

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Weidlich, Ingo; Huther, Heiko

Grabenloses Bauen für Fernwärmenetze – aktuelle Forschungsergebnisse

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/101843>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Weidlich, Ingo; Huther, Heiko (2014): Grabenloses Bauen für Fernwärmenetze – aktuelle Forschungsergebnisse. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Bohrungen und Baugrund. Herausforderungen bei der Ausführung. Horizontale und vertikale Bohrtechnik. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 161-164.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.





Grabenloses Bauen für Fernwärmenetze – aktuelle Forschungsergebnisse

Dr.-Ing. Ingo Weidlich und Dr. Heiko Huther
AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V., Stresemannallee 30,
60596 Frankfurt/Main
Tel.: 069/6304345, e-Mail: i.weidlich@agfw.de, h.huther@agfw.de

Zusammenfassung

Grabenloses Bauen ist für viele Versorgungssparten ein etabliertes und bewährtes Verfahren. Für die leitungsgebundene Wärmeverteilung gilt dies auch weitgehend bei der Verwendung von flexiblen Leitungen und beim Einsatz von Stahlmantelrohrsystemen. Im Gegensatz hierzu gibt es noch offene Fragen beim Einsatz von Kunststoffmantelrohren, dem Fernwärmeleitungstyp der am häufigsten eingesetzt wird. Der nachfolgende Artikel zeigt auf welchen Herausforderungen bei solchen Baumaßnahmen begegnet werden muss.

1 Einleitung

Die Energieeffizienzrichtlinie EED, erlassen am 25. Oktober 2012, gibt den EU-Mitgliedstaaten ein Energieeffizienzziel von 20% bis 2020 vor, u.a. durch jährliche Energieeinsparungen in einer Höhe von 1,5 % des jährlichen Energieabsatzes aller Energieverteiler oder Energieeinzelhandelsunternehmen an Endkunden (mit oder ohne Verkehrswesen) für den Zeitraum vom 1. Januar 2014 bis zum 31. Dezember 2020 [EED].

Durch die Verteilung und Nutzung von Abwärme bei der Stromerzeugung in hocheffizienten Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK-Anlagen) könnte dieses Ziel durch Primärenergieeinsparungen teilweise erreicht werden. Die Energiewende wird deshalb auch durch KWK und Fernwärme gestaltet und die Bundesregierung hat das ambitionierte Ziel ausgegeben, den Anteil der Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung von derzeit rd. 15% bis 2020 auf 25% zu erhöhen [KWK Gesetz].

Die dann zusätzlich bereitgestellte Wärme muss über Wärmenetze verteilt werden, welche zur Bewerkstelligung dieser Aufgabe dringend erweitert werden müssen. Nur 13% des Wärmebedarfs wird heute mit der klimaschonenden Fernwärme gedeckt. Dabei muss der Ausbau der Wärmenetze schnell und kostengünstig erfolgen. Die grabenlose Verlegung von Wärmeleitungen kann hierbei einen wichtigen Beitrag leisten.

Im Gegensatz zu der Verlegung im offenen Graben bietet das Verfahren der grabenlosen Verlegung viele Vorteile hinsichtlich der Reduktion von Schadstoff- und Lärmemissionen, Schonung der Oberflächen und manchmal ist es sogar die einzige Möglichkeit eine Trasse zu realisieren. Die grabenlose Verlegung ist für viele Versorgungssparten ein etabliertes und bewährtes Verfahren. Für die leitungsgebundene Wärmeverteilung gilt dies auch weitgehend bei der Verwendung von flexiblen Leitungen und beim Einsatz von Stahlmantelrohrsystemen. Das Kunststoffmantelrohr ist das meist verwendete Rohrsystem in der leitungsgebundenen Wärmeverteilung. Im Gegensatz zu flexiblen Leitungen und dem Stahlmantelrohr gibt es noch offene bautech-

nologische Fragen bei der grabenlosen Verlegung von Kunststoffmantelrohren.

Dieser Artikel behandelt einige Zusammenhänge und Herausforderungen, denen bei solchen Baumaßnahmen begegnet werden muss. Der AGFW führt mit 8 Projektpartnern das Forschungsvorhaben „Identifikation von Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes Grabenloser Verlegetechniken im Fernwärmeleitungsbau“ durch, welches durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) mit dem Förderkennzeichen 03ET1063A gefördert wird. In diesem Forschungsvorhaben wird sich der Thematik im Detail angenommen. Hier werden aktuelle Ergebnisse aus dem Vorhaben vorgestellt.

2 Technologischer Hintergrund

2.1 Leitungsgebundene Wärmeverteilung

Die leitungsgebundene Wärmeverteilung erfolgt meistens durch eine Vorlauf- und einer Rücklaufleitung. Für die Versorgung müssen demnach zwei Leitungen, oft nebeneinander, verlegt werden. Das Kunststoffmantelrohr besteht aus einem stabilen Mediumrohr aus Stahl, einer Wärmedämmung aus Polyurethan-Schaum und einem Schutzmantelrohr aus Polyethylen hoher Dichte (PEHD). Das wärmetransportierende Medium ist normaler Weise Wasser, das mit einem Druck von bis zu 25 bar und einer Temperatur von bis zu 140°C zum Verbraucher gepumpt wird.

Die Temperaturänderungen und auch der Innendruck induzieren in das Leitungssystem Spannungen und Dehnungen, die für einen sicheren Betrieb nur in zulässigen Größen eintreten dürfen. Temperaturdehnungen werden bei erdverlegten Wärmeleitungen teilweise durch den umgebenden Boden behindert. Diese behinderten Dehnungen müssen in Form von Spannungen im Rohrsystem aufgenommen werden.

Die Betriebszustände nach der Installation sind maßgebend für die Bemessung von warmgehenden Leitungen. Bei grabenlos verlegten Wärmeleitungen reicht es daher nicht aus, sich nur Gedanken zur Installation zu machen. Auch der Einfluss aus den sich aus der grabenlosen



Installation ergebenden Randbedingungen muss für den sicheren Betrieb berücksichtigt werden.

2.2 Reibung an Fernwärmeleitungen

Reibungskräfte zwischen warmgehenden, erdverlegten Fernwärmerohren und dem umgebenden Boden behindern einen Teil der temperaturbedingten Ausdehnung der Leitungen. Hierdurch können Verschiebungen des Leitungssystems signifikant reduziert werden und machen viele Abzweige, Armaturen und Netztopologien möglich, die ohne Bodenreibung unwirtschaftlich groß dimensioniert werden müssten oder eventuell gar nicht rechnerisch nachzuweisen wären. Das Rohr – Bodensystem ist daher eine wesentliche Komponente des Gesamttragsystems und der Reibungskraft am Rohr kommt eine statisch wichtige Bedeutung zu. Der Bereich am Leitungsende, an dem sich Reibungskräfte einstellen, wird Gleitbereich genannt. Im Haftbereich verhält sich die Leitung wie ein eingespannter Stab. Gemäß Gleichung 1 ist die Länge des Gleitbereiches l_0 direkt von der Größe der Reibungskraft abhängig [AGFW FW401].

$$l_0 = \frac{\alpha_T * \Delta T * A_s * E}{F_R}$$

Gleichung 1

Mit:

- α_T =Ausdehnungskoeffizient von Stahl
- ΔT =Temperaturinkrement
- A_s =Stahlquerschnitt
- E =Elastizitätsmodul
- F_R =Reibungskraft am Rohrmantel

Kräfte aus den Bogenbereichen und Innendruck werden in Gleichung 1 hier vereinfacht nicht betrachtet. Abbildung 1 stellt den Zusammenhang für eine einseitig eingespannte Fernwärmeleitung idealisiert dar.

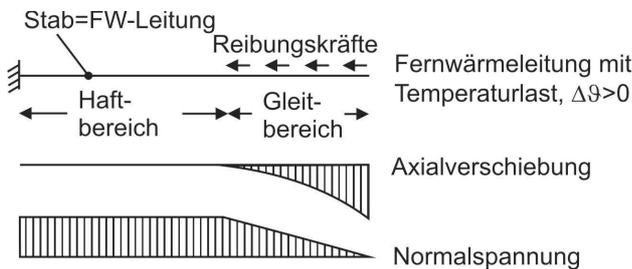


Bild 1: Axiale Verschiebungen und Normalspannung einer einseitig eingespannten, erdverlegten als Stab idealisierten Fernwärmeleitung

Im Haftbereich muss die Fernwärmeleitung den auftretenden Normalspannungen sicher widerstehen und die Axialverschiebungen im Gleitbereich müssen durch Dehnpolster, Kompensatoren oder durch das System aufgenommen werden. Für eine sichere Bemessung von

Fernwärmeleitungen muss die Reibungskraft folglich so genau wie möglich bekannt sein.

Für Fernwärmeleitungen im offenen Graben darf die maximale Reibungskraft $F_{R,u}$ gemäß Gleichung 2 nach EN 13941 abgeschätzt werden [DIN EN 13941].

$$F_{R,u} = \mu \left(\frac{1 + K_o}{2} * \sigma_v * \pi * D_c + G - \gamma_B * \pi * \left(\frac{D_c}{2} \right)^2 \right)$$

Gleichung 2

Dabei ist

K_o =Koeffizient des Bodenruhedrucks, $K_o = 1 - \sin \varphi$
 G =effektives Eigengewicht des mit Wasser gefüllten Rohres

σ_v =effektive Bodenspannung in Höhe der Rohrmitte für körnige Böden gilt:

$$\sigma_v = \gamma_b * H_w + \gamma_{BW} * (Z - H_w) \quad \text{für } H_w < Z$$

$$\sigma_v = \gamma_s * Z \quad \text{für } H_w \geq Z$$

H_w =Abstand des Grundwasserspiegels zur Erdoberfläche

γ_b =Wichte des erdfeuchten Bodens

γ_{BW} =Wichte des Bodens unter Auftrieb

γ_s =Wichte des wassergesättigten Bodens

Gleichung 2 gilt für Rohrleitungen im Betrieb, die zuvor im offenen Graben in Sand nach AGFW FW401 [AGFW FW401] oder EN13941 [DIN EN 13941] verlegt wurden.

Bei grabenlos verlegten Fernwärmeleitungen gelten andere Randbedingungen aus dem Installationsvorgang. Es gilt aber auch hier, dass für eine sichere statische Auslegung der Leitungen für den Betrieb die Schubspannungen am Rohraußenmantel so genau wie möglich bekannt sein müssen.

2.3 Reibungsminderung beim grabenlosen Einzug

Sofern Fernwärmeleitungen grabenlos im gesteuerten Horizontalspühlbohrverfahren (HDD-Verfahren) verlegt werden sollen, wird beim Einzug der Leitung die Mantelreibung zwischen Rohr und Bohrlochwandung durch die Bohrspülung im Ringspalt signifikant herabgesetzt. Eine umfangreiche Verfahrensbeschreibung findet sich in [WILLOUGHBY 2005]. Ohne Bohrspülung im Ringspalt wären die Reibungskräfte in vielen Anwendungsfällen so groß, dass bei der Übertragung der Einzugskräfte auf das Rohr Materialversagen des Rohrquerschnitts oder der Anschlusskonstruktion zu erwarten wäre.

2.4 Die technologische Herausforderung

Aus dem oben genannten kann festgestellt werden: Das HDD – Verfahren ist auf die Vorteile der Reibungsminderung durch die Bohrspülung angewiesen. Im Gegen-

satz dazu sind die Reibungskräfte nach der Installation für den Betrieb der Fernwärmeleitungen wichtig.

Da bei grabenlosen Projekten mit anderen Leitungsarten der Fokus der Betrachtung allein auf der Installation liegt, kann kaum auf Untersuchungen zur zeitlichen Entwicklung der Reibungskraft zurückgegriffen werden. Insbesondere fehlt es an Grundlagenwissen wenn ein Zeitraum der Gebrauchs- und Betriebsdauer von Fernwärmeleitungen – nach [AGFW FW401] in der Regel 30 Jahre – betrachtet werden soll.

Im o.g. AGFW-Forschungsvorhaben wurde deshalb an grabenlos verlegten Fernwärmeleitungen im Maßstab 1:1 die Mantelreibung mehrere Monate nach der Installation experimentell ermittelt. Hierzu wurde ein eigens zu diesem Zwecke entwickeltes Vorgehen angewendet.

4 Feldversuche

Um das Tragverhalten von grabenlos verlegten Fernwärmeleitungen genau untersuchen zu können wurden zehn Leitungen unterschiedlicher Durchmesser unter üblichen Baustellenbedingungen auf einem Feldtestgelände eingezogen. Beim Einzug wurden die Einzugskräfte gemessen, die in einer Größenordnung von 0,2 kN/m bis 0,9 kN/m lagen.

Die im Bohrloch vorherrschende Mantelreibung wurde nach rd. sechs Monaten an zwei Rohrsträngen mit dem Durchmesser DN200/ $D_a=315$ mm durch Feldversuche ermittelt. Hierfür wurde aus je zwei Baugruben heraus je ein Rohrsegment zunächst vom Rohrstrang abgetrennt und nachfolgend mit einer hydraulischen Presse durch den Bohrkanal gepresst. Die hierfür erforderlichen Kräfte und die auftretenden Verschiebungen wurden aufgenommen. Bild 2 zeigt den Versuchsaufbau.

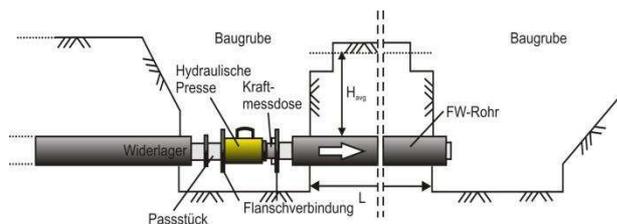


Bild 2: Versuchsaufbau

Im Versuch 1 wurde ein Rohrsegment mit einer Länge von $L=3,72$ m und einer mittleren Überdeckungshöhe von $H_{avg}=1,8$ m verschoben. Als Bohrspülung wurde bei der Installation ein nacherhärtendes Bentonit verwendet. Im zweiten Versuch wurde ein Rohrsegment mit einer Länge von $L=3,08$ m und einer mittleren Überdeckungshöhe von $H_{avg}=2,23$ m verschoben und es wurde bei der Verlegung eine reine Bentonitsuspension ohne Zusätze verwendet.

5 Ergebnisse

In den Versuchen wurden die aufgebrauchte Druckkraft und die Verschiebung gemessen. Die Ergebnisse sind in Bild 3 dargestellt. Im ersten Versuch mit nacherhärtendem Bentonit wurde eine maximale Reibungskraft von 4,33 kN/m gemessen, die nach 5,3 mm erreicht wurde. Nach Erreichen des Maximalwertes wurde eine residuale Reibung von 1,5 kN/m festgestellt. Im zweiten Versuch wurde reines Bentonit für die Bohrspülung verwendet. Trotz höherer Überdeckung lag hier der Maximalwert der Reibungskraft etwas niedriger bei 3,72 kN/m. Zudem wurde der Maximalwert erst bei deutlich mehr Verschiebung von 30,8 mm festgestellt. Die Residualreibung war ungefähr genauso groß, wie im ersten Versuch.

Es ist daher wahrscheinlich, dass die Verwendung eines nacherhärtenden Bentonits zu einer verbesserten Verzahnung mit dem Baugrund führt und die maximalen Reibungskräfte bereits nach wenigen Millimetern voll mobilisiert werden.

Weiterhin ist in Bild 3 die Bandbreite der beobachteten Einzugskräfte und die Bandbreite der zu erwartenden Reibungskraft für den offenen Graben nach Gleichung 2 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass sich die gemessenen Reibungskräfte in einem Bereich dazwischen befinden. Offensichtlich nehmen die Reibungskräfte nach der grabenlosen Installation, z.B. durch das Schließen des Ringspalts infolge des Erddrucks, zunächst zu. Sie erreichen aber nicht die nach Gleichung 2 zu erwartende Reibungskraft.

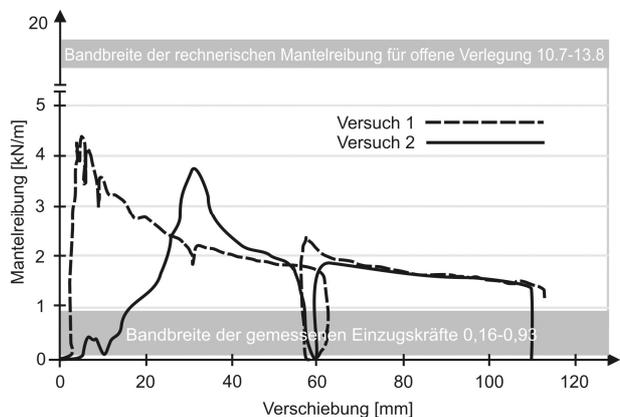


Bild 3: Kraft – Weg Diagramm der Versuche

6 Zusammenfassung und Ausblick

Für eine zutreffende und sichere Rohrdimensionierung stellt sich besonders bei grabenlos verlegten Kunststoffmantelrohren für die Wärmeverteilung heute die Frage nach den Randbedingungen infolge Installation und den daraus resultierenden zusätzlichen Belastungen im Betrieb. Die am Rohraußenmantel wirkende Reibungskraft ist eine wichtige Bemessungsgröße, die so genau wie möglich bekannt sein sollte.

Die vorgestellten Untersuchungen dienen dem besseren Verständnis der Reibungskraft am Rohraußenmantel grabenlos verlegter Fernwärmerohre. Es konnte festge-



stellt werden, dass bei der Verwendung von Bohrspülungen sich nach der Installation eine Mantelreibung einstellt, die deutlich geringer ist, als die Reibungskraft im offenen Graben bei selber Zieltiefe. Gleichzeitig ist die beobachtete Mantelreibung nach der Installation größer als während des Einzugs.

Die Untersuchungen zeigen, dass noch Forschungsbedarf besteht, um die Reibungskraft am grabenlos verlegten Fernwärmerohr besser zu verstehen. Deshalb sind weitere Versuche dieser Art geplant.

An dieser Stelle sei dem BMWi für die Bewilligung des genannten Forschungsvorhabens gedankt. Über weitere Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben wird fortlaufend berichtet werden.

Literatur

[EED] - ENERGY EFFICIENCY DIRECTIVE 2012/27/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL OF 25 OCTOBER 2012, DIRECTIVE ON ENERGY EFFICIENCY, AMENDING DIRECTIVES 2009/125/EC AND 2010/30/EU AND REPEALING DIRECTIVES 2004/8/EC AND 2006/32/EC, OFFICIAL JOURNAL OF THE EUROPEAN UNION, 2012

[KWK GESETZ] GESETZ FÜR DIE ERHALTUNG, DIE MODERNISIERUNG UND DEN AUSBAU DER KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG (KRAFT-WÄRME-KOPPLUNGSGESETZ) KWKG 2002, AUSFERTIGUNGSDATUM: 19.03.2002

VOLLZITAT: "KRAFT-WÄRME-KOPPLUNGSGESETZ VOM 19. MÄRZ 2002 (BGBl. I S. 1092), DAS ZULETZT DURCH ARTIKEL 1 DES GESETZES VOM 12. JULI 2012 (BGBl. I S. 1494) GEÄNDERT WORDEN IST" STAND:

ZULETZT GEÄNDERT DURCH ART. 1 G V. 12.7.2012 I 1494 DAS G TRITT GEM. U. NACH MAßGABE D. § 13 ABS. 2 AM 31.12.2010 AUßER KRAFT. § 13 AUFGEH. DURCH ART. 1 NR. 16 G V. 25.10.2008 I 2101; DADURCH IST DIE GELTUNG DIESES G ÜBER DEN 31.12.2010 HINAUS VERLÄNGERT WORDEN. 2012

[AGFW FW401] AGFW-ARBEITSBLATT FW401 – TEIL 1-18 (2007), VERLEGUNG UND STATIK VON KUNSTSTOFFMANTELROHREN (KMR) FÜR FERNWÄRMENETZE- STATISCHE AUSLEGUNG; GRUNDLAGEN DER SPANNUNGSERMITTLUNG -", AGFW | DER ENERGIEEFFIZIENZVERBAND FÜR WÄRME, KÄLTE UND KWK E. V.

[DIN EN 13941] DIN EN 13941 (2010) Berechnung und Verlegung von werkmäßig gedämmten Verbundmantelrohren für Fernwärme, Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag Berlin

[WILLOUGHBY 2005] WILLOUGHBY D.A. (2005) „HORIZONTAL DIRECTIONAL DRILLING: UTILITY AND PIPELINE APPLICATIONS" DIGITAL ENGINEERING LIBRARY @ MCGRAW-HILL -THE MCGRAW-HILL COMPANIES, INC., 2005