

III/2 Qualitätssicherung beim Bau von Fernwärmeleitungen

Dr.-Ing. Wolfgang Berger und Dr. sc. techn. Hermann Keller

1. Einleitung

Beim Bau von Fernwärmeversorgungsleitungen kommen heute vorzugsweise Kunststoffmantelrohre (KMR) zum Einsatz. Diese Rohre bestehen aus einem Stahlmedienrohr, einer Wärmedämmung aus Polyurethan-(PUR)-Schaum und einem äußeren Mantelrohr aus hochdichtem Polyethylen (HD-PE).

Auf Grund des Wettbewerbsdruckes, dem die Fernwärmeversorgung unterliegt, ist es im Sinne der Qualitätssicherung eine der wichtigsten Aufgaben, die Energieverluste beim Transport der Wärme vom Erzeuger zum Verbraucher zu minimieren. Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist, dass bei der Verlegung der Leitungen, insbesondere bei der Verschäumung der Muffen auf der Baustelle, Fehler vermieden werden, die z. B. durch inhomogene Verschäumung, durch spätere Feuchtigkeitseinbrüche oder mechanische Einwirkungen die Wirkung der Wärmedämmung vermindern.

Hinzu kommt, dass besonders während der saisonalen Lastwechsel zu Beginn und am Ende der Heizperiode die Fernwärmeleitungen besonders stark beansprucht werden. So ist es außerordentlich wichtig, Leckagen möglichst schon während der Verlegephase bzw. nach der Verschäumung der Muffen zu erkennen und zu lokalisieren. Eine moderne Möglichkeit hierzu bietet die von der Gesellschaft für Sensorik, Geotechnischen Umweltschutz und Mathematische Modellierung mbH Jena (GESO) eingesetzte faseroptische Laserradar-Temperaturmesstechnik. Dabei wird ein faseroptisches Sensorkabel entlang der Rohrleitung verlegt. Damit ist in der Umgebung der Leitung eine permanente Messung der Temperatur mit hoher Ortsauflösung möglich. Bei Veränderungen der wärmedämmenden Eigenschaften des PUR-Schaumes oder beim Eindringen von Feuchtigkeit in den Schaum bilden sich dort Temperaturanomalien aus, die mittels faseroptischer Temperatursensorik messtechnisch erfasst und ortsgenau lokalisiert werden.

2. Das faseroptische Leckwarn- und -ortungssystem [1, 2]

Das System besteht im Wesentlichen aus zwei Komponenten: dem Sensorkabel bzw. der Sensormatte und dem Messgerät. Das Sensorkabel ist ein Glasfaserkabel, wie es auch in der Telekommunikationstechnik verwendet wird. Die Lichtwellenleiter im Kabel sind die temperatursensitiven Elemente und ermöglichen eine kontinuierliche Temperaturmessung entlang des Sensorkabels. Der prinzipielle Aufbau des Messsystems ist **Bild 1** zu entnehmen.

In die Lichtwellenleiter (optische Fasern) des Sensorkabels werden Laserpulse geschossen. Ein Teil des Laserlichtes wird zurückgestreut, und dieses optische Signal enthält als Information die Temperatur des Lichtwellenleiters. Dabei handelt es sich um die mittlere Temperatur desjenigen Längenabschnitts, aus dem das rückgestreute Licht innerhalb eines bestimmten Zeitfensters stammt. Das Auswertegerät verknüpft die Intensitätsmessung mit einer Laufzeitmessung des Laserlichts in der Faser und liefert auf diese Weise die Temperaturwerte sämtlicher Längenabschnitte. Das derzeit angewendete Gerät liefert eine Ortsauflösung von $\Delta x = 1$ m (optional 0,5 oder 0,25 m) bei einer Temperaturentauflösung von $\Delta T = \pm 0,1$ K, wobei die Temperaturwerte im Minutentakt ($\Delta t = 60$ s) gemessen werden. Dabei kann die Länge des Sensorkabels bis zu 4 km betragen.



Bild 1: Schematische Darstellung des faseroptischen GESO-Leckwarn- und -ortungssystems nach [1]

Die verwendeten Sensorkabel sind für eine Lebensdauer von mindestens 30 Jahren ausgelegt. Entsprechend robust erweisen sie sich in der Handhabung, z. B. bei Verlegearbeiten unter Baustellenbedingungen. Der Messbereich liegt zwischen -50 °C und $+300\text{ °C}$. Die Sensorkabel können z. B. in selbstklebende Bänder integriert werden und lassen sich auf diese Weise bequem auf dem Außenmantel der Fernheizungsrohre anbringen.

Bei lokaler Änderung der wärmedämmenden Eigenschaften des PUR-Schaumes treten entsprechend lokale Temperaturanomalien der Mantelaußentemperatur auf. Diese räumlich begrenzten Temperaturänderungen werden von der empfindlichen Messtechnik meteregenau lokalisiert und lassen sich leicht von Temperaturschwankungen unterscheiden, die das gesamte Netz betreffen, z. B. zeitliche Variationen der Medientemperatur.

Detailinformationen über das Wirkprinzip dieses von der GESO entwickelte Leckwarn- und -ortungssystem werden im **Vortrag V/4** ausführlich dargelegt. Nachfolgend soll über erste Erfahrungen bei der Anwendung des Systems in einigen ausgewählten Beispielen der Fernwärmeversorgung berichtet werden.

3. Anwendungsbeispiele des faseroptischen Leckwarn- und -ortungssystems

Auf dem Versuchsfeld des Forschungsinstitutes für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e. V. (FITR) wurde das System bei den Grenzzustandsversuchen 1 bis 4, bei 2 Versuchen mit dem LEBIT-System sowie im Rahmen des Langzeitversuches „Neue Hausanschlussstechnik“ erfolgreich getestet. Erste Anwendungen in öffentlichen Versorgungsnetzen verliefen bzw. laufen ebenfalls positiv an:

- Projekt 1: DREWAG Dresden, Kraftwerksumleitung KW Mitte, KMR DN 600, Länge: 650 m.
- Projekt 2: Stadtwerke Jena, Berufsschulzentrum Göschwitz, verschiedene DN, Länge: 1000 m.
- Projekt 3: Stadtwerke Jena, Verwaltungsgebäude der Stadtwerke, KMR verschiedener DN, Länge: 700 m (Endausbau 2500 m).
- Projekt 4: Elektrizitäts- und Fernwärmeversorgung Zwickau, Altbestand im LEBIT-System, Länge: 500 m.
- Projekt 5: Stadtwerke Erfurt, Dampfablösung Juri-Gagarin-Ring, KMR DN 300, Länge: 1100 m.
- Projekt 6: Stadtwerke Erfurt, Juri-Gagarin-Ring, Altbestand Sammelkanal (2,4 m x 2 m; Fernwärme, Trinkwasser DN 600, Strom, Telekom), Länge: 500 m.

Nachfolgend sollen einige ausgewählte Versuche und Projekte beispielhaft dargestellt werden.

3.1. Grenzzustandsversuch mit einem 45°-KMR-T-Abzweig

Nachdem die erfolgreiche Erstanwendung des GESO-Systems bereits 1995 auf dem Versuchsfeld des Forschungsinstitutes für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e. V. (FITR) im Rahmen des FE-Projektes „Neuartige Wärmeverteilung“, Teilprojekt A 9, bei der Durchführung eines Grenzzustandsversuches mit einem 90°-Standard-KMR-Bogen DN 100 erfolgte, schloss sich eine weitere Anwendung im Jahre 1996 im Rahmen eines Grenzzustandsversuches mit einem 45°-KMR-T-Abzweig DN 100 / DN 65 in verstärkter Ausführung an. In diesem Grenzzustandsversuch zur Bestimmung der Gebrauchs- und Tragfähigkeit des Probanden wurden die faseroptischen Sensorkabel gemäß **Bild 2** angeordnet.

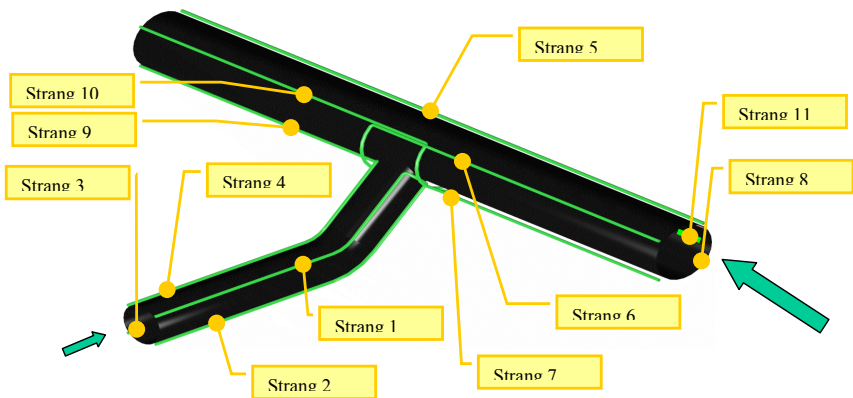


Bild 2: Lage der faseroptischen Sensorkabel am PE-Mantel des 45°-KMR-T-Abzweig-Probanden DN 100 / DN 65

Die vor der Haupt- und Abzweigleitung dargestellten Pfeile geben die Position der Pressen an, mit deren Hilfe der Proband bei einer Medientemperatur von 130 °C und einem Medien- druck von 16 bar schrittweise verschoben wurde. Am Ende der Hauptleitung befand sich eine Dehngrube.

Die faseroptischen Sensorkabel wurden am Abzweigrohr in 12-Uhr-Position (Strang 4) sowie in 3-Uhr-Position (Strang 1 auf der der Pressgrube vor der Hauptleitung zugewandten Seite) angebracht. Am Hauptrohr wurden die Kabel auf der dem Abzweigrohr zugewandten Seite angeordnet (Strang 6) und zur Bestimmung der Oberflächentemperatur am PE-Mantel eingesetzt. Damit bestand die Möglichkeit der messtechnischen Erfassung des Lösens des Haftverbundes des PUR-Schaums vom medienführenden Stahlrohr und damit verbunden die Erfassung des Grenzzustandes der Gebrauchsfähigkeit (Manteltemperatur ≥ 50 °C).

Für die Erfassung der Verbundproblematik wurden die Sensorkabel zur Sicherung des Verbundes zwischen dem Kabel und dem PUR-Schaum in einen Glasgewebeslauch gezogen. Die so präparierten Kabel wurden auf dem Stahlrohr im Bereich der zu vermutenden Schaumablösung und am Hauptrohr als Referenzkabel auf das Stahlrohr und unter dem PE-

Mantel angebracht. Die Messung der Außentemperatur auf dem PE-Mantel erfolgte mit Standard-Sensorkabeln, die in Edelstahlröhrchen mit PE-HD-Ummantelung eingebettet waren.

Die mit den inneren Messsträngen erzielten Ergebnisse wurden als Zeitreihen für die verschiedenen Messabschnitte dargestellt. Es lagen jeweils bei dem Grenzzustandsversuch nur 2 bis 4 Messabschnitte im Bereich des T-Abzweiges. Die übrigen Messabschnitte befanden sich in der Muffe bzw. im Hüllrohr.

Mit Hilfe des am PE-Mantel angeordneten Messstranges 11 konnte eine Art Spiegelsymmetrie der Zeitreihen bezüglich eines Messabschnittes, der wesentlich geringere Temperaturvariationen zeigte als die übrigen, festgestellt werden. Am gegenüberliegenden Abschnitt stieg die Temperatur immer dann, wenn sie an den übrigen Abschnitten sank und umgekehrt. Dies lässt sich nach dem derzeitigen Kenntnisstand durch eine S-förmige Verformung des Hauptrohres erklären. Die am Abzweigrohr in 3- und 12-Uhr-Position am medienführenden Stahlrohr angeordneten Messstränge registrierten ein Abfallen der Temperatur, das als Ablösen des PUR-Schaumes vom Medienrohr interpretiert werden kann. Auffallend war auch hier ein gegensinniges Temperaturverhalten der Messabschnitte. Anscheinend wurden immer dann, wenn aufgrund der o. g. S-förmigen Deformation des Hauptrohres einige Messabschnitte stärker an das Medienrohr gedrückt wurden, die übrigen Abschnitte etwas entlastet, was den thermischen Kontakt zum Medienrohr verschlechterte. Der Rohrbruch wurde erwartungsgemäß durch einen dramatischen Temperaturanstieg angezeit.

Die Verlegung der äußeren Sensorkabel erfolgte mittels Klebeband auf dem PE-Mantel des KM-Rohres.

Der Sensorkabelstrang 5 war auf der Rückseite des Hauptrohres in 2-Uhr-Position angebracht worden. Mit Hilfe dieses Stranges wurde der Rohrbruch am Abzweigrohr festgestellt. Das dabei ausgetretene heiße Wasser führte zu einer raschen Temperaturerhöhung. Bei den anderen Sensorkabeln im Abzweighbereich wurden dabei ebenfalls starke Temperaturerhöhungen gemessen.

Die Temperaturprofile am Abzweigrohr lagen deutlich unter der vorgegebenen Grenztemperatur der Gebrauchsfähigkeit von 50 °C. Dementsprechend wurde bezüglich der PE-Manteltemperatur kein kritischer Zustand erreicht.

3.2. Fernwärmetrasse 2 x DN 600 in Dresden [3]

Durch die Dresdener Elektrizität und Fernwärme GmbH (DEF) wurde das FITR beauftragt, in Zusammenarbeit mit GESO das Leckwarn- und -ortungssystem erstmals in einem öffentlichen Fernwärme-Netz einzubauen und parallel zum in den KMR vorhandenen herkömmlichen Leckwarnsystem die Netzüberwachung zu begleiten. Es handelte sich folglich um einen Pilotversuch für das neuartige GESO-Produkt.

Bei dem Bauvorhaben Ehrlichstraße/Althusstraße in Dresden wurde eine KMR-Trasse 2 x DN 600 als Ersatz für eine aufgeständerte Trasse im öffentlichen Bereich verlegt. Der vorhandene unterirdische Leitungsbestand hatte eine mittlere Dichte und war relativ gut dokumentiert. Die Leitung wurde im Straßenbereich mit Überdeckungshöhen > 1 m verlegt. Die Leitung wurde traditionell in Sand gebettet und thermisch vorgespannt. Der Graben war mit Verbauerelementen und im Bereich der Fädelgruben mit Spundwänden verbaut.

Bei diesem Vorhaben wurde das Sensorkabel zwischen zwei PE-LD-Folien in einem

ACHTUNG FERNWÄRMELEITUNG

Bild 3: Gesamtdarstellung des Sensorkabels im Klebeband (Draufsicht)

sinusförmigen Dehnkanal mit einer Überlänge von 4 % fixiert (**Bild 3**). Die beiden Folien wurden mittels Kaschierkleber und gezieltem Anpressdruck zusammengefügt. Die Unterseite des Gesamtsystems ist mit Heißschmelzkleber beschichtet, der im Temperaturbereich oberhalb 5 °C eine hohe Klebefähigkeit besitzt. Alle im Klebebandsystem verwendeten Materialien sind nach Angaben des Herstellers grundwasserneutral, alterungsbeständig, enthalten keine, für den HD-PE-Mantel gefährlichen Weichmacher oder Lösungsmittel und sind vollständig recycelfähig. Das so entstandene Klebeband war 10 cm breit, 0,2 bzw. 2,2 mm dick. Für die Applikation wurde das System auf Rollen von 160 m Bandlänge und 70 cm Durchmesser hergestellt. Die **Bilder 4 und 5** zeigen Querschnitts- und Längsschnittdarstellungen des Prototyps.

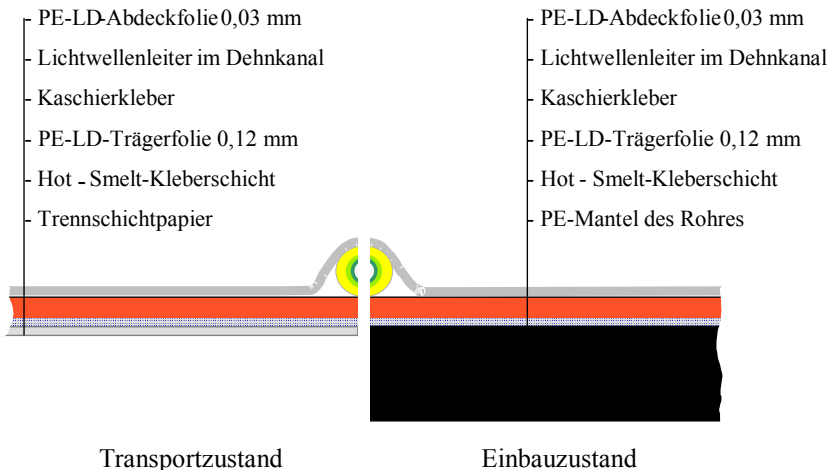


Bild 4: Querschnitt durch das Sensorkabel im Klebeband

Im Bereich von Kabelzerstörungen, Systemübergängen und bei Überschreiten der möglichen Lieferlänge sind Verbindungselemente notwendig. Hierfür bestehen zwei verschiedene Möglichkeiten:

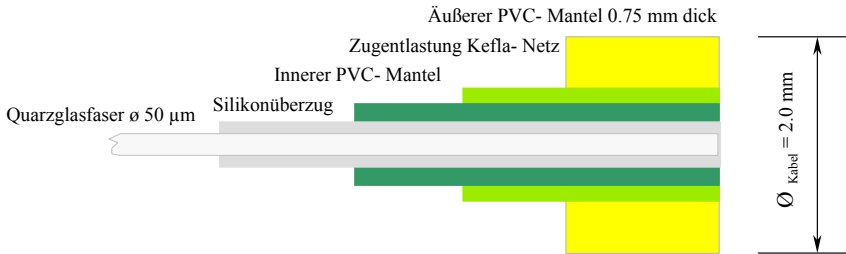


Bild 5: Schematischer Aufbau des verwendeten Lichtwellenleiters im Längsschnitt

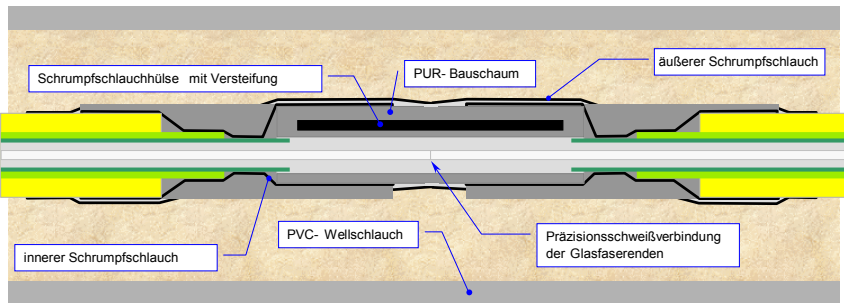


Bild 6: Schematischer Aufbau einer Verbindungsstelle und der Schutzkonstruktion

- Fingerspleiß: Hierbei werden die abisolierten, planparallel geschnittenen Glasfaserenden in einer Zentrierhülse mit Rückzugsicherung mit den Stirnflächen aufeinander gebracht. Um einen möglichst dämpfungsfreien optischen Übergang zu schaffen, wird eine optische Kontaktpaste auf die Stirnflächen aufgebracht.
- „Schweißverbindung“ zwischen den Faserenden: Hierbei werden die abisolierten, planparallel geschnittenen Glasfaserenden mechanisch, dreidimensional positioniert und mittels Hochtemperaturlichtbogens stoffschlüssig verbunden. Diese im **Bild 6** dargestellte Verbindungstechnik ist bei qualitätsgerechter Ausführung in der Lage, über eine Lebensdauer von 30 Jahren ihren Beitrag zur Funktion des Gesamtsystems zu leisten.

Die in drei Messungen gewonnenen Daten dokumentieren das Temperaturverhalten der Leitung über einen Zeitraum von insgesamt 18 Stunden, verteilt über einen Zeitraum von 8 Monaten. Es wurden keine leakageverdächtigen Temperatur-Anomalien festgestellt.

Auf Grundlage der bisher erfolgten Messungen können folgende Feststellungen getroffen werden:

- Die Fernwärmeleitung ist im überwachten Bereich bisher frei von Leckagen oder Baufehlern.
- Das faseroptische Leckwarn- und -ortungssystem ist uneingeschränkt funktionstüchtig und liefert interpretierbare Messwerte.

3.3. Erstanwendung einer faseroptischen Sensormatte zur Überprüfung von Muffen

Es ist bekannt, dass etwa in 10 % aller auf Baustellen verschäumten Muffen von KMR-Leitungen Fehler auftreten, die bisher erst nach der Inbetriebnahme der Leitungen erkannt

werden konnten. Die von der DREWAG, dem FITR und der GESO entwickelte und patentierte Sensormatte [5] bietet nunmehr die Möglichkeit einer Qualitätskontrolle unmittelbar nach der Muffenverschäumung. Die Ersterprobung dieser Matte erfolgt in Zusammenarbeit des FITR mit GESO bei ISOPLUS Fernwärmetechnik GmbH Sondershausen.

4. Gegenüberstellung von Vor- und Nachteilen des faseroptischen Leckwarn- und -ortungssystems

Die Nachteile des Systems bestehen in der Notwendigkeit einer Spezialverbindungstechnik sowie in der noch geringen Marktverbreitung.

Vorteile:

- Bedienung aller Konstruktionsvarianten von FW-Leitungen mit nur einem System
- Anwendbarkeit auch für die Überwachung anderer Medien gegeben (als Sicherheitssystem im Mehrspartenunternehmen möglich)
- Anwendbarkeit in Kombination mit Steuer- oder Kommunikationskabeln (z. B. 10 Adern Cu-Leiter für Steuerkabel und 4 Fasern LWL in einem Kabel integriert oder 4 Fasern eines 48-adrigen Telekom-Kabels werden zur Leckageüberwachung genutzt)
- Montagefehleranfälligkeit gering, da keine Integration im Rohrsystem
- System kann Medium von eingeschlossener Baufeuchte unterscheiden
- Baufehler (z. B. schlechte Muffen oder Erwärmungen unter Dehnpolstern) werden bei KMR schon ohne einen Schadenseintritt durch Leckagen erkannt
- Erkennung von Fremdeinwirkungen (Ausgrabungen an bzw. neben der Trasse)
- Erkennen und Bewerten von Wärmeverlusten möglich
- Erfassung der thermischen Belastungsgeschichte des PE-Mantels und des PUR-Schaums möglich
- Alterungsprognose ist ableitbar

Literatur

- [1] Großwig, S.; Kasch, M.; Kühn, K.; Schubart, P.; Steinbach, M. (GESO) und Berger, W. (FITR): Überwachung von Fernwärmenetzen mit faseroptischer Temperaturmesstechnik. ROHRBAU-Journal 1/1998 (Herausgeber: FITR Weimar e. V.), S. 10 - 12.
- [2] Großwig, S.; Kühn, K.; Schubart, P.; Berger, W.; Trostel, A.: Контроль состояния трубопроводных сетей с помощью волоконно-оптической термоизмерительной аппаратуры. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, no. 7-8/99, стр. 34 - 35.
- [3] FITR Weimar e. V. und GESO Jena mbH: Immer up to date – Erfahrungen bei der Praxisanwendung eines neuartigen Messverfahrens zur Leckagewarnung, -ortung und On-line-Erfassung von Betriebszuständen an Fernwärmeleitungen – Ein Bauvorhaben im Netz der DREWAG. ROHRBAU-Journal 1/1999, S. 10 - 11.
- [4] Berger, Wolfgang: Faseroptische Überwachung. Vortrag auf dem AGFW-Seminar „Kunststoffmantelrohr-Überwachungs- und Fehlerortungssysteme“ am 19. und 20. September 2000 in Bielefeld (Tagungsmaterial).
- [5] Großwig, Stephan, Berger, Wolfgang und Herbst, Andreas: Patent Nr. 198 43 974 „Vorrichtung und Verfahren zur Kontrolle und Überwachung der Dämmung von Mantelrohren“. IPC: F17D 5/02. Patentinhaber: GESO Gesellschaft für Sensorik, geotechnischen Umweltschutz und mathematische Modellierung mbH Jena. 20.04.2000.

Verfasser: Dr.-Ing. Wolfgang Berger
Direktor des Forschungsinstitutes
für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e. V. (FITR)
und
Dr. sc. techn. Hermann Keller
wissenschaftlicher Mitarbeiter des FITR
Schwanseestraße 93
99427 Weimar
Telefon: (0 36 43) 82 68 20
Telefax: (0 36 43) 82 68 26
e-mail: postmaster@fitr.de
Internet: www.fitr.de