

Wärmeverluste von Kunststoffmantelrohrverbindungen

Violeta Madan// Marcus Illguth
violeta.madan@hcu-hamburg.de
marcus.illguth@hcu-hamburg.de

HafenCity University, Hamburg

Kurzfassung

Die Berechnung der Wärmeverluste erfolgt in der Fernwärmep Praxis nach der DIN EN 13941-1 Anhang D und mit den vom Hersteller angegebenen Kennwerten. Mit diesen Methoden bestimmte Wärmeverluste weichen aufgrund der enthaltenen Annahmen häufig von den im Betrieb gemessenen Wärmeverlusten ab, sodass für eine genaue Bestimmung eine kosten- und zeitaufwändige Modellierung des Systems erforderlich ist. In der Berechnung der Wärmeverluste in der DIN EN 13941-1 werden die Rohrverbindungen, die bei diskontinuierlich hergestellten Systemen etwa alle 6-12 Meter montiert werden müssen, nicht berücksichtigt. In einer Studie an der HCU wurde ein Probekörper mit einer Schrumpfmuffenverbindung auf 120 °C temperiert und die Temperatur an der Mantelrohroberfläche mit einer Wärmebildkamera gemessen, um den Einfluss der Rohrverbindung auf die Wärmeverluste des Systems abschätzen zu können. Für das untersuchte System sind die Wärmeverluste der Rohrleitung rund 15 % höher als die Wärmeverluste der Muffenverbindung. Bei Muffenverbindungen mit Querschnittsaufweitung werden die Wärmeverluste durch die Berechnung nach DIN EN 13941-1 überschätzt, wenn die Schaumeigenschaften der Verbindung denen des geraden Rohres entsprechen. Die Differenz der Wärmeverluste hängt in diesem Fall maßgeblich von dem Durchmesserunterschied zwischen dem Rohr und der Verbindung ab. Aufgrund der abweichenden Randbedingungen bei erdverlegten Fernwärmeleitungen und dem gegenseitigen thermischen Einfluss von Vorlauf und Rücklauf, sind die Ergebnisse nur bedingt auf erdverlegte Systeme übertragbar.

Einleitung

Die Wärmeverluste sind ein wichtiges Element für die Auslegung und Effizienz von Fernwärmesystemen. Die Minimierung der Wärmeverluste wird in der Fernwärmebranche angestrebt, um energetische und wirtschaftliche Einsparungen zu erzielen. Die Berechnung von Wärmeverlusten erfolgt in der Praxis nach der EN 13941-1 Anhang D (DIN EN 13941-1) oder mit den vom Hersteller angegebenen Wärmeverlustkennwerten (Isoplus 2011, Logstor 2020). Die Rohrverbindung, die in der Praxis alle 6-12 Meter manuell hergestellt werden muss, wird bei der Wärmeverlustberechnung nach der EN 13941-1 nicht berücksichtigt.

Die Rohrverbindung ist eine kritische Systemkomponente an der gemäß der AGFW Schadensstatistik die meisten Schäden registriert werden. Eine regelmäßige Qualitätsprüfung der Rohrverbindung ist daher wichtig für die Gewährleistung einer sicheren Infrastruktur (Grage et al. 2013). Die Qualitätsprüfung von Mantelrohrverbindungen wird in der EN 489-1 (DIN EN 489-1) beschrieben. Die Schaumprüfung erfolgt nach EN 253 (DIN EN 253).

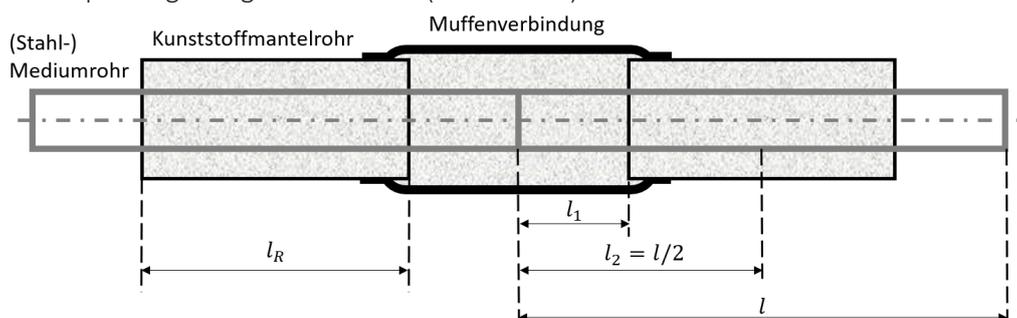


Fig. 1: Längsschnitt durch ein Kunststoffmantelrohr mit Muffenverbindung

Bei den flexiblen Rohrsystemen, die seit ca. 30 Jahren auf dem Markt sind, werden Rohrlängen bis zu 100 Metern kontinuierlich hergestellt, sodass der Anteil der Rohrverbindungen im Gesamtsystem unter ein Prozent fällt. Werksmäßig hergestellte (starre) Kunststoffmantelrohre werden in der Regel in Längen von $l = 6$ Meter oder $l = 12$ Meter produziert (Tödter 2020). Die Länge der Rohrenden ohne Wärmedämmung l_1 wird in der EN 253 mit 150 bis 250 Millimetern angegeben, sodass der Anteil der Verbindung im Gesamtsystem bis zu $l_1/l_2 \approx 8\%$ betragen kann. Die Mediumrohre werden an der Verbindungsstelle verschweißt oder verpresst, sodass die Muffenverbindung nachträglich ausgeschäumt werden muss. In der Regel wird ein Überwachungs- und Fehlerortungssystem eingesetzt, damit Feuchtigkeitseintritt frühzeitig erkannt und Folgeschäden wie Korrosion an Rohrleitungen, Betriebsunterbrechungen und Verlust der Schaumqualität vermieden werden. Bei dem häufig angewendeten Nordischen Überwachungssystem wird Feuchtigkeitseintrag durch die Messung des ohmschen Widerstands zwischen einem Drahtpaar und dem Mediumrohr erkannt.

Als Dämmmaterial wird Polyurethan (PUR)-Hartschaum eingesetzt. Bei der Mantelrohrverbindung wird zwischen Schrumpf- und Schweißmuffen unterschieden. Bei der Schrumpfmuffenverbindung wird der PE(X) Muffenkörper mit einer Gasflamme abgeschrunpft und mit einem Schmelzkleber adhäsiv an die Rohrleitung gebunden. Bei den Muffentypen wird weiterhin zwischen der Abdichtung vor Dämmung (AvD) und der Abdichtung nach Dämmung (AnD) unterschieden (BFW 2018). Eine Übersicht der am häufigsten verwendeten Muffensysteme ist im AGFW-Arbeitsblatt FW 401 Teil 6 gegeben (FW 401 T6). Die manuelle Herstellung der Muffenverbindung muss mit hoher Präzision durchgeführt werden, da Mängel wie Lunkerbildung, ungleichmäßiges Durchwärmen, Nichteinhaltung der Aushärtungszeiten oder Feuchtigkeit zu mechanischen Schwachstellen im Rohrverbund führen können. Diese können sich auch negativ auf die Wärmeleitung auswirken. Während die mechanische Belastbarkeit der Rohrverbindung bereits in vielen Veröffentlichungen thematisiert wurde (Besier et al. 2012, Grage et al. 2013, Weidlich 2015), besteht bei der Untersuchung von Wärmeverlusten von Muffenverbindungen noch Forschungsbedarf. In der nachfolgenden Untersuchung wird die Differenz der Wärmeverluste zwischen der Rohrleitung und der Muffenverbindung berechnet. Die Einflussfaktoren auf die Wärmeverluste der Rohrverbindung und die möglichen Auswirkungen auf die Wärmeverluste im Fernwärmenetz werden diskutiert.

Methodisches Vorgehen

Die Wärmeverluste der Rohrleitung und der Verbindung wurden basierend auf einer Messung der Mantelrohrtemperatur und der Materialeigenschaften berechnet. Für die Analyse der Schaumqualität als Einflussfaktor für die Wärmeleitung wurden jeweils die Schaumdichte und die Zellengröße nach EN 253 bestimmt.

Für die Temperaturmessung wurde ein 2,5 Meter langes Kunststoffmantelrohr mit einer 0,4 Meter langen Aussparung in der Mitte zur Verfügung gestellt. Die Stahlrohre waren bei der Anlieferung bereits verschweißt. Die Verbindung zwischen den Mantelrohren wurde an der HafenCity Universität (HCU) vor Ort hergestellt. Die Muffe ist eine vernetzte Schrumpfmuffe, wobei die Abdichtung nach der Dämmung erfolgt ist (Typ AnD). Die Querschnittsaufweitung bei diesem Muffentyp ist geringer als bei den Muffen, deren Abdichtung vor der Dämmung erfolgt (Typ AvD). Zur Quantifizierung der Muffenform wird der Formfaktor ξ als Parameter verwendet, der dem Quotienten aus dem Durchmesser der Muffe und dem Durchmesser der Rohrleitung entspricht. Der Formfaktor des untersuchten Muffensystems beträgt $\xi = 1,1$. Die Abmessungen des Probekörpers, der Muffentyp und die Materialien werden in der Tab. 1 festgestellt.

Zur Einstellung einer konstanten Mediumrohrtemperatur, wurde der Probekörper über 48 Stunden mit einem Prozessthermostat, das mit Silikonöl als Medium arbeitet, auf 120 °C temperiert. Danach wurde die Oberflächentemperatur am Rohrmantel und an der Muffenoberfläche mit einer FLIR B360 Wärmebildkamera gemessen. In dem Messbereich von -20 °C bis 120 °C liegt die Meßgenauigkeit der Absoluttemperatur bei 2 K (FLIR 2008). Der Emissionsfaktor wurde bei der Messung konstant auf $\epsilon=0,95$ eingestellt und entspricht dem Emissionsfaktor von Kunststoffmantelrohren (Tödter 2020). Der Probekörper wurde in einer Holzkiste frei gelagert, sodass der Probekörper während der Temperierung und Messung von allen Seiten von Luft umgeben war, wobei durch die Kistenwände der konvektive Wärmetransport verringert wurde.

| | Länge in mm | Durchmesser in mm | Typ | Material |
|--------------------------|------------------------------|----------------------|---|--|
| Probekörper | 2 500 | DN 80/160 | | |
| Rohrleitung | $2 \cdot l_R \approx 1\,600$ | 160 | Kunststoffmantelrohr | Mediumrohr: Stahl P235GH PUR-Dämmung: 42% Polyol/58% Isocyanat Mantelrohr: PEHD |
| Verbindungs-muffe | 740 | 146 | Vernetzte Schrumpfmuffe, Abdichtung nach Dämmung | Mediumrohr: Stahl P235GH PUR-Dämmung: 42% Polyol/58% Isocyanat Muffe: vernetztes PEHD |

Tab. 1: Geometrische Abmessungen und Materialien des Probekörpers

Durch das nachträgliche Ausschäumen der Mantelrohrverbindung wurden unterschiedliche Schaumeigenschaften der Rohrleitung und der Muffe erwartet. Um den Einfluss der Schaumeigenschaften auf die sich einstellende Mantelrohrtemperatur zu untersuchen, wurden Schaumproben aus der Rohrleitung und der Verbindung entnommen und die Zellengröße und Schaumdichte nach EN 253 bestimmt. Zur Bestimmung der Schaumdichte wurden die quaderförmigen Schaumproben mit einem digitalen Messschieber (DIN 862) vermessen und die Masse mit einer Analysewaage (ISO 9001) bestimmt. Die Zellengröße wurde durch das Auszählen von Zellen entlang einer Länge von 10 Millimetern, mittig in der Dämmung gelegen, in radialer Richtung bestimmt. Jedes Ergebnis wurde gemäß EN 253 als Durchschnittswert von mindestens drei Messungen berechnet.

Stand des Wissens

In der Praxis wird vom Hersteller der Wärmedurchgangskoeffizient oder der längenbezogene Wärmeverluststrom in Abhängigkeit des Rohrdurchmessers, der Dämmklasse und der Mitteltemperatur angegeben (Isopius 2011, Logstor 2020). Der längenbezogene Wärmeverluststrom (\dot{q}) ist ein Kennwert für den radialen Wärmeverlust zwischen dem im Rohr fließenden Medium und dem äußeren Umgebungsmedium. Der längenbezogene Wärmeverluststrom ist definiert als Quotient aus dem radialen Wärmeverluststrom (\dot{Q}) pro Rohrlänge l und hat die Einheit W/m:

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{l} \quad \text{Gleichung 1}$$

Bei der an der HCU durchgeführten Temperaturmessung wurde die Temperatur an der Oberfläche eines Kunststoffmantelrohres (KMR) und einer Muffenverbindung gemessen. Das KMR System besteht aus dem Stahlmediumrohr, der PUR-Schaum-Dämmung und dem PEHD Mantelrohr und kann als dreischichtiger Hohlzylinder, wie in Fig. 2 dargestellt, beschrieben werden. Bei dieser Modellvorstellung wird nur die Wärmeleitung von der Innenwand des Stahlrohres zu der Außenwand des Mantelrohres betrachtet. Konvektiver Wärmeübergang durch das strömende Medium und außen an der Luft wird vernachlässigt.

Der Wärmestrom durch einen Hohlzylinder mit 3 Schichten kann aus dem Fourier'schen Gesetz hergeleitet werden (Wagner, 2011):

$$\dot{q} = \frac{2 \cdot \pi \cdot (T_1 - T_4)}{\frac{\ln(r_2) - \ln(r_1)}{\lambda_{\text{Stahl}}} + \frac{\ln(r_3) - \ln(r_2)}{\lambda_{\text{PUR}}} + \frac{\ln(r_4) - \ln(r_3)}{\lambda_{\text{Mantel}}}} \quad \text{Gleichung 2}$$

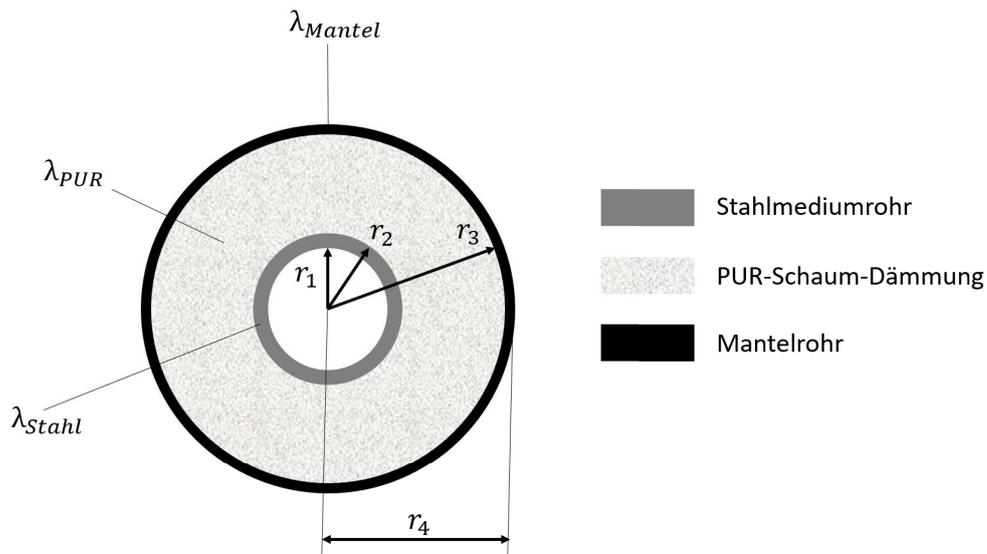


Fig. 2: Querschnitt eines Kunststoffmantelrohres

Mit

$\lambda_{\text{Stahl, PUR, Mantel}}$ = Wärmeleitfähigkeit des Stahls, des PUR-Schaumes und des Rohrmantels in W/(m·K)

T_i = Temperatur an der Position i (s. Fig.1) in °C

r_i = Radius an der Position i (s. Fig.1) in m.

Die Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung hat mit der Temperaturdifferenz den größten Einfluss auf die Wärmeverluste. Die Wärmeleitfähigkeit wird in der Regel vom Hersteller bei einer mittleren Temperatur von $T_m = 50$ °C angegeben, die nach Gleichung 3 berechnet werden kann.

$$T_m = \frac{(T_1 + T_4)}{2} \quad \text{Gleichung 3}$$

Die Messung der Wärmeleitfähigkeit im gealterten und nicht gealterten Zustand wird in der EN 253 beschrieben. Neben der Temperatur wird die Wärmeleitfähigkeit vor allem von den Schaumeigenschaften beeinflusst (Gibson et al. 1997).

Der Fernwärmeversorger oder-planer legt die Wärmenetze in der Praxis mit den Herstellerkennwerten aus, wenn das Rohrsystem bekannt ist. Eine Alternative ist die Berechnung der Wärmeverluste nach der DIN EN 13941-1 Anhang D. In der EN 13941-1 wird der Ansatz von Wallentén übernommen, wonach der Wärmeverlust als Summe aus einem symmetrischen und antisymmetrischen Anteil approximiert wird (Wallentén 1991). Eine Zusammenfassung und kritische Bewertung der Modelle zur Berechnung der stationären Wärmeverluste für erdverlegte Fernwärmesysteme wurde in einer aktuellen Studie durchgeführt (Madan et al. 2021). Der gesamte Wärmeleitwiderstand ergibt sich bei erdverlegten Systemen als Summe des Wärmeleitwiderstandes des Erdbodens, des Wärmeleitwiderstandes der Dämmung und des Wärmeleitwiderstandes aufgrund der Interaktion der verlegten Rohrpaare. Für die Berechnung von Wärmeverlusten von frei verlegten Fernwärmeleitungen gibt es keine Norm. Die Wärmeverluste von Freileitungen können nach der Theorie des Wärmedurchgangs für eine gekrümmte Wand, jeweils für das Vorlauf- und das Rücklaufrohr berechnet werden. Eine Interaktion der Rohrpaare ist aufgrund der Luftschicht zwischen den Rohren nicht zu erwarten (Weidlich 2018). Bedingt durch die höhere Wärmeleitfähigkeit des Erdbodens, wärmt sich der Bereich um ein erdverlegtes Fernwärmerohr herum auf, sodass das Temperaturgefälle zwischen Medium und umgebenden Boden geringer ist als zwischen Medium und Luft. Dieser Prozess führt dazu, dass die Wärmeverluste im Erdreich bei sonst konstanten Parametern in der Theorie geringer sind als an der Luft.

Ergebnisse

Die Temperatur an der Mantelrohroberfläche der Rohrleitung und der Muffe wurde mit der Wärmebildkamera an sechs Messstellen gemessen. Die Wärmekamerabilder sind in den Fig. 3-6 dargestellt. Der Emissionsfaktor wurde bei allen Infrarot(IR)-Bildern auf $\epsilon = 0,95$ eingestellt und die Messdistanz beträgt ca. 1,5 Meter. Die IR-Bilder sind chronologisch von links (Fig. 3) nach rechts (Fig. 6) sortiert. Es ergibt sich eine Temperaturverteilung über die Länge des Probekörpers mit einer maximalen Temperaturdifferenz von rund drei Kelvin zwischen der Rohrleitung ($32,1\text{ °C}$) und der Muffe ($29,0\text{ °C}$). Während die Temperaturdifferenz zwischen der Rohrleitung auf der linken Seite rund 2 K beträgt, ist diese auf der rechten Seite mit rund 0,5 K vernachlässigbar gering. Die Berechnung wurde mit den in Fig. 3 gemessenen Temperaturen durchgeführt. Die erkennbaren Hotspots mit einer Temperatur von ca. 34 °C sind die in die Dämmung eingebetteten Halterungsvorrichtungen für das Überwachungssystem. Die Hotspots wurden bei der Berechnung der Wärmeverluste vernachlässigt. Die Messung der Temperaturen und der Temperaturdifferenzen ist fehlerbehaftet, so können sich durch eine unterschiedliche Oberflächenrauigkeit des Mantelrohres und des Muffenkörpers Messabweichungen ergeben. Weiterhin ist die Absoluttemperatur zwar mit 2 K fehlerbehaftet, jedoch hat dies keine Auswirkungen auf die relativen Temperaturunterschiede. Eine Variation der Temperatur um 2 Kelvin in beide Richtungen hat eine maximale Änderung des Wärmeverlustes von $0,7\text{ W/m}$ ergeben.

Basierend auf den Messungen mit der Wärmebildkamera lässt sich mit den Materialdaten und Abmessungen des Probekörpers der längenbezogene Wärmeverluststrom nach Gleichung 2 berechnen. Die Berechnungsparameter und Ergebnisse der Wärmeverlustberechnung werden in der Tabelle 2 zusammengefasst. Die geometrische Position der Parameter in der Tabelle 2 ist in der Abbildung 1 definiert. Aufgrund der Messunsicherheit bei der Temperaturmessung und der

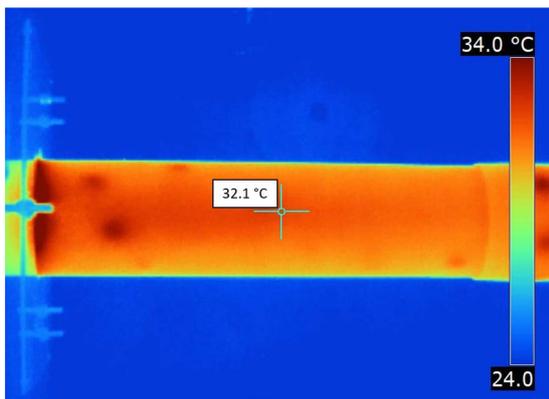


Fig. 3: Messung der Temperatur am Mantelrohr der Rohrleitung mit der Wärmebildkamera.

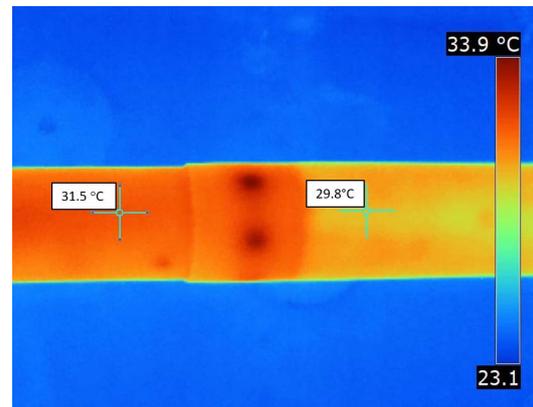


Fig. 4: Messung der Temperaturen am Übergang Rohrleitung-Muffe (links) mit der Wärmebildkamera.

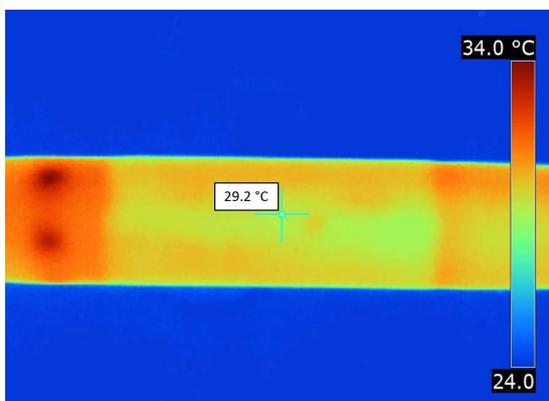


Fig. 5: Messung der Temperaturen in der Mitte der Muffenverbindung mit der Wärmebildkamera.

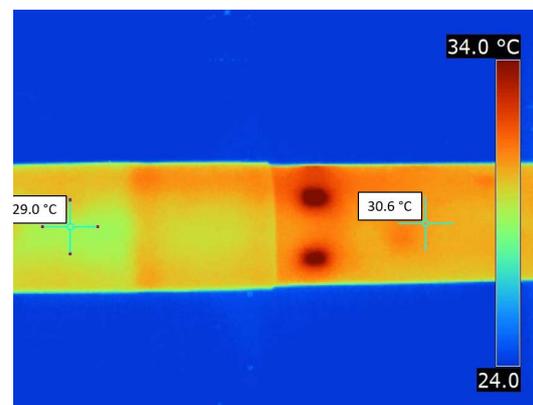


Fig.6: Messung der Temperaturen am Übergang Rohrleitung-Muffe (rechts) mit der Wärmebildkamera.

Wärmeleitfähigkeit des PUR-Schaumes, wurde das Berechnungsergebnis auf ganze Zahlen gerundet. Die Temperatur des Silikonöls wurde der Temperatur an der Innenwand des Mediumrohres (T1) gleichgesetzt und der konvektive Wärmeübergang von Medium zur Rohrwand wurde vernachlässigt. Die von der Wärmebildkamera gemessene Temperatur an der Mantelrohr- bzw. Muffenoberfläche wurde der Temperatur an der Außenwand (T4) gleichgesetzt. Für die Wärmeleitfähigkeit des Stahlmediumrohres und des Mantelrohres wurden die in der EN 253 angegebenen Werte übernommen. Da die Temperatur an der Innenfläche des Mediumrohres mit 120 °C oberhalb der in der EN 253 vorgegebenen Mediumtemperatur von 90 °C lag, wurde für die Wärmeleitfähigkeit der Dämmung der Wert für Pentan-getriebenen PUR-Dämmstoff bei einer Temperatur von 75 °C aus dem VDI Wärmeatlas übernommen (VDI 2017). Die mittlere Temperatur bei der Messung wurde nach Gleichung 3 berechnet und beträgt etwa 75 °C.

| Parameter | Formel-zeichen | Quelle | Ergebnis Rohrleitung | Ergebnis Verbindung |
|--|---------------------------|---|----------------------|---------------------|
| Temperatur | T_1 | Temperatur des Silikonöls (Temperiermedium) | 120 °C | 120 °C |
| Temperatur | T_4 | Temperaturmessung mit der Wärmebildkamera | 31,5 °C | 29,8 °C |
| Mittlere Temperatur | T_m | Mittlere Temperatur, berechnet nach Gleichung 3 | 75,75 °C | 74,9 °C |
| Radius | r_1 | DIN EN 253:2020-03 | 41,25 mm | 41,25 mm |
| Radius | r_2 | DIN EN 253:2020-03 | 44,45 mm | 44,45 mm |
| Radius | r_3 | Umfangsmessung am Mantelrohr abzüglich der Wandstärke | 76,8 mm* | 85 mm* |
| Radius | r_4 | Umfangsmessung am Mantelrohr | 80 mm | 88 mm |
| Wärmeleitfähigkeit Mediumrohr | λ_{Stahl} | DIN EN 253:2020-03 | 50 W/(m•K) | 50 W/(m•K) |
| Wärmeleitfähigkeit PUR-Schaum | λ_{PUR} | VDI Wärmeatlas | 0,03 W/(m•K) | 0,03 W/(m•K) |
| Wärmeleitfähigkeit Mantelrohr | λ_{Mantel} | DIN EN 253:2020-03 | 0,4 W/(m•K) | 0,4 W/(m•K) |
| Längenbezogener Wärmestrom an der Luft | \dot{q} | Berechnung nach | 30 W/m | 26 W/m |

*Die Wandstärke des Mantelrohres wurde nicht gemessen. Für die Berechnung wurde der Wert der Mindestwandstärke gemäß der DIN EN 253 übernommen.

Tab. 2: Berechnungsparameter und Ergebnisse der Wärmeverlustberechnung

Um den Einfluss der Schaumeigenschaften auf die Wärmeverluste zu untersuchen, wurde die Schaumdichte und Zellengröße nach EN 253 bestimmt. Die Ergebnisse der aus den Messungen ermittelten Mittelwerte sind in der Tabelle 3 aufgelistet.

| | Mittlere Zellengröße | Mittlere Schaumstoffdichte |
|------------------|----------------------|----------------------------|
| Rohrleitung | 0,27 mm | 80,5 kg/m ³ |
| Verbindungsmuffe | 0,26 mm | 96,3 kg/m ³ |

Tab.3: Ergebnisse der Prüfung der Zellengröße und der Schaumstoffdichte

Interpretation der Ergebnisse

Für die untersuchte Verbindung betragen die berechneten Wärmeverluste der Rohrleitung rund 30 W/m und sind rund 15 % höher als die der Muffe. Als Einflussfaktoren wurden in der Studie geometrische Faktoren und die Schaumeigenschaften untersucht. Als geometrischer Einflussfaktor kann der Formfaktor der Muffe herangezogen werden. Der Formfaktor des untersuchten Muffensystems beträgt 1,1. Bedingt durch den 16 Millimeter höheren Durchmesser der Muffe, sind geringere Wärmeverluste der Muffe zu erwarten, was in den Ergebnissen bestätigt wurde.

Bei der Untersuchung der Schaumqualität wurde für die nachträglich ausgeschäumte Muffe eine 20 % höhere Schaumstoffdichte gemessen. Die Zellgröße des PUR-Schaumes in der Rohr- und Muffendämmung ist etwa gleich groß. Aus der geringeren PUR-Schaumdichte resultiert ein höherer Zellgasanteil in der Rohrleitung im Vergleich zu der Muffe. Da Gas stets eine geringere Wärmeleitfähigkeit hat als Feststoff wären bei gleichem Durchmesser eine höhere Wärmeleitfähigkeit und höhere Wärmeverluste für die Muffe zu erwarten.

Die sich einstellende Temperaturdifferenz zwischen der Rohrrinnen- und Außenwand ergibt sich aus den Wärmeleitungseigenschaften und geometrischen Abmessungen der Rohrleitung und der Muffe. An der Muffenoberfläche wurde eine geringere Temperatur gemessen als an der Mantelrohroberfläche der Rohrleitung, was einer besseren Dämmwirkung der Muffe entspricht. Für das untersuchte Muffensystem hat der geometrische Formfaktor somit einen größeren Einfluss auf den Wärmestrom als die Unterschiede in der Schaumdichte.

Schlussfolgerungen

In der Studie wurden die längenbezogenen Wärmeverluste von einem Probekörper mit einer Schrumpfmuffenverbindung an der Luft berechnet. Die Wärmeverluste der Rohrleitung betragen 30 W/m und sind rund 15 % höher als die Wärmeverluste der Verbindungsmuffe. Für das untersuchte System wurde der Formfaktor, der Quotient aus dem Durchmesser der Muffe und der Rohrleitung, als Haupteinflussfaktor auf die Wärmeverluste identifiziert. Bei Muffensystemen, deren Abdichtung vor der Dämmung erfolgt ist, ist der Formfaktor höher als bei dem untersuchten System. Bei diesen Systemen sind größere Unterschiede zwischen den Wärmeverlusten zu erwarten, was sich günstig auf die Wärmeverluste des Gesamtnetzes auswirkt. Die Schaumdichte hat bei dem untersuchten System einen geringeren Einfluss auf den Wärmeverlust. Weitere Untersuchungen mit mehreren Probekörpern sollten durchgeführt werden, um die Parameter Formfaktor und Schaumdichte zu quantifizieren und den Einfluss der Wärmeleitfähigkeit weiter zu untersuchen. Eine Messung der Wärmeleitfähigkeit unter Versuchsbedingungen ist zu empfehlen.

Bei einer Übertragung der Berechnungsergebnisse auf ein reales Fernwärmenetz, würden die Wärmeverluste bei einem Anteil der Verbindungen von 8 % im Fernwärmenetz um rund 1 % überschätzt, wenn die Verbindung in der Berechnung nicht berücksichtigt wird. Aufgrund der unterschiedlichen Randbedingungen sind die Ergebnisse nur bedingt auf ein erdverlegtes Fernwärmenetz übertragbar, sodass weitere Untersuchungen zu dem Einfluss der Verbindung auf die Wärmeverluste des Gesamtnetzes notwendig sind.

Bedingt durch die in Zukunft erwartete Absenkung der Systemtemperaturen entscheiden sich Versorgungsunternehmen zunehmend für die Doppelrohrtechnologie, bei der das Vor- und Rücklaufrohr in einer Dämmung verlegt werden. In Anbetracht dieser Entwicklungen wird an der HCU die Untersuchung von Wärmeverlusten von Doppelrohrverbindungen im Rahmen einer Forschungsarbeit angestrebt.

Danksagung

Die dem Artikel zu Grunde liegenden Messungen wurden an der HafenCity Universität selbstfinanziert zur wissenschaftlichen Begleitung des laufenden Projektes „Qualitätsprüfung an Mantelrohrverbindungen für Fernwärmeleitungen nach EN 489-1“ durchgeführt. Wir bedanken uns bei unserem Auftraggeber dem AGFW e.V., vertreten durch Herrn Dr.-Ing. Andretzky für die Möglichkeit der synergetischen Nutzung der erlangten Daten in diesem spannenden und praxisnahen Projekt.

Literatur

(DIN EN 13941-1) DIN EN 13941-1:2019-12 „Fernwärmerohre - Auslegung und Installation von gedämmten Einzel- und Doppelrohr-Verbundsystemen für direkt erdverlegte Heißwasser-Fernwärmenetze - Teil 1: Auslegung“. Deutsche und Englische Fassung EN 13941-1:2019, Beuth-Verlag Berlin (2019).

(Isoplus 2011) isoplus Fernwärmetechnik Vertriebsgesellschaft mbH (2011). „Planungshandbuch: Kapitel 2 – Starre Verbundsysteme“. Abgerufen am 20.11.21, von https://www.isoplus.de/fileadmin/user_upload/downloads/documents/germany/Catalogue_German/Kapitel_2_Starre_Verbundsysteme.pdf

(Logstor 2020) LOGSTOR A/S (2020). „LOGSTOR FlexPipe System“. Abgerufen am 20.11.21, von <https://www.logstor.com/media/6430/logstor-flexpipe-handbuch-202002.pdf>

(Grage et al. 2013) Grage T., Herbst V. (2013) „Praxisgerechte Qualitätsprüfungen von KMR-Muffensystemen“. EuroHeat&Power 42. Jg, H. 9, S. 46-53.

(DIN EN 489-1) DIN EN 489-1:2020-03 „Fernwärmerohre - Einzel- und Doppelrohr-Verbundsysteme für erdverlegte Fernwärmenetze - Teil 1: Mantelrohrverbindungen und Wärmedämmung für Fernwärmenetze nach EN 13941-1“. Deutsche Fassung EN 489-1:2019, Beuth-Verlag Berlin (2020).

(DIN EN 253) DIN EN 253:2020-03 Fernwärmerohre - Einzelrohr-Verbundsysteme für direkt erdverlegte Fernwärmenetze - Werkmäßig gefertigte Verbundrohrsysteme, bestehend aus Stahl-Mediumrohr, einer Wärmedämmung aus Polyurethan und einer Ummantelung aus Polyethylen“. Deutsche Fassung EN 253:2019, Beuth-Verlag Berlin (2020).

(Tödter 2020) Tödter J., Helpke C. (2020) „Drohngestützte Thermografie als Basis der Asset- und Instandhaltungsstrategie von Fern- und Nahwärmenetzen“. Schlussbericht zu IGF-Vorhaben Nr. 19768 N. Abgerufen am 19.11.21, von https://www.fernwaerme.de/pdfdata/Schlussbericht_IGF-Vorhaben_19768_N.pdf

(BFW 2018) Bundesverband Fernwärmeleitungen e.V. (2018) „Das praktische Montage-Handbuch für vorgedämmte Fernwärmeleitungen“. 3. Auflage, Dresden, ISBN 978-3-00-059264-5.

(FW 401 T6) AGFW FW 401, Teil 6 „Verlegung und Statik von Kunststoffmantelrohren (KMR) für Fernwärmenetze – Bauteile; Rohrverbindungen“. AGFW Verlag (2007).

(Besier et al. 2012) Besier R., Böhm A., Grage T., Tödter J., Meyer H-O., Rührer P., Wagner A. (2012) „Prüfung von Kunststoffmantelrohrverbindungen“. EuroHeat&Power 41. Jg, H. 5, S. 38-43.

(Weidlich 2015) Weidlich I. (2015) “Near future testing requirements for joints in modern district heating networks”, International Scientific Conference “Environmental and Climate Technologies

(FLIR 2008) FLIR Systems FLIR B Serie Benutzerhandbuch (2008). Abgerufen am 19.11.21, von <https://www.manualslib.de/manual/639653/Flir-Systems-Flir-B-Serie.html#product-FLIR%20B360>.

(Wagner 2011) Wagner W. „Wärmeübertragung“. 7. Auflage, Vogel Buchverlag, Würzburg, ISBN 978-3-8343-3209-7.

(Gibson et al. 1997) Gibson L.J., Ashby M.F. (1997) „Cellular Solids“. Cambridge Universitäts-Verlag, Cambridge.

(Wallentén 1991) Wallentén P. (1991) "Steady-state heat loss from insulated pipes". Dissertation Technische Hochschule Lund, Institut für Bauphysik, Lund, Schweden.

(Madan et al. 2021) Madan V., Weidlich I. (2021) "Investigation on relative heat losses and gains of heating and cooling networks". Conference of Environmental and Climate Technologies (CONNECT). 12-14 May 2021, Riga, Latvia.

(Weidlich 2018) Weidlich I. (2018) „Wärme- und Kälteschutz bei Rohrleitungen“. In „Rohrleitungen 2“, 2. Auflage, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, ISSN 2522-8188.

(VDI 2013) VDI e.V. (2013) „VDI-Wärmeatlas“. 11. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-642-19980-6.