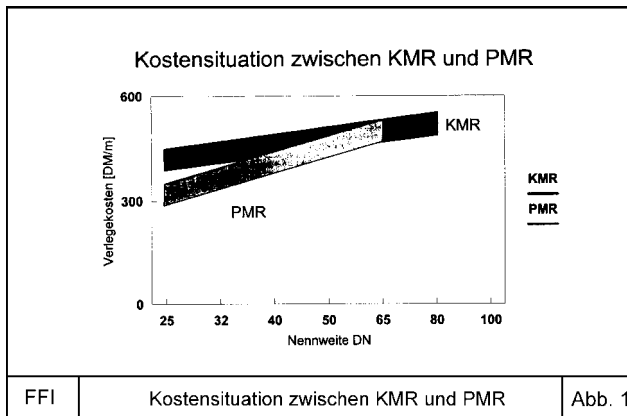


### III/1 Flexible Rohrleitungssysteme

Dipl.-Ing. (FH) Thomas May

#### 1. Notwendigkeit flexibler Rohrleitungssysteme

Durch die flexiblen Rohrleitungssysteme ergeben sich große Einsparpotentiale der Verlegekosten von Wärmeversorgungsleitungen im Hausanschlussbereich. Durch die einfache und schnelle Verlegung der flexiblen Systeme kann ein Großteil der Tiefbaukosten eingespart werden. Trotz der etwas höheren Herstellungskosten für flexible Rohrleitungen fallen gerade im unteren Nennweitenbereich bis DN 65 geringere Investitionskosten an als im Vergleich zum Kunststoffverbundmantelrohr (KVMR) [1] (**Bild 1**).



**Bild 1:** Kostensituation zwischen KMR und PMR

Exakte Kostenvergleiche zwischen den einzelnen Systemen sind sehr schwierig, da die Baukosten von Wärmenetzen auch von technisch weniger relevanten Einflüssen abhängen wie [2]:

- Baukonjunktur / Jahreszeit (Auftragslage der Tiefbauunternehmen),
- das Verlegegebiet und
- die Art der Ausschreibeverfahren.

Generell kann man sagen, dass flexible Systeme ihre Vorteile im unteren Nennweitenbereich aber auch bei speziellen Verlegeverfahren (Einziehverfahren) ausspielen, da diese ohne Beeinträchtigungen der Bodenoberfläche auskommen.

#### 2. Aufbau flexibler Rohrleitungssysteme

Flexible Rohrsysteme bestehen grundsätzlich aus einem Mediumrohr, einer Wärmeisolierung und einem Mantelrohr (**Bild 2**).

Es werden Mediumrohre aus vernetztem Polyethylen (PE-X), aus Polybuten (PB), aus dünnwandigem, glatten Kupfer- oder weichgeglühten Stahlrohr oder aus gewelltem Edelstahl- bzw. Kupferrohr angeboten. Für die Wärmeisolierung wird meist ein halbharter Polyurethan-Schaum (PUR-Schaum) verwendet, aber auch Ringlelemente aus Polyethylen-Schaum

<b>Flexible Rohrsysteme</b>		
bestehen aus:		
Mediumrohr	PE-X, PB, Edelstahlwellrohr, Kupfer, Weichstahl,	
Isolierung	PUR(halbhart), Ringelemente aus PE-Schaum, Schalensegmente aus PUR(hart)	
Mantelrohr	PE-LD, PE-HD, Stahlwellrohr mit Korrosionsschutz aus Kautschuk/Bitumen und PE	
FFI	Aufbau flexibler Rohrleitungssysteme	Abb. 2

**Bild 2:** Aufbau flexibler Rohrleitungssysteme

(PE-Schaum) oder Schalensegmente aus hartem PUR-Schaum werden eingesetzt. Das Mantelrohr kann aus Polyethylen niedriger (LD) oder hoher (HD) Dichte, aber auch aus einem Stahlwellrohr mit einer Korrosionsschutz aus Kautschuk / Bitumen und PE bestehen.

Kennzeichnendes Merkmal bei den flexiblen Rohrleitungssystemen ist die Ausführung des Mediumrohres. Rohrsysteme mit einem Kunststoffmediumrohr (PEX, PB) werden als polymere Medium-/Mantelrohrsysteme (kurz PMR) und Rohrsysteme mit einem Mediumrohr aus Metall werden entsprechend als metallische Mediumrohrsysteme (kurz MMR) bezeichnet.

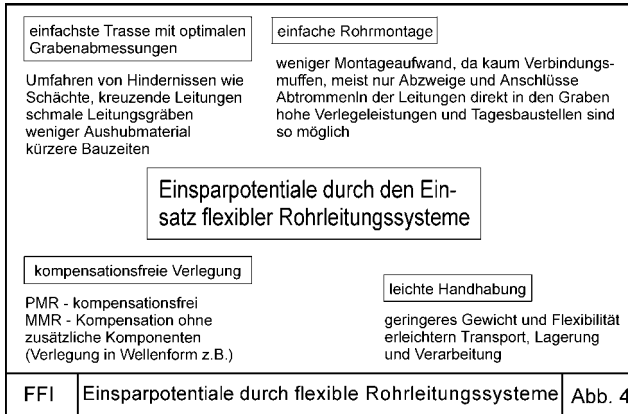
### 3. Einsatzbereiche der flexiblen Rohrleitungssysteme

Beim Einsatz von flexiblen Rohrleitungssystemen bestehen Restriktionen hinsichtlich Druck, Temperatur und Dimensionierung (**Bild 3**).

PMR sind einsetzbar bis zu Temperaturen von 90 (95) °C und Drücken bis 6 (10) bar. Erhältlich sind PMR bis zu einer Nennweite von DN 100. Prädestiniert sind diese Rohrsysteme für den Einsatz im Nahwärmebereich wie z. B. für Siedlungsgebiete, abseits gelegene Einzel-

Einsatzbereiche flexibler Rohrleitungssysteme (Auszug aus Herstellerangaben)			
Material Mediumrohr	max. Temp. [°C]	max. Druck [bar]	max. Durchmesser [DN]
PEX	90 (95)	6 (10)	50 / 100
PB	90	6 (10)	150
Edelstahl	150 (MR aus St)	25	150
Kupfer	110 / 130	25 / 16	100
Stahl weich	130	16	25
FFI	Einsatzbereiche flexibler Rohrleitungssysteme		Abb. 3

**Bild 3:** Einsatzbereiche flexibler Rohrleitungssysteme



**Bild 4:** Einsparpotentiale durch flexible Rohrleitungssysteme

objekte, die dezentrale Versorgung mit BHKW's sowie für Inselversorgungen [3]. MMR können für maximale Betriebstemperaturen von 120 ... 150 °C und Betriebsdrücke bis 25 bar angewendet werden. MMR sind bis zu einer Nennweite von DN 150 lieferbar und eignen sich sowohl für den Einsatz im Nahwärme- als auch im Fernwärmebereich.

#### 4. Einsparpotentiale der flexiblen Rohrleitungssysteme

Bei der Verwendung von flexiblen Rohrleitungssystemen ergeben sich für den Bau dieser Netze mehrere Vorteile [2] (**Bild 4**):

##### 1. Die Wahl der einfachsten Trasse mit optimalen Grabenabmessungen

Hindernisse wie Schächte, kreuzende Leitungen können einfach umfahren werden, das aufwendige Umlegen von anderen Versorgungsleitungen kann vermieden werden. Leitungsgräben müssen nur im Anschluss- und Abzweighbereich begehbar sein und können so schmaler ausgeführt werden. Dadurch verringern sich die Aushubmassen und entsprechend auch die Bauzeit. Abtransport und Zwischenlagern des Aushubes kann weitestgehend entfallen.

##### 2. Die kompensationsfreie Verlegung

Kunststoffe besitzen einen größeren spezifischen Längenänderungskoeffizienten als Stahl. Auf Grund ihres niedrigen E-Moduls können PMR aber nur kleine Spannungen aufbauen, die über die Erdreichbettung problemlos wieder abgebaut werden. Durch das Relaxationsverhalten von Kunststoffen werden die Spannungen auch im Laufe der Zeit abgebaut – der Kunststoff gibt unter Spannung nach und kriecht. Bei den gewellten Mediumrohren aus Kupfer oder Stahl wirkt das Mediumrohr bis zu einer bestimmten Länge als Axialkompensator. Die Glattrohre aus weichgeglühtem Stahl bzw. dünnwandigem Kupfer werden in Wellenform verlegt. PMR und MMR sind also selbstkompensierend. Es sind keine statischen Nachweise erforderlich. Dehnpolster werden nur an den Abzweigen von der starren Hauptleitung nötig.

##### 3. Die leichte Handhabung

Das geringe Gewicht und die Flexibilität vereinfachen Transport, Lagerung und Verarbeitung der auf Rollen- bzw. auf Trommeln lieferbaren flexiblen Rohrleitungssysteme.

##### 4. Einfache Rohrmontage

Es brauchen kaum Verbindungsmuffen, sondern meist nur Anschlüsse und Abzweige erstellt

werden. Der geringere Montageaufwand bedingt einerseits einen schnelleren Baufortschritt, aber auch gleichzeitig weniger potentielle Montagefehler und weniger Aufwand für die Qualitätssicherung. Die Leitung kann von der Trommel bzw. vom Ring direkt in den Graben abgerollt werden. Durch diese Arbeitsweise lassen sich hohe Verlegeleistungen und Verlegelängen von bis zu 200 m am Stück realisieren.

Insgesamt ergeben sich bei der Verwendung von flexiblen Rohrleitungen kurze Verlegezeiten. Diese ziehen geringere Vorhaltezeiten für Material, Reduzierung der Baustelleneinrichtung und der Maschinenwartezeiten, geringere Aufwendungen für Verkehrsicherungsmaßnahmen wie Straßensperrungen und provisorische Ampelanlagen nach sich und führen zu einer deutlichen Kostenreduktion.

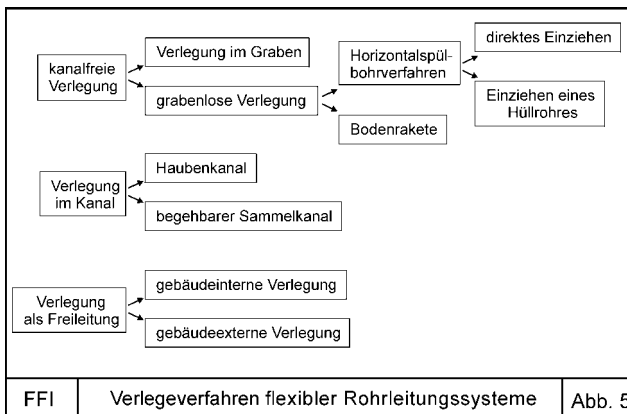
Ein weiterer Vorteil ist die Korrosionsbeständigkeit von Kunststoffen. Deshalb können auch keine Instandhaltungskosten aufgrund von Korrosionsschäden an den Leitungen auftreten. Der hydraulische Widerstand von PMR ist geringer als von KMR und somit kann auch Pumpenergie eingespart werden. Dieser Vorteil ist natürlich von der Gesamtlänge der Leitung und den Widerständen evtl. vorhandener Einbauteile (Abzweige und Verbindungsmuffen), den geometrischen Abmessungen und der Strömungsgeschwindigkeit abhängig.

## 5. Verlegeverfahren

Die Verlegeverfahren lassen sich in 3 Gruppen gliedern (**Bild 5**):

- die kanalfreie Verlegung (Verlegung im Graben und die grabenlose Verlegung),
- die Verlegung im Kanal (Haubenkanal, begehbare Sammelkanal) und
- die Verlegung als Freileitung (gebäudeintern bzw. -extern verlegte Leitungen).

Die Verlegung im Graben bietet einige Möglichkeiten zur Kostenreduktion: die Übereinanderverlegung, schmale Grabenbreiten, Verwenden von Grabenfräsen und die Flachverlegung. Zur grabenlosen Verlegung gehört das Horizontalspülbohrverfahren (direktes Einziehen bzw. Einziehen in ein Hüllrohr) und die Bodenrakete. Die gebäudeintern verlegten Freileitungen, z. B. in Tiefgaragen und in Reihenhäusern, bieten ein großes Einsparpotential bei der Verlegung. Bei einem evtl. auftretenden Schadensfall können diese Leitungen ohne Tiefbauaufwand ausgetauscht werden.



**Bild 5:** Verlegeverfahren flexibler Rohrleitungssysteme

Die Einsparmöglichkeiten der Flachverlegung (Flachverlegung in Bezug auf geringere Überdeckungshöhe) können nur in Abhängigkeit der einwirkenden Lasten, der Frostgefahr, der Gefahr des Unterspülens durch Sickerwasser bei unbefestigten Oberflächen und der eventuellen Beeinflussung von Flora und Fauna genutzt werden. Die Verlegung von Duo-Rohren (Vor- und Rücklauf) in einem Mantelrohr ist auch möglich.

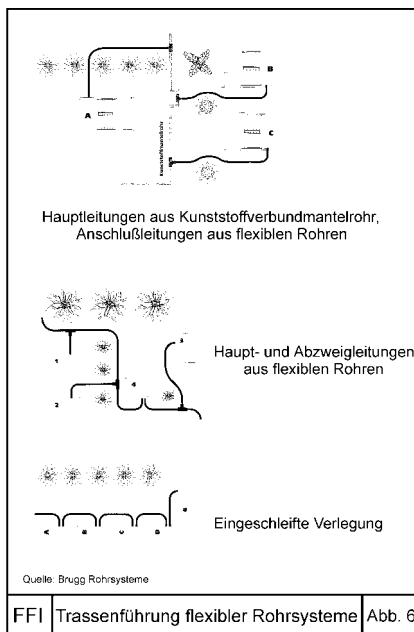
## 6. Trassenführung

Beim Einsatz von flexiblen Rohrleitungssystemen bestehen drei Möglichkeiten der Trassenführung (**Bild 6**):

- Hauptleitungen bestehen aus dem starren Kunststoffverbundmantelrohr, und die Anschlussleitungen sowie Unterverteilungen werden mit flexiblen Leitungen ausgeführt.
- Die Haupt- und Abzweigleitungen bestehen komplett aus flexiblen Rohrsystemen.
- Bei der eingeschleiften Verlegung werden die Verbraucher direkt angeschlossen – es fallen keine Verbindungselemente, keine Abzweige und keine Formteile (zum Isolieren der Abzweige) an.

## 7. Verbindungstechnik

Zum Erstellen von Anschlüssen, Abzweigen und Übergängen gibt es metallische Klemm-, Kompressions- und Pressverbinder. Die mechanischen Verbinder sind zuverlässig und bewährt, aber auch relativ teuer. Weiterhin gibt es die Möglichkeit des Schweißens: Heizelement-Muffenschweißen, Elektromuffenschweißen, Heizelement-Stumpfschweißen. Das



**Bild 6:** Trassenführung flexibler Rohrleitungssysteme

Schweißen ergibt eine homogene und preiswerte Verbindung. Polybuthen lässt sich mit den zuvor genannten Schweißmethoden zuverlässig verbinden. Im Gegensatz zu PB ist das Verschweißen von PE-X für warmgehende Leitungen nach derzeitigem Stand des Wissens nicht möglich. Es werden keine ausreichenden Standzeiten erreicht. Eine Kombination des Kompressionsverbinders und des Schweißens stellen spezielle Übergangsstücke, z. B. vom Edelstahlwellrohr auf das Kunststoffverbundmantelrohr, dar.

## **8. Besonderheiten von PMR**

Kunststoffe sind im Gegensatz zu Metallen nicht diffusionsdicht. Wasserdampf diffundiert aufgrund des Partialdruckgefälles des Wasserdampfes aus dem Wärmeträgermedium Wasser radial nach außen in die Isolierung. Im Falle einer Taupunkttemperaturunterschreitung des Wasserdampfes im äußeren, kalten Teil der Wärmeisolierung kann dieser kondensieren. Im Laufe der Zeit kann sich so Wasser im äußeren Schaumbereich ansammeln. Diese Feuchtigkeit bedingt eine Vergrößerung der Wärmeverluste des Rohrsystems. Außerdem kann eine ständige Einwirkung des Wassers den PUR-Schaum angreifen und partiell zerstören. Das FFI hat hier mit seinen Mitgliedern bereits umfangreiche Forschungsarbeiten durchgeführt [4, 5]. Bei den Untersuchungen wurde die maximale Betriebstemperatur von 95 °C gewählt, bei der sich ein maximaler Wasserdampfdiffusionsstrom einstellt und für das PMR die höchste Belastung darstellt. In der Praxis werden PMR allerdings überwiegend bei gleitender Fahrweise zwischen 60 °C und 90 °C betrieben, wobei der Anteil an Betriebsstunden mit 90 °C im allgemeinen unter 5 % liegt. Der durch die maximale Belastung im Versuch erzielte Zeiträffereffekt soll helfen, schnell zu Erkenntnissen über das Langzeitverhalten bezüglich der Wasserdampfdiffusion von PMR zu gelangen.

Im Hinblick auf die Wasserdampfdiffusion kann die Verlegung von PMR direkt im Grundwasserbereich nicht empfohlen werden, da durch die gute Kühlung am Außenmantel des PMR die Gefahr der Taupunkttemperaturunterschreitung des Wasserdampfes besteht. Ebenso sollte man sich bei der Entscheidung für ein Rohrsystem mit einem Kunststoffmediumrohr und einer stärkeren Isolationsschicht gegenüber der normalen Isulationsstärke auch der höheren Kondensationsgefahr des Wasserdampfes bewusst sein.

PMR sind auch nicht dicht gegenüber den Bestandteilen der Luft und den Zellgasen. Die Zellgase diffundieren aus dem halbharten PUR-Schaum heraus und die Luftbestandteile Sauerstoff und Stickstoff diffundieren in den halbharten PUR-Schaum. Die Zellgase Pentan und CO<sub>2</sub> z. B. besitzen eine um etwa 45 % geringere Wärmeleitfähigkeit als Luft. Die Folge der Zellgassubstitution durch Luft ist eine Erhöhung der Wärmeverluste. Die Wärmeleitfähigkeitswerte von PMR aber auch MMR ohne metallisches Mantelrohr erhöhen sich im Laufe der Zeit aufgrund der zuvor genannten Diffusionsvorgänge. Dies sollte bei der Planung berücksichtigt werden.

Zum Thema Sauerstoffdiffusion ist zu sagen, dass die heute üblichen Folien-Sperren aus Ethylen Vinyl Alkohol Polymer (EVOH / EVAL) einen ausreichenden Schutz bieten und ein Sauerstoffeintrag in das Heizwasser weitestgehend vermieden wird. Somit besteht keine Korrosionsgefahr für die metallischen Teile, die mit dem Heizwasser in Berührung kommen.

## **9. Stand der Normung**

Eine Norm der Arbeitsgruppe WG 10 des Europäischen Komitees für Normung CEN/TC 107 mit dem Titel „Werkmäßig gedämmte flexible Rohrsysteme“ ist in Bearbeitung. Von der Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e. V. (AGFW) wurde das Merkblatt FW 420 mit dem Titel

„Fernwärmeleitungen mit Kunststoff-Mediumrohren (PMR)“ herausgegeben. Ferner existieren noch deutsche Normen, die die allgemeinen Güteanforderungen, Prüfungen und Maße von PE-X und PB festlegen.

## 10. Geplante Forschungsaktivitäten

In Zusammenarbeit mit mehreren PMR-Herstellern und Betreibern sowie Forschungsstellen und der GEF (Ingenieurgesellschaft für Energietechnik und Fernwärme mbH) als Koordinator ist ein Verbundforschungsvorhaben mit dem Arbeitstitel „Flex-Rohre für Fernwärme“ über BEO (Projektträger Biologie, Energie, Ökologie) des BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft) beantragt. Als Prüfinstitute und Forschungsstellen sind die IMA (Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH Dresden), Hessel Ingenieurtechnik GmbH und das FFI (Fernwärme-Forschungsinstitut in Hannover e. V.) beteiligt. Das Teilvorhaben „Diffusionsproblematik“ beinhaltet Untersuchungen im Technikum an gleichartigen Systemproben mit im Grundwasser, im trockenen und im feuchten Erdreich verlegten PMR unter Betriebsbedingungen und anschließender Messung der Wärmeleitfähigkeit. Parallel dazu sollen PMR-Proben unter erhöhten Temperaturbedingungen gealtert werden. Ziel dieser Versuche ist es, die Auswirkungen der Wasserdampfdiffusion und der Zellgasdiffusion auf die Wärmeleitfähigkeit von PMR praxisnah bestimmen und die Auswirkungen dieser beiden Einflüsse besser trennen zu können.

## 11. Fazit

Flexible Rohrleitungssysteme bieten eine Menge Vorteile gegenüber den starren Kunststoffverbundmantelrohrsystemen:

Eine einfachere und schnellere Montage und ein leichteres Handling, die kompensationsfreie Verlegung, die Korrosionsbeständigkeit, der reduzierte Planungsaufwand durch die Flexibilität bei der Trassenwahl, die kürzere Bauzeit und die Reduzierung der Baunebenkosten.

Mit Hilfe der flexiblen Rohrleitungssysteme erschließt sich ein großes Kostenreduktionspotential und damit die Chance, mit anderen Versorgungsenergien mitzuhalten und gegen diese zu bestehen, im Sinne der ökologischen und ökonomischen Energie Fernwärme.

## Literatur

- [1] Klöpsch, M.: „Erfahrungen mit Kunststoffmediumrohren“, AiF-Symposium Kunststoff-Mediumrohre im FFI Hannover am 07.11. 1996
- [2] Steinmetz, H.; Klöpsch, M.: „Neuartige Verlegetechniken flexibler Fernwärmeleitungssysteme mit Kunststoffmediumrohren“, Abschlussbericht des Fernwärme-Verbundes Saar GmbH, BMBF-Projekt-Nr. 0328789F (1997)
- [3] Witt, J.: „Nahwärme in Neubaugebieten“, Ökoinstitut e. V. (1995)
- [4] Just, M., May, Th.: „Verbundisolierte flexible Rohrssysteme mit einem Mediumrohr aus Polyethylen – Ermittlungen zum Feuchteintrag, zur elektrischen Leitfähigkeit, zum Längswasserhalten (Leckage) und zur Änderung der Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit der Zeit bei Betriebsanforderungen“, Abschlussbericht der IMA-GmbH Dresden und des FFI Hannover zum AiF Forschungsvorhaben 11643 B (1999)
- [5] Just, M., Kraaz, M.: „Kunststoffmediumrohre – Ermittlung zum Lebensdauerverhalten und zum Diffusionsverhalten (Sauerstoff und Wasserdampf) im Hinblick auf eine breitere Anwendbarkeit in Fern- und Nahwärmenetzen“, Abschlussbericht der IMA-GmbH Dresden und des FFI Hannover zum AiF Forschungsvorhaben 10591 B (1997)

**Verfasser:** Dipl.-Ing. (FH) Thomas May  
Projektleiter  
Fernwärme-Forschungsinstitut in Hannover e. V. (FFI)  
Max-von-Laue-Straße 23  
30966 Hemmingen  
Telefon: (05 11) 9 43 70-23  
Telefax: (05 11) 9 43 70 70  
[may@fernwaerme.de](mailto:may@fernwaerme.de)