

Auswertung und Interpretation von Einzugskräften und Krümmungsradien an grabenlos verlegten Fernwärmeleitungen

Nach der grabenlosen Verlegung überlagern sich im Betrieb von warmgehenden Leitungen die Belastungen aus Temperatur, Innendruck, Erdreibung und Krümmungsradien. In einem AGFW-Forschungsvorhaben wird die Größenordnung der unterschiedlichen Lasten in Feldversuchen erfasst. Der Artikel befasst sich mit der Auswertung und Interpretation von Einzugskräften und Krümmungsradien und gibt einen Ausblick auf mögliche Berechnungsalgorithmen für eine entsprechende Rohrstatik.

Die grabenlose Verlegung von Fernwärmeleitungen kann für viele Anwendungsfälle eine vielversprechende Alternative zur konventionellen Verlegung im Rohrgraben sein. Manchmal ist es sogar die einzige Methode, mit der Hindernisse, wie zum Beispiel Wasserwege oder Verkehrskreuzungen, gequert werden können [1]. Wie alle anderen Rohrleitungstypen müssen auch Fernwärmeleitungen sicher ausgelegt werden – insbesondere für den Betrieb. Die bei warmgehenden Leitungen im Betrieb auftretenden Ausdehnungen der Leitungen werden durch tribologische Interaktion zwischen dem Rohrmantel und der Umgebung teilweise behindert. Dies führt zu Zwangsspannungen im Rohr, die sicher aufgenommen und statisch nachgewiesen werden müssen. Die am Rohraußenmantel wirkenden Schubspannungen müssen daher so genau wie möglich bekannt sein. Über die grundsätzliche Aufgabenstellung der grabenlosen Verlegung von Fernwärmeleitungen wurde bereits in bbr 6/2013 berichtet [2].



Abbildungen: AGFW

Abb. 1 – Rohr (links) – Zugkraftmessgerät (mitte) – Räumler (rechts)

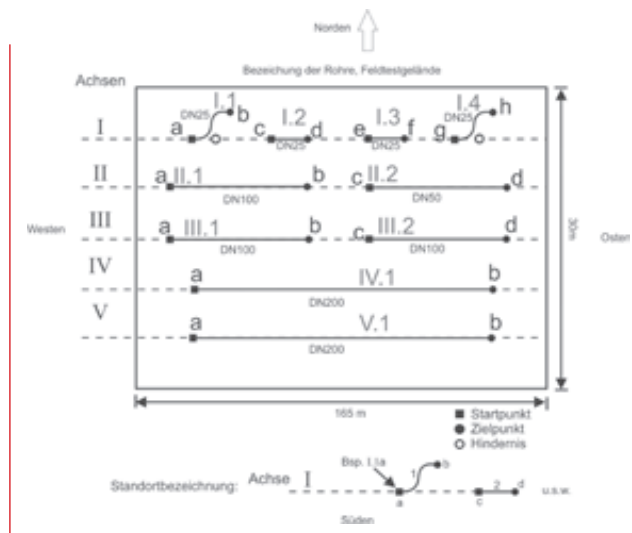


Abb. 2 – Anordnung der Fernwärmeleitungen auf dem Versuchsfeld

Dieser Artikel behandelt einige Zusammenhänge und Herausforderungen, denen bei der grabenlosen Verlegung von Fernwärmeleitungen ohne Schutzrohr begegnet werden muss. Die Ergebnisse wurden in dem AGFW-Forschungsvorhaben „Identifikation von Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes grabenloser Verlegetechniken im Fernwärmeleitungsbau“ erarbeitet, welches durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) mit dem Förderkennzeichen 03ET1063A gefördert wird.

Feldversuche

Zur Untersuchung des Tragverhaltens von grabenlos verlegten Kunststoffmantelrohrsystemen wurden neben anderen Aktivitäten im oben genannten Forschungsvorhaben Feldversuche konzipiert, in denen im Maßstab 1:1 Kunststoffmantelrohre unter wirklichkeitsnahen Bedingungen verlegt und in einem Simulationsbetrieb beheizt werden. Für die Feldversuche wurde von der Firma Brugg Rohrsysteme GmbH ein Versuchsfeld auf dem Werksgelände in Wunstorf zur Verfügung gestellt.

Auf dem Versuchsfeld wurden insgesamt zehn Fernwärmeleitungen grabenlos eingezogen. Zum Einsatz kamen Fernwärme-

rohre mit den Nenndurchmessern DN 25, 50, 100 und 200. Abbildung 2 zeigt die Anordnung und die Bezeichnung der zehn Fernwärmeleitungen auf dem Versuchsfeld.

Zum Einzug wurden hauptsächlich reine Bentonit-Suspensionen verwendet; an zwei Rohren (DN100 und 200) wurde nacherhärtendes Bentonit zum Einsatz gebracht. Zudem wurden unterschiedliche Verfahren der grablosen Verlegung getestet. Die kleinen DN25er-Rohre wurden mit der Erdrakete oder mit dem Kleinbohrverfahren eingebracht. Die Rohre DN50 und größer wurden mit dem HDD-Spülbohrverfahren verlegt.

Die Einzugskräfte wurden durch eine Zugkraftmesseinheit zwischen Räumkopf und Rohr kontinuierlich mit einem Grundolog-Gerät gemessen. Das Messgerät und der Räumkopf sind kurz vor dem Einzug des Rohres in Abbildung 1 dargestellt.

Bei HDD-Bohrungen können « Zugkräfte mit nicht erwartetem Verlauf auftreten.

Zugkraftmessungen

Die Zugkraft-Messwerte wurden alle drei Meter protokolliert. Für die Bewertung der Beanspruchung im Fernwärmerohr sind die Messwerte während des Rohreinzugs von Bedeutung. In Abbildung 3 sind die Zugkräfte dokumentiert, die während des Einzugs des Fernwärmerohres aufgetreten sind. Dargestellt ist die Zugkraft, bezogen auf die jeweilige Einzugslänge. Dabei ist die Gesamteinzugslänge größer als in Abbildung 2 dar-

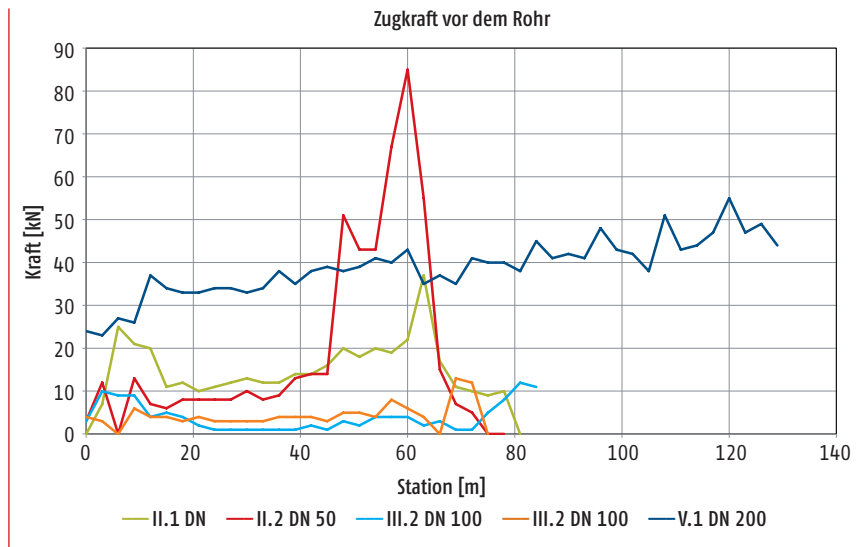


Abb. 3 – Zusammenstellung der Zugkraft während des Einzugs

gestellt, da nahezu von Geländeoberkante bis Geländeoberkante gebohrt wurde. Erst im Nachgang zu dem Einzug wurden die eingezogenen Rohre auf die maßgeblichen Versuchslängen eingekürzt.

Die aufgezeichneten Kurven weisen in der Regel eine ansteigende Tendenz auf. Dieser Verlauf der Zugkraft ist auch zu erwarten. Weiterhin treten Schwankungen der Zugkraft auf. Erhöhte Zugkräfte wurden beim Durchfahren der Bereiche mit erhöhten Krümmungen gemessen. Die größte Zugkraft ist bei Rohr II.2 gemessen worden. Hier ist ein außergewöhnliches Ereignis (zum Beispiel Instabilität im Bohrloch) zu vermuten.

Die Zahlenwerte der Zugkraftmessungen, bezogen auf den Stahlquerschnitt des jeweiligen Rohres, liefern Normalspannungen, deren Mittelwert zwischen 3 und 36 N/mm² variiert. Betrachtet man die Maximalwerte, betragen die Normalspannungen 10 bis 163 N/mm². Der letzte Wert gilt für die oben bereits erwähnte Bohrung II.2.

Die gemessenen Normalkräfte liegen unterhalb der Streckgrenze des verwendeten Rohres (Re = 235 N/mm²). →

**Wir haben den Bogen...
...raus!**

LMR Drilling GmbH
 Ammerländer Heerstr. 368
 D-26129 Oldenburg
 Tel.: +49 441 - 9 71 91 - 0
 Fax: +49 441 - 9 71 91 - 91
 E-Mail: info@lmr-drilling.de
 www.lmr-drilling.de

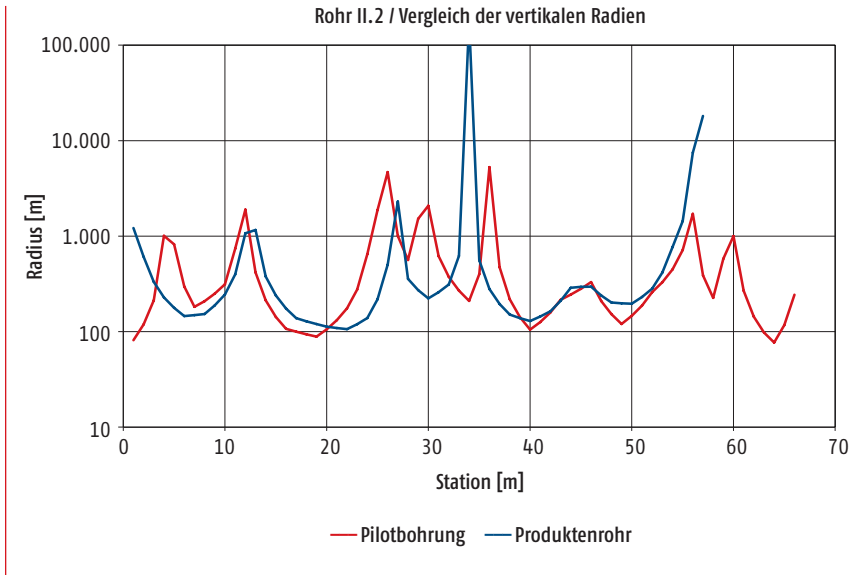


Abb. 4 – Nachvermessung Rohr II.2 – vertikale Radien

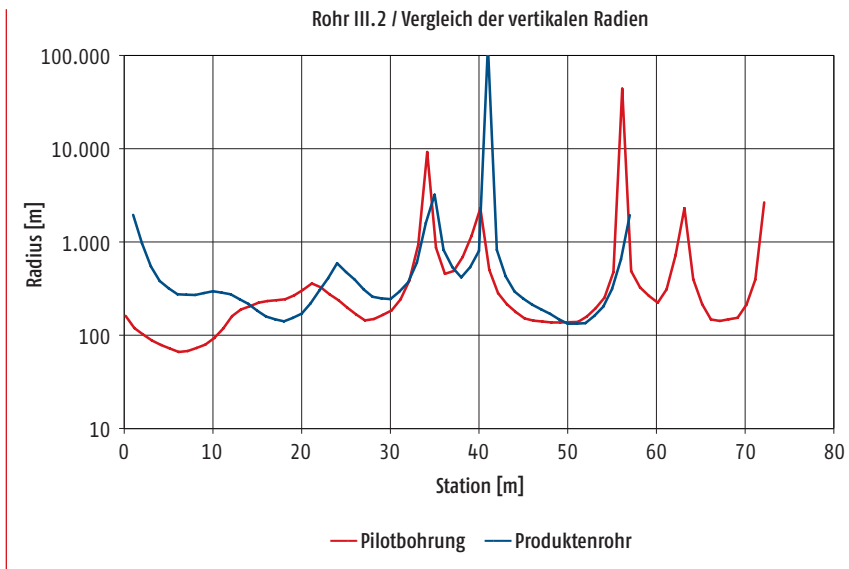


Abb. 5 – Nachvermessung Rohr III.2 – vertikale Radien

Es zeigt sich jedoch erwartungsgemäß, dass bei HDD-Bohrungen Zugkräfte in sehr unterschiedlicher Größe und teilweise nicht erwartetem Verlauf auftreten können.

Nachvermessung

Während der Erstellung der Pilotbohrung wurde auch die Höhenlage aufgemessen. Da erfahrungsgemäß während der Aufweitvorgänge das Bohrprofil egalisiert wird, ist eine weitere Vermessung am eingezogenen Fernwärmerohr durchgeführt worden. Ergebnis des Aufmaßes war die Darstellung des Bohrprofils im Lageplan und im Längsschnitt. In den Abbildungen 4 + 5 ist der Krümmungsradius in der vertikalen Lage exemplarisch für zwei Rohre, ermittelt aus den Daten der Pilotbohrung und aus den Daten der Nachvermessung, dargestellt. Die Auswertung des Zahlenmaterials der Rohrlinien liefert Biegespannungen im Wertebereich zwischen 60 und 160 N/mm² als Maximalwert. Die mittlere Biegebeanspruchung der Leitungen liegt zwischen 25 und 60 N/mm². Die aufgezeigten Werte für die Biegespannungen liegen ebenfalls unterhalb der Streckgrenze.

Einschätzung für die Dimensionierung

Die oben aufgeführten Zahlenwerte zeigen, dass es bei Addition der Beanspruchung aus Zugkraft und Biegung zu hohen Spannungswerten kommt, die durchaus die Streckgrenze erreichen können. Da nicht bekannt ist, in welchem Bereich die maximale Zugkraft auftritt, müssen die Maximalwerte für die Spannung aus Zugkraft und die Spannung aus Biegung aufaddiert werden. Bei der Auswertung der Daten der Feldversuche wird bei Addition der Maximalwerte die Streckgrenze in einem Fall erreicht. Die Zahlen für die Spannung aus Zugkraft σ_N und die Spannung aus Biegung σ_M sind in Tabelle 1 zusammengestellt, wobei für Rohr IV.1 keine Zugkraftaufzeichnungen vorliegen.

Die angegebenen Zusatzbeanspruchungen sind von Bedeutung bei einer Kaltverlegung nach der ersten Methode gemäß AGFW-Arbeitsblatt FW401, Teil 10 [4]. Bei dieser Verlegung soll auch unter Temperaturbeanspruchung im geraden Rohr die Streckgrenze nicht erreicht werden. Anhand dieser Bedingungen wird eine zulässige Länge zwischen zwei Kompensationselementen ermittelt. Liegt bereits eine Beanspruchung infolge der grabenlosen Verlegung vor, so ist diese bei der Ermittlung der zulässigen Länge zu berücksichtigen. Die Formel lautet dann

$$l_{zul} = \frac{\sigma_{x,zul} * A_s + F_p - F_{el} - \sigma_{GBL}}{F_R}$$

mit σ_{GBL} aus grabenloser Verlegung

Die Beanspruchung aus grabenloser Verlegung ergibt sich aus der Auswertung der Vermessung. Allerdings ist die

Zugkraft im Rohr im Betriebszustand nicht unbedingt die maximale Einzugskraft, da mit einer Entspannung nach dem Einzug zu rechnen ist. Über die Größe dieser Entspannung werden noch Untersuchungen in diesem Forschungsvorhaben durchgeführt.

In Tabelle 2 ist die zulässige Länge bei einer exemplarischen Vorbeanspruchung aus grabenloser Verlegung von 50 N/mm² für unterschiedliche Nenndurchmesser angegeben: Es ergeben sich verminderte Längen, die bei kleinen Querschnitten signifikante Abweichungen erreichen können.

Zusammenfassung und Ausblick

Die grabenlose Verlegung von Fernwärmeleitungen ist eine technische Herausforderung, die unter Berücksichtigung der von der geplanten Trasse abhängigen Randbedingungen angenommen werden kann. Verschiedene Fernwärmeversorger haben das Verfahren bereits mit und ohne Schutzrohr angewendet. Aufgrund der Besonderheiten der Belastung von Fernwärmeleitungen im Betrieb existieren derzeit keine abgesicherten Berechnungs-

Tabelle 1 – Zusammenstellung der Spannung in Rohrlängsrichtung infolge Rohreinzug

Rohr	σ_N [N/mm ²]	σ_M [N/mm ²]	σ_x [N/mm ²]
II.1	30	109	139
II.2	163	70	233
III.1	10	122	132
III.2	10	93	103
IV.1	–	165	165
V.1	18	90	108

Tabelle 2 – Zusammenstellung der zulässigen Länge l_{zul} für unterschiedliche Nenndurchmesser

DN	Grabenlos	Offener Graben
50	16	45
100	52	72
200	97	110
300	131	139

wege für die Auslegung. Der planende Ingenieur ist gezwungen, eine Schnittmenge aus den bestehenden Regelwerken zu bilden und die Baumaßnahme möglichst genau zu erfassen.

Die vorgestellten Ergebnisse geben einen ersten Eindruck der zu erwartenden Belastungen beim Einzug von Fernwärmerohren. Diese sind Grundlage für die Nachweise im Betrieb. Insbesondere die am Rohraußenmantel wirkenden Reibungskräfte und die Spannungen in den Rohrkomponenten und -materialien sind wichtige Einflussgrößen, die sowohl für den Einzug als auch für den Betrieb der Leitung bekannt sein müssen. Die Größenordnung der Belastung ist insbesondere auch von der Geometrie des Bohrlochs und der Rohrleitung abhängig.

Die zusammengestellten Beanspruchungen aus der Auswertung der Feldversuche liefern hohe Spannungen in Rohrlängsrichtung. Da diese Beanspruchungen einen signifikanten Einfluss auf die Dimensionierung der Rohrleitungen haben, ist eine Nachmessung sowohl der horizontalen Lage als auch der vertikalen Lage des eingezogenen Fernwärmerohres zu empfehlen.

Danksagung

Die Forschungsstelle des AGFW führt mit acht Projektpartnern das Forschungsvorhaben „Identifikation von Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes grabenloser Verlegetechniken im Fernwärmeleitungsbau“ durch, welches durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) mit dem Förderkennzeichen 03ET1063A gefördert wird. An dieser Stelle sei dem BMWi für die Förderung gedankt.

Literatur

- [1] Stein D.: „Gabenloser Leitungsbau“, Ernst & Sohn Verlag Berlin, ISBN 3-433-01778-6, 2003
- [2] Weidlich I., Huther H.: „Einflussgrößen bei der Auslegung grabenlos verlegter Kunststoffmantelrohre“, bbr- das Fachmagazin für Leitungsbau, Brunnenbau und Geothermie, Ausgabe 06/2013, wvvg Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- [3] Technische Richtlinien des DCA (Drilling Contractors Association), Informationen und Empfehlungen für Planung, Bau und Dokumentation von HDD-Projekten, 3. Auflage, Mai 2007

[4] AGFW-Arbeitsblatt FW401 – Teile 1–18, „Verlegung und Statik von Kunststoffmantelrohren (KMR) für Fernwärmenetze – Statische Auslegung; Grundlagen der Spannungsermittlung“, AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V., 2007

[5] DIN EN 13941, Berechnung und Verlegung von werkmäßig gedämmten Verbundmantelrohren für Fernwärme, Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag Berlin, 2003

Autoren

Dipl.-Ing. Alexander Junge
 Dipl.-Ing. Jörg Himmerich
 Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH
 Heiligengeiststr. 19
 30173 Hannover
 Tel.: 0511 28499-0
 Fax: 0511 28499-99
 mail@veenkermbh.de
 www.veenkermbh.de

Dr.-Ing. Ingo Weidlich
 AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V., Forschung und Entwicklung
 Stresemannallee 30
 60596 Frankfurt/Main
 Tel.: 069 6304-345
 Fax: 069 6304-391
 i.weidlich@agfw.de
 www.agfw.de





Beermann Bohrtechnik

- jeder Aufgabe gewachsen!

www.beermann.de





Gabenlose Rohrverlegung

Bohrlänge bis 1.500 m u. bis Ø 1,2 m

... alles im grünen Bereich

beermann

bohrtechnik

Heinrich-Niemeyer-Str. 50 - 48477 Hörstel-Riesenbeck
 Tel.: (0 54 54) 93 05 - 0 - Fax: (0 54 54) 93 05 - 72
 E-Mail: info@beermann.de - Internet: www.beermann.de

