

III/4 Innensanierung von Fernwärmetrassen mit modifizierter Zementmörtelauskleidung

Dipl.-Ing. Jürgen Krausewald und Dipl.-Ing. Reiner Wildermuth

1. Einführung

Es ist Stand der Technik, dass Medienrohre zum Transport von Trinkwasser mit einer Zementmörtelinnenbeschichtung versehen werden. Die Gründe dafür sind zum einen die hohen Anforderungen an die Trinkwasserqualität und zum anderen die Vorteile der Korrosionsbeständigkeit durch die Alkalität des Mörtels. Die gleichen Gründe haben dazu geführt, Zementmörtelauskleidungen seit mehr als 50 Jahren bei der Sanierung kaltgehender Leitungen anzuwenden. Darüber hinaus erhöht die Innenbeschichtung die äußere und innere statische und dynamische Belastbarkeit der Stahlrohre. Im Falle der Sanierung von wanddickengeschwächten Leitungen, z. B. infolge Lochkorrosion, bedeutet dies die Wiederherstellung der vollen Gebrauchsfähigkeit.

Die E. Heitkamp Rohrbau GmbH setzt seit etwa 30 Jahren das Anschleuderverfahren mit Zementmörtel ein. Dieses Verfahrensprinzip wurde 1933 in den USA entwickelt und hat sich seitdem bei der Sanierung von Trinkwasserleitungen weltweit als das Standardverfahren durchgesetzt.

Seit einigen Jahren wird das Anschleuderverfahren mit Modifikationen und unter Verwendung von Spezialmörtel auch zur Sanierung von Abwasserkanälen mit Kreis- und Ei-Querschnitt aus Stahl, Guss, Beton, Asbestzement oder Klinkermauerwerk eingesetzt.

Die Sanierung von alten Leitungen nach dem Anschleuderverfahren besteht nicht nur durch die große Anwendungsbreite und relativ leichte Handhabbarkeit, sondern auch dadurch, dass das Verfahren im Vergleich zu anderen Sanierungsverfahren oder zu einer Neuverlegung sehr wirtschaftlich durchzuführen ist.

Einen weiteren Anwendungsbereich für Zementmörtelauskleidungen stellen neuerdings warmgehende Leitungen wie z. B. Fernwärmetrassen dar. Zu den statischen und dynamischen Belastungen, die auf die Zementmörtelauskleidung wirken, kommen hier zusätzlich noch die Beanspruchungen infolge der Wärmeausdehnung des Stahlrohres.

Bis vor Kurzem waren keine geeigneten Beschichtungsmaterialien verfügbar, welche in der Lage waren, die thermischen Beanspruchungen während der Betriebszustände einer Trasse ohne funktionsbeeinflussende Beschädigungen aufzunehmen. Infolge der Wärmeausdehnung wurden Spannungen im Haftbereich zwischen Mörtel und Stahl erwartet, die zu Rissen oder Ablösungen führen könnten.

Zur Klärung dieses Sachverhaltes wurden im Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e. V. Untersuchungen zur Eignung einer neu entwickelten Innenbeschichtung durchgeführt.

2. Das Anschleuderverfahren

Bevor mit den eigentlichen Reinigungs- und Auskleidungsarbeiten begonnen werden kann, müssen die jeweiligen Rohrleitungsabschnitte außer Betrieb genommen werden. Dabei wird bei Bedarf, vor allem im innerstädtischen Bereich, vorher eine Notversorgungsleitung verlegt. Jeweils am Anfang und am Ende eines Sanierungsabschnittes wird eine Baugrube hergestellt, die Leitung freigelegt und geöffnet. Anschließend kann die Reinigung der Leitung erfolgen. Hierbei sind alle Inkrustationen (**Bild 1**), Korrosionsprodukte oder nichthaftende Teile von Tauchteer- und Bitumenschichten zu entfernen. Eine metallisch blanke Oberfläche, wie bei anderen Sanierungsverfahren, muss jedoch nicht erreicht werden.



Bild 1: Inkrustationen in einer Wasserleitung **Bild 2:** Kratzmolch zur Reinigung von inkrustierten Leitungen

Die Wahl des einzusetzenden Reinigungsverfahrens hängt unter anderem von der Art, Dicke und chemischen Zusammensetzung der Inkrustationen sowie von den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten ab. Es muss aber auf jeden Fall gewährleistet sein, dass das angewendete Verfahren keine Beschädigungen an der Rohrleitung hervorruft.

Als übliche Reinigungsverfahren sind zu nennen:

- ≠ mechanische Reinigung entweder von Hand (> DN 600) oder mit Reinigungsgeräten, wie Kratzern (**Bild 2**), Bürsten und Gummischeiben,
- ≠ Hochdruckreinigung mit Drücken bis zu 1000 bar.

Im Anschluss an die Reinigung erfolgt die Zementmörtelauskleidung.

Nach dem Ansetzen und Zentrieren der Schleudermaschine an einem Ende der zu sanierenden Haltung wird das Gerät mit konstanter Geschwindigkeit rückwärts durch die Haltung gezogen oder gefahren. Dabei erfolgt das Anschleudern des Mörtels an die Rohrrinnenwand mit einem mit Druckluft oder elektrisch angetriebenen, schnell rotierenden Schleuderkopf. Durch radial angeordnete und im Außenbereich kammartig ausgebildete Bleche wird der Mörtel dabei sehr fein verteilt.

Die gewünschte Schichtstärke wird bei konstanter Mörtelzufuhr und Rotationsgeschwindigkeit des Schleuderkopfes durch die vorher festgelegte Winden- bzw. Fahrgeschwindigkeit der Maschine erzielt.

Beim Nennweitenbereich bis < DN 600 findet eine zylindrische und auf Kufen zentrisch gelagerte Maschine Anwendung, die über keinen eigenen Antrieb zur Fortbewegung verfügt,

sondern von einer Seilwinde mit stufenlos regelbarer Ziehgeschwindigkeit durch den zu sanierenden Abschnitt gezogen wird (**Bild 3**). Im zylindrischen Grundkörper der Maschine ist ein mit Druckluft betriebener Antriebsmotor untergebracht. Er treibt über eine Hohlwelle, die zentrisch durch das ganze Gerät geführt ist und der Zuführung des Zementmörtels dient, den Schleuderkopf an.



Bild 3: ZM-Anschleudermaschine für nicht-begehbare Leitungen

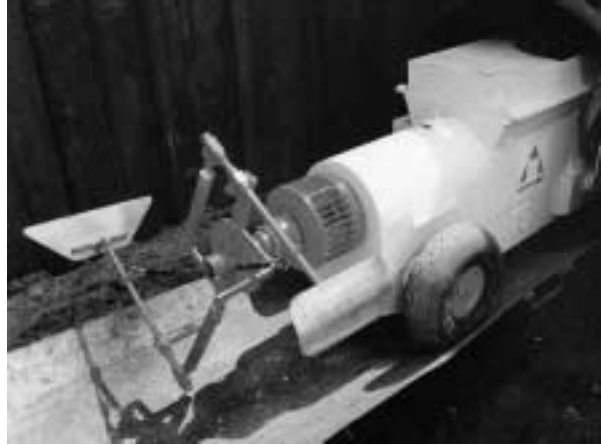


Bild 4: ZM-Anschleudermaschine ab DN 600

Der Zementmörtel wird vom Mischer bis zur Hohlwelle durch eine Schlauchleitung gepumpt. Bei Nennweiten ab DN 600 werden elektrisch angetriebene und luftbereifte Anschleudermaschinen eingesetzt (**Bild 4**). Sie besitzen einen trichterförmigen Vorratsbehälter, in den der Zementmörtel über eine Schlauchleitung gepumpt wird. Eine Förderschnecke drückt aus diesem Behälter die notwendige Mörtelmenge in den Schleuderkopf.

Die Versorgungsleitungen für Strom und Mörtel werden von einer Seilwinde, deren Geschwindigkeit der Anschleudermaschine angepasst ist, durch die Leitung gezogen. Ein Maschinenführer beobachtet die sonst automatisch ablaufenden Arbeiten im Rohr.

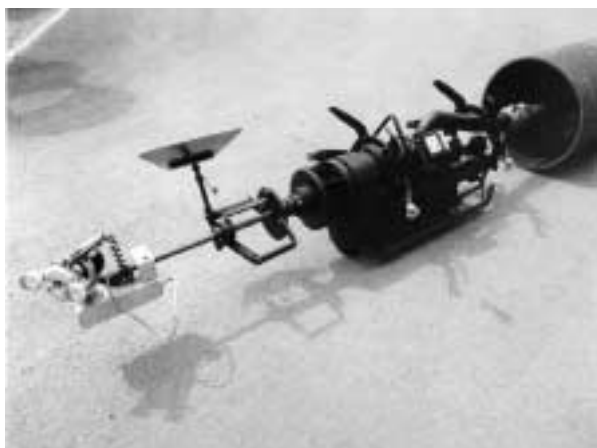


Bild 5: ZM-Anschleudermaschine mit Kamera-Überwachung



Bild 6: Mit Zementmörtelauskleidung sanierte Rohrleitung

Für den nichtbegehbaren Nennweitenbereich $< \text{DN } 600$ hat Heitkamp Rohrbau in den letzten Jahren einen neuen Typ von Schleudermaschinen entwickelt. Bei diesen Maschinen ist eine vollschwenkbare Fernsehkamera vor dem Schleuderkopf montiert (**Bild 5**), so dass sowohl

der Anschleudervorgang als auch die fertige Auskleidung während des Arbeitsprozesses kontinuierlich auf einem außerhalb der Baugrube befindlichen Monitor beobachtet werden kann. Bei möglichen Störungen des Arbeitsablaufes wird dieser sofort unterbrochen, die Leitung gereinigt und die Auskleidung erneut vorgenommen. Durch diese neue Maschinengeneration – es stehen Maschinen ab DN 200 zur Verfügung – ist somit eine optimale Qualität der Sanierung gewährleistet.

Wie die vorangegangenen Ausführungen gezeigt haben, ist das Auskleiden von Rohrleitungen mit Zementmörtel nach dem Anschleuderverfahren das Standardverfahren für die Sanierung alter korrodierter und inkrustierter wasserführender Leitungen aus Guss und Stahl (**Bild 6**). Eine derartige Auskleidung schützt die Rohre für viele Jahrzehnte sicher gegen die Neubildung von Korrosion und Inkrustation.

3. Zielstellung der Untersuchungen

Um die Eignung einer von der MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. neu entwickelten Innenbeschichtung zur Sanierung von Fernwärme-/Dampftrassen mit der Bezeichnung KONUSIT-MFL nachzuweisen, sollten durch extreme Temperaturlastwechsel Belastungen simuliert werden, die weit über die in der Praxis üblichen hinausgehen und eine Extrembeanspruchung der Innenbeschichtung darstellen. Bewertungskriterium war der Zustandsvergleich der Innenbeschichtung vor und nach der Versuchsdurchführung.

Die Randbedingungen der Versuchsdurchführung wurden wie folgt definiert:

1. Der Ausgangszustand der Innenbeschichtung wird mittels TV-Inspektion begutachtet.
2. Die Prüfrohre werden durch Heißwasser auf eine Temperatur von 130 °C bei einem Mediendruck von ca. 15 bar aufgeheizt.
3. Durch kaltes Wasser, welches nach Erreichen der Versuchstemperatur durch die Prüfrohre geleitet wird, erfolgt eine möglichst schnelle Abkühlung auf mindestens Umgebungstemperatur, ca. 20 - 25 °C.
4. Die Durchführung der Prüfungen erfolgt über einen geplanten Zeitraum von 10 Tagen, wobei mindestens 10 Lastwechsel durchzuführen sind.
5. Nach Beendigung der Temperaturlastwechsel wird die Innenbeschichtung erneut mittels TV-Inspektion begutachtet.

4. Versuchsdurchführung

4.1 Herstellung der Prüfrohre

Bei den Prüfkörpern handelte es sich um 4 Stahlrohre DN 250, die durch die Fa. E. Heitkamp Rohrbau GmbH mit einer KONUSIT-MFL-Innenbeschichtung der Fa. MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. ausgekleidet wurden.

Die Probanden wurden miteinander über Flanschverbindungen verschraubt. Zur Kontrolle der Dichtheit erfolgte eine Druckprobe mit Wasser. Um zu vermeiden, dass bis zum Beginn der Versuchsdurchführung eine Austrocknung der Innenbeschichtung erfolgte, wurden die Prüfkörper nach der Montage mit Wasser befüllt.

4.2 Die Innenbeschichtung KONUSIT MFL [1]

Die Innenbeschichtung ist ein kunststoffvergüteter Faserzementmörtel, der speziell für den Oberflächenschutz von Rohren in der Fernwärmeversorgung entwickelt wurde. Der kunststoffvergütete Faserzementmörtel besteht aus folgenden Komponenten:

KONUSIT MFL: Werk trockenmörtel/Pulverkomponente

KONUSIT MFL-F: Flüssigkomponente

Die Innenbeschichtung weist folgende Produkteigenschaften auf:

- € maschinell verarbeitbarer Mörtel
- € hohe Grünstandfestigkeit
- € geringe Wasseraufnahme
- € hohe Chemikalienbeständigkeit
- € Beständigkeit gegen „sehr stark angreifende“ Wasser (geprüft in Anlehnung an DIN 4030)
- € hohe mechanische Festigkeiten
- € Hitzebeständigkeit bis 160 °C bei 16 bar

4.3 Messtechnik

4.3.1 Temperaturmessung

Um den Temperaturverlauf während der Versuchsdurchführung aufzuzeichnen und zu dokumentieren, wurden zwei Temperaturgeber PT 1000 in der 6-Uhr-Position an den Prüfkörper jeweils am Zu- und Ablauf appliziert und die Werte mittels Messcomputer aufgenommen.

4.3.2 TV-Inspektionstechnik

Die Beurteilung des Ausgangs- und Endzustandes der Innenbeschichtung wurde mit einem TV-Inspektions-Fahrzeug, welches üblicherweise zur Inspektion von Abwasserkanälen eingesetzt wird, durchgeführt. Zur Zustandserfassung wurde ein Kamerafahrzeug KFW 200 eingesetzt, der über diverse Steuermöglichkeiten verfügte, um Schäden an Rohrleitungen optisch in Zuordnung zur Lage entlang der Leitung und räumlich entsprechend der Uhrzeigerlage aufzuzeichnen und mittels spezieller Software, Kde32pro, zu speichern.

4.4 Versuchsablauf

Die Versuchsdurchführung wurde in drei Phasen unterteilt. Die im folgenden Abschnitt erwähnten Positionsangaben beziehen sich auf **Bild 7**.

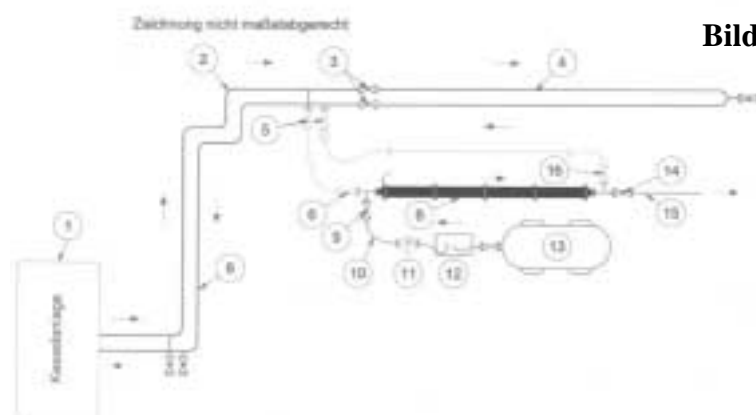


Bild 7: Versuchsanordnung

- 1 – Kesselanlage
- 2, 4, 6 – Oberirdisch verlegte KMR-Trasse
- 3, 5, 6, 9, 14, 16 - Absperrschieber
- 8 – Prüfröhre
- 10 – flexibler Schlauch
- 11 – Saugpumpe
- 12 – Zwischenbehälter
- 13 – Tankanhänger
- 15 – Ablaufleitung

Über eine Kesselanlage (Pos. 1) erfolgte in der Phase 1 das kontinuierliche Aufheizen der auf dem Versuchsfeld vorhandenen oberirdisch verlegten Kunststoffmantelrohr-Trasse (KMR-Trasse) DN 80 (Pos. 2, 4 und 6) bis auf 130 °C. Mit der Temperatur wurde der Druck ebenfalls kontinuierlich bis auf 15 bar erhöht.

In Phase 2 wurde ein Teil der KMR-Trasse (Pos. 4) mittels Absperrschieber (Pos. 3) abgesperrt. Die Zirkulation des Heißwassers erfolgte aus dem Vorlauf der KMR-Trasse nunmehr durch die geöffneten Schieber (Pos. 5 und 6) durch einen flexiblen Schlauch, die verschraubten Prüfkörper (Pos. 8) und den Schieber (Pos. 16) in den Rücklauf der Versuchstrasse. Die Zirkulation des Heißwassers erfolgte, bis sich die gewünschte Temperatur von 130 °C an der Außenseite des Stahlrohres der Prüfkörper stabil einstellte.

In Phase 3 wurden die Prüfrohre möglichst schnell abgekühlt. Dazu wurden die Schieber (Pos. 5, 6 und 16) geschlossen. Das Heißwasser konnte über die geöffneten Schieber (Pos. 3) weiterhin zirkulieren. Vor dem Befüllen der Prüfrohre mit kaltem Wasser wurde das System entspannt. Nach dem Öffnen des Schiebers (Pos. 14) konnte das Heißwasser über eine 6 m lange Rohrleitung außerhalb des Versuchstandes (Pos. 15) entweichen. Unmittelbar danach wurde das Kaltwasser aus einem Tankanhänger (Pos. 13) mit einem Fassungsvermögen von 10 m³ mittels einer Saugpumpe (Pos. 11) aus einem Zwischenbehälter (Pos. 12) über den geöffneten Schieber (Pos. 9) in die Prüfrohre gedrückt. Die Schieber (Pos. 15 und 16) waren zu diesem Zeitpunkt geschlossen. Der im Rohr vorhandene Dampf konnte über eine Entlüftungsöffnung entweichen. Die Temperatur des Wassers war von der Umgebungstemperatur abhängig. Infolge des großen Volumens betrug die Wassertemperatur ca. 20 - 25 °C. Ein typischer Temperaturverlauf während der Versuche ist in **Bild 8** dargestellt. Diese Vorgehensweise wurde 11 mal wiederholt.

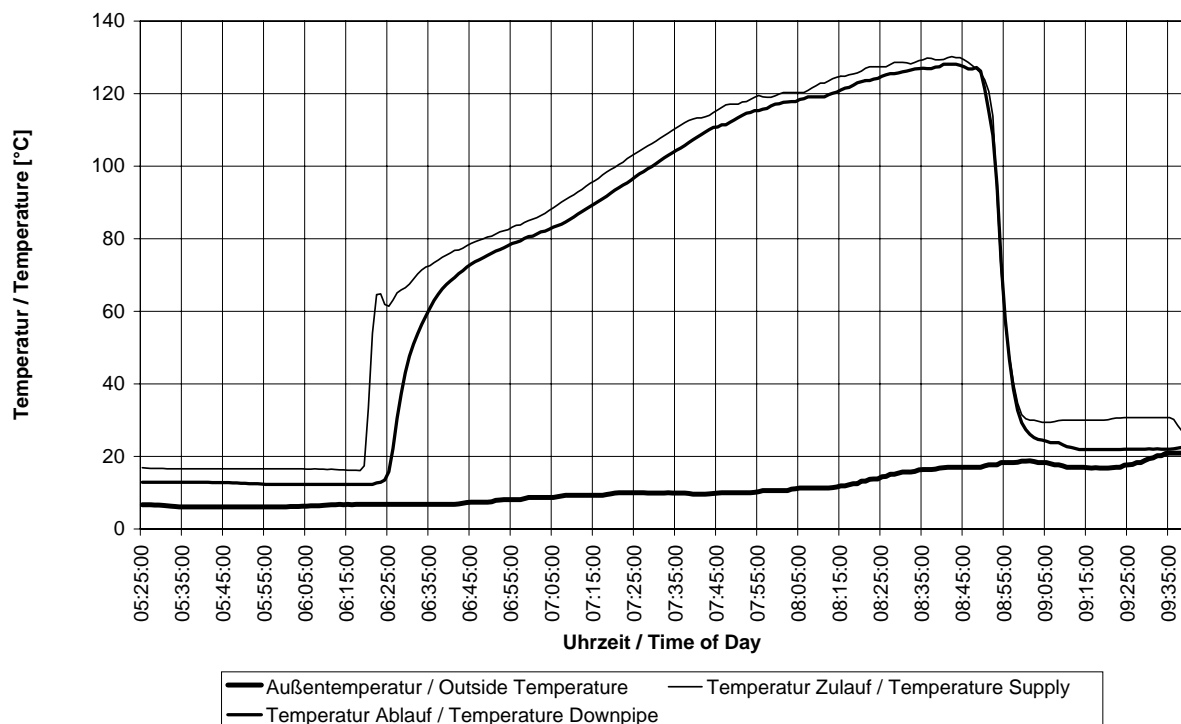


Bild 8: Typischer Temperaturverlauf

5. Auswertung der Untersuchungen

5.1 Ausgangszustand

Vor Beginn der Temperaturlastwechsel wurde der Ausgangszustand durch eine Kamerabefahrung optisch untersucht. Bei dieser Befahrung wurden keine Mängel an der Beschichtung festgestellt (**Bild 9**). Die Funktion der Beschichtung als passiver Korrosionsschutz war gewährleistet.



Bild 9: Typischer Zustand der Innenbeschichtung vor den Temperaturlastwechseln

5.2 Zustand nach Versuchsende

Im Anschluss an die Versuche erfolgte eine nochmalige Befahrung der Prüfkörper (**Bild 10**). Im DVGW-Arbeitsblatt W 343, Punkt 7.3.2 [2] werden Risse bei der Zementmörtelauskleidung von Guss- und Stahlrohren als typisch, unkritisch und unvermeidbar beschrieben. Solche Risse wurden auch im Ergebnis der 11 extremen Temperaturwechsel festgestellt.

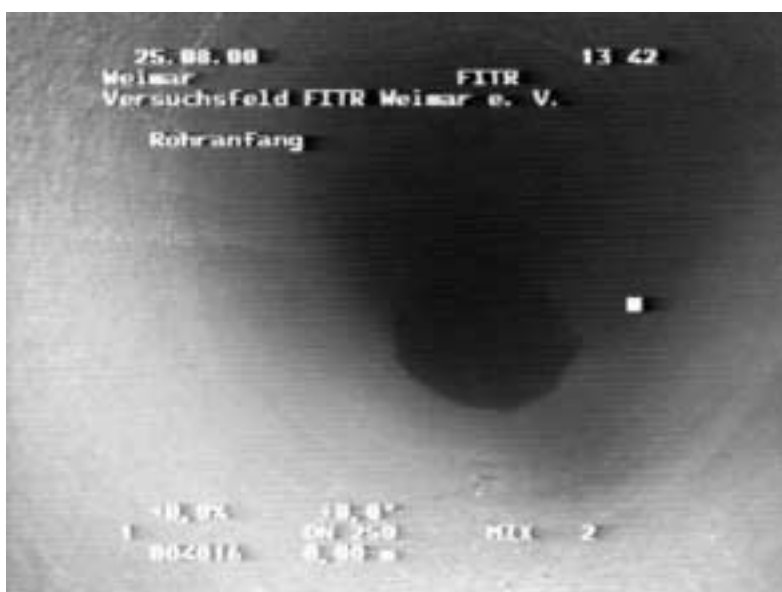


Bild 10: Zustand der Innenbeschichtung nach 11 Temperaturlastwechseln

5.3 Zusätzliche Untersuchungen

Um den Verbund der Innenbeschichtung mit dem Stahlrohr bewerten zu können, wurde aus einem Prüfrohr ein Segment herausgetrennt. Es wurde festgestellt:

1. Die Innenbeschichtung hat sich in den beiden Schnittbereichen nicht vom Stahlrohr gelöst. Ein fester Verbund war über den gesamten Querschnitt gegeben (**Bild 11**).
2. Eine Ringspaltbildung zwischen Beschichtung und Stahlrohr lag nicht vor.
3. Die bei der TV-Befahrung festgestellten Risse weisen nur eine äußerst geringe Breite auf.
4. Es wurden keinerlei Abplatzungen oder Ablösungen festgestellt



Bild 11: Abgetrenntes Rohrsegment, keine Ablösungen oder Ringspaltbildung

6. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Ergebnisse nach 11 Temperaturvolllastwechseln können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Trotz dieser hohen Beanspruchung mit 11 Temperaturvolllastwechseln mit $\Delta T \approx 100 \text{ °C}$ wurden keine funktionsbeeinträchtigenden Schäden festgestellt.
2. Die festgestellten, für die Zementmörtelauskleidung üblichen Risse der Innenbeschichtung beeinflussen den passiven Korrosionsschutz nicht, zumal das Porenwasser im Zementmörtel eine hohe Alkalität aufweist. Daher sind duktile Gusseisen- und Stahlrohre mit Zementmörtelauskleidungen passiv und somit korrosionsbeständig.
3. Risse und Spalten in der Zementmörtelschicht werden im Kontakt mit Wasser von selbst durch aussinterndes Calciumkarbonat verschlossen. Man bezeichnet diesen Vorgang als „Selbtheilung“ der Zementmörtelauskleidung [1].
4. Die Funktion der Innenbeschichtung in Fernwärmenetzen als passiver Korrosionsschutz für die Stahlrohre wurde durch die extreme Prüfbeanspruchung nicht beeinflusst.

7. Ausblick

Die durchgeführten Untersuchungen konnten nachweisen, dass 11 extreme Temperaturlastwechseln, wie sie in der Fernwärmep Praxis nicht zu erwarten sind, zu keiner die Funktion beeinträchtigenden Beschädigung der untersuchten Innenbeschichtung führten. Obwohl die Untersuchungen nicht als statistisch gesichert betrachtet werden können, kann man davon

ausgehen, dass nach der Sanierung von korrosionsgeschädigten Fernwärmenetzen, die mit üblichen Betriebszuständen gefahren werden, die Belastungen für die Innenbeschichtung geringer sind, als bei der Versuchsdurchführung. Es ist mit hoher Wahrscheinlichkeit zu erwarten, dass im Ergebnis der Sanierung die volle Gebrauchsfähigkeit der Trasse wieder hergestellt wird.

In den osteuropäischen Nachbarländern ist die Fernwärme weit verbreitet. Die Netze befinden sich aus Geldmangel oft in einem Zustand, wo die Betreiber zur Aufrechterhaltung der Versorgung vor der Entscheidung stehen, die Trassen neu zu bauen oder nach Alternativen dafür zu suchen. Mit der KONUSIT-MFL-Innenbeschichtung der MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. wird in Verbindung mit dem von E. Heitkamp Rohrbau GmbH eingesetzten Rotations-schleuderverfahren eine kostengünstige und zeitsparende Alternative zur Neuverlegung angeboten. Betrachtet man zudem Sanierungsverfahren, welche die Wärmedämmung von alten Fernwärmetrassen wieder herstellen, wie z. B. das Lebit²-Verfahren, so wird deutlich, dass heute eine Komplettsanierung von Fernwärmetrassen sehr wirtschaftlich durchgeführt werden kann.

Erstveröffentlichung dieses Thematik: 3R International 08/02
Zweitveröffentlichung dieser Thematik: Euro Heat & Power 9/02

Literatur

- [1] MC-Bauchemie Müller GmbH & Co.: Kunststoffvergüteter Faserzementmörtel für den Innenschutz von Leitungen in Fernwärmenetzen
- [2] DVGW-Arbeitsblatt W 343: Zementmörtelauskleidung von erdverlegten Guss- und Stahlrohrleitungen – Einsatzbereiche, Anforderungen und Prüfungen, 12/81, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH
- [3] Kumpera, F.: Der Innenschutz von Rohrleitungen unter besonderer Berücksichtigung der Zementmörtelauskleidung, Gas / Wasser / Wärme 38 (1984)

Verfasser: Dipl.-Ing. Jürgen Krausewald
Wissenschaftlicher Mitarbeiter im
Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e. V. (FITR)
Georg-Haar-Straße 5
99427 Weimar
Telefon: (0 36 43) 82 68 20
Telefax: (0 36 43) 82 68 26
e-mail: juergen.krausewald@fitr.de
und
Dipl.-Ing. Reiner Wildermuth
Geschäftsführer der
E. Heitkamp Rohrbau GmbH
Heinrich-Straße 67
44805 Bochum
Telefon: (02 34) 87 90 51 60
Telefax: (02 34) 87 90 51 51
e-mail: reiner.wildermuth@hdh-online.com