

# METALLISCHE TRINKWASSERLEITUNGEN

## MATERIALTECHNISCHE ZUSTANDBEWERTUNG

Erdverlegte metallische Trinkwasserleitungen unterliegen im Laufe ihrer Betriebsdauer einer Vielzahl an unterschiedlichen Belastungen, die je nach Intensität für eine längere oder verkürzte Lebensdauer der Rohrleitung verantwortlich sind.

Aufgrund des komplexen Zusammenspiels der einzelnen Einflussfaktoren gestaltet sich eine genaue Prognose der Restnutzungsdauer anhand statistischer Methoden oftmals als sehr schwierig. Zur Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit führt daher das IWW Rheinisch-Westfälische Institut für Wasser ein speziell entwickeltes Verfahren zur Zustandsbewertung einzelner Rohrleitungsabschnitte durch.

*Hans-Christian Sorge\*, IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser*

### RÉSUMÉ

#### ÉVALUATION DE L'ÉTAT MATÉRIEL DE CONDUITES MÉTALLIQUES D'EAU POTABLE

Les conduites métalliques d'eau potable souterraines sont tout au long de leur vie d'exploitation soumises à une multitude de contraintes diverses et variées qui ont selon leur intensité un impact sur la durée de vie de la conduite.

Face à la pression croissante des coûts, de nombreuses sociétés d'approvisionnement d'eau recherchent des possibilités d'économies dans le réseau parallèlement au maintien d'une haute qualité d'approvisionnement et d'une longue durée des infrastructures. Les réductions des budgets nécessitent de nouvelles stratégies, notamment concernant la maintenance des conduites d'eau potable. Le choix des mesures d'entretien appropriées et économiques dépend de l'état des conduites et de leur durée d'exploitation résiduelle prévisible. Pour cela, une série d'approches stratégiques, d'outils et de procédés ont été développés et mis en pratique ces dernières années. Ainsi des contrôles du matériel permettent de déterminer les grandeurs caractéristiques nécessaires qui permettent une évaluation fiable de l'état technique de la conduite et un pronostic de la durée d'exploitation technique résiduelle.

### REHABILITATION UND NETZZUSTAND

Zur Gewährleistung einer nachhaltigen Trinkwasserversorgung (Menge, Druck, Qualität, Kosten) fordern die einschlägigen Regelwerke u. a. einen ordnungsgemässen Zustand der Wasserverteilungsanlagen. Die hierzu notwendige Erfassung und Bewertung des Zustands der Anlagen sollte sich an der Bestimmung von Schadensraten, Wasserverlusten, Ausfallrisiko und zugehörigen Betriebs- und Instandhaltungskosten unter Beachtung der hydraulischen Leistungsfähigkeit orientieren [1]. Eine weitere wichtige Bewertungsgrösse ist die technische Nutzungsdauer bzw. Restnutzungsdauer der Leitung. Mit Hilfe dieser Bewertungsgrössen können die künftige Entwicklung des Netzzustands gut eingeschätzt, ggf. auch geeignete Massnahmen zu Erhalt/Wiederherstellung/Verbesserung des Netzzustandes ausgewählt werden. Insbesondere für metallische Rohrleitungen hat sich die materialtechnische Zustandserfassung und -bewertung zur Prognose der technischen Restnutzungsdauer als geeignete Methode zur Auswahl nachhaltiger Erneuerungs- und Sanierungsmassnahmen herausgestellt.

\* Kontakt: [c.sorge@iww-online.de](mailto:c.sorge@iww-online.de)

## KONZEPT DER ZUSTANDBEWERTUNG

Hauptergebnis der materialtechnischen Zustandsbewertung ist die Prognose der zustandsorientierten technischen Nutzungsdauer für Rohrleitungsabschnitte unter Berücksichtigung der tatsächlich noch vorhandenen Rohrleitungssubstanz. Das dazu erforderliche Konzept unterteilt sich in die messtechnische Erfassung des Ist-Zustands der Rohrsubstanz und die anschließende Bewertung [2]. Ziel der Zustandserfassung ist die Sammlung bzw. Messung von relevanten Informationen zum technischen Zustand. Hierzu gehören vor allem:

- Berücksichtigung der vorhandenen Verlege- und Betriebsbedingungen (z. B. Boden, Bettung, Belastung, Innendruck)
- Berücksichtigung der tatsächlichen Festigkeitseigenschaften des Rohrwerkstoffs (z. B. Zugfestigkeit)
- Messung der quantitativen Schädigung der Rohrwand und des Korrosionsschutzes (z. B. Ausmass und Anzahl von Korrosionsstellen)

Anhand dieser Informationen werden durch die anschließende Zustandsbewertung folgende technische Kenngrößen berechnet:

- Schädigungsgrad für Rohr und passiven Korrosionsschutz
- tragfähige Mindestwanddicke der Leitung
- statische Resttragfähigkeit der Leitung

Im weiteren Verlauf der Zustandsbewertung werden daraus die für Rehabilitationsplanungen überaus wichtigen Ergebnisse ermittelt wie:

- technische Restnutzungsdauer bzw. Zeitraum bis zum physischen Ende einer Leitung (Bruch, Instabilität, erhöhte Wasserverluste)
- Sanierungsfähigkeit der Leitung für eine Innenauskleidung oder einen Gewebeslauchliner (Altrohr muss ausreichend tragfähig sein)
- Nutzungsdauerverlängerung bei Sanierung

## ZUSTANDSERFASSUNG AN ROHRPROBEN

Der technische Zustand erdverlegter metallischer Rohrleitungen und damit verbunden die technische Nutzungsdauer werden von einer Vielzahl an Faktoren in unterschiedlichem Masse beeinflusst (Fig. 1). Diese Faktoren sind teilweise nur unzureichend oder gar nicht aus Bestandsdaten oder üblichen Schadensstatistiken abzuleiten (z. B. Festigkeitseigenschaften der Leitung). Im Rahmen der Zustandserfassung können genau die Informationen ermittelt werden, die zur Ableitung der entsprechenden Faktoren notwendig sind (z. B. Festigkeitseigenschaften durch Zugversuche).

Die Zustandserfassung erfolgt an Rohrproben, die aus dem Leitungsnetz herausgetrennt wurden. Reparaturen und Aufgra-



Fig. 1 Einflussfaktoren auf Zustand und Nutzungsdauer einer Trinkwasserleitung

Facteurs d'influence sur l'état et la durée d'exploitation d'une conduite d'eau potable

bungen finden am Leitungsnetz oftmals häufiger statt, als es dem Versorgungsunternehmen lieb ist. Doch genau dann bietet sich die Gelegenheit, ohne grossen Aufwand aus dem nun freiliegenden Rohrleitungsabschnitt an der vermeintlich schwächsten Stelle kurze Rohrstücke herauszutrennen (0,5–1,0 m) und im Labor zu untersuchen bzw. zu bewerten. Möglichkeiten zur Rohrprobenbergung bieten sich daher an:

- im Schadensfall
- bei Baumassnahmen in Leitungsnähe (z.B. Strassenbaumassnahmen, Verlegung anderer Versorgungsleitungen)
- beim Austausch oder Einbau von Leitungsarmaturen (z.B. Einbau von Hydranten oder Anbindung von Hausanschlüssen)
- bei gezielter Aufgrabung ausschliesslich zur Rohrprobenbergung

Im Zuge der Rohrprobenbergung können vom Versorgungsunternehmen bereits vor Ort relativ einfach Informationen erhoben werden wie etwa Angaben zu:

- Lage der Leitung (z.B. relevant für Aussagen zu Belastungen aus Strassenverkehr)
- Boden- und Bettungsart (relevant für Aussagen zu Bodenlasten und ggf. zur groben Abschätzung der Bodenaggressivität)
- Rohrüberdeckung
- Verlegejahr (kann z.B. aus Bestandsplänen entnommen werden)
- Betriebsdruck (kann ebenfalls aus Bestandsplänen oder der Netzhydraulik entnommen werden)
- Verbindungsart (z.B. zur Beurteilung der Muffenundichtigkeit, aber auch sog. Rohrgeneration)
- Schadensursache
- Grundwasserstand

Die Erfassung weiterer Informationen und die Bewertung weiterer relevanter Faktoren erfolgt im Rahmen der Zustandserfassung durch labormässige Untersuchung und anschliessender rechnergestützter Auswertung. Eine labormässige Untersuchung ist notwendig, da durch eine augenscheinliche Begutachtung von Rohrproben vor Ort z.B. das Ausmass von Korrosion nicht erkannt und der technische Zustand nicht objektiv bewertet werden können. Folgende Kriterien werden bei der Zustandserfassung messtechnisch oder augenscheinlich an der gesäuberten und anschliessend gesandstrahlten Rohrprobe erfasst:

- Korrosions- bzw. Schadensarten und deren Ausmass (z.B. Korrosionstiefe und -durchmesser)
- Herstellverfahren, Rohrgeneration, Verlegeperiode
- Qualität des Korrosionsschutzes
- Festigkeitseigenschaften
- metallurgische Eigenschaften
- geometrische Abmessungen (Rohrdurchmesser, Wanddicken)

Diese Kriterien sind notwendig für die anschliessende Zustandsbewertung und Nutzungsdauerprognose.

Der Grad der Zustandsverschlechterung und der Korrosionsfortschritt können für einen Leitungsabschnitt (Abschnitt zwischen zwei Absperrarmaturen mit gleichen Werkstoffeigenschaften sowie Verlege- und Betriebsbedingungen) verschieden sein. Es wird angenommen, dass an den Stellen, an denen ein relevanter Leitungsstrang am schadhaftesten ist, die ersten offensichtlichen Schäden auftreten. Werden daraufhin im Zuge von ersten Reparaturarbeiten an diesen Schadensstellen Rohrproben herausgetrennt, wird mit hoher Wahrscheinlichkeit das Leitungsstück mit der grössten Verschwächung/Schädigung untersucht und bewertet. Eine Übertragung dieser Ergebnisse auf den zugehörigen Leitungsstrang liegt dadurch auf der sicheren Seite. Voraussetzung ist weiterhin die Rohrprobenbergung bei sog. echten Schadensereignissen (nicht durch Fremdschäden verursacht). Wenn sich im Verlauf der Bewertungen herausstellt, dass die Probe eine noch ausreichende Tragfähigkeit trotz Verschwächung (z.B. reduzierte Wanddicke, Perforierung) besitzt, kann mit hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass der zugehörige Leitungsstrang sich in einem gleichen oder sogar besseren Zustand befindet.

## ZUSTANDBEWERTUNG UND NUTZUNGSDAUER-PROGNOSE

Anhand der Ergebnisse aus der Zustandserfassung (z.B. Bodenart, Belastungen, Rohrgeometrie, Festigkeitseigenschaften) kann mittels rohrstatischer Berechnungen ermittelt werden, welche Restwanddicke mindestens notwendig ist, damit die Rohrleitung den vorhandenen Belastungen aus Innendruck, Verkehr und Boden standhält (sog. Mindestwanddicke bzw. Mindest-Zustand).

Hierzu eignen sich idealerweise die Algorithmen des deutschen Regelwerkes ATV-DWA-A 127 «Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen», welche auch für Druckrohre im eingebauten Zustand angewandt werden können [3]. Da durch die Zustandserfassung der Ist-Zustand der untersuchten Rohrleitung bekannt ist (z.B. vorhandene Wanddicke, Korrosionsstellen), kann aus der Differenz zwischen Ist-Zustand und Mindest-Zustand der Abnutzungsvorrat bestimmt werden. Wird der Abnutzungsvorrat durch «Alterung», also z.B. durch Korrosionsprozesse aufgebraucht, ist ein Totalversagen der Leitung zu erwarten, da die Leitung nicht mehr tragfähig ist. Die Leitung hat dann das Ende ihrer technischen Nutzungsdauer erreicht und sollte spätestens dann erneuert werden.

Um den Zeitraum zu bestimmen, in welchem der verbliebene Abnutzungsvorrat aufgebraucht wird, werden zwei Verfahren parallel angewandt. Beim ersten Verfahren werden Korrosionsraten (Korrosionsgeschwindigkeit) für bestimmte Korrosionsformen an der Rohrrinnen- und Rohraussenseite bestimmt oder geschätzt und dadurch verschiedene Zeiträume berechnet, in dem die verbliebene Rohrschubstanz durch Korrosionsprozesse abgetragen wird.

Beim zweiten Verfahren werden sog. stochastische Methoden angewandt, also u.a. statistische Auswertungen durchgeführt. Dazu sind folgende Informationen notwendig:

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

Die Informationen werden aus Bestandsdaten des Wasserversorgungsunternehmens und/oder aus Literaturangaben gewonnen. Mittels passender Prognosealgorithmen, wie z.B. dem sog. Kohorten-Überlebensmodell [4], kann nun das Alter bestimmt werden, welches Rohrwerkstoffgruppen (Kohorten) des gleichen Typs wie die untersuchte Rohrprobe im Mittel erreichen. Anhand des erfassten Zustandes der Rohrprobe, des bereits erreichten Alters sowie der Abtra-

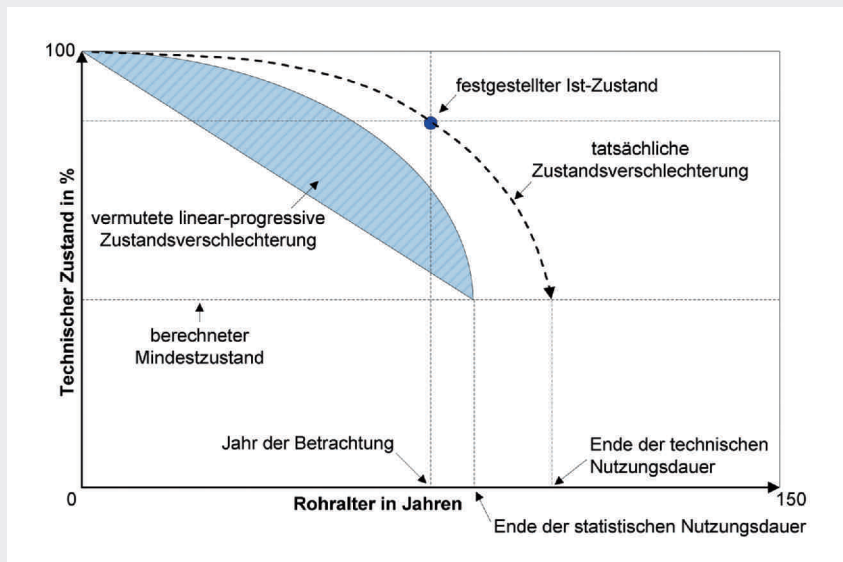


Fig. 2 Nutzungsdauerprognose einer Rohrleitung nach der materialtechnischen Zustandsbewertung; hier: Das erreichbare Rohralter (technische Nutzungsdauer) gemäss der berechneten tatsächlichen Zustandsverschlechterung ist höher, als es statistische Auswertungen (statistische Nutzungsdauer) erwarten lassen

Pronostic de la durée d'exploitation d'une conduite suite à l'évaluation de l'état du matériel; ici: l'âge de la conduite, qui peut être atteint (durée d'exploitation technique) en fonction de la détérioration effective et calculée de l'état, est supérieur à ce que permettent de prévoir les analyses statistiques (durée d'exploitation statistique)

gungszeiträume durch Korrosionsprozesse kann nun geprüft werden, wie sehr die Rohrprobe vom statistischen Mittelmaß «abweicht». Infolgedessen wird ein neuer Zeitraum prognostiziert, an dessen Ende mit einem Totalversagen der Leitung durch Bruch, Instabilität bzw. übermässige Wasserverluste zu rechnen ist. Dieser Zeitraum ist der technischen Restnutzungsdauer gleichzusetzen (Fig. 2).

## ZUSTANDBEWERTUNGEN IN DER PRAXIS

Am IWW Zentrum Wasser wurden bisher ca. 160 Leitungsproben materialtechnisch untersucht und bewertet (Werkstoffe Grauguss, Duktulguss und Stahl; DN 63 – DN 1000). Durch diese Ergebnisse wird die These untermauert, dass das Alter von erdverlegten metallenen Trinkwasserleitungen zwar ein notwendiger, aber keinesfalls ein hinreichender Parameter zur Bewertung des Leitungszustands ist und somit nicht als alleiniges Entscheidungsmittel für Leitungserneuerungen genutzt werden sollte (Fig. 3).

Die materialtechnische Zustandsbewertung wurde inzwischen erfolgreich in Wasserversorgungsunternehmen implementiert. Hierbei kann in zwei Kategorien unterschieden werden: die fallabhängige Zustandsbewertung und die systemati-

sche Zustandsbewertung. Fallabhängige Zustandsbewertungen werden nach Bedarf durchgeführt, z.B. wenn folgende Fragen im Wasserversorgungsunternehmen beantwortet werden sollen:

- Welcher Rohrwerkstoff wurde überhaupt verlegt?
- Mit welcher technischen Restnutzungsdauer ist an einzelnen Leitungen zu rechnen?
- Ist eine Einzelleitung sanierungsfähig und falls ja, wie hoch ist die Nutzungsdauerverlängerung durch eine Sanie-

rung (z.B. durch eine Zementmörtel-auskleidung)?

- Lohnt sich eine vorzeitige Erneuerung von Trinkwasserleitungen im Zuge von Strassen- und Leitungsbaumassnahmen (z.B. während der Erneuerung von Abwasserleitungen)?
- Können Baumassnahmen in Leitungsnähe zu Rohrbrüchen führen (z.B. aufgrund von Erschütterungen durch Baufahrzeuge)?

Die systematische Zustandsbewertung verfolgt das Ziel, über einen bestimmten Zeitraum stichprobenartig an möglichst ausgewählten Stellen oder auch an sich zufällig ergebenden Stellen (z.B. im Rahmen einer Reparatur) eine gewisse Anzahl an Rohrproben zu entnehmen und zu bewerten (z.B. 10 Rohrproben in einem Jahr). Die Ergebnisse (technischer Zustand, technische Restnutzungsdauer) werden zum Abgleich von Alterungs- und Ausfallfunktionen im Rahmen EDV-gestützter Netzanalysen und Rohrnetzbewertungen verwendet. Dadurch wird die Belastbarkeit und Repräsentativität der Rechenergebnisse erhöht. Der Abgleich ist abgeschlossen, sobald ein Grossteil der Zustandsbewertungsergebnisse mit den Rechenergebnissen der Rohrnetzbewertung übereinstimmt. In diesem Falle können für die jeweiligen Rohrwerkstoffgruppen (z.B. in stehenden Sandformen gegossene Graugussrohre) die systematische Zustandsbewertung eingestellt werden. Für beide Kategorien werden dem Versorgungsunternehmen Arbeitsanweisungen und Handlungsempfehlung für eine einfache und korrekte Rohrprobenentnahme zur Verfügung gestellt.

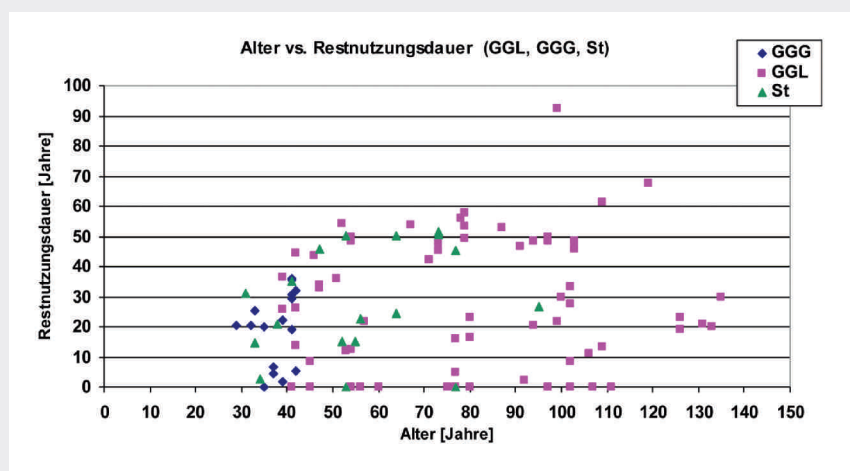


Fig. 3 Auftragung von Alter und prognostizierter Restnutzungsdauer von 105 untersuchten Rohrleitungsproben. Eine Korrelation zwischen Alter und Restnutzungsdauer ist nicht erkennbar  
Report de l'âge et de la durée d'exploitation résiduelle de 105 échantillons de conduite inspectés. Une corrélation entre l'âge et la durée d'exploitation résiduelle n'est pas visible

## AUSBLICK UND ZUSAMMENFASSUNG

Zur verbesserten Zustandsbewertung und zur Entwicklung von Inspektionsgeräten zur aufgrabungs- und zerstörungsfreien Zustandserfassung von erdverlegten Wasserleitungen gab und gibt es weltweit Forschungsarbeiten [5, 6]. Die hochgesteckten Ziele sind hier neben einer möglichst präzisen Wanddickenmessung die Anwendbarkeit auch für andere Rohrwerkstoffe und der Einsatz in Leitungen ab Nennweite DN 80. Des Weiteren sollten undichte Rohrverbindungen, aber auch das Ermüdungsverhalten bestimmter Rohrwerkstoffe im Fokus stehen. Zerstörungsfreie Inspektionsgeräte könnten künftig die Rohrprobenbergung ersetzen, sodass die während der Inspektion erfassten Daten (z. B. Rohrwanddicken) von dem hier vorgestellten Konzept zur Prognose der technischen Restnutzungsdauer verwendet werden können.

Die Ergebnisse der materialtechnischen Zustandsbewertung sind für Wasserversorgungsunternehmen in vielerlei Hinsicht nützlich. Zum einen erhöht sich durch messtechnisch erfasste Kriterien, wie etwa Verlegebedingungen und Rohrwerkstoffeigenschaften, die verfügbare Netzdatenqualität. Bestehende Rohrnetzdatenbanken und Schadensstatistiken können mittels dieser Informationen ergänzt bzw. auf Plausibilität geprüft und ggf. abgeglichen werden.

Zum anderen ermöglichen die erfassten Zustandsdaten überhaupt erst eine Prognose der technischen Restnutzungsdauer. Je verlässlicher die technische Restnutzungsdauer eines Leitungsabschnitts (Zeitraum bis zum physischen Ende) prognostiziert werden kann, umso präziser können notwendige Investitionen/Budgets für dessen Erneuerung festgelegt und begründet werden.

Durch die Beurteilung der Sanierungsfähigkeit eines Leitungsabschnittes sind im Falle einer ausreichenden Resttragfähigkeit ausserdem alternative Sanierungsverfahren (z. B. Zementmörtelauskleidung) auswählbar. Weiterhin ist im Rahmen der Zustandsbewertung die Nutzungsdauerverlängerung durch Sanierung prognostizierbar, sodass eine Wirtschaftlichkeitsprüfung für alternative Sanierungsverfahren durchgeführt werden kann. Der Einsatz entsprechender Sanierungsverfahren erschliesst im Vergleich zu einer Leitungserneuerung Kostensparpotenziale von ca. 15–50% [7].

Durch die Nutzung und Einbindung der hier genannten technischen Kenngrößen und Ergebnisse innerhalb einer ganzheitlichen und wirtschaftlichen Planung der Instandhaltung/Rehabilitation städtischer Wasserversorgungsanlagen, aber auch Transportleitungen wird ein sicherer und nachhaltiger Einsatz von Finanzmitteln ermöglicht und eine bezahlbare Wasserversorgung auf qualitativ hohem Niveau gewährleistet.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] DVGW-Arbeitsblatt W 400-3: Technische Regel Wasserverteilungsanlagen (TRWV) – Teil 3: Betrieb und Instandhaltung. 2006: Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn
- [2] Sorge, H.-C. (2008): Technische Zustandsbewertung metallischer Wasserversorgungsleitungen als Beitrag zur Rehabilitationsplanung. Verlag Dr. Müller, Saarbrücken, 278 S
- [3] ATV-DVWK-A 127: Statische Berechnung von Abwasserkanälen und -leitungen, 3. Auflage; korrigierter Nachdruck 4/2008. 2000: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), Hennef
- [4] Herz, R. (2002): Developing Rehab Strategies For Drinking Water Networks. Konferenzbeitrag 9<sup>th</sup> International Conference on Durability of Materials and Components Brisbane, Australia. in house publishing, Rotterdam
- [5] o.V. (2012): Advanced Condition Assessment & Pipe Failure Prediction Project Fact Sheet No. 2. [www.criticalpipes.com/wp-content/uploads/2013/01/Monash\\_criticalpipes\\_FactsheetNo2\\_A4\\_final4.pdf](http://www.criticalpipes.com/wp-content/uploads/2013/01/Monash_criticalpipes_FactsheetNo2_A4_final4.pdf) (Stand 16.04.2013)
- [6] Vangdal, A. C. (2012): Water Pipe Condition Assessment based on Acoustic Resonance Technology [http://eaci-projects.eu/eco/page/Page.jsp?op=project\\_detail&pid=2139](http://eaci-projects.eu/eco/page/Page.jsp?op=project_detail&pid=2139) (Stand 16.04.2013)
- [7] Kreska, O. (2005): Leitungssanierung mit Zementmörtelauskleidung in Hamburg in: 50 Jahre Sanierung mit Zementmörtelauskleidung in Deutschland. 3R international Sonderteil (44; Nr. 12), 689–690



**Ein Partner ...  
drei starke Marken !**







**3S Systemtechnik AG**

3S Systemtechnik AG  
Pumpen System Service  
Brunnmattstrasse 7  
5236 Remigen

Tel. 056 297 88 20  
Fax. 056 297 88 29  
info@pumpen-3s.ch  
[www.pumpen-3s.ch](http://www.pumpen-3s.ch)