

I/1 Experimentelle Erfassung der Interaktion von KMR und neuartigen Rohreinbettsverfahren¹

Dipl.-Ing. Thomas Grage und Dr. sc. techn. Hermann Keller

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden in Zusammenarbeit des Forschungsinstitutes für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e. V. (FITR) und des Fernwärme-Forschungsinstitutes in Hannover e. V. (FFI) experimentelle Untersuchungen von unkompensiert kaltverlegten Kunststoffmantelrohr(KMR)-Probanden DN 150, die in Weimarer Bau-Mörtel® (WBM®) verschiedener Festigkeit und zum Vergleich in konventioneller Weise in Sand gebettet waren, mit dem Ziel durchgeführt, die Interaktion zwischen KMR und dem Bettungsmaterial zu klären. Die Versuche umfaßten Langsamverschiebezyklen ohne und mit Querverschiebung der Probanden sowie Schnellverschiebezyklen in Anlehnung an DIN EN 489 bei zum Teil wechselnden Medientemperaturen. Es zeigte sich, daß die bei einer thermisch bedingten axialen Verschiebung in WBM® wirkenden Reibungskräfte größer sind als bei Bettung in Sand. Dies gilt insbesondere für die bei Erstverschiebung entstehenden Reibungskräfte, aber auch für alle nachfolgenden Belastungszyklen. Das bedeutet, daß die thermisch bedingte Verschiebung einer in WBM® gebetteten KMR-Leitung geringer ausfällt als bei einer konventionellen Bettung in Sand.

1. Problemstellung

Die Gestaltung von Leitungsgräben ist gegenwärtig in DIN 4124 [1] vorgeschrieben, und die Rohreinbettung sowie die Grabenverfüllung hat gemäß ZTVE-StB 94 [2], Abschnitt 8 – Baugruben und Leitungsgräben – zu erfolgen. Danach ist für die Leitungszone Boden, bzw. falls der Boden ausgetauscht werden muß, Natursand mit einem Größtkorndurchmesser von 20 mm lagenweise einzubauen und mit leichtem Gerät zu verdichten. Bei Leitungsgräben innerhalb und außerhalb des Straßenkörpers gilt für die Leitungszone eine Anforderung an das 10%-Mindestquantil des Verdichtungsgrades D_{Pr} von 97 %. Oberhalb der Leitungszone kann gemischtkörniger Boden eingesetzt werden, der gleichfalls lagenweise einzubauen und zu verdichten ist. Bindige Böden müssen ausgetauscht und deponiert werden.

Diese Vorgehensweise steht im Widerspruch zum Kreislaufwirtschaftsgesetz [3]. Es bestand deshalb nicht zuletzt auch im Interesse einer Schonung der Natursand-Vorräte die Notwendigkeit der Entwicklung neuartiger kostengünstiger Bettungsverfahren, die einen Wiedereinsatz des Grabenaushubes oder von Recyclingmaterial ermöglichen. Solche neuartigen Bettungsverfahren sehen den Einsatz von stabilisiertem Verfüllmaterial (SVM), wie z. B. stabilisierte Sandmischungen (SSM) oder Weimarer Bau-Mörtel® (WBM®), als Bettungsmaterial vor. Gegenstand der experimentellen Untersuchungen im Rahmen des Forschungsvorhabens war der vom Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e. V. (FITR) entwickelte WBM®.

Der WBM® besteht aus:

- den Grundmaterialien Bodenaushub, geeigneten Recycling-Baustoffen oder auch natürlichem Sand,
- dem Plastifikator, einer Mischung aus Wasser, quellfähigem Ton und anorganischen Zusätzen sowie
- dem Stabilisator, wie z. B. Zement oder Kalk.

¹ Forschungsvorhaben 11260 B der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke e. V.“, gefördert aus Mitteln vom Bundesminister für Wirtschaft. Abschluß: April 1999.

Nach Vermischen dieser Bestandteile nimmt der Mörtel vorübergehend eine plastische Konsistenz an und verfestigt sich anschließend dauerhaft nur so weit, daß er im ausgehärteten Zustand einem Boden der Gewinnungsklasse 4 entspricht. Durch weitere Zusätze kann die Abbindedauer beeinflusst werden.

Nachdem auf bisher 15 Versuchsbaustellen die Bettung von Fernwärme-, Gas-, Wasser- und Abwasserleitungen sowie von Stromkabeln in WBM[®] durch das FITR erfolgreich praktiziert worden ist, wobei insgesamt etwa 900 m³ Mörtel verarbeitet worden sind, waren speziell für unkompensiert kaltverlegte Kunststoffmantelrohr(KMR)-Leitungen der Fernwärmeversorgung Probleme der Interaktion zwischen KMR und dem WBM[®] unter praxisnahen definierten Randbedingungen zu klären.

2. Forschungsziel

In Zusammenarbeit des FITR mit dem FFI waren auf der Grundlage von experimentellen Untersuchungen im Erdkanal des FFI folgende Fragen zu beantworten:

- Entwicklung der Reibungskräfte zwischen dem PE-Mantel von KMR und dem angrenzenden Bettungsmaterial in Abhängigkeit von der Konsistenz des WBM[®], der Axial- und Querverschiebung von KMR, der Medientemperatur sowie von der Belastungsdauer im Vergleich zu einer konventionellen Bettung in Sand.
- Erkundung von Grenzen der Belastbarkeit von KMR hinsichtlich entstehender Beschädigungen der Leitungen und insbesondere der Muffen in Abhängigkeit von der Festigkeit des WBM[®] und der Belastungsdauer im Vergleich zu einer konventionellen Bettung in Sand.

Mit der Beantwortung dieser Fragen war das Ziel verbunden, das wissenschaftliche Fundament für die Bettung von unkompensiert kaltverlegten KMR-Leitungen in WBM[®] zu qualifizieren und somit die breite Einführung dieses neuartigen kostengünstigen Bettungsverfahrens in der Praxis zu fördern.

3. Lösungsweg

Die experimentellen Untersuchungen im Erdkanal des FFI fanden unter folgenden Randbedingungen statt:

- Es kamen zwei 12 m lange KMR-Probanden DN 150 zum Einsatz, die jeweils mit einer oder zwei Muffen versehen waren. Zum Teil wurden auch Lecküberwachungssysteme auf Sensorbasis auf die Außenoberfläche der Probanden aufgeklebt. Die Probanden wurden mit einer Überdeckungshöhe über Rohrscheitel von 1,0 m und über eine Länge von ca. 11 m eingebettet.
- Als Grundmaterial für die Herstellung des WBM[®] kamen RC-Sand 0-5 mm, der im Raum Hannover in großer Menge verfügbar ist, sowie Sand 0-2 mm zum Einsatz. Die Würfeldruckfestigkeit des Mörtels 7 Tage nach der Verfüllung der Leitungszone mit Mörtel (jeweiliger Versuchsbeginn) wurde im Bereich $R_7 = 0,0695 \dots 0,4045$ MPa variiert.
- Für den Vergleichsversuch der konventionellen Bettung eines KMR-Probanden wurde Sand 0-2 mm eingesetzt.
- Die axiale Verschiebung der KMR-Probanden über eine Distanz von 75 mm erfolgte über eine Presse (**Bild 1**), die jeweils an das medienführende Stahlrohr angeschlossen war, ohne oder mit gleichzeitiger Querverschiebung. Es wurden sowohl Langsamverschiebeversuche mit Verschiebegeschwindigkeiten von 10 ... 30 mm/h beim Pressen und 60 mm/h beim Zurückziehen des Probanden als auch Schnellverschiebezyklen in Anlehnung an

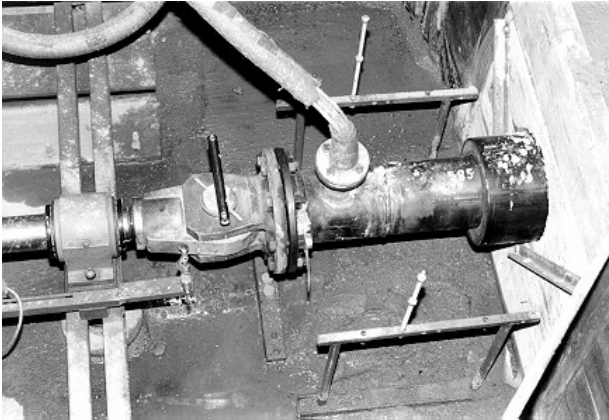


Bild 1: Blick in die Preßgrube mit Ankopplung des medienführenden Stahlrohres des KMR-Probanden DN 150 an die Axialpresse

DIN EN 489 [4] mit Verschiebegeschwindigkeiten von 10 mm/min beim Pressen und 50 mm/min beim Zurückziehen durchgeführt.

- Die Querverschiebung der KMR-Probanden über eine Distanz von 6 mm wurde durch eine vertikale Auflast oder von 10 mm in horizontaler Richtung durch eine in der Mitte des Probanden angeordneten Querpresse (**Bild 2**) bei Beibehaltung der axialen Verschiebung realisiert. Die Verschiebegeschwindigkeit lag dabei im Bereich von 7 ... 10 mm/h. Bei den Schnellverschiebezyklen wurde diese Querverschiebung konstant gehalten.
- Bei den Versuchen wurden Medientemperaturen von 130 °C und zum Teil bei 60 °C eingestellt, wobei auch teilweise Temperaturwechsel und ihre Auswirkungen auf die Interaktion KMR/Bettungsmaterial untersucht wurden.
- Nach jedem Bettungsversuch erfolgte eine sorgfältige Freilegung des Probanden, um eventuelle Beschädigungen insbesondere im Muffenbereich erkennen zu können.

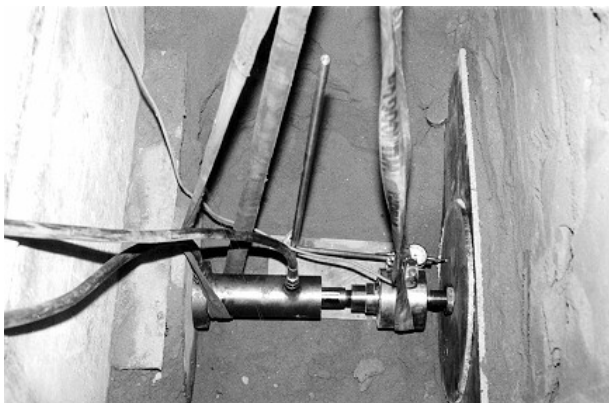


Bild 2: Blick in die Querpreßgrube im Bereich der Schrumpfmuffe des KMR-Probanden DN 150

Tabelle 1: Übersicht über den Versuchsablauf der Bettungsversuche 1 bis 6

Versuchsdaten / Versuchsablauf	Bettungsversuch					
	1	2	3	4	5	6
Bettungsmaterial	Weimarer Bau-Mörtel® (WBM®) aus RC-Sand 0-5 mm					
KMR-Proband DN 150, Einbettungslänge 11 m	1.					
Würfeldruckfestigkeit R_7 des WBM® nach 7 Tagen in MPa	10					
Versuchsdauer	0,0695	0,287	0,332	0,4045	0,349	-
Temperaturgradient beim Aufheizen auf $t_{b,e} = 130\text{ °C}$ in K/h	21.-24.04.98	26.-29.05.98	07.-09.07.98	04.-07.98	21.-25.09.98	11.-15.01.99
Geschwindigkeit der 1. Langsamverschiebung bei Pressen	10 ... 24	10	10	10 ... 20	7 ... 24	10 ... 20
130 °C über 75 mm ohne Querbelastung in mm/h	30 ... 36	-	60	60	58 ... 68	60
Geschwindigkeit der 2. Langsamverschiebung bei Pressen	10 ... 30	-	-	-	-	-
130 °C über 75 mm ohne Querbelastung in mm/h	10	-	-	-	-	-
Geschwindigkeit der Langsamverschiebung bei Pressen	-	-	7 ... 20	10 ... 20	10 ... 20	10 ... 20
130 °C über 75 mm mit Querbelastung in mm/h	-	-	60	60	60	60
Schnellverschiebezyklen bei $t_{b,e} = 130\text{ °C}$ über 75 mm	20	100	102	107	70	20
Anzahl der Zyklen	10	10	10	10	10	10
Verschiebebeschwindigkeit in mm/min	50	50	50	50	50	50
Schnellverschiebezyklen bei $t_{b,e} = 60\text{ °C}$ über 75 mm	-	-	-	-	30	15
Anzahl der Zyklen	-	-	-	-	10	10
Verschiebebeschwindigkeit in mm/min	-	-	-	-	50	50
Temperaturgradient bei Wiedererhitzen auf $t_{b,e} = 130\text{ °C}$ in K/h	-	-	-	-	-	50 ... 32
Anzahl der Zyklen	-	-	-	-	-	15
Verschiebebeschwindigkeit in mm/min	-	-	-	-	-	10
Schnellverschiebezyklen bei $t_{b,e} = 130\text{ °C}$ über 75 mm	-	-	-	-	-	50
Anzahl der Zyklen	-	-	-	-	-	10
Verschiebebeschwindigkeit in mm/min	-	-	-	-	-	10
Schnellverschiebezyklen bei $t_{b,e} = 60\text{ °C}$ über 75 mm	-	-	-	-	-	50
Anzahl der Zyklen	-	-	-	-	-	10
Verschiebebeschwindigkeit in mm/min	-	-	-	-	-	48 ... 36
Temperaturgradient bei Wiedererhitzen auf $t_{b,e} = 130\text{ °C}$ in K/h	-	-	-	-	-	10
Anzahl der Zyklen	-	-	-	-	-	10
Verschiebebeschwindigkeit in mm/min	-	-	-	-	-	50

Zur Beurteilung der Reibungskräfte dienen die Preß- und Zugkräfte F_P und F_Z , die identisch mit den jeweils entgegengesetzt gerichteten Reibungskräften zwischen dem PE-Mantelrohr und dem Bettungsmaterial sind. D. h., gleichgroße Preß- und Zugkräfte bedeuten dem Betrag nach gleichgroße Reibungskräfte. Somit können die gemessenen Preß- und Zugkräfte als Kriterien für die Beurteilung der Reibungsverhältnisse zwischen Proband und Bettung dienen.

Als Vergleichsbasis zur Charakterisierung der Eigenschaften der WBM[®] dienten die 7-Tage-Würfeldruckfestigkeiten R_7 , die zu Beginn der Bettungsversuche 1 bis 5 vorlagen und die sich über den Bereich von 0,0695 ... 0,4045 MPa erstreckten. Bei den Bettungsversuchen 1 bis 4 mit WBM[®] aus RC-Sand 0-5 mm haben die Reibungskräfte mit der Druckfestigkeit wie erwartet zugenommen. Die maximalen Reibungskräfte stellten sich bei diesen Versuchen jeweils zu Beginn des ersten Langsamverschiebezyklus ein. Sie lagen beim Bettungsversuch 4 mit $F_{Pmax} = 215$ kN ($R_7 = 0,4045$ MPa) etwa um das 3,5-fache höher als beim Bettungsversuch 1 ($F_{Pmax} = 61$ kN; $R_7 = 0,0695$ MPa). Die Reibungskräfte verringerten sich beim Zurückziehen der KMR-Probanden sowie im Verlaufe aller weiteren Belastungszyklen.

Bei dem Maximalwert der Reibungskraft von 215 kN war keinerlei Beeinträchtigung der Qualität der PUR-Schaum-Wärmedämmung festzustellen. Wenn man eine maximal zulässige Scherspannung in axialer Richtung von $\tau_{zul} = 0,04$ MPa nach AGFW-Arbeitsblatt FW 401 [7], Kapitel 1.3.4.2 Scherfestigkeit, für thermisch gealterten PUR-Schaum zugrundelegt, errechnet sich die maximal zulässige Scherkraft (\equiv Preßkraft F_{Pzul}) wie folgt:

$$F_{Pzul} \leq \tau_{zul} \cdot A_t = \tau_{zul} \cdot d_a \cdot \pi \cdot l_B$$

Für ein KMR DN 150 mit einem Außendurchmesser des medienführenden Stahlrohres von $d_a = 0,1683$ m und einer Einbettungslänge von $l_B = 11$ m ergibt sich damit:

$$F_{Pzul} \leq 0,04 \text{ MPa} \cdot 0,1683 \text{ m} \cdot \pi \cdot 11 \text{ m} = 233 \text{ kN}$$

$$\text{D. h.: } F_{Pmax} = 215 \text{ kN} \leq F_{Pzul} = 233 \text{ kN}$$

Bei den bisherigen Versuchsbaustellen des FITR sind im Interesse einer leichten Lösbarkeit des verfestigten WBM[®] mit einfachen Mitteln die Würfeldruckfestigkeiten des eingesetzten Mörtels gemäß **Tabelle 2** eingestellt worden.

Tabelle 2: Vergleich der Würfeldruckfestigkeiten der auf den FITR-Versuchsbaustellen und in den Bettungsversuchen 1 bis 5 eingesetzten Weimarer Bau-Mörtel[®]

Würfeldruckfestigkeiten nach	Versuchsbaustellen des FITR	Bettungsversuche 1 bis 5
	Würfeldruckfestigkeiten in MPa	
7 Tagen: R_7	0,10 ... 0,30	0,0695 ... 0,4045
14 Tagen: R_{14}	0,25 ... 0,40	0,0885 ... 0,503
28 Tagen: R_{28}	0,30 ... 0,45	0,20 ... 0,559

Der Vergleich zeigt, daß bei den Bettungsversuchen 1 bis 5 die Würfeldruckfestigkeiten der eingesetzten WBM[®] über den für die Praxis interessanten Bereich hinausgingen. So handelte es sich beim Bettungsversuch 1 um einen WBM[®] mit extrem niedriger Druckfestigkeit. Dagegen war bei den Bettungsversuchen 4 und 5 die Druckfestigkeit der eingesetzten Mörtel

höher als bei den FITR-Versuchsbaustellen gewählt worden, um Grenzzustände der Druckfestigkeit erreichen zu können.

Die WBM[®] aus RC-Sand 0-5 mm der Bettungsversuche 1 bis 4 ließen sich mit einem Spaten problemlos lösen.

Beim Bettungsversuch 5 mit WBM[®] aus Sand 0-2 mm wurde durch Zugabe einer erhöhten Menge an Stabilisator angestrebt, einen Grenzzustand der Druckfestigkeit zu erreichen. Es stellte sich aber heraus, daß die 7-Tage-Würfeldruckfestigkeit dieses Mörtels mit $R_7 = 0,349$ MPa niedriger lag als die des Bettungsversuches 4 ($R_7 = 0,4045$ MPa). Dies deutet darauf hin, daß die granulometrischen und stofflichen Eigenschaften des Ausgangsmaterials, aus dem der WBM[®] hergestellt wird, einen Einfluß auf die Druckfestigkeit ausüben.

Dies führte dazu, daß die zu Beginn des ersten Langsamverschiebezyklus auftretende maximale Preßkraft mit $F_{pmax} = 157$ kN ebenfalls niedriger war als die des Bettungsversuches 4 ($F_{pmax} = 215$ kN). Die Reibungskräfte verringerten sich beim Zurückziehen des Probanden sowie im Verlaufe aller weiteren Belastungszyklen. Eine verstärkte Abnahme der Preß- und Zugkräfte und damit der Reibungskräfte war bei den Verschiebeversuchen mit abgesenkter Medientemperatur zu verzeichnen. Hierfür können im wesentlichen zwei Ursachen angeführt werden:

- Der Proband hat seinen Außendurchmesser infolge Temperaturabsenkung verringert.
- Während bei den Bettungsversuchen 1 bis 4 in der wandnahen Zone des Probanden nach der Freilegung plastischer WBM[®] festgestellt wurde, war dies beim Bettungsversuch 5 nicht der Fall, so daß der Mörtel der Durchmesserabnahme des Probanden nicht mehr folgen konnte.

Bemerkenswert ist, daß sich der WBM[®] des Bettungsversuches 5 trotz der niedrigeren Druckfestigkeit mit dem Spaten schwerer lösen ließ als der des Bettungsversuches 4.

Eine Bewertung der bei einer KMR-Bettung in WBM[®] auftretenden Reibungskräfte ist erst durch einen Vergleich mit den Reibungskräften bei konventioneller Sandbettung möglich. Falls die Reibungskräfte bei einer Bettung in WBM[®] kleiner sind als bei einer Bettung in Sand, besteht die Gefahr einer größeren axialen Rohrverschiebung und einer damit verbundenen höheren Belastung von nachgeordneten Bögen und Abzweigen.

Für den Vergleich der Reibungskräfte sind die analogen Bettungsversuche 5 und 6 heranzuziehen. Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse dieses Vergleiches ist der FITR-Niederschrift [8] zu entnehmen. Vergleichbar sind

- die Aufheizphasen,
- die Langsamverschiebezyklen ohne und mit Querbelastung bei $t_{Me} = 130$ °C,
- die Schnellverschiebezyklen bei $t_{Me} = 130$ °C und bei Beibehaltung der Querbelastung sowie
- die Schnellverschiebezyklen bei $t_{Me} = 60$ °C und bei Beibehaltung der Querbelastung.

Auf **Bild 3** wurde beispielhaft für die Aufheizphasen des 5. und 6. Bettungsversuches neben den Kräften auch die Medientemperaturen t_{MePG} , die an der Oberfläche des medienführenden Stahlrohres im Bereich der axialen Preßgrube gemessen worden sind, sowie die Temperaturen t_{PEPG} des PE-Mantelrohres, die ebenfalls im Bereich der axialen Preßgrube gemessen worden sind, grafisch dargestellt. Stichprobenartige Messungen der Oberflächentemperatur t_{PEB} im Einbettungsbereich haben ergeben, daß dort t_{PEB} etwa 8 K niedriger liegt als t_{PEPG} .

Bild 3: Vergleich der Aufheizphasen des 5. und 6. Bettungsversuches

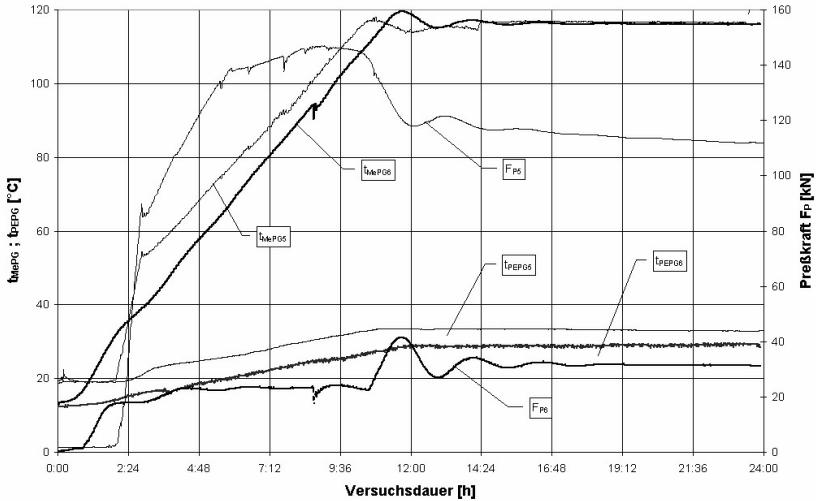


Bild 3: Vergleich der Aufheizphasen des 5. und 6. Bettungsversuches

Beim Betrachten des **Bildes 3** ist festzustellen, daß alle im Verlaufe der Aufheizphase des Bettungsversuches 5 wirkenden Kräfte (grüne Linien) deutlich größer sind als die Kräfte des Bettungsversuches 6 (blaue Linien). Diese Tendenz erstreckt sich auch auf die Langsamverschiebezyklen ohne und mit Querverschiebung sowie auf die Schnellverschiebezyklen bei einer Medienvorlauftemperatur von $t_{MeVL} = 130\text{ °C}$.

Bei dem Vergleich der Schnellverschiebezyklen bei einer Medienvorlauftemperatur von $t_{MeVL} = 60\text{ °C}$ sind die Ergebnisse nicht eindeutig. Aus diesem Grunde sind hierfür weitere Bettungsversuche mit definierter Temperaturwechselbeanspruchung erforderlich.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß bei einer Bettung eines KMR in WBM[®] (Bettungsversuch 5) größere Reibungskräfte wirken als bei einer konventionellen Bettung in Sand (Bettungsversuch 6). Nach den bisherigen Erkenntnissen gilt diese Feststellung für die Aufheizphase sowie für das Verschieben bei einer Medienvorlauftemperatur von $t_{MeVL} = 130\text{ °C}$ und unter Beachtung der gegebenen Randbedingungen der Bettungsversuche 5 und 6 uneingeschränkt.

Demzufolge würde eine in Sand gebettete KMR-Leitung eine größere thermisch bedingte axiale Verschiebung als eine in WBM[®] gebettete Leitung erfahren. Diese für die Fernwärmeversorgung sehr wichtige Erkenntnis unterstreicht neben den wirtschaftlichen Vorteilen einer Rohrbettung in WBM[®] auch die technischen Vorteile, die darin bestehen, daß durch eine geringere axiale Verschiebung einer in WBM[®] gebetteten Leitung Rohrkomponenten wie Abzweige und Bögen einer geringeren Beanspruchung ausgesetzt sind.

Die durch den Vergleich der Bettungsversuche 5 und 6 gewonnenen Erkenntnisse decken sich mit den Ergebnissen des im Rahmen des Verbundvorhabens „Neuartige Wärmeverteilung“, Teilprojekt A 9 „Wechselwirkungen: Fernwärmeleitung – Bettungsmaterial“ (BMBF-Projekt-Nr. 0328789), durchgeführten FITR-Netzversuches IV (Weimar-Nord, Lützendorfer Straße) sowie mit den Ergebnissen der dazugehörigen Berechnungen, die von Becker [9], ausgeführt worden sind.

5.2. Zustand der KMR-Probanden nach den Verschiebezyklen

Im Rahmen der Bettungsversuche galt es, neben der Erfassung der wirkenden Reibungskräfte auch

- den Zustand des Bettungsmaterialies in der wandnahen Zone der KMR-Probanden sowie
- die Beschaffenheit der Probanden selbst, insbesondere im Bereich der Muffen, nach den jeweiligen Versuchen zu beurteilen. Dazu wurden die KMR-Probanden nach jedem Bettungsversuch sehr sorgfältig freigelegt und ihr Zustand fotografisch dokumentiert. Eine ausführliche Darstellung des Zustandes der KMR-Probanden nach ihrer Freilegung ist den FITR-Niederschriften [5] zu entnehmen.

Die wesentlichsten Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Bei der Freilegung der KMR-Probanden nach den Bettungsversuchen 1 bis 4 ließen sich die WBM[®] auf einfache Weise mit dem Spaten lösen. Nach dem Bettungsversuch 5 war hierzu ein größerer Kraftaufwand erforderlich.
- Bei den Bettungsversuchen 1 bis 5 in WBM[®] sind im Geradrohrbereich sowie an den Muffen bei beiden KMR-Probanden keinerlei Beschädigungen feststellbar gewesen. Lediglich im Bereich der druckseitigen Muffen-Manschetten waren leichte Faltenbildungen zu sehen, wobei aber in keinem Fall die Dichtheit der Manschetten beeinträchtigt worden ist. Auf den **Bildern 4** und **5** ist der Zustand der KMR-Probanden nach ihrer Freilegung beispielhaft zu sehen.



Bild 4: Zustand der Schrumpfmuffe des ersten KMR-Probanden DN 150 in 9-12-Uhr-Position (Position in Preßrichtung gesehen) nach insgesamt 337 Verschiebezyklen über jeweils 75 mm in Weimarer Bau-Mörtel[®]

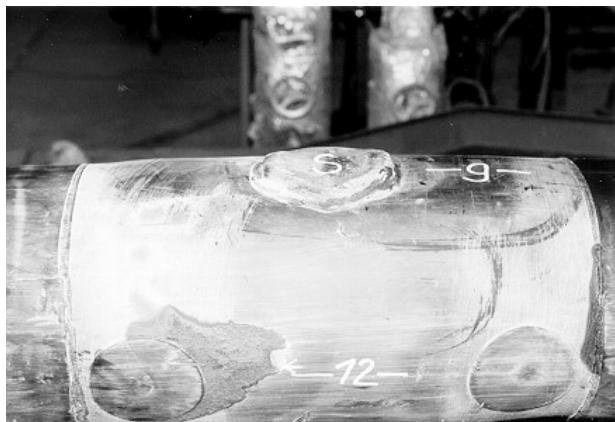


Bild 5: Zustand der Schrumpfmuffe des zweiten KMR-Probanden DN 150 mit aufgeklebtem Lecküberwachungssystem nach insgesamt 174 Verschiebezyklen über jeweils 75 mm in Weimarer Bau-Mörtel® und Sand

- Der beim Bettungsversuch 1 an die Schrumpfmuffe angrenzende WBM®, der eine extrem niedrige Druckfestigkeit aufwies, befand sich in einem aufgelockerten Zustand. Bei den Bettungsversuchen 2 bis 4 hatte sich im Muffenbereich eine „Schmierschicht“ gebildet, die noch leicht plastisches Verhalten aufwies. Beim Bettungsversuch 5 hatte sich im Muffenbereich über die Verschiebelänge von 75 mm ein Bereich geringeren Kontaktes zwischen der angrenzenden Mörtel-Schicht und dem PE-Mantel ausgebildet. In den KM-Geradrohrabschnitten vor, zwischen und hinter den Muffen war ein derartiger Bereich nicht zu beobachten.
- Da der erste KMR-Proband den meisten Verschiebezyklen ausgesetzt war, wurde nach seinem Ausbau nach dem 4. Bettungsversuch der PE-Mantel im Muffenbereich aufgeschnitten und der Zustand des PUR-Schaumes kontrolliert. Es zeigte sich, daß sich der Schaum in einem einwandfreien Zustand befand (**Bild 6**).



Bild 6: Zustand des PUR-Schaumes des ersten KMR-Probanden DN 150 im Bereich der Schrumpfmuffe in 6-Uhr-Position nach insgesamt 337 Verschiebezyklen in Weimarer Bau-Mörtel®

6. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Die Bettungsversuche haben zu der Erkenntnis geführt, daß bei der unkompenzierten Kaltverlegung von KMR in Weimarer Bau-Mörtel[®] die bei einer axialen Verschiebung wirkenden Reibungskräfte größer als bei einer konventionellen Bettung in Sand sind. Dies gilt insbesondere für die bei Erstverschiebung eines KMR entstehenden Reibungskräfte. Aber auch im Falle des Zurückziehens eines KMR sowie bei allen weiteren Belastungszyklen tritt dieser Effekt in Erscheinung, allerdings in abgeschwächter Form. Diese Aussagen gelten für die WBM[®] mit mittlerer bzw. praxisrelevanter und erhöhter Würfeldruckfestigkeit, die in den Bettungsversuchen 2 bis 5 zum Einsatz kamen.

Das bedeutet, daß die thermisch bedingten Verschiebungen eines in WBM[®] gebetteten KMR geringer ausfallen als bei einer konventionellen Bettung in Sand.

Um eine Kontaktreduzierung zwischen einem KMR und dem angrenzenden WBM[®] im Muffenbereich zu vermeiden, sollte die Druckfestigkeit des einzubauenden WBM[®] nach den bisher vorliegenden Erkenntnissen so gewählt werden, daß sie zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Leitung in der Größenordnung von

$$R \cong 0,3 \text{ MPa}$$

liegt.

In den Bettungsversuchen war es möglich, neben dem Langzeitverhalten einer derartigen Rohrbettung auch die Wirkung einer Querbelastung des Probanden (z. B. durch eine Abzwegleitung) im Zeitrafferverfahren zu untersuchen. Es zeigte sich, daß durch diese Querbelastung keine wesentlichen Veränderungen hinsichtlich der Preß- und Zugkräfte bei den Verschiebeversuchen hervorgerufen werden und daß keine Beeinträchtigung der Bettungseigenschaften des WBM[®] zu befürchten ist. Damit ist auch bei Vorliegen einer Querbelastung der Betrieb einer in WBM[®] gebetteten KMR-Leitung langfristig störungsfrei gewährleistet.

Für weiterführende experimentelle Untersuchungen lassen sich aus den im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführten 6 Bettungsversuchen folgende Empfehlungen ableiten:

- Da die Ergebnisse des 5. Bettungsversuches darauf hindeuten, daß neben der Würfeldruckfestigkeit des WBM[®] auch das Ausgangsmaterial für seine Herstellung einen Einfluß auf die Reibungsverhältnisse ausübt, sollten weitere Vergleichsversuche mit WBM[®] durchgeführt werden, die aus unterschiedlichen, für die Tiefbaupraxis relevanten Materialien hergestellt werden.
- Die Ergebnisse der Bettungsversuche belegen, daß die Beanspruchung einer unkompenziert kalt verlegten KMR-Leitung beim Anfahren am größten ist und daß sie danach im weiteren Betrieb abnimmt. Man kann deshalb davon ausgehen, daß die Art und Weise des thermischen Anfahrens einen großen Einfluß auf die Beanspruchung und somit auch auf die spätere Betriebssicherheit und Lebensdauer einer solchen Fernwärmeleitung ausübt. Da bisher noch keine systematischen Untersuchungen zum Einfluß des thermischen Anfahregimes auf die Beanspruchung einer KMR-Leitung durchgeführt worden sind, besteht zur Klärung des Sachverhaltes Handlungsbedarf.
- Da der Einfluß mehrfach wechselnder Medientemperaturen auf die Entwicklung der Reibungskräfte bisher nur im 6. Bettungsversuch untersucht worden ist, sollten bei weiteren Bettungsversuchen von KMR in WBM[®] derartige Temperaturwechsel mit vorgesehen werden. Dabei müßten die Temperatur-Regime der FITR-Netzversuche in Weimar unter störungsfreien konstanten Randbedingungen nachgefahren werden. Mit Hilfe derartiger Versuche können die bei den Netzversuchen aufgetretenen Phänomene überprüft und bestätigt werden. Damit verbunden wäre eine weitere Präzisierung der Auslegung von unkompenziert kaltverlegten KMR-Leitungen sowie der Inbetriebnahmevorschriften.

Literatur

- [1] DIN 4124: Baugruben und Gräben – Böschungen, Arbeitsraumbreiten; Verbau (August 1981, teilweise ersetzt durch EN 1610).
- [2] ZTVE-StB 94: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau (Ausgabe 1994 / Fassung 1997).
- [3] Gesetz zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen vom 27. September 1994 (BGBl I S. 2705).
- [4] DIN EN 489: Werkmäßig gedämmte Verbundmantelrohrsysteme für erdverlegte Fernwärmenetze – Rohrverbindungen für Stahlmediumrohre mit Polyurethan-Wärmedämmung und Außenmantel aus Polyethylen – Deutsche Fassung EN 489: 1994 (Dezember 1994).
- [5] FITR-Niederschriften über die Vorbereitung, die Durchführung und die Ergebnisse der Bettungsversuche 1 bis 5 in Boden-Mörtel sowie des Bettungsversuches 6 in Sand:
 - Niederschrift zum 1. Bettungsversuch in Boden-Mörtel vom 30.04.1998 mit Fotodokumentation
 - Niederschrift zum 2. Bettungsversuch in Boden-Mörtel vom 11.06.1998 mit Fotodokumentation
 - Niederschrift zum 3. Bettungsversuch in Boden-Mörtel vom 22.07.1998 mit Fotodokumentation
 - Niederschrift zum 4. Bettungsversuch in Boden-Mörtel vom 26.08.1998 mit Fotodokumentation
 - Niederschrift zum 5. Bettungsversuch in Boden-Mörtel vom 26.10.1998 mit Fotodokumentation
 - Niederschrift zum 6. Bettungsversuch in Sand vom 25.01.1999 mit Fotodokumentation
- [6] Berger, W. und Keller, H.: Experimentelle Erfassung der Interaktion von Kunststoffmantelrohren und neuartigen Rohreinbettungsverfahren – Abschlußbericht. FITR-Bericht vom 13.08.1999.
- [7] Arbeitsgemeinschaft Fernwärme – AGFW – e. V.: Arbeitsblatt FW 401: Verlegung und Statik von Kunststoff-Mantelrohren (KMR) für Fernwärmenetze.
- [8] FITR-Niederschrift vom 10.03.1999: AiF-Forschungsvorhaben 11260 B: „Experimentelle Erfassung der Interaktion von Kunststoffmantelrohren und neuartigen Rohreinbettungsverfahren“ – Vergleich der Reibungseigenschaften von Kunststoffmantelrohren (KMR) bei einer axialen Verschiebung in Boden-Mörtel und in Sand an Hand der Bettungsversuche 5 und 6.
- [9] Prof. Dr.-Ing. M. Becker: Bericht über die Auslegungsberechnung und Vergleich mit den Meßergebnissen und Bewertung für die Fernwärmeleitung Lützendorfer Straße der Stadtwerke Weimar. Bericht des RWTÜV, Zentralabteilung Festigkeit und Maschinentechnik vom 14.05.1997.

Verfasser: Dipl.-Ing. Thomas Grage
Leiter des Fernwärme-Forschungsinstitutes in Hannover e. V. (FFI)
Max-von-Laue-Straße 23
30966 Hemmingen
Telefon: (05 11) 9 43 70 – 12
Telefax: (05 11) 9 43 70 – 70
e-mail: grage@fernwaerme.de
und
Dr. sc. techn. Hermann Keller
Wissenschaftlicher Mitarbeiter am
Forschungsinstitut für Tief- und Rohrleitungsbau Weimar e. V. (FITR)
Schwanseestraße 93
99427 Weimar
Telefon: (0 36 43) 82 68 – 34
Telefax: (0 36 43) 82 68 26
e-mail: Hermann.Keller@fitr.de