

III/3 Erprobung komplexer Verlegetechnologien zur Kostensenkung von Fernwärme-Hausanschlussleitungen

Dipl.-Ing. Jürgen Krausewald

1. Einleitung

Nach Angaben der Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e. V. sind über Fernwärmenetze mit einer Gesamtlänge von 18.500 km in Deutschland 320.000 Gebäude an die Fernwärmeversorgung angeschlossen. Bei den 1998 neu fertiggestellten Wohnungen hatte die Fernwärme einen Anteil von 10 % und im Bereich der Nicht-Wohngebäude (Büro-, Verwaltungsgebäude, Kaufhäuser, Hotels etc.) einen Anteil von 16 % am Neubauvolumen [1].

Gegenwärtig stehen die Fernwärmeversorgungsbetriebe unter hohem Wettbewerbsdruck seitens anderer Energieträger. Der Neu- und Ausbau der Fernwärmenetze spielt heute im Verhältnis zum Anschluss von Gebäuden an bestehende Trassen eine untergeordnete Rolle. Die Frage der sicheren und kostengünstigsten Herstellung von Abzweigkonstruktionen zum Anschluss einer Hausanschlussleitung (HA-Leitung) verkörpert deshalb einen wesentlichen Faktor zur Senkung der Kosten und der Wettbewerbsfähigkeit [2].

Die Praxis bei der Erstellung von Fernwärme-Hausanschlüssen stellt sich dabei wie folgt dar:

- Als übliches Rohrleitungssystem in der Fernwärme werden bei der Neuverlegung Kunststoffmantelrohrleitungen (KMR-Leitungen) verwendet.
- Die Verlegung erfolgt in der Regel in offener Grabenbauweise und Nebeneinanderverlegung. Die Grabenbreite richtet sich zur technisch ordnungsgemäßen Einbettung der Leitungen nach der erforderlichen Arbeitsraumbreite in Abhängigkeit von der Verlegetiefe.
- Die Verfüllung der Leitungszone erfolgt mit Kiessand. Die Geometrie der Leitungszone ist ebenso wie das zulässige Größtkorn vom Hersteller der KMR-Leitungen vorgegeben.
- Die lagenweise Verdichtung der Leitungs- und Verfüllzone wird u. a. durch die ZTV E-97 als Regelbauweise vorgeschrieben, um die ebenfalls dort geforderten Verdichtungsgrade zu gewährleisten.
- Die Einbindung an die Hauptleitungen erfolgt im Parallelanschluss mittels Anbohrtechnik.
- Diese Verlegetechnologien und die benötigten unterschiedlichen Gewerke führen oft zu mehrtägigen Baustellen und den sich daraus ergebenden Kosten.

Mehrtägige Baustellen zum Anschluss von Fernwärme-Hausanschlussleitungen sind in der Gegenwart und zukünftig mit Blick auf die Verlegetechnologien im Gas- und Wasserbereich nicht mehr ökonomisch. Der Kosten- und Zeitfaktor führt zwangsläufig zu einer technischen Weiterentwicklung der Hausanschlussverfahren. Im Vorfeld dieser Untersuchungen wurde eine umfangreiche Bestandserfassung der heute am Markt etablierten und neuartigen Verfahren- und Verlegetechnologien zur Erstellung von Fernwärme-Hausanschlüssen vorgenommen. Die technisch innovativen Technologien zur Kostenreduzierung können wie folgt zusammengefasst werden:

- Verwendung von flexiblen Rohrleitungssystemen
- Reduzierung der Überdeckungshöhen durch Flachverlegung
- Anwendung gesteuerter grabenloser Rohrverlegungsverfahren
- Einsatz von Baumaschinen mit kleiner Dienstmasse und Breite der Arbeitswerkzeuge (Minibagger, eventuell neuartige Grabenfräsen)

- Einsatz von selbstverdichtenden Bettungsmaterialien (z. B. stabilisierende Sandmischung [SSM], Boden-Mörtel [WBM])
- Verwendung von verstärkten T-Abzweigen
- Reduzierung der Grabenbreiten, z. B. durch Übereinanderverlegung von Vor- und Rücklauf

2. Wissenschaftliche Zielstellung

Das Forschungsvorhaben verfolgte die Zielstellung, die erfolgsversprechendsten Verlege- und Einbindetechnologien der oben aufgeführten technischen Möglichkeiten experimentell zu untersuchen, die Sicherheit der Systeme nachzuweisen und ihre Wirtschaftlichkeit mit heutigen Verfahren zu vergleichen. Folgende Verlegetechnologien kommen zur Untersuchung:

1. Gesteuerter unterirdischer Vortrieb aus dem Kellerraum eines Gebäudes hin zu einem Kopfloch im Bereich der anzuschließenden Verteilerleitung und Einziehen einer flexiblen Fernwärmeleitung.
2. Übereinanderverlegung in einem extrem schmalen Leitungsgraben, Verfüllung der Leitungszone mit einem selbstverdichtenden Verfüllmaterial, Boden-Mörtel.

Die untersuchten Einbindetechnologien an bestehende Verteilerleitungen einschließlich der Wiederverfüllung sind:

1. Anbohrkugelhähne DN 25 und DN 50, direkt auf das Stahlrohr verschweißt
2. Anbohrtechnik unter Betriebsbedingungen ($T = 130\text{ °C}$, $p = 15\text{ bar}$)
3. Verfüllung des Leitungszonenbereiches der Kopflöcher
 - mit Sand (DN 50) und zum Vergleich
 - mit Boden-Mörtel (DN 25).

3. Festlegung der Versuchsbedingungen

In Fernwärmenetzen sind die medientransportierenden Leitungen, wie z. B. KMR-Leitungen, Beanspruchungszyklen infolge der Wärmeausdehnung ausgesetzt. Entlang einer erdverlegten Fernwärmetrasse bilden sich unterschiedliche Bereiche aus. Man spricht von einem Haft- und einem Gleitbereich. Als Haftbereich bezeichnet man die Leitungsabschnitte, an denen bedingt durch natürliche oder konstruktive Festpunkte keine oder nur geringe Bewegungen der Leitungen möglich sind. Im Gleitbereich können dagegen Bewegungen der Leitungen durch Wärmeausdehnung auftreten.

In Deutschland wird davon ausgegangen, dass die größtmögliche Länge im Gleitbereich 200 m beträgt. Modellierungen an der FH Gelsenkirchen durch Herrn Prof. Dr.-Ing. M. Becker berechneten die Längenänderung infolge der Wärmeausdehnung für das Verbundrohrsystem KMR-Leitung bei 130 °C auf 41,7 mm.

Die Abstimmung der Randbedingungen der Versuchsdurchführung erfolgte in Absprache mit allen am Forschungsvorhaben beteiligten Firmen und Institutionen. Folgende Vorgehensweisen und Versuchsparameter wurden einvernehmlich festgelegt:

1. Für die Versuchsdurchführung wird das technische Know-how der am Projekt mitarbeitenden Systemanbieter genutzt. In ihrem Entscheidungsbereich liegt die konstruktive Ausführung der Systeme und z. T. deren technische Einbindung in den Versuchsaufbau.
2. Die Medientemperatur während des gesamten Versuchsablaufs beträgt 130 °C .
3. Der Mediendruck wird auf 15 bar festgelegt.
4. Die Beanspruchung der Probanden erfolgt in Druck- und Zugrichtung.
5. Der Press- und Ziehweg beträgt 40 mm.

6. Die Press- und Ziehgeschwindigkeit wird in Absprache mit dem Fernwärme-Forschungsinstitut in Hannover e. V. (FFI) auf 10 mm/h festgelegt.
7. Zwischen Press- und Ziehzyklus ist eine einstündige Beruhigungsphase einzuhalten.
8. Ein Press- und Ziehzyklus umfasst einen Zeitraum von ca. 9 Stunden.
9. Die Versuchsanordnung wird zur Gewährleistung gleicher Versuchsbedingungen ständig auf 130 °C und 15 bar gehalten.
10. Die Einbindung der HA-Leitungen erfolgt auf jeweils einer der Verteilerleitungen, um sicherzustellen, dass während der Press-Ziehzyklen gleiche Belastungen wirken und eine gegenseitige Beeinflussung annähernd ausgeschlossen werden kann.
11. Die HA-Leitungen werden nach dem Isolieren und dem Verschäumen mit Dehnpolstern versehen. Die Stärke der Dehnpolster beträgt 80 mm.
12. Das Anschließen der HA-Leitungen erfolgt unter Betriebsbedingungen.
13. Zur Simulation einer über einen längeren Zeitraum in Betrieb befindlichen Verteilerleitung werden 10 Press- und Ziehzyklen ohne angeschlossene HA-Leitungen ausgeführt.
14. Entsprechend AD-Merkblatt S2 [3] werden nach Einbindung der HA-Leitungen 100 Press-Ziehzyklen durchgeführt, um in etwa eine 30-jährige Betriebsdauer zu simulieren.
15. Die Erfahrungen des FITR im Rahmen von Grenzzustandsversuchen an 45°-T-Abzweigen haben gezeigt, dass die zur Simulation der Wärmeausdehnung erforderlichen Presskräfte während des Versuchszeitraumes um ein Drittel vom Ausgangswert abnehmen. Tritt dieser Fall auch bei den experimentellen Untersuchungen ein, wird in Absprache mit den am Versuch beteiligten Firmen und Institutionen eine Erhöhung der Press-Ziehgeschwindigkeit auf 20 mm/h vereinbart.

4. Versuchsaufbau

Untersuchungen dieser Art können in einem in Betrieb befindlichen Fernwärmenetz aus verständlichen Gründen nicht durchgeführt werden. Auf dem Versuchsfeld des FITR, mit einer Fläche von ca. 9000 m², wurden in der Vergangenheit eine Vielzahl von Untersuchungen an Fernwärmeleitungen, u. a. mehrere Grenzzustandsversuche im Rahmen des FuE-Projektes "Neuartige Wärmeverteilung, Teilprojekt A 9, Wechselwirkungen: Fernwärmeleitung - Bettungsmaterial durchgeführt. Durch eine eigenständige Heißwasseranlage mit oberirdisch verlegten Ringleitungen und verschiedenen Anbindungsmöglichkeiten für Vor- und Rückleitungen waren Grundvoraussetzungen für die Versuchsdurchführung entsprechend der festgelegten Randbedingungen geschaffen.

Der in Ergänzung dazu erforderliche Neubau ist in **Bild 1** in einer Übersicht dargestellt. Entsprechend des Versuchsprogramms sollte die Simulation der Wärmeausdehnung mittels Pressen erfolgen. Zur Einleitung von Press- und Ziehkräften auf erdverlegte Verteilerleitungen wurde ein in Druck- und Zugrichtung mit ausreichender Sicherheit dimensionierter Festpunkt geschaffen (**Bild 1, Pos. 1**) der im Folgenden als Pressgrube bezeichnet wird. Die Bewegung der Probanden sollte an der krafteinleitungsabgewandten Seite in einer Dehngrube (**Bild 1, Pos. 2**) frei erfolgen und beobachtet werden können.

Die Befestigung der Pressen wurde über ein im Stahlbeton der Pressgrube integriertes Profilträgergerüst realisiert. Die Anordnung der Pressen sollte dabei möglichst variabel gestaltet werden, so dass Neben- und Übereinanderverlegung von Rohren unterschiedlicher Dimension für spätere Versuche gewährleistet war. Um zu verhindern, dass bei der Press- und Ziehbewegung über die erdverlegten Probanden Querkräfte auf die Pressen wirken, wurde in der Pressgrube eine Rahmenkonstruktion zur Führung der Probanden vorgesehen und zudem zwischen Pressen und Probanden Gelenke angeordnet.



Bild 2: Anordnung der Lichtwellenleiterkabel zur Temperaturmessung

- Absolute Längenänderung der beiden zu bewegenden Probanden über inkrementale Messwegaufnehmer (Verteilerleitung DN 200 gegenüber dem anstehenden Erdreich).
- Absolute Press- bzw. Ziehkraft auf die Probanden während der Versuchsdurchführung mittels Kraftmessdosen.
- Traversenweg der Pressen als Absolutwert des umgesetzten Kolbenweges.
- Weitere Messgeber können angeschlossen und in die spätere softwaregestützte Auswertung integriert werden.
- Die Messwerte wurden softwaregesteuert erfasst und abgespeichert.

Die Aufzeichnung der Mediumtemperatur und des Drucks innerhalb der Heißwasseraufbereitungsanlage einschließlich der oberirdisch verlegten Ringleitung erfolgte zeitgleich mit der Pressensteuerung über ein separates Aufzeichnungssystem. Zusätzlich wurden im Bereich des Zulaufes in die HA-Leitungen DN 25 und DN 50 Temperaturmessgeber PT 100 angeordnet, die zusammen mit gleichartigen Messgebern für die Außentemperatur und an den Verteilerleitungen in der Pressgrube für eine Gesamtübersicht der Temperaturverläufe während der Versuchsdurchführung sorgten.

Um den Temperaturverlauf entlang der Versuchstrasse und später der angeschlossenen HA-Leitungen bestimmen zu können, wurden in der 12-Uhr-Position der Verteilerleitungen und in der 3- und 9-Uhr-Position der HA-Leitungen faseroptische Temperaturmesskabel appliziert (**Bild 2**).

Die experimentellen Versuche untergliederten sich neben der Versuchsvorbereitung in zwei Phasen.

7. Versuchsdurchführung

7.1 Phase 1 der Versuchsdurchführung

In der Phase 1 wurde eine über einen längeren Zeitraum in Betrieb befindliche Verteilerleitung simuliert, an die im weiteren Verlauf der Versuche Hausanschlussleitungen angeschlossen werden sollten. Zu diesem Zweck wurden zwei KMR-Leitungen DN 200 mit einer Länge von ca. 16 m in einem Leitungsgaben, wie in **Bild 3** dargestellt, nach den Regeln der Technik erdverlegt. Die Leitungszone wurde lagenweise bis 0,25 m über Scheitel mit Sand aufgefüllt



Bild 12: Riss im Schweißnahtbereich des Anbohrkugelhahns DN 25 im Ergebnis des Grenz-zustandsversuches nach 122 mm Pressweg

rung einer Anschlussleitung zum entscheidenden Kostenfaktor. Durch die oben beschriebene Situation erscheint es bisher oft so, dass eine offene Grabenverlegung mit billigem Hilfspersonal kostengünstiger ausgeführt werden kann, als eine technologisch neuartige grabenlose Verlegung mit qualifiziertem Personal und kostenintensiver Technik.

9.2 Kosteneinsparende Vorteile der neuartigen Technologien

Für die Kopflöcher im Anschlussbereich zu den Verteilerleitungen und für die Übereinanderverlegung werden nur kleine Baugruben bzw. Leitungsgräben benötigt. Die Straßenoberfläche als kostenintensivster Teil der Tiefbauarbeiten muss nur kleinflächig aufgebrochen werden. Aushub und Transport von Baumassen werden minimiert, der Baustellenverkehr wird reduziert und Umleitungen, somit auch Verkehrsstaus, herabgesetzt. Dies bedeutet weniger Schmutz, Lärm- und Abgasemissionen für die Anwohner.

Der Oberflächenbewuchs wird geschont. Vorgärten, Gehwege etc. werden gar nicht oder nur in geringem Maße beschädigt. Queraufbrüche der Fahrbahn und damit verbundene Reparaturarbeiten, die zu inhomogenen Straßenoberflächen führen, sowie die entstehenden Kosten lassen sich mit der geschlossenen Bauweise reduzieren und bei der Übereinanderverlegung in Boden-Mörtel minimieren.

Da die Beschaffenheit des Bodens bei grabenlosen Verfahren nicht gestört wird, ergibt sich zusammen mit der eingesetzten Bentonitsuspension eine optimale Bettung der Leitung. Dies bedeutet eine qualitativ hochwertige Bauleistung. Verstöße gegen Vorschriften über Auflagerungen, Unterbettung, Einbettung und Überschüttung der Rohre können gar nicht erst auftreten. Ebenso werden Langzeitschäden an der Oberflächenbefestigung und benachbarter Bebauung, hervorgerufen durch fehlerhafte Ausführung, vermieden. All diese Faktoren führen letztendlich zu einer größeren Lebensdauer des Leitungsstranges. In wirtschaftlicher Hinsicht kommt dies für die Netzbetreiber in Form einer geringeren Jahresabschreibung deutlich zum Ausdruck.

Im direkten Vergleich beider Technologien im Ergebnis der Versuchsdurchführung stehen die relativ hohen Kosten für den unterirdischen Vortrieb geringere Kosten für die Übereinanderverlegung gegenüber. Argumentiert man entsprechend 9.1 mit der durch billige Hilfskräfte

heute kostengünstig ausführbaren offenen Grabenverlegung, so scheint die Übereinanderverlegung, bedingt durch schmale Leitungsgräben und dem Wegfall der lagenweisen Verdichtung der Leitungs- und Verfüllzone durch Verwendung von Boden-Mörtel, eher ihren Weg in die Baustellenpraxis zu finden. Die Qualität der Rohrbettung wird erhöht, ohne dass sie durch die Arbeitskräfte wesentlich beeinflusst werden kann.

10. Zusammenfassung

Das Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e. V. (FITR), die EWU Engineering GmbH und das Fernwärme-Forschungsinstitut in Hannover e. V. (FFI) haben gemeinsam ein vom Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaften industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e. V. (AiF) gefördertes Forschungsvorhaben mit dem Thema „Weiterentwicklung komplexer Verlegetechnologien zur Kostensenkung von Fernwärme-Hausanschlüssen“, FV 11798, durchgeführt. Ziel des Forschungsvorhabens war es, neuartige Verfahren zur kostengünstigen und sicheren Einbindung von Hausanschlussleitungen an bestehende Fernwärmetrassen aus der Vielzahl möglicher neuartiger Technologien auszuwählen und diese unter praxisnahen Bedingungen zu untersuchen.

Das Forschungsprojekt konnte nur durch die Mitarbeit der Firmen Brugg Rohrsysteme GmbH, Werner Böhmer Maschinenfabrik, Deutsche Montan Technologie GmbH, Invensys Flow Control, ISOPLUS Fernwärmetechnik Sondershausen GmbH, A. Schuchmann Rohrleitungsbau GmbH realisiert werden. An dieser Stelle vielen Dank für die Unterstützung.

Die Untersuchungen haben die Praxistauglichkeit der neuartigen Verlege- und Einbindetechnologien bewiesen. Der Grenzzustandsversuch hat darüber hinaus eine dreifach höhere Belastbarkeit gegenüber den in der Praxis auftretenden Beanspruchungen erbracht. Die mehrfache Sicherheit der Verlege- und Einbindungsverfahren konnte nachgewiesen werden.

Die ökonomischen Aspekte zwingen die Fernwärmeversorger, verstärkt nach neuartigen und sicheren Verlege- und Einbindetechnologien für Hausanschlussleitungen zu suchen. Die untersuchten Verfahren zeigen die heutigen Möglichkeiten auf.

Literatur

- [1] VS 404006: Hauptbericht der Fernwärmeversorgung 1998, Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e. V.
- [2] Hartung, R.: Innovationsorientierung der Unternehmen – Grundlage zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit der Versorgung mit umweltfreundlicher Fernwärme. 3R International, 35(1996), Heft 6, S. 303
- [3] AD-Merkblatt S2: Berechnung auf Schwingungsbeanspruchung

Verfasser: Dipl.-Ing. Jürgen Krausewald
Wissenschaftlicher Mitarbeiter am
Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e. V. (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