 (d. h. insgesamt 35 Jahre) zur Verfügung gestellt. Die korrosionsrelevanten Parameter



Abb. 4 Metallisch blank gesandstrahlte Rohraußenseite; kein signifikanter Korrosionsangriff erkennbar

Parameter	Wert	Einheit
Rohrinnendurchmesser	596,8	mm
ursprüngliche Wanddicke (d1+t)	16.1	mm
Dicke der gleichmäßig korrodierten Schicht (d1)	2.5	mm
Wanddicke ohne graphitierte Schicht (t)	13.6	mm
Tiefe der muldenförmigen Graphitierung (d2)	4.5	mm
Durchmesser der muldenförmigen Graphitierungsstellen	18	mm
Anteil muldenförmiger Graphitierung an der Rohr-Innenoberfläche	~ 60	%
gemittelte Wanddicke unter Berücksichtigung der Graphitierungen (sog. empirische Restwanddicke RWD)	10,0	mm

Tabelle 2 Messwerte zu Rohrgeometrie und Korrosionsausmaß

wurden vom IWW auf Basis von DIN EN 12502-5 ausgewertet und ihr Einfluss auf das Korrosionsverhalten des Gusswerkstoffes unter besonderer Berücksichtigung der Korrosionsart Graphitierung bewertet [5]. Als Leitparameter wurden

- der Sauerstoffgehalt,
- der pH-Wert,
- der Hydrogencarbonatgehalt (Puffersystem) sowie
- der Korrosionsindex S_1 (Anionenquotient)

$$S_1 = \frac{Cl^- + 2(SO_4^{2-}) + NO_3^-}{HCO_3^-}$$

ausgewählt. Die grafische Darstellung der Parameter zeigte, dass die genannten Wasserparameter bzw. Kenndaten über die Betriebszeit der Leitung nur unwesentlich schwankten. Beispielhaft werden in **Abbildung 5** der Verlauf des Hydrogencarbonatgehaltes des Wassers und in **Abbildung 6** der Korrosionsindex S_1 dargestellt. Im System Guss-eisen/sauerstoffhaltiges Wasser kann

Parameter	Einheit	Wert 1	Wert 2	Wert 3	Wert 4	Wert 5	Wert 6	Median
Zugfestigkeit	MPa	237	241	234	196	226	226	227
E-Modul	GPa	65.0	90.0	70.0	62.5	60.0	50.0	63.8

Tabelle 3 Ergebnisse der Zugversuche

der Korrosionsindex S_1 zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit hinsichtlich ungleichmäßiger Korrosion bzw. Lokalkorrosion (z. B. Muldenkorrosion, Lochkorrosion) herangezogen werden und gilt im Allgemeinen als Maß für die Bewertung des Rostwasserbildungspotenzials („instationäre Korrosion“). Die Korrosionswahrscheinlichkeit steigt mit zunehmendem Neutralsalzgehalt (Chlorid-, Sulfat-, Nitrat-Ionen), da diese Anionen nicht in der Lage sind, die in einem Korrosionsloch gebildete Säure zu puffern. Die Korrosionswahrscheinlichkeit sinkt bei steigenden Hydrogencarbonatgehalten, da die Hydrogencarbonat-Ionen Teil eines Puffersystems sind, welches in der Lage ist, die durch Hydrolyse von Eisen-Ionen innerhalb eines Loches gebildeten Säuren zu neutralisieren. Aufgrund von

Messergebnissen aus Testanlagen lässt sich in Abhängigkeit weiterer Einflussfaktoren, wie Betriebsbedingungen, ein diskreter Bereich festlegen, innerhalb dessen die Eisenabgaberate sprunghaft ansteigt [4]. Dieser Bereich liegt bei S_1 -Werten zwischen 0,7 bis 1. Bei Werten oberhalb von $S_1 = 1$ ist von einer deutlichen Zunahme der Korrosionswahrscheinlichkeit auszugehen. Äußeres Kennzeichen ist das Aufwachsen von Korrosionspusteln, unter denen der Werkstoff muldenförmig angegriffen ist. Bei den analysierten Wassergüteparametern lag der Korrosionsindex bei Werten unterhalb von 0,5. Unter diesen Bedingungen ist nicht mit einer signifikanten Stabilisierung lokaler Korrosionsprozesse, die zu Mulden und zur Ausbildung von Pusteln führen, zu rechnen. ▶



6th Pipeline Technology Conference 2011

4.-5. April 2011, HANNOVER MESSE, Hannover






www.pipeline-conference.com



















Das optische Erscheinungsbild der Innenoberfläche des Rohres und die Struktur der Eisendeckschicht bestätigte die Einschätzung des wasserseitigen Einflusses auf die Deckschichtbildung. Während der Untersuchung der Rohrproben zeigte sich, dass der wasserseitige Teil der Deckschicht aus Eisenkorrosionsprodukten und Wasserinhaltsstoffen der Rohr-Innenoberfläche, welche direkten Kontakt zum Rohwasser hatte, unter Berücksichtigung der langen Betriebszeit vergleichsweise dünn war und keine dickschichtigen Inkrustationen vorzufinden waren. Aufgrund der Morphologie der Deckschicht ist aber auch davon auszugehen, dass diese wenig bis keine schützenden Eigenschaften aufweist.

Ausschlaggebend für die Beurteilung des Korrosionsverhaltens des Gusswerkstoffes bei Kontakt mit dem Rohwasser ist in diesem Fall der sehr niedrige Sauerstoffgehalt des Rohwassers, der über den betrachteten Untersuchungszeitraum bei maximal 0,5 mg/l O₂ lag. Unter diesen Bedingungen ist nicht mit der Bildung schützender Eisendeckschichten zu rechnen, da die in Lösung gehenden bzw. leichtlöslichen zweiwertigen Eisen-Ionen nicht zu dreiwertigen Eisen-Ionen (dem Hauptbestandteil des „Rostes“) weiter oxidiert werden können und damit die Bildung einer kompakten Deckschicht verhindert wird. Die Spongiose schreitet in derartigen Fällen dann weitgehend ungehindert und rasch in die Tiefe fort.

Technische Restnutzungsdauer und Ausfallszenarien

Im statistischen Mittel erreichen geschleuderte Graugussrohre mit Verlegejahr 1962 eine Nutzungsdauer von ca. 59 Jahren (Annahme: Herstellungsprozess sowie Werkstoffeigenschaften annähernd gleich) [3]. Da jedoch Verlege- und Betriebsbedingungen und somit die zustandsbeeinflussenden Faktoren sich je Leitungsabschnitt erheblich unterscheiden können, existieren entsprechende Streubreiten bzw. Unsicherheiten bezüglich einer zu erwartenden Nutzungsdauer. Mittels der Ergebnisse der Leitungsbeprobung kann punktuell geprüft werden, ob die vorgefundene Leitung denjenigen Verschleißgrad aufzeigt, welcher statistisch

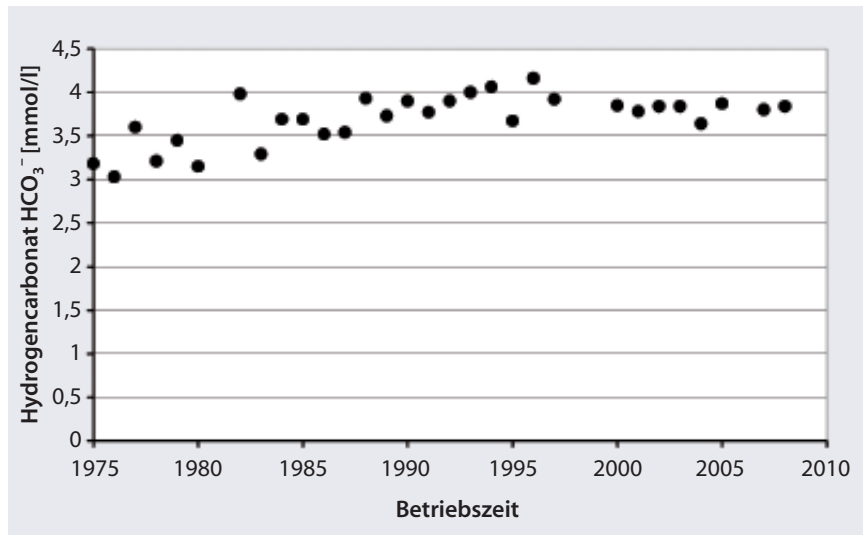


Abb. 5 Hydrogencarbonat-Konzentration während der letzten 35 Betriebsjahre

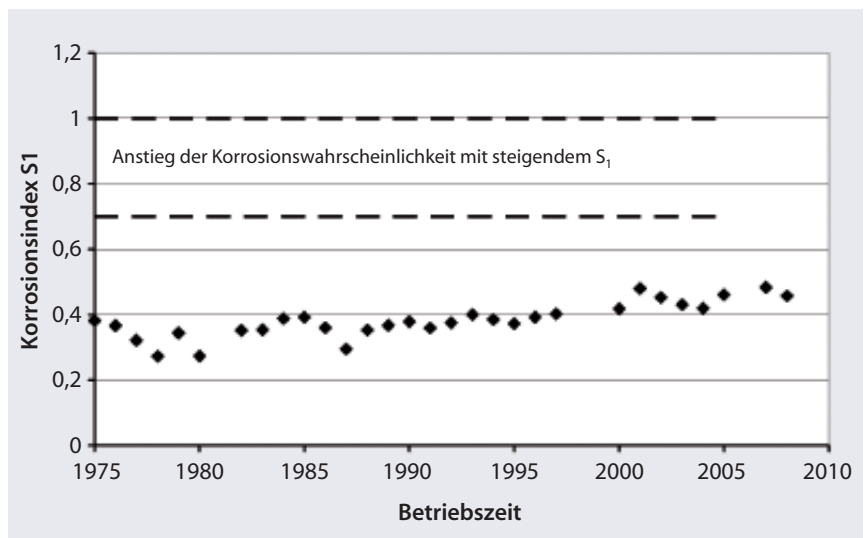


Abb. 6 Korrosionsindex S₁ während der letzten 35 Betriebsjahre

gesehen theoretisch zu erwarten wäre (Annahme: gleichförmiger Verschleiß = gleichförmige Zustandsverschlechterung der Leitung).

Anhand der Untersuchungsergebnisse und des ermittelten Abnutzungsvorrats von 0,9 mm konnte eine sehr geringe technische Restnutzungsdauer von ca. acht Jahren abgeleitet werden. Das bedeutet, dass der Rohrwerkstoff aufgrund voranschreitender Korrosions- und Abtragungsprozesse in ungefähr acht Jahren soweit geschwächt wird, dass er den physikalischen Belastungen aus Verkehr, Boden bzw. Innendruck nicht mehr standhält und die Tragfähigkeit bzw. Gebrauchstauglichkeit überschritten wird (bis zum Totalversagen der Leitung). Aus den Untersuchungs-

ergebnissen ging hervor, dass der Korrosions- und Abtragungsprozess hauptsächlich an der Rohr-Innenoberfläche voranschreitet. Mittels bestimmter Sanierungsmaßnahmen wie die Auskleidung mit Zementmörtel (ZMA) oder dem Einziehen von Gewebeslauchlinern kann dieser Korrosionsprozess an der Innenseite nahezu vollständig unterbunden werden. Wie sich diese Sanierungsmaßnahmen wiederum auf die Restnutzungsdauer auswirken, wurde mittels nachfolgend beschriebener Fallbetrachtungen untersucht.

Begrenzung der Nutzungsdauer durch einen maximal zulässigen Lochkorrosions-Durchmesser

Durch die genannten Sanierungsmaßnahmen ist es möglich, Lochkorrosions-

stellen bis zu einem bestimmten Öffnungsdurchmesser in Abhängigkeit des Innendrucks zu überdecken. Für die untersuchte Leitung wäre ein zulässiger Lochkorrosions-Durchmesser von bis zu 28 mm möglich gewesen (bei einem Innendruck von 2-3 bar) [6]. Eine Zustandsverschlechterung durch Materialabtrag (Korrosion) wäre im Allgemeinen dann nur im Falle der Beschädigung der äußeren Korrosionsschutzschicht möglich. Bei aggressiven Böden kann hier eine Abtragsrate für Lochkorrosion von ca. 0,1 mm pro Jahr angenommen werden [1, 7].

Gleichung 2 beschreibt die maximale Abtragsrate bei Lochkorrosion.

$$DM_{lim} = DM + (2 \cdot \omega \cdot p)$$

mit

DM_{lim} = 28 mm (max. zulässiger Durchmesser einer Lochkorrosionsstelle)

DM = 5 mm (maximaler Durchmesser der vorgefundenen Lochkorrosionsstellen)

ω = 0,1 mm pro Jahr (maximale Abtragsrate bei aggressiven Böden)

p = Betrachtungszeitraum (entspricht der gesuchten Restnutzungsdauer)

Durch Umstellung von Gleichung 2 ergibt sich eine Restnutzungsdauer von 115 Jahren.

Begrenzung der Nutzungsdauer durch übermäßige Lochkorrosion

Übermäßige Lochkorrosion (eine unverhältnismäßig hohe Anzahl von Lochkorrosionsstellen auf einem relativ kurzen Leitungsstück) kann neben erhöhten Wasserverlusten ebenfalls zur Beeinträchtigung der Tragfähigkeit und somit zum Versagen der Leitung führen.

Es wurde eine Mindestwanddicke von $t_{min} = 9,1$ mm errechnet und dadurch die zulässige empirische Restwanddicke ebenfalls auf $RWD = 9,1$ mm limitiert.

$$RWD = t_{ave} - \left(\frac{d_2}{t_{ave}} \cdot DM \cdot \frac{CC}{100} \right)$$

mit

t_{ave} = 10 mm (vorhandene mittlere Wanddicke der Leitung)

d_2 = gesuchte maximal zulässige Korrosionstiefe

DM = 5 mm (maximal vorhandener Durchmesser äußerer Korrosion)

CC = 50 % (maximal zulässiger Anteil an korrodierter Rohroberfläche)

Durch Umstellung von Gleichung 3 errechnet sich eine maximal zulässige Korrosionstiefe (Rohraußenseite) von 3,6 mm. Unter Annahme einer Abtragsrate von 0,1 mm pro Jahr ergibt sich eine technische Restnutzungsdauer von ca. 36 Jahren.

Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

Ohne kurzfristige Reaktion auf den stark fortgeschrittenen Korrosionsprozess an der Rohrinneinnenseite (Graphitierung), z. B. durch Auskleidung, beträgt die technische Restnutzungsdauer ca. acht Jahre. Nach diesem Zeitraum erhöht sich das Risiko für Schäden (Perforierungen, Risse, Brüche) unverhältnismäßig stark. Eine Sanierung der Leitung mittels Auskleidung bzw. Einzug eines Liners könnte den Fortschritt des Korrosionsprozesses stark verzögern. Unter Annahme, dass die Leitung in diesem Falle nur noch bei Beschädigung der äußeren Schutzschicht korrodiert, wurde eine technische Nutzungsdauer von 36 Jahren errechnet. Die Restnutzungsdauer könnte demnach durch eine

sofortige Sanierung (Zeithorizont ein Jahr) um 28 Jahre verlängert werden. Es wäre vorteilhaft, für diesen untersuchten Fall verschiedene passende Sanierungs- und Erneuerungsmaßnahmen bezüglich ihrer zugehörigen Nutzungsdauer(-verlängerung) und ihrer Projektkostenbarwerte zu vergleichen, um die ökonomisch und technisch optimale Rehabilitationsmaßnahmen auszuwählen.

Literatur

- [1] Böhm, A. (1993): *Betrieb, Instandhaltung und Erneuerung des Wasserrohrnetzes*. Schriftenreihe Wasserversorgungs- und Abwassertechnik, Vulkan-Verlag, Essen
- [2] ATV-DWK A 127 (2000): *Statische Berechnung von Abwasserkanälen und Leitungen*
- [3] Sorge, H.-C. (2007): *Technische Zustandsbewertung metallischer Wasserversorgungsleitungen als Beitrag zur Rehabilitationsplanung*; Diss. Erfurt/Weimar
- [4] Becker, A., Patzelt, T. & Overath, H. (1998): *Durchführung von Versuchen zur Klärung des Einflusses einer Senkung der Gesamthärte und Karbonathärte auf Rohre aus metallischen und asbestzementhaltigen Werkstoffen*. Mülheim an der Ruhr: Berichte aus dem IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH, Band 12, 47-89
- [5] EN 12502 (2005): *Protection of metallic materials against corrosion. Guidance on the assessment of corrosion likelihood in water distribution and storage systems. Part 5: Influencing factors for cast iron, unalloyed and low alloyed steels*
- [6] Röder, W. (1978): *Beitrag zum Tragverhalten erdverlegter zementmörtelausgeschleuderter Stahl- und Gussleitungen und zum Grünstand der eingeschleuderten Zementmörtelschichten*, Diss. Leipzig 1978.
- [7] DIN 50929-3 (1985): *Korrosion der Metalle. Teil 3: Korrosionswahrscheinlichkeit metallischer Werkstoffe bei äußerer Korrosionsbelastung, Rohrleitungen und Bauteile in Böden und Wässern*

Abbildungen: IWW (2010)

Autoren:

Dr.-Ing. Hans-Christian Sorge
IWW Zentrum Wasser
Regionalstandort Rhein-Main
Justus-von-Liebig-Str. 10
64584 Biebesheim am Rhein
Tel.: 069 25490-8020
Fax: 069 25490-8009
E-Mail: c.sorge@iww-online.de
Internet: www.iww-online.de

Dr.-Ing. Angelika Becker
IWW Zentrum Wasser
Moritzstr. 26
45476 Mülheim an der Ruhr
Tel.: 0208 40303 260
Fax: 0208 40303 82
E-Mail: a.becker@iww-online.de
Internet: www.iww-online.de

Dipl.-Ing. (FH) Tim Krüger
Applus RTD Deutschland
Inspektionsgesellschaft mbH
Industriestr. 34b
44894 Bochum
Tel.: 0234 927-9821
Fax: 0234 927-9827
E-Mail: tim.krueger@applusrtd.com
Internet: www.applusrtd.com

