

Praxishilfe Fernwärmeleitungsbau – Verlegesysteme und Kosten

**Herausgeber:**

AGFW | Der Energieeffizienzverband für
Wärme, Kälte und KWK e. V

Stresemannallee 30

D-60596 Frankfurt am Main

Telefon: +49 69 6304-1

Telefax: +49 69 6304-391

E-Mail: info@agfw.de

Internet: www.agfw.de

Verantwortlich:

Dipl. Ing. (FH) Frank Espig

Telefon: +49 69 6304-252

E-Mail: f.espig@agfw.de

Dipl. Ing. Rolf Besier

Telefon: +49 69 6304 346

E-Mail: r.besier@agfw.de

Hinweis:

Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, ist nur mit Genehmigung des Herausgebers gestattet. Alle Angaben in dieser Broschüre sind nach bestem Wissen unter Anwendung aller gebotenen Sorgfalt erstellt worden. Trotzdem kann von den Autoren, den Herausgebern und dem Verlag keine Haftung für etwaige Fehler übernommen werden.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Das gilt vor allem für Vervielfältigungen in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrokopie oder ein anderes Verfahren), Übersetzungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Stand: März 2021 / 1. Auflage

© AGFW, Frankfurt am Main

Inhaltsverzeichnis

1. Fernwärmenetze in Deutschland – Status Quo	- 1 -
2. Verlegesysteme.....	- 2 -
2.1 Allgemeines.....	- 2 -
2.2 Wärmedämmung.....	- 4 -
2.3 Verlegesysteme mit direkter Erdauflast	- 5 -
3. Kosten Fernwärmeleitungsbau	- 10 -
3.1 Verlegekosten KMR	- 10 -
3.2 Aufteilung der Gesamtkosten	- 11 -
4. Literatur	- 13 -

1. Fernwärmenetze in Deutschland – Status Quo

Fernwärmeversorgungen werden heute vorwiegend in Gebieten, in denen eine ausreichende Wärmebedarfsdichte für den Aufbau und den wirtschaftlichen Betrieb vorhanden sind, betrieben. Sie weisen insbesondere in Städten und Ballungsräumen ein gewichtiges Potential auf, um die Energiewende langfristig zu unterstützen und eine klimaneutrale Versorgung mit Wärme zu gewährleisten. Mit Fernwärmenetzen, im Folgenden auch Verteilnetze genannt, wird die erzeugte oder von Dritten eingespeiste Wärme zu den Kunden transportiert. Heute dominiert der Wärmeträger Heizwasser. Versorgungen mit Dampf werden vorwiegend für industrielle Anwendungen mit höherem Temperaturniveau und / oder die Übertragung größerer Energiemengen genutzt.

In den wärmegeprägten Rohrleitungen des Verteilnetzes wird die thermische Energie des Wärmeträgers in der Vorlaufleitung von der Einspeisestelle zum Energienutzer transportiert. Nach der dortigen Wärmeabgabe - für Raumheizung, Trinkwassererwärmung oder sonstige Zwecke - wird das abgekühlte Heizwasser in der Rücklaufleitung zur Einspeisestelle zurück transportiert. Das Heizwasser wird im Kreislauf gefördert.

Die Vorlauftemperaturen in den Verteilnetzen werden meist abhängig von der Außentemperatur geregelt. Sie liegen in größeren Heizwasser-Verteilnetzen bei etwa 70 °C im Sommer (Trinkwassererwärmung) und können in der Heizperiode auf etwa 110 °C bis mehr als 130 °C ansteigen.

Fernwärmenetze sind für eine jahrzehntelange Nutzung vorgesehen. Die im Weiteren aufgeführten Verlegesysteme haben Nutzungsdauern von z. T. deutlich mehr als fünf Jahrzehnten ohne systemspezifische systematische Schäden erreicht.

Die Rohrsysteme für die Fernwärme können, unter Beachtung wichtiger Parameter wie z. B. Kondensation und Wasserqualität, grundsätzlich auch für die Fernkälteversorgung genutzt werden.

Nach [AVBFernwärmeV] wird jede gewerbsmäßige Versorgung mit den Wärmeträgern Dampf, Kondensat oder Heizwasser als Fernwärme bezeichnet. Für kleinere Versorgungsstrukturen wird vielfach auch der Begriff Nahwärme genutzt.

2. Verlegesysteme

2.1 Allgemeines

Für die heute zur Anwendung kommenden Verlegesysteme können bei fachkompetenter Planung und Bauausführung sowie einer angemessenen Zustandsanalyse Nutzungsdauern von mehr als fünf Jahrzehnten erreicht werden.

In Bild 1 sind die wirtschaftlichen Anwendungsbereiche der Verlegesysteme in Abhängigkeit der Durchmesser und der zulässigen maximalen Betriebstemperatur dargestellt. Die Verlegesysteme können in solche mit und ohne direkte Erdauflast eingeteilt werden.

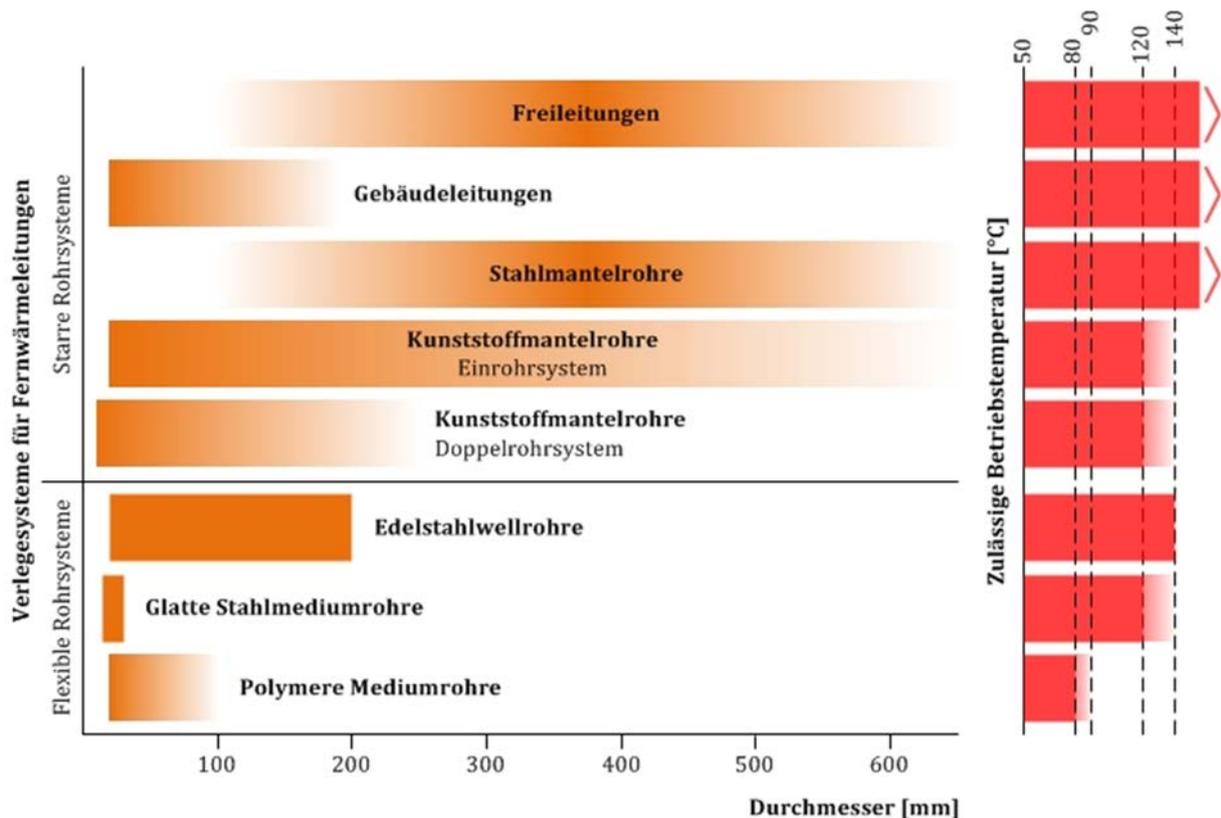


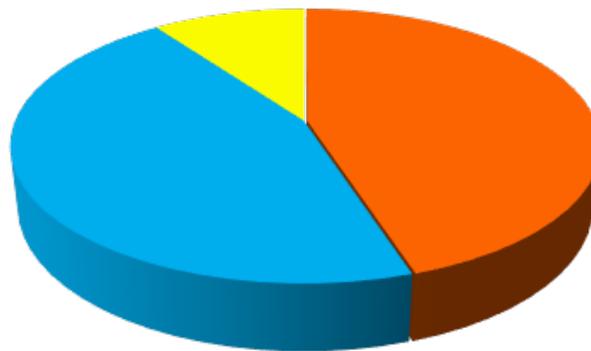
Bild 1- Anwendungsbereiche der Verlegesysteme für Fernwärmeleitungen [Quelle: Bes20]

Während auf der Grundlage der an den jährlichen Statistiken beteiligten Unternehmen im Hauptbericht der Fernwärme [HB19] von 196 Fernwärme-Versorgungsunternehmen eine Trassenlänge von 21.482 km angegeben wird, kann auf den Absatzmengen der Rohrsystemanbieter basierend, heute in Deutschland von einer Fernwärme-Trassenlänge von etwa 150.000 km ausgegangen werden [Bes20]. Der Bestand bezogen auf die Verlegesysteme, ist in Bild 2 dargestellt. Der jährliche Ausbau der Fernwärmenetze teilt sich auf die in Bild 3 dargestellten Verlegesysteme auf.



- KMR (Ein- und Doppelrohr)
- Flexible Rohrsysteme
- Frei- und Gebäudeleitungen, Kanalleitungen

Bild 2 - Aufteilung des Bestandes an Fernwärmeleitungen nach Verlegesystemen in Deutschland [Quelle: Bes20]



- KMR (Ein- und Doppelrohr)
- Flexible Rohrsysteme
- Frei- und Gebäudeleitungen, Kanalleitungen

Bild 3 - Anteil der Verlegesysteme am Ausbau der Fernwärme in Deutschland [Quelle: Bes20]

2.2 Wärmedämmung

Die Dämmdicken von Fernwärmeleitungen werden vorwiegend nach wirtschaftlichen Kriterien festgelegt [Klöß09]. Die absoluten physikalischen Wärmeverluste nehmen mit größeren Rohrdurchmessern und damit größerer Rohroberfläche zu. Jedoch weisen Leitungen mit größeren Durchmessern bezogen auf die Übertragungskapazität (Volumenstrom) durch ein günstigeres Verhältnis von Volumen zu Oberfläche geringere spezifische Wärmeverluste auf [Man20]; siehe Bild 4. Rohrleitungen mit kleinen Durchmessern bzw. Nennweiten, wie z. B. zum Anschluss der zu versorgenden Gebäude (Hausanschlussleitungen), haben am gesamten physikalischen Wärmeverlust von der Wärmeeinspeisung bis zur Übergabestation einen verhältnismäßig hohen Anteil [IEA05], [Klöß09].

Eine Berechnung der realen physikalischen Wärmeverluste ist aufwändig und aufgrund der vielen Variablen nur näherungsweise möglich. Die kaufmännisch ermittelten Netzverluste errechnen sich aus der Differenz der eingespeisten zur abgerechneten Wärmemenge.

ANMERKUNG: Die in [HB19] angegebenen durchschnittlichen Netzverluste von 12% weisen die rechnerische Differenz zwischen der eingespeisten und der abgerechneten Wärmemenge aus. Die Netzverluste ergeben sich insbesondere aus den physikalischen Wärmeverlusten, Messwertabweichungen der Wärmemengenzähler, Abweichungen durch Messungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten sowie Wärmeverlusten durch Wasserverluste in den Versorgungssystemen.

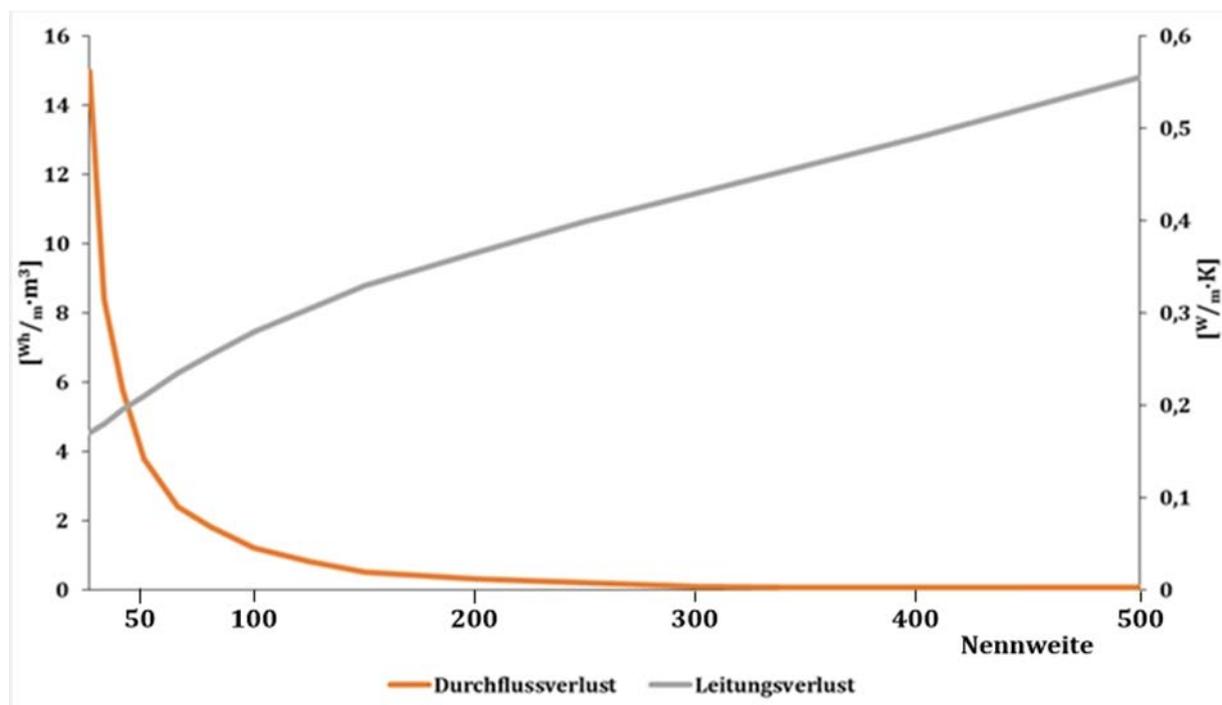


Bild 4 - Wärmeverluste für **KMR der Dämmserie 1 nach EN 253** in Abhängigkeit der Nennweite [Quelle: In Anlehnung an Man20]

Seitens des Gesetzgebers sind keine Mindestdämmdicken für Gebäudeleitungen gefordert. Das [GEG20] gilt nicht für Fernwärmeversorgungen bis zur Übergabestation in den Gebäuden. Der AGFW empfiehlt für neu zu errichtende Fernwärmeleitungen in Gebäuden die Mindestdämmdicken entsprechend [GEG20] anzuwenden [AGFW FW 411-1].

2.3 Verlegesysteme mit direkter Erdauflast

Verlegesysteme mit direkter Erdauflast sind solche, die direkt im Erdreich verlegt und deren rohrstatisches Verhalten in Folge der Wärmedehnung durch Temperaturänderungen direkt von diesem beeinflusst werden.

2.3.1 Kunststoffmantelrohr (KMR)

Die industriell hergestellten Rohr-, Formteil- und Armaturen-Baueinheiten für das Verlegesystem KMR bestehen aus einem oder zwei Stahlrohr/en (Ein- bzw. Doppelrohrsystem) bzw. Stahlformstücken zum Transport des Heizwassers, einer Dämmung aus Polyurethan (PUR)-Hartschaumstoff und einer äußeren Ummantelung aus Polyethylen (PE). Bild 5 zeigt den Aufbau einer Rohrbaueinheit.



Bild 5 - Aufbau des KMR [Quelle: www.bruggpipes.com]

Die Baueinheiten sind entsprechend den Produktnormen bis DN 1200 als Einrohrsystem [EN 253] und bis DN 250 als Doppelrohrsystem [EN 15698] verfügbar. Sowohl für die Einrohr- als auch die Doppelrohrsysteme sind drei Dämmserien definiert. Die zulässige Dauerbetriebstemperatur beträgt 120 °C und darf pro Jahr für 300 Stunden bis zu einer Spitzentemperatur von 140 °C überschritten werden [DIN EN 13941-1, AGFW FW 401]. KMR sind für Heizwasser als Wärmeträger vorgesehen.

Die Stahlrohre der Baueinheiten werden auf der Baustelle miteinander verschweißt. Die Wärmedämmung und die Verbindung bzw. Abdichtung der Ummantelungen erfolgt an den Verbindungsbereichen durch Verbindungsmuffen [DIN EN 489-1, AGFW FW 401]. Zur Erkennung von Feuchten in der Wärmedämmung und u. a. von Beschädigungen des Verlegesystems sind im Großteil der verbauten KMR auf elektrischer Grundlage basierende Überwachungssysteme in der Wärmedämmung eingeschäumt [DIN EN 14419, AGFW FW 401].

Für KMR mit üblichen Außentemperaturabhängig geregelten Vorlauftemperaturen liegen inzwischen Erfahrungen über mehr als fünf Jahrzehnten ohne systematische Schäden vor. Es wird davon ausgegangen, dass diese KMR weitere Jahrzehnte genutzt werden können.

2.3.2 Flexible Verlegesysteme

Vom konstruktiven Aufbau ähneln die flexiblen Verlegesysteme dem KMR. Die flexiblen Rohrsysteme werden werkmäßig gefertigt und auf Trommeln oder als Ringbunde auf die Baustelle geliefert, siehe Bild 6.



Bild 6 - Flexible Fernwärmeleitung als Ringbund [Quelle: isoplus.de]

a) Flexible Verlegesysteme mit polymeren Mediumrohren

Die flexiblen Verlegesysteme mit polymeren Mediumrohren sind als Einrohr- und Doppelrohrsystem für Dauerbetriebstemperaturen von 80°C und maximalen Betriebstemperaturen bis 95°C vorgesehen [DIN EN 15632-1]. Als polymere Mediumrohrwerkstoffe werden heute vorwiegend PE-X und PB1 verwendet. Für die Wärmedämmungen verwendet man, herstellerabhängig, Dämmstoffe aus PE- und PUR-Schaumstoffen sowie Faserdämmstoffe und andere.

Erfahrungen mit diesen Rohrsystemen liegen inzwischen über etwa 3 Jahrzehnten ohne systematische Schäden vor.

Momentan werden Fachdiskussionen betreffend der Anwendbarkeit weiterer polymerer Mediumrohrwerkstoffe für niedrigere Betriebstemperaturen im Rahmen der europäischen Normung im CEN/TC107 geführt.

b) Flexible Verlegesysteme mit metallischen Mediumrohren

Für diese Gruppe der flexiblen Verlegesysteme kommen vorwiegend Mediumrohre mit unlegierten Stählen und Edelstahlwellrohre zur Anwendung. Die zulässigen Betriebstemperaturen sind denen der KMR vergleichbar.

2.3.3 Stahlmantelrohr (SMR)

SMR werden insbesondere als direkt erdverlegte Rohrsysteme ausgeführt. Es sind auch Anwendungen als Freileitungen und als selbst tragende Brückenbauwerke bekannt.

Das Verlegesystem ist für die Wärmeträger Heizwasser und Dampf insbesondere bei hohen Temperaturen und Drücken geeignet.

SMR bestehen aus zwei Stahlrohren mit unterschiedlichen Durchmessern, die ineinander geschoben sind und in deren Ringraum die Wärmedämmung angebracht ist; siehe Bild 7. Im Innenrohr (Mediumrohr) wird das Heizmedium transportiert, das mit einem passiven Korrosionsschutz ausgestattete Außenrohr (Mantelrohr) nimmt bei der direkten Erdverlegung die Erd- und Verkehrslasten auf. Bei kleinen Nennweiten können auch zwei oder mehr Innenrohre in einem gemeinsamen Mantelrohr geführt werden. Während das Mantelrohr weitgehend unbeweglich im Erdreich liegt, erfolgt die Kompensation der temperaturbedingten Längenänderungen des Mediumrohres im Ringraum.

SMR werden projektbezogen als Rohr-, Bogen-, Abzweigbaueinheiten etc. werkmäßig gefertigt und auf der Baustelle zu einem funktionsfähigen Rohrsystem zusammengebaut [AGFW FW 410].

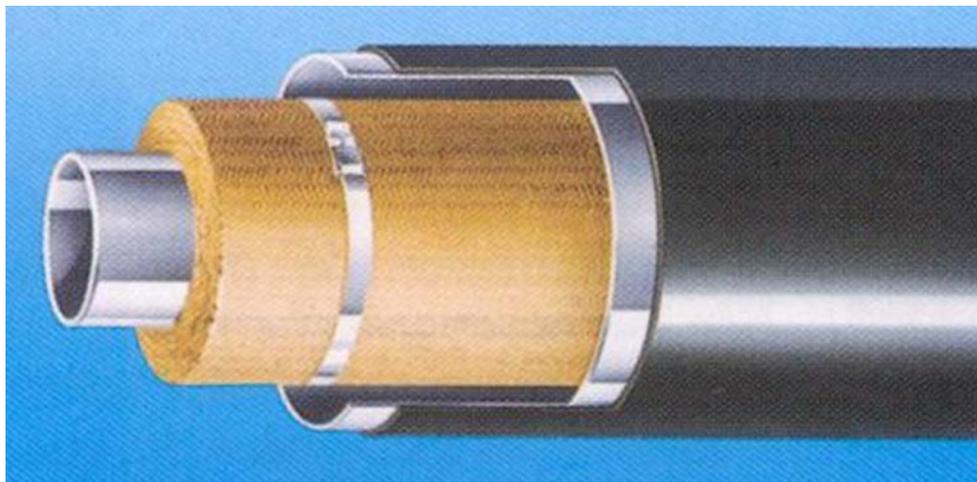


Bild 7 - Aufbau eines Stahlmantelrohres [Quelle: FW Fernwärmetechnik, Celle]

2.4 Verlegesysteme ohne direkte Erdauflast

Verlegesysteme ohne direkte Erdauflast sind solche, die als Frei- und Gebäudeleitungen bzw. in Betonkanälen geführt und deren rohrstatisches Verhalten nicht direkt vom Erdreich bestimmt werden [AGFW FW 411-1].

2.4.1 Frei- und Gebäudeleitungen

Für Fernwärmeleitungen als Frei- und als Gebäudeleitungen kommen Stahlrohre und Stahlformstücke zur Anwendung. Diese werden auf der Baustelle zu einem Rohrsystem zusammengefügt. Um die Mediumrohre wird die Wärmedämmung angebracht und mit einer Ummantelung aus meist metallischen Werkstoffen geschützt. Hinsichtlich der Betriebstemperaturen gibt es keine Einschränkungen.

Freileitungen finden sich vorwiegend in industriellen Bereichen sowie im Bereich von Böschungen und an Brücken, siehe Bild 8. Insbesondere im innerstädtischen Bereich stößt die Verlegung unter dem Gesichtspunkt eines harmonischen Stadtbildes an Grenzen.



Bild 8 - Freileitung im Gelände [Quelle: inetz, Chemnitz]

2.4.2 Kanalverlegte Fernwärmeleitungen

Bis in die 80er-Jahre des letzten Jahrhunderts wurden Fernwärmeleitungen meist in gemauerten oder aus Stahlbeton errichteten und überwiegend nicht begehbaren Kanälen verlegt, siehe Bild 9.

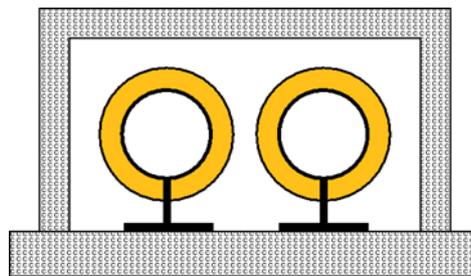


Bild 9 - Prinzipskizze eines nicht begehbaren Haubenkanals

Durch den notwendigen Platzbedarf für die Errichtung der Kanalbauwerke im urbanen Raum, die vergleichsweise langen Bauzeiten sowie die Baukosten ist die Bedeutung des Verlegesystems, auch mit dem Aufkommen der direkt erdverlegten Verlegesysteme, stark zurückgegangen. Heute werden kanalverlegte Leitungen nur noch in Ausnahmefällen ausgeführt.

Die in den Kanälen verlegten Fernwärmeleitungen sind von Aufbau vergleichbar zu den Frei- und Gebäudeleitungen.

Insbesondere die Fernwärmekanäle in stark befahrenen innerstädtischen Straßen weisen zunehmend Probleme mit der Standsicherheit auf. Die vor Jahrzehnten nach dem damaligen Stand der Technik errichteten Bauwerke sind nicht für die heutigen Belastungen, z. B. Schwerlastverkehr, bemessen und ggf. durch ungünstige klimatische Bedingungen in den Kanälen geschädigt. Bei notwendigen Erneuerungsmaßnahmen werden z. B. KMR in die Kanalhüllen eingebracht und der Hohlraum verfüllt oder eine neue Trasse parallel verlegt.

2.4.3 Fernwärmeleitungen in unterirdischen Bauwerken, Leitungsgängen und Dükern

Fernwärmeleitungen in begehbaren unterirdischen Bauwerken, Leitungsgängen und Dükern (UBLD), Bild 10, bieten vergleichbar zu den Frei- und Gebäudeleitungen den Vorteil einer guten Zugänglichkeit für Wartung und Instandhaltung.

Der Aufbau der Fernwärmeleitungen ist ebenfalls vergleichbar zu den Frei- und Gebäudeleitungen bzw. zu den kanalverlegten Fernwärmeleitungen.

In den UBLD mit einem ausreichend groß konzipierten Platzangebot werden vielfach auch Leitungen anderer Ver- und Entsorgungssparten parallel zu den Fernwärmeleitungen geführt.

Vergleichsweise häufig sind UBLD in den östlichen Bundesländern anzutreffen.



Bild 10 - Versorgungskanal, vorrangig für Fernwärmeleitungen und weitere Medien [Quelle: EuroHeat&Power, Heft 1-2, 2018]

3. Kosten Fernwärmeleitungsbau

In der weiteren Betrachtung wird der Schwerpunkt auf das Kunststoffmantelrohrsystem gelegt. Auf Grund der Einsatzhäufigkeit und der zur Verfügung stehenden Daten wird auf eine Betrachtung der unter Pkt. 2.2.3 bis 2.3.3 aufgeführten Verlegesysteme verzichtet.

3.1 Verlegekosten KMR

Im Rahmen einer Ende 2020 / Anfang 2021 durchgeführten Umfrage haben Versorgungsunternehmen Kosten für Bauprojekte genannt. Die Bandbreite dieser Kosten wird von einer Reihe von Punkten beeinflusst, die in den nachfolgenden Abschnitten aufgeführt sind.

In Bild 11 und Bild 12 sind die für Verlegungen unter befestigten Oberflächen (z. B. Straße, Gehweg) und unter unbefestigten Oberflächen (z. B. Grünfläche) angegebenen Verlegekosten je Meter Rohrleitungstrasse als Punkte dargestellt.

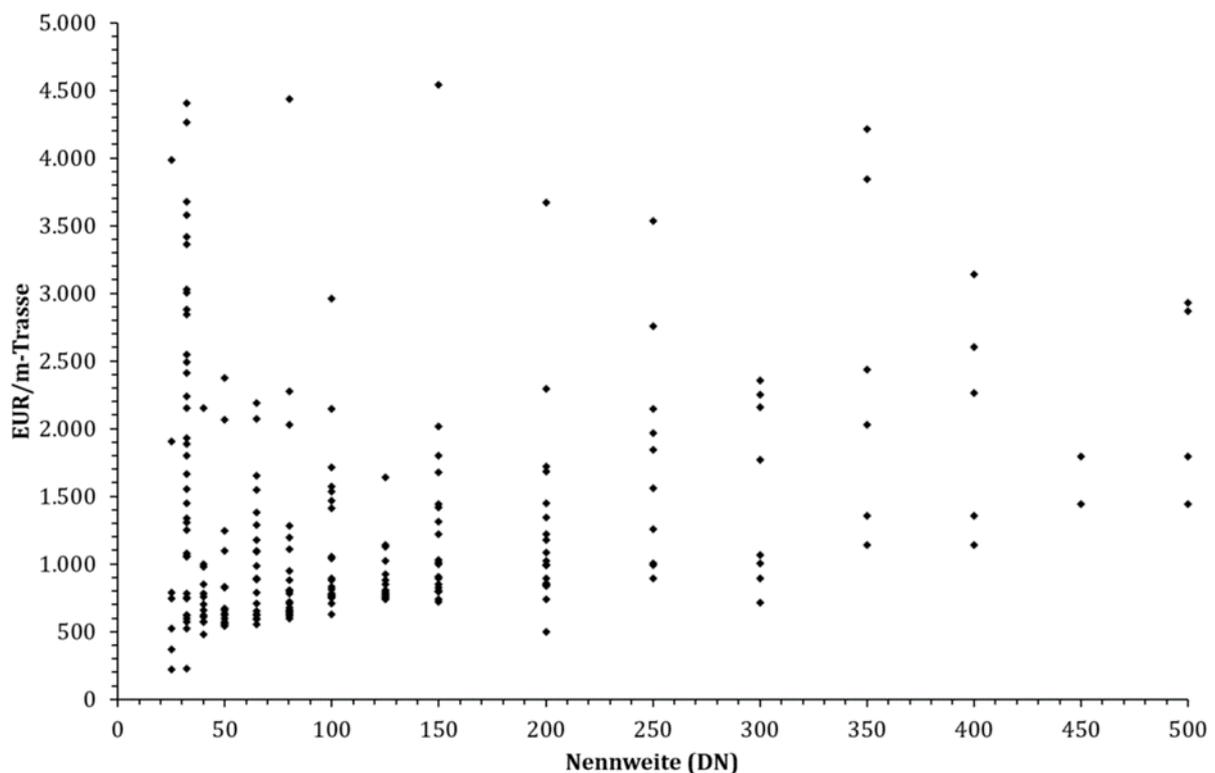
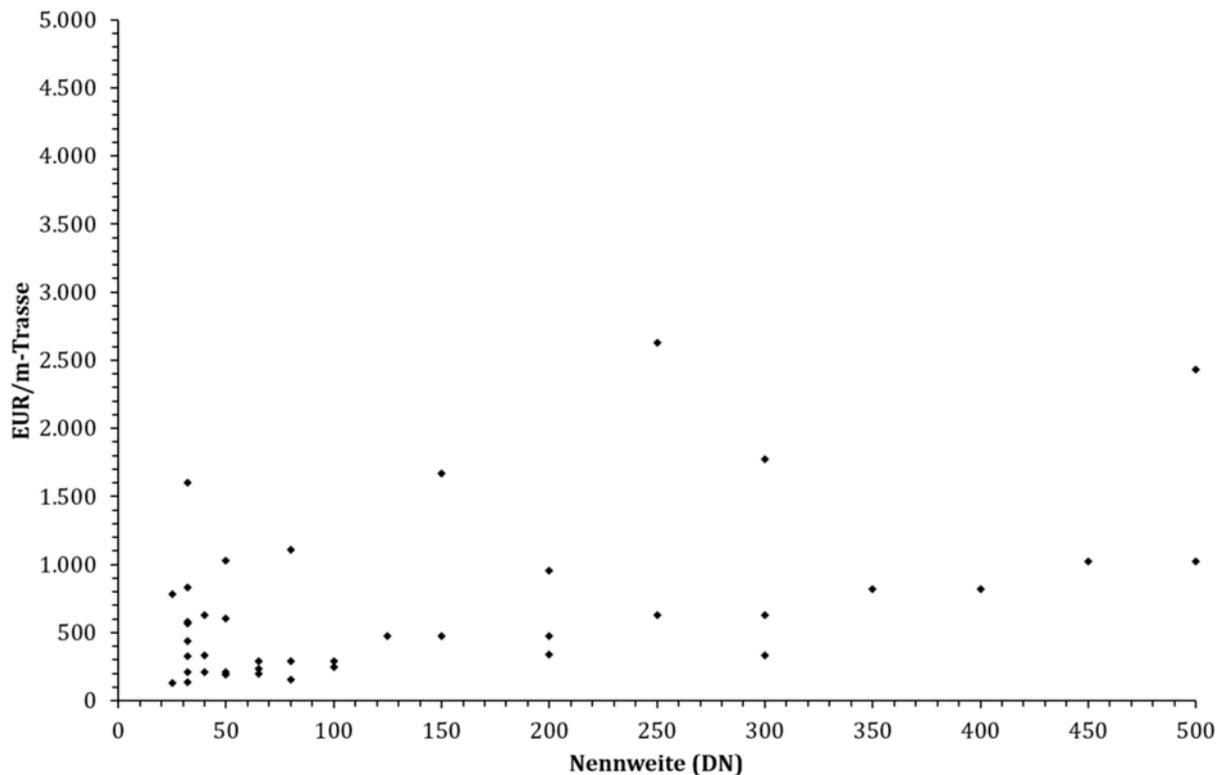


Bild 11 - Verlegekosten für KMR, Dämmserie 1, nach DIN EN 253 unter befestigten Oberflächen (ohne MwSt)



Eine detaillierte und von qualifizierten Planern durchgeführte umfassende Planung beinhaltet eine dem Umfang, der Komplexität, des Investitionsvolumens und der Zeitdauer der Bauausführung angemessene ingenieurmäßige Umsetzung aller Aspekte in verschiedenen Bearbeitungsschritten.

3.2.2 Tiefbau

Von wesentlichem Einfluss auf die Tiefbaukosten und damit die spezifischen und absoluten Kosten sind u. a.:

- Verlegetiefe und Ausführung (geböscht, verbaut) sowie Breite des Grabens, Wasserhaltung;
- Baugrund (Bodenklassen, Lagerung Aushubmaterial, Entsorgung);
- Länge der Trasse;
- Wiederherstellung der Oberfläche nach Vorgabe des Lastträgers (Bürgersteig, Straßenbereich, Straßenlastklasse, etc.);
- Begrenzung der Baustellenlänge (Verkehrsführung, Ampelschaltung [RSA]) und der Arbeitszeiten (Berufsverkehr);
- Gesetzliche und berufsgenossenschaftliche Vorgaben [ASR A 5.2, DIN 4124, etc..];
- Vorhandensein anderer Ver- und Entsorgungsleitungen, Fundamente etc.;
- Lage der Baustelle (dörflich geprägt, Wohngebiet, Stadtrandbereich, Innenstadt, Baustelleneinrichtung, Zufahrten zu Grundstücken, Materialmanagement etc.).

3.2.3 Rohrleitungsbau

Die Kosten für den Rohrleitungsbau beinhalten u. a. folgende Einzelpositionen:

- Materialkosten für die KMR-Baueinheiten, Muffen, Dehnpolster;
- Vorrichten, Verlegen und Verschweißen der KMR-Baueinheiten, Vorspannen;
- Dichtheits- und Festigkeitsprüfung;
- Muffenmontage;
- Einmessen der Rohrleitungen.

4. Literatur

- [AGFW FW 410] Merkblatt AGFW FW 410:2011, Stahlmantelrohre (SMR) für Fernwärmeleitungen
- [AGFW FW 411-1] Fernwärmeleitungen ohne direkte Erdauflast; Teil 1: Anwendungsbereich, Gliederung, Begriffe, 2021
- [AGFW FW 401-9] Kunststoffmantelrohre (KMR) als Verlegesystem der Fernwärme; Teil 9: Planung, 2021
- [AGFW FW 401-11] Kunststoffmantelrohre (KMR) als Verlegesystem der Fernwärme; Teil 11: Diagramme und Tabellen zur rohrstatischen Bemessung, 2021
- [ASR A5.2] Technische Regeln für Arbeitsstätten - Anforderungen an Arbeitsplätze und Verkehrswege auf Baustellen im Grenzbereich zum Straßenverkehr – Straßenbaustellen, 2018, www.baua.de
- [AVBFernwärmeV] Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme
- [Bes20] Besier, Begrüßung und Einführung in die Thematik, Vortrag im AGFW-Seminar „Mantelrohre im Fernwärmeleitungsbau“, September 2020
- [DIN 4124] DIN 4124:2012, Baugruben und Gräben - Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten, beuth.de
- [DIN EN 253] DIN EN 253:2020, Fernwärmerohre - Einzelrohr-Verbundsysteme für direkt erdverlegte Fernwärmenetze - Werkmäßig gefertigte Verbundrohrsysteme, bestehend aus Stahl-Mediumrohr, einer Wärmedämmung aus Polyurethan und einer Ummantelung aus Polyethylen
- [DIN EN 489-1] DIN EN 489-1, Fernwärmerohre - Einzel- und Doppelrohr-Verbundsysteme für erdverlegte Fernwärmenetze - Teil 1: Mantelrohrverbindungen und Wärmedämmung für Fernwärmenetze nach EN 13941-1
- [DIN EN 13941-1] DIN EN 13941-1:2019, Fernwärmerohre - Auslegung und Installation von gedämmten Einzel- und Doppelrohr-Verbundsystemen für direkt erdverlegte Heißwasser-Fernwärmenetze - Teil 1: Auslegung
- [DIN EN 14419] DIN EN 14419:2020, Fernwärmerohre - Einzel- und Doppelrohr-Verbundsysteme für erdverlegte Fernwärmenetze – Überwachungssysteme
- [DIN EN 15632-1] DIN EN 15632-1, Fernwärmerohre - Werkmäßig gedämmte flexible Rohrsysteme - Teil 1: Klassifikation, allgemeine Anforderungen und Prüfungen
- [DIN EN 15698] DIN EN 15698:2020, Fernwärmerohre - Verbundmanteldoppelrohre für direkt erdverlegte Fernwärmenetze
- [GEG20] Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden
- [HB19] AGFW-Hauptbericht 2019, AGFW, Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V., Frankfurt am Main, 2020-09, agfw.de

- [IEA05] Schmitt, Hoffmann, Göhler: Strategies to Manage Heat Losses - Technique and Economy, Program of Research, Development and Demonstration on District Heating), International Energy Agency, 2005
- [Kl09] Klöpsch, Besier, Wagner: Wirtschaftliche Dämmung für KMR, EuroHeat & Power, Heft12, 2009
- [Man20] Manthey, Energetische Bilanzierung von Fernwärmeleitungssystemen, AGFW-Seminar Betrieb und Instandhaltung von Fernwärmeverteilanlagen, Januar 2020
- [RSA] Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur der Bundesrepublik Deutschland



Ein Praxisleitfaden des
AGFW | Der Energieeffizienzverband
für Wärme, Kälte und KWK e. V

Stresemannallee 30 | D-60596 Frankfurt am Main
Telefon: +49 69 6304-1 | Telefax: +49 69 6304-391
info@agfw.de | www.agfw.de