

## Einleitung

In der Nah- und Fernwärme kommen zahlreiche unterschiedliche Rohrsysteme zum Einsatz. Neben den klassischen gedämmten Stahlrohren kamen in den letzten Jahren eine Vielzahl von Herstellern mit gedämmten Kunststoffrohren auf den Markt. Speziell im Bereich der Dämmung und der verwendeten Treibmittel gibt es eine längere historische Entwicklung, die im Folgenden zusammengefasst wird. Diese Darstellung soll helfen, den Hintergrund für die letzte Generation von physikalischen Treibmitteln, den Hydrofluorolefinen (HFO) zu verstehen und diese Substanzklasse einordnen zu können.

### 1. Prinzipielle Typen gedämmter Rohre für Fern- und Nahwärme

Die zum Transport des heissen Wassers notwendigen gedämmten Rohre lassen sich grob unterteilen in starre und flexible Rohrsysteme. Beide haben ihre Vor- und Nachteile und es hängt von der jeweiligen technischen Anforderung ab, welches Rohrsystem im Einzelfall zum Einsatz kommt.

Die starren Rohrsysteme (Kunststoffmantelrohre, KMR) bestehen aus Mediumrohren aus Stahl, einer thermischen Isolation (Dämmstoff) und einem Aussenmantel aus Polyethylen (PE), der zum Schutz der Isolation dient. Diese Rohrsysteme sind ausgelegt für hohe Temperaturen und Betriebsdrücke und dienen als Hauptleitungen in grösseren Fernwärmenetzen. Diese Rohre werden in Stangen ausgeliefert und die Mediumrohre müssen vor Ort verschweisst werden und die Verbindungsstellen sind mit Muffen und Schaum nachzuisolieren. Die zugrundeliegende Norm ist die EN253.

Die flexiblen Rohrsysteme bestehen meist aus polymeren Mediumrohren, einer thermischen Isolation und einem Aussenmantel aus PE (PMR, Polymeres Mediumrohr). Die maximalen Betriebstemperaturen und Betriebsdrücke sind niedriger als bei den KMR. Dafür haben sie den Vorteil, dass lange Längen am Stück verlegt werden können weil dieser Rohrtyp als Ring gewickelt produziert und so auf die Baustelle geliefert werden kann. Längen von mehreren hundert Metern sind üblich. Dadurch verringert sich der Aufwand der Verbindungstechnik erheblich. Die zugrundeliegende Norm ist die EN15632.



**CALPEX PUR-KING**

**Flexibles Rohrsystem**



**PREMANT**

**Starres Rohrsystem**

## Thermoplastische und duroplastische Dämmstoffe

Es gibt bei den flexiblen Rohrsystemen mit Mediumrohren aus Kunststoff derzeit zwei Systeme am Markt. Diejenigen, welche als Dämmstoff einen Schaum aus PE verwenden und solche, welche einen Dämmstoff aufweisen, der chemisch vernetzt ist, d. h. der einen Duroplast (PUR/PIR) darstellt.

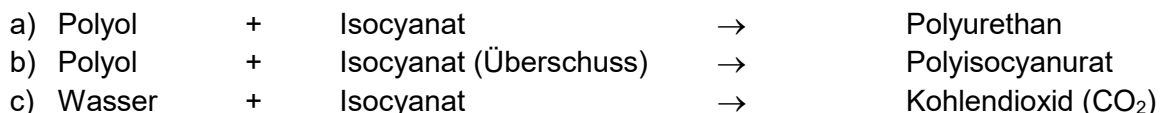
Die PE-Dämmstoffe sind normalerweise vorgefertigt und werden in dem Prozess der Herstellung der gedämmten Rohre um die Mediumrohre herum angebracht. Die PE-Schäume weisen relativ grobe Poren auf, die Zellen sind verhältnismässig gross. Ausserdem ist die Dichte der PE-Schäume relativ gering, weshalb der Dämmstoff gegen die Gasdiffusion nur wenig Widerstand bietet, d. h. die Zellgase können leicht mit der Umgebungsluft in ein Gleichgewicht gelangen. Faktisch befinden sich in den Zellen deshalb Stickstoff und Sauerstoff. Es ist also nicht möglich, die Zellgaszusammensetzung gezielt zu verändern um dadurch die Wärmeleitfähigkeit zu verringern. Ein zusätzliches Merkmal der PE-Schäume ist die Tatsache, dass sie nicht von sich aus an den Mediumrohren haften oder kleben. Es liegt also kein kraftschlüssiger Verbund vor (Nichtverbundsystem EN15632-3).

Bei den duroplastischen Dämmstoffen handelt es sich üblicherweise um Schäume aus Polyurethan (PUR) bzw. aus Polyisocyanurat (PIR). Diese Schäume werden während des Produktionsprozesses des gedämmten Rohrs aus einem Zweikomponentengemisch (2K) erzeugt. Diese Dämmstoffe sind also nicht vorgefertigt, sondern entstehen erst in der Produktion durch eine chemische Reaktion. Während der Bildung des Schaums werden die Mediumrohre sehr gut von diesem benetzt, wodurch sich eine feste Haftung und ein kraftschlüssiger Verbund ergibt. Diese Dämmstoffe sind geschlossenzellig und haben auch eine höhere Dichte als die PE-Schäume. Die Art und die Menge der Zellgase kann durch den Produktionsprozess gezielt beeinflusst werden. Die Diffusion der Luftgase in die Schaumporen findet nur sehr langsam statt, d. h. über die Zellgaszusammensetzung lässt sich die Wärmedämmung erheblich verbessern.

## Duroplastische PUR - und PIR-Systeme

Den Schäumen auf der Basis von PUR und PIR ist gemeinsam, dass sie gebildet werden wenn Polyole und Isocyanate miteinander reagieren. Es handelt sich dabei um generische Begriffsbezeichnungen, d. h. in der Praxis gibt es eine Vielzahl von Polyolen und Isocyanaten der verschiedenen Lieferanten. Es kommt so auch zu einer Vielzahl an Schäumen mit unterschiedlichen Eigenschaftsprofilen, je nachdem welche Ausgangsstoffe in welchem Verhältnis zur Anwendung kommen.

Für das weitere Verständnis sind folgende Reaktionsgleichungen wichtig:



Je nach eingesetzter Menge der Isocyanat Komponente kommt es zur vermehrten Bildung von PUR oder PIR. Für die PIR Systeme wird (zusätzlich zu anderen Massnahmen in der Reaktionsführung) relativ mehr Isocyanat benötigt. Der Vorteil der PIR-Systeme liegt in deren höheren Beständigkeit gegen Temperatur und ihrer verringerten Brennbarkeit. Allerdings ist deren Herstellung in einem kontinuierlichen Prozess mit grossen Hürden verbunden.

## Wirkungsweise eines chemischen Treibmittels

In den eingesetzten Polyolen befindet sich immer eine geringe Menge Wasser, so dass bei der Bildung des PUR bzw. PIR-Schaums immer auch CO<sub>2</sub> entsteht (siehe obige Reaktionsgleichung). Während der chemischen Reaktion bildet sich gleichzeitig das molekulare Netzwerk des Polyurethans bzw. des Polyisocyanurats aus und je weiter diese Reaktion fortschreitet, desto härter wird der Schaum. Das gebildete CO<sub>2</sub> hat als Gas naturgemäß das Bestreben zu entweichen und deshalb wird die noch nicht vollständig erstarrte Masse aufgebläht. So kommt es zur Ausbildung des Schaums.

Bei dieser Art der Schaumbildung durch das während der Reaktion gebildete CO<sub>2</sub> spricht man auch von einem chemischen Treibmittel. Oft verwendet man auch den Begriff eines wassergetriebenen Systems, weil die Anwesenheit von Wasser im Polyol die Grundvoraussetzung dafür ist, dass CO<sub>2</sub> gebildet werden kann.

### Wirkungsweise eines physikalischen Treibmittels

Es ist möglich den Prozess des Aufschäumens durch sogenannte physikalische Treibmittel weiter zu befördern und gleichzeitig die End Eigenschaften des Schaums zu verbessern. Ein physikalisches Treibmittel liegt normalerweise bei Raumtemperatur als Flüssigkeit vor und wird mit den schaubildenden Komponenten vermischt. Bei der chemischen Reaktion wird Wärme frei, wodurch das niedrigsiedende physikalische Treibmittel verdampft und in den Gasezustand übergeht. Dadurch wird die reagierende Masse, die noch nicht vollständig ausgehärtet ist, zu einem Schaum aufgebläht.

Das Produkt am Ende des Produktionsprozesses ist der fertige Schaum. Dieser besteht aus vielen kleinen Poren, die auch Zellen genannt werden. Die polymere Matrix bildet das Gerüst dazu. In den Zellen befinden sich die sogenannten Zellgase. Zum einen sind dies die zugesetzten physikalischen Treibmittel, die nun in den Zellen eingeschlossen sind. Zum anderen aber auch das CO<sub>2</sub>, das immer zu einem gewissen Anteil mit gebildet wird und zu einem kleinen Anteil die Gase, die den Hauptteil der Umgebungsluft ausmachen, Stickstoff und Sauerstoff.

### Arten von physikalischen Treibmitteln

Als physikalische Treibmittel für Isolationsschäume kommen hauptsächlich halogenierte Kohlen(wasser)stoffe oder einfache niedermolekulare Kohlenwasserstoffe in Frage.

### Halogenierte Kohlen(wasser)stoffe

Nachdem der Amerikaner Thomas Midgley das CFC-11 erfunden hatte, fanden seit den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts halogenierte Kohlen(wasser)stoffe erste Anwendung als Kältemittel in Kühlschränken <sup>[1]</sup>. Ihr interessantes Eigenschaftsprofil machte die CFCs für eine Unzahl von technischen Anwendungen schnell unentbehrlich. Seit den 60er Jahren wurde das CFC-11 dann auch zur Herstellung von PUR-Schäumen verwendet <sup>[2]</sup>.

Ein typischer Vertreter dieser Substanzklasse hat die in der Tabelle 1 gezeigte Formel, das CFC11, auch bekannt als Freon11. Die Chlor-Fluor-Kohlenstoffe zeichnen sich dadurch aus, dass sie nur aus Chlor (Cl), Fluor (F) und Kohlenstoff (C) bestehen und nur Einfachbindungen aufweisen. Dadurch ergab sich die Abkürzung CFC (Kohlenstoff ist im englischen «carbon», deshalb das «C» anstatt des «K»). Die CFC Moleküle enthalten keinen Wasserstoff. Deshalb ist die deutsche Bezeichnung FCKW (Fluor Chlor Kohlen Wasserstoffe) eigentlich inkorrekt, aber dennoch im allgemeinen Sprachgebrauch etabliert.

Mit einer Veröffentlichung im Jahr 1974 begann die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit den Gefahren, welche die bis dahin weit verbreiteten CFCs für die Ozonschicht der Stratosphäre darstellten <sup>[5]</sup>. So kam es zu einer Neubewertung dieser Substanzklasse. Im Montreal Abkommen von 1987 wurde ein stufenweiser Ausstieg aus deren Nutzung beschlossen <sup>[6]</sup>. In der Folge kam es zur Entwicklung und Kommerzialisierung zahlreicher Nachfolgeprodukte als Alternativen.

Substanz- klasse	CFC Chlor Fluor Kohlenstoff	HCFC Hydro Chlor Fluor Kohlenstoff	HFC Hydro Fluor Kohlenstoff	HFO Hydro Fluor Olefin
Typischer Vertreter	CFC-11	HCFC-141b	HFC-245fa	HFO-1336mzz
Struktur- Formel	$\begin{array}{c} \text{Cl} \\   \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{F} \\   \\ \text{Cl} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{Cl} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{Cl}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \\ \text{F} \quad \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{H} \\   \quad   \\ \text{F}-\text{C}-\text{C}-\text{F} \\   \quad   \\ \text{F} \quad \text{H} \end{array}$	
ODP	1 <sup>[3]</sup>	0.11 <sup>[3]</sup>	0 <sup>[3]</sup>	2 <sup>[4]</sup>
GWP	3800 <sup>[3]</sup>	600 <sup>[3]</sup>	1430 <sup>[3]</sup>	8.9 <sup>[4]</sup>
Lebensdauer an der Atmosphäre	45 Jahre <sup>[9]</sup>	9.2 Jahre <sup>[15]</sup>	7.4 Jahre <sup>[8]</sup>	22 Tage <sup>[4]</sup>

**Tabelle 1:** Typische Vertreter halogener Kohlen(wasser)stoffe, die Treibmittel verwendet wurden.

Die Fähigkeit einer Substanz die Ozonschicht unter Einwirkung von UV-Licht zu schädigen, wird als Ozone Depletion Potential (ODP) bezeichnet. Dabei handelt es sich um eine relative Grösse, wobei für das CFC-11 ein ODP von 1 zugrundegelegt wurde. Die technische Entwicklung hatte nun zunächst zum Ziel, Treibmittel zu finden, welche ein ODP deutlich unter dem der CFCs aufweisen sollten.

Die Hydro-Chlor-Fluor-Kohlenstoffe (HCFC) waren der erste grosse Fortschritt hinsichtlich des ODP und zeigten Werte, die deutlich unter 1 lagen. Für das gezeigte HCFC-141b wird beispielsweise ein Wert von 0.11 angegeben <sup>[3]</sup>. Die HCFC bestehen aus Wasserstoff (im Englischen Hydrogen, deshalb das H), Chlor, Fluor und Kohlenstoff und weisen nur Einfachbindungen auf.

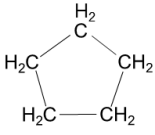
Die Entwicklung setzte sich fort mit den Hydro-Fluor-Kohlenstoffen (HFC), die nur aus Wasserstoff, Fluor und Kohlenstoff bestehen und ebenfalls nur Einfachbindungen aufweisen. Deren ODP liegt tatsächlich bei null, womit ein gravierendes Umweltproblem dieser Substanzklasse nachhaltig gelöst wurde.

Die bisher beschriebenen Substanzklassen (CFC, HCFC, HFC) haben aber einen weiteren gemeinsamen Nachteil, nämlich ihre Wirkung als Treibhausgase. Dieser Wert wird im deutschen als Treibhauspotential bezeichnet, normalerweise mit dem Akronym GWP abgekürzt (aus dem englischen Global Warming Potential) <sup>[7]</sup>. Dieser Wert wird relativ zu CO<sub>2</sub> (GWP = 1) angegeben und liegt für alle halogenierten Kohlen(wasser)stoffe um Grössenordnungen über dem von CO<sub>2</sub>. Dabei ist die sogenannte Atmospheric Lifetime ein guter Indikator für die Fähigkeit einer Substanz überhaupt als Treibhausgas wirken zu können. Die Lebensdauer eines Stoffes in der Atmosphäre gibt die Zeit an, die benötigt wird um diesen Stoff auf natürlichem Wege abzubauen. Hier sind Zeiträume von Jahren bis Jahrzehnten typisch für die besprochenen Substanzklassen, welche nur Einfachbindungen aufweisen.

Die Hydro-Fluor-Olefine (HFO) sind die jüngste Entwicklung. Diese beinhalten nun mindestens eine Doppelbindung im Molekül, das kommt durch die Bezeichnung Olefin zum Ausdruck. Die Doppelbindung wird in der Strukturformel durch den doppelten Strich zwischen den beiden mittleren Kohlenstoffatomen angezeigt. Darüber hinaus enthalten sie mindestens Wasserstoff, Fluor und Kohlenstoff. Diese Doppelbindung ist chemisch von grosser Bedeutung. An der Atmosphäre beginnt an dieser Position durch die Einwirkung von UV-Licht die Zersetzung des Moleküls. Letztendlich erfolgt der Angriff von Wasser und Sauerstoff an dieser Doppelbindung, wodurch die Lebensdauer dieser Substanzen unter diesen Bedingungen (UV-Licht, Feuchtigkeit) auf wenige Tage reduziert wird. Dadurch ist ein Transport in die oberen Schichten der Atmosphäre ohnehin unterbunden und das Treibhauspotenzial der HFOs sinkt auf null.

### Einfache Kohlenwasserstoffe

Eine unmittelbare Folge der Erkenntnisse hinsichtlich der Schädigung der Ozonschicht war der Einsatz von niedermolekularen Kohlenwasserstoffen (HC) als Treibmittel seit den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts <sup>[8]</sup>. Diese enthalten nur Kohlenstoff und Wasserstoff und sind demnach frei von Halogen. Bis dahin waren zwar die technischen Vorteile dieser Substanzen für die Schaumherstellung wohlbekannt, aber die hohe Brennbarkeit verhinderte für lange Zeit deren technischen Einsatz in dieser Industrie. Doch die Entwicklung der entsprechenden Anlagen, welche die gefahrlose Verarbeitung von Polyolen und Isocyanaten in Gegenwart von HCs erlaubte, änderte dies in kurzer Zeit. Die Tabelle 2 zeigt mögliche Kandidaten und ein Blick auf die Werte der Wärmeleitfähigkeit erklärt, warum sich Cyclopentan als physikalisches Treibmittel für PUR und PIR-Schäume durchgesetzt hat. Wenn die Investitionen in die Anlagentechnik und die Lagerung des Treibmittels einmal getätigt sind, hat man damit ein Treibmittel zur Verfügung, welches eine geringe thermische Leitfähigkeit aufweist und zudem ökologisch kaum bedenklich und kostengünstig ist.

Substanz	<i>Iso-Butan</i>	<i>Iso-Pentan</i>	<i>N-Pentan</i>	<i>Cyclopentan</i>
Struktur-Formel	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} - \text{CH}_3 \\   \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \\   \\ \text{H} \end{array}$	$\text{H}_3\text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	
ODP	0 <sup>[10]</sup>	0 <sup>[10]</sup>	0 <sup>[10]</sup>	0 <sup>[10]</sup>
GWP	11 <sup>[10]</sup>	11 <sup>[10]</sup>	11 <sup>[10]</sup>	11 <sup>[10]</sup>
Lebensdauer an der Atmosphäre	Wenige Tage <sup>[10]</sup>	Wenige Tage <sup>[10]</sup>	Wenige Tage <sup>[10]</sup>	Wenige Tage <sup>[10]</sup>
λ - Wert [W/m*K]	0.016 @ 25 °C <sup>[10]</sup>	0.014 @ 25 °C <sup>[10]</sup>	0.015 @ 25 °C <sup>[10]</sup>	0.013 @ 25 °C <sup>[10]</sup>

**Tabelle 2:** Typische Vertreter einfacher Kohlenwasserstoffe, die Treibmittel zum Einsatz kommen.

### Vergleich der physikalischen Treibmittel

Obwohl heute Cyclopentan als Treibmittel für Rohre in der Fernwärme noch den Standard darstellt, zeigt die Tabelle 3, dass die HFOs derzeit den besten Kompromiss aus Verfügbarkeit, Wärmeleitfähigkeit, ökologischer Unbedenklichkeit und Betriebssicherheit darstellen.

So bleibt zwar der sehr niedrige  $\lambda$ -Wert des CFC-11 unerreicht aber der des als Beispiel angeführten HFO ist signifikant niedriger als der des CO<sub>2</sub> oder sogar des Cyclopentans.

Kostenseitig wären die wassergetriebenen Systeme der Favorit, aber die damit erzielbaren Dämmwerte entsprechen schon seit Jahren nicht mehr den Marktbedürfnissen und den Zielen hinsichtlich der Energieersparnis (siehe auch den Vergleich im nächsten Abschnitt).

Zellgas	$\lambda$ - Wert	ODP	GWP	Kosten	Sonstiges
	[W/m*K]				
<i>CFC11</i>	0.008 @ 25 °C [13]	1 [3]	3800 [3]	Mittel	Nicht mehr zugelassen
<i>HCFC-141b</i>	0.010 @ 25 °C [12]	0.11 [3]	600 [3]	Mittel	Nicht mehr zugelassen
<i>HFC-245fa</i>	0.013 @ 25 °C [11]	0 [3]	1430 [3]	Mittel	Nicht mehr zugelassen
<i>HFO-1336mzz</i>	0.011 @ 25 °C [4]	0 [4]	2.0 [4]	Hoch	Seit Kurzem kommerziell verfügbar
<i>Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)</i>	0.016 @ 25 °C [9]	0 [9]	1 [9]	0	Hohe Wärmeleitfähigkeit
<i>Cyclopentan</i>	0.013 @ 25 °C [10]	0 [10]	5 [10]	Niedrig	Brennbar
<i>Stickstoff (N<sub>2</sub>)</i>	0.026 @ 20 °C [14]	-	-	-	Aus der Umgebungsluft

**Tabelle 3:** Vergleich der besprochenen Treibmittel und Zellgase inklusive ihrer Wärmeleitfähigkeiten.

## Technische Anforderungen

Die technischen Anforderungen für gedämmte flexible Rohrsysteme sind in der Normenfamilie EN15632 festgelegt. Bezüglich der Eigenschaften der Mediumrohre, des Aussenmantels und der Dämmung gibt es quantifizierbare Mindestanforderungen, die erfüllt werden müssen. Aber bezüglich der Leistungsfähigkeit des Dämmstoffs wird nur das zugrundeliegende Berechnungsverfahren beschrieben. Es wird aber keine Minimalanforderung festgelegt. Aus diesem Grund soll im Folgenden kurz auf die Dämmleistung an sich eingegangen werden.

## Thermische Dämmung

Die physikalische Grösse, welche eine thermische Isolation hinsichtlich ihrer Dämmwirkung quantitativ beschreibt, ist die Wärmeleitfähigkeit. Sie wird abgekürzt mit dem griechischen Buchstaben  $\lambda$  (sprich: Lambda). Die Einheit dieser Grösse ist  $W/m \cdot K$  (sprich: Watt pro Meter mal Kelvin). Je niedriger dieser  $\lambda$ -Wert ist, desto schlechter leitet das entsprechende Material die Wärme. Für gedämmte Rohre sollte demnach dieser Wert so niedrig wie möglich sein.

Die gesamte Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda_{tot}$ ) ihrerseits ergibt sich aus der Summe der Einzelkomponenten:

$$\lambda_{tot} = \lambda_{kon} + \lambda_{solid} + \lambda_{rad} + \lambda_{gas} \quad / [W/m \cdot K]$$

Dabei bedeuten

$\lambda_{kon}$ : Der Beitrag der Konvektion

$\lambda_{solid}$ : Die Wärmeleitfähigkeit der eigentlichen Matrix, d. h. des festen Materials, welches die Poren umgibt

$\lambda_{rad}$ : Die Wärmestrahlung

$\lambda_{gas}$ : Die Wärmeleitfähigkeit der Zellgase

Der Anteil der Konvektion ( $\lambda_{kon}$ ) kann bei Schaumstoffen wegen der kleinen Poren vernachlässigt werden.

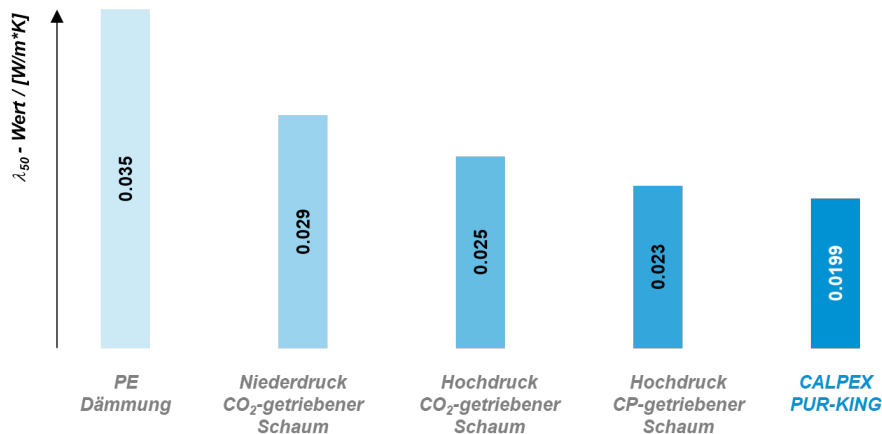
Der Beitrag der festen Matrix ( $\lambda_{solid}$ ) kann für ein gegebenes Material dadurch verringert werden, dass die Schaumdichte reduziert wird. Allerdings sind dieser Massnahme enge Grenzen gesetzt weil die Dichte aus Gründen der Gesamtstabilität des Rohres nicht beliebig abgesenkt werden kann.

Der Beitrag der Wärmestrahlung ( $\lambda_{rad}$ ) kann nur in gewissem Umfang beeinflusst werden, dies kommt aber nur bei hohen Temperaturen zum Tragen.

In der Praxis ist die Wärmeleitfähigkeit der Zellgase ( $\lambda_{gas}$ ) und damit die eingesetzten Treibmittel der effizienteste Hebel zur Verringerung von  $\lambda_{tot}$ . Die Wärmeleitfähigkeiten der Zellgase untereinander zeigen erhebliche Unterschiede. Dies war in der Vergangenheit auch der Grund für die Verwendung halogenierter HCFCs und HFCs als physikalische Treibmittel in PUR und PIR Schäumen bis deren Verwendung durch gesetzliche Vorgaben eingeschränkt bzw. verboten wurde.

## U-Werte an gedämmten Rohren

Die Bestimmung der U-Werte bzw. der  $\lambda$ -Werte wird für gewöhnlich an einem Rohr mit einer Nennweite DN 50 durchgeführt weil die Messeinrichtungen darauf eingerichtet sind und diese Messungen relativ aufwendig sind. Zusammen mit den geometrischen Parametern des Rohres lässt sich die Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs berechnen. Dieser Wert der Wärmeleitfähigkeit wird dann verwendet um auch die U-Werte der anderen Rohrdurchmesser zu berechnen. Dies setzt natürlich voraus, dass diese zu derselben Produktserie gehören, d. h. der Dämmstoff muss identisch sein.



**Abbildung 2:** Die Wärmeleitfähigkeiten unterschiedlicher Dämmstoffe im Vergleich.

Nachdem die U-Werte und die  $\lambda$ -Werte ihrerseits von der Temperatur abhängen, muss bei deren Angabe zwingend die Messtemperatur mit aufgeführt werden. In der Bauindustrie bezieht man sich normalerweise auf eine Temperatur von 10 °C, in der Fernwärme auf 50 °C. Als grobe Faustregel gilt, dass eine Erhöhung der Messtemperatur von 10 °C ungefähr eine Erhöhung des  $\lambda$ -Wertes von 0.001 W/m\*K nach sich zieht.

Dies soll an folgendem Beispiel erläutert werden:

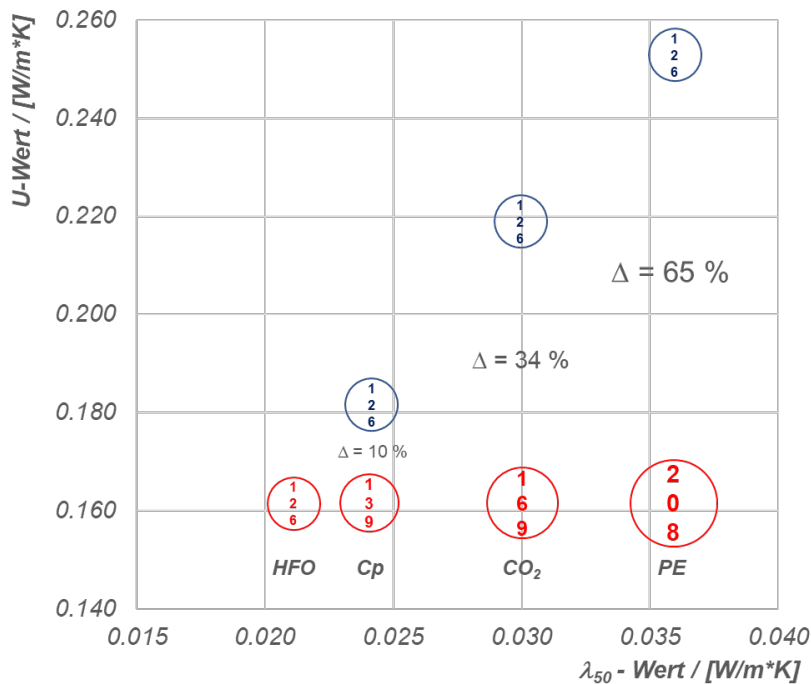
- Glattwandiges isoliertes Rohr mit einem Mediumrohr zentrisch angeordnet
- Mediumrohr Aussendurchmesser = 63 mm
- Mediumrohr Wandstärke = 5.8 mm
- Wanddicke des PE-Mantels = 2.5 mm
- Leitfähigkeit des Mediumrohrs = 0.38 W/m\*K @ 50 °C
- Leitfähigkeit des PE-Mantels = 0.33 W/m\*K @ 50 °C
- Leitfähigkeit der PE-Dämmung = 0.035 W/m\*K @ 50 °C
- Leitfähigkeit des CO<sub>2</sub> getriebenen PUR-Schaums (Niederdruck) = 0.029 W/m\*K @ 50 °C
- Leitfähigkeit des CO<sub>2</sub> getriebenen PUR-Schaums (Hochdruck) = 0.029 W/m\*K @ 50 °C
- Leitfähigkeit des Cyclopentan (Cp) getriebenen PUR-Schaums = 0.023 W/m\*K @ 50 °C
- Leitfähigkeit des HFO getriebenen PUR-Schaums (PUR-KING) = 0.0199 W/m\*K @ 50 °C

Die Wärmeleitfähigkeit des HFO-getriebenen PUR-Schaums wurde erhalten als Mittelwert von insgesamt zehn Einzelmessungen bei einem akkreditiertem Institut.

In der Abbildung 1 sind U-Werte aufgetragen, welche mit diesen Angaben berechnet wurden. In blau jeweils die U-Werte für einen Aussendurchmesser von 126 mm mit dem jeweiligen Dämmstoff. Es ist nun mit einem beliebigen Dämmstoff ohne Weiteres möglich einen U-Wert zu erreichen wie das Referenzrohr, welches eine Dämmung mit HFO-PUR-Schaum aufweist. Dies gelingt aber nur durch eine erhebliche Vergrößerung des Aussendurchmessers, d. h.



der Dicke der Dämmschicht. Beispielsweise müsste der Durchmesser des PE-gedämmten Rohres auf 208 mm vergrößert werden, also um 65 %.



**Abbildung 1:** U-Werte für Rohre mit unterschiedlichen Dämmstoffen und die benötigten Aussendurchmesser um mit diesen den gleichen U-Wert zu erreichen wie das HFO-gedämmte Referenzrohr.

Eine Folge dieser Massnahme ist die gestiegene Materialmenge, die zur Herstellung der Rohre benötigt wird. Es muss ja mit dem Dämmstoff ein grösseres Volumen gefüllt werden und es muss mehr PE für den Aussenmantel aufgewandt werden.

Ein weiterer nachteiliger Effekt der Vergrößerung des Aussendurchmessers sind die kürzeren Ringlängen. Die Rohre können zwar grundsätzlich hinsichtlich ihrer Länge auf Kundenwunsch konfektioniert werden, aber mit dem zunehmenden Aussendurchmesser steigen auch die realisierbaren Wickelradien. Letztendlich limitierend sind dann die sich daraus ergebenden Aussendurchmesser der Ringbunde weil die Spedition mit dem LKW standardmässig nur bis xx m Durchmesser durchgeführt wird.

Mit PUR als kompakteste Dämmtechnik im Bereich Fernwärme sind die grössten Lieferlängen realisierbar, entsprechend können massgeblich Transportkosten eingespart werden (Tabelle 4).

<b>Dimension Ø</b>	<b>Ringlänge *</b>	<b>Biegeradien</b>	<b>Gewicht</b>
<b>[mm]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m]</b>	<b>[kg]</b>
<b>76</b>	1'000	0.45	900
<b>91</b>	715	0.55	858
<b>111</b>	450	0.60	630
<b>126</b>	291	0.65	698
<b>142</b>	260	0.70	806
<b>162</b>	149	0.90	671
<b>182</b>	86	1.10	620
<b>202</b>	80	1.40	672

**Tabelle 4:** Realisierbare Ringlängen und Biegeradien für flexible Kunststoffrohre in Abhängigkeit vom Aussendurchmesser des Rohres. \* Gültig für Ringaussendurchmesser von 2.8 m.

#### Längswasserdichtigkeit

Die Norm EN15632-1 unterscheidet bei den flexiblen gedämmten Rohrsystemen mit Mediumrohren aus Kunststoff die Verbundrohre und die Nicht-Verbundrohre.

Bei den Verbundrohren erzeugt der Dämmstoff einen kraftschlüssigen Verbund mit den Mediumrohren und dem Aussenmantel. Dadurch, dass der Dämmstoff bei der Herstellung der gedämmten Rohre erst aus einem 2K-Gemisch gebildet wird, verklebt er mit den Mediumrohren. Die Verbindung zum Aussenmantel kommt dadurch zustande, dass die Folie, auf welcher das 2K-Gemisch transportiert wird, mit dem Aussenmantel verschmilzt sobald dieser aufextrudiert wird. Solche gedämmten Rohre sind normalerweise längswasserdicht gemäss der EN15632-2, Abschnitt 6.4. Die Kraftschlüssigkeit selber wird auch noch dadurch spezifiziert indem ein Mindestwert für die axiale Scherfestigkeit vorgegeben ist.

Bei den Nichtverbundrohren ist die Dämmung gewissermassen nur auf die Innenrohre aufgewickelt. Es liegt kein kraftschlüssiger Verbund vor. Dadurch ist die Erfüllung der Längswasserdichtigkeit kaum möglich und es wird auch keine axiale Scherfestigkeit gefordert. Um zu verhindern, dass sich allfällig eingedrungene Feuchtigkeit im gesamten Rohrsystem ausbreitet muss im Bereich der Muffen spezielle Bauteile vorgesehen werden, welche die Feuchtigkeit dann spätestens an dieser Stelle stoppen können.

Ein weiterer Nachteil der Nicht-Verbundrohre ist die Tatsache, dass die Mediumrohre mehr oder weniger frei beweglich sind, also austossen können.

## Zusammenfassung

Hinsichtlich der technischen Leistungsfähigkeit sind Dämmstoffe auf der Basis von PUR-Schaumstoffen die derzeit beste Lösung in der Fern- und Nahwärme. Durch den Einsatz der neuesten Technologien werden niedrige Werte der Wärmeleitfähigkeit erreicht. Dadurch ergeben sich niedrige U-Werte bei kleinen Aussendurchmessern. Kleinere Aussendurchmesser bedeuten weniger Raumbedarf. Dies vereinfacht zum einen die Verlegung der Rohre im Graben. Zum anderen sind die gewickelten Ringe länger wodurch pro Volumeneinheit mehr Rohr transportiert werden kann und dadurch die Logistikkosten sinken.

Darüber hinaus ist ein aufgrund des Produktionsverfahrens mit einem reaktiven 2K-System garantiert, das der Schaum einen festen Verbund zu den Innenrohren bildet. Die Verwendung von Treibmittel aus der Substanzklasse der HFOs ist die derzeit modernste Weiterentwicklung. Dadurch können die U-Werte bei sonst gleichen Aussendurchmessern weiter reduziert werden.

## Literatur

- [1] Patent GB357263A.
- [2] Randall, D und Lee, S., *The Huntsman polyurethanes handbook*, John Wiley & Sons, 2002, ISBN 0-470-85041-8, S. 127.
- [3] Datenbank der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, abrufbar unter [www.gestis.itrust.de](http://www.gestis.itrust.de)
- [4] Technisches Datenblatt der Fa Chemours, abrufbar unter: [https://www.chemours.com/Formacel/en\\_US/assets/downloads/opteon-1100-product-information.pdf](https://www.chemours.com/Formacel/en_US/assets/downloads/opteon-1100-product-information.pdf)
- [5] Molina, M. J., Rowland, F. S., *Nature*, 1974 (249), 810.
- [6] Das Montreal Protokoll in der deutschen Übersetzung, abrufbar unter: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19870179/201901010000/0.814.021.pdf>
- [7] <https://de.wikipedia.org/wiki/Treibhauspotential>
- [8] Randall, D und Lee, S., *The Huntsman polyurethanes handbook*, John Wiley & Sons, 2002, ISBN 0-470-85041-8, S. 133.
- [9] Randall, D und Lee, S., *The Huntsman polyurethanes handbook*, John Wiley & Sons, 2002, ISBN 0-470-85041-8, S. 131.
- [10] Randall, D und Lee, S., *The Huntsman polyurethanes handbook*, John Wiley & Sons, 2002, ISBN 0-470-85041-8, S. 134.
- [11] Wang et. al., *J. Chem. Eng. Data*, 2006 (51), 1424.
- [12] Klempner, D. and Sendijarevic, V., *Handbook of Polymeric Foams and Foam Technology*, Hanser, 2004, S. 545.
- [13] Perkins, R. et. al., *J. Chem. Eng. Data*, 2001 (46), 428.
- [14] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.), *VDI-Wärmeatlas, Berechnungsblätter für den Wärmeübergang*, ISBN 3-18-401362-6, VDI Verlag, 7. Auflage, Düsseldorf 1994, ISBN 3-18-401362-6, S. Db29.
- [15] Randall, D und Lee, S., *The Huntsman polyurethanes handbook*, John Wiley & Sons, 2002, ISBN 0-470-85041-8, S. 132.

### **Autor:**

Brugg Rohrsystem AG  
Industriestrasse 39  
5314 Kleindöttingen  
[www.pipesystems.com](http://www.pipesystems.com)