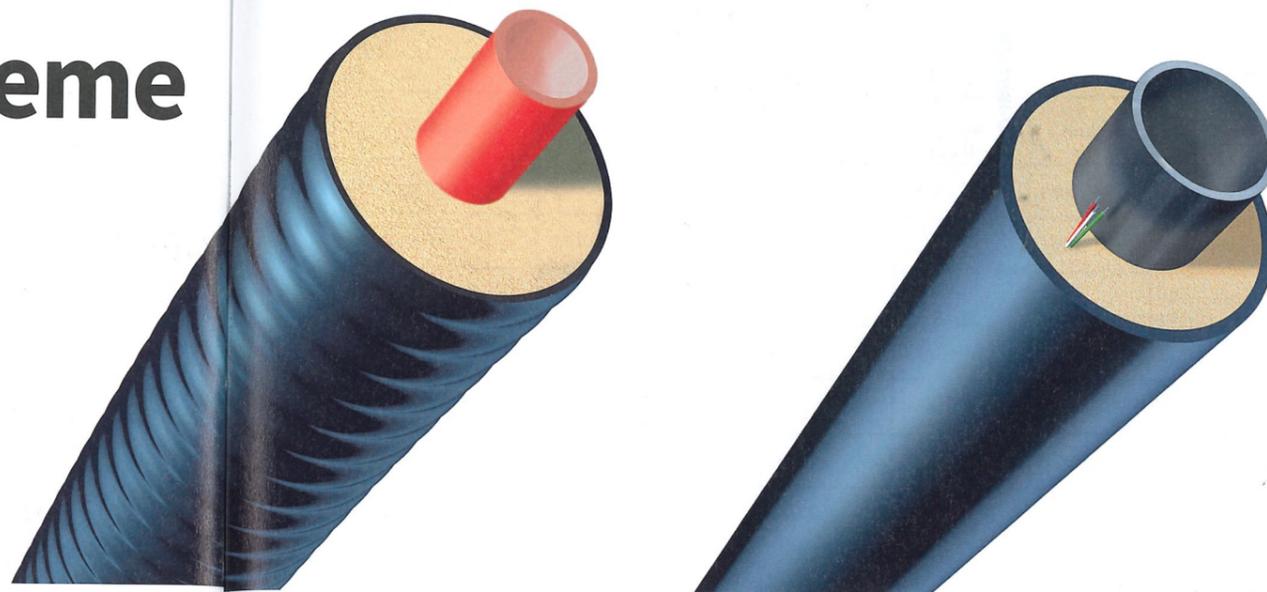


Historischer Abriss zur Dämmtechnologie in Verbundrohrsystemen

# Duroplastische Rohrsysteme werden immer besser

In der Nah- und Fernwärme kommen zahlreiche unterschiedliche Rohrsysteme zum Einsatz. Neben den klassischen gedämmten Stahlrohren kam in den letzten Jahren eine Vielzahl von umweltfreundlichen Verbundrohrsystemen auf den Markt mit sehr guten Dämmwerten.



Die zum Transport des heissen Wassers notwendigen gedämmten Rohre lassen sich grob unterteilen in flexible (links) und starre Rohrsysteme (rechts). Ein flexibles Verbundrohr mit dem Triebmittel HFO hergestelltem PUR-Schaum gilt als Referenz bei der Wahl des Dämmmaterials.

Text Brugg Rohrsysteme AG  
Bilder zVg

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 Dämmung und einem Aussenmantel aus Polyethylen (PE), der zum Schutz dieser Dämmschicht dient. Diese Rohrsysteme sind ausgelegt für hohe Temperaturen und Betriebsdrücke und dienen als Hauptleitungen in grösseren Fernwärmenetzen. Sie werden in Stangen ausgeliefert, müssen allerdings vor Ort verschweisst sowie die Verbindungsstellen mit Muffen und Schaum nachgedämmt werden.

Die flexiblen Rohrsysteme bestehen meist aus polymeren Mediumrohren (PMR), einer thermischen Dämmung und einem Aussenmantel aus PE. 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.

## Thermoplastische vs. duroplastische Dämmstoffe

Es gibt bei den flexiblen Rohrsystemen aus Kunststoff zwei Systeme, nämlich diejeni-

gen, welche als Dämmstoff einen Schaum aus PE verwenden, und solche, welche einen Dämmstoff aufweisen, der chemisch vernetzt ist, d. h. einen Duroplast 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. 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.

Bei den duroplastischen Dämmstoffen handelt es sich hingegen um Schäume aus Polyurethan (PUR) bzw. aus Polyisocyanurat (PIR). Diese Schäume werden während des Produktionsprozesses des gedämmten Rohrs aus einem Zweikomponentengemisch 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 ergeben. Diese Dämmstoffe sind geschlossenzellig und haben auch eine höhere Dichte als die PE-Schäume. Die Art und die Menge der Zellgase können überdies durch den Produktionsprozess gezielt beeinflusst werden, was einen Einfluss auf die Wärmedämmung des Kunststoffrohrs als Ganzes hat.

## Chemische Triebmittel

Den Schäumen auf der Basis von PUR und PIR ist gemeinsam, dass sie gebildet werden, wenn Polyole und Isocyanate miteinander reagieren. In der Praxis gibt es eine Vielzahl von Polyolen und Isocyanaten, die je nach Ausgangsverhältnis vor der chemischen Reaktion zu einer breiten Vielfalt von Schäumen mit unterschiedlichen Eigenschaften führen.

In den eingesetzten Polyolen befindet sich immer eine geringe Menge Wasser, sodass 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. 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 Triebmittel.

## Physikalische Triebmittel

Es ist möglich den Prozess des Aufschäumens durch sogenannte physikalische Triebmittel weiter zu befördern und gleichzeitig die Endigenschaften des Schaums zu verbessern. Ein physikalisches Triebmittel 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 Triebmittel verdampft und in den Gaszustand 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.

## Chlor-Fluor-Kohlenstoffe

Als physikalische Triebmittel für Isolationschäume kommen hauptsächlich halogenierte, sogenannte «Kohlen(wasser)stoffe» oder einfache, niedermolekulare Kohlenwasserstoffe infrage. Ein typischer Vertreter dieser Stoffklasse ist CFC-11, auch bekannt als Freon-11. Die Chlor-Fluor-Kohlenstoffe, wie sie korrekterweise heissen müssten, zeichnen sich dadurch aus, dass sie nur aus Chlor (Cl), Fluor (F) und Kohlenstoff (C) bestehen und nur Einfachbindungen aufweisen.

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. So kam es zu einer Neubewertung dieser Substanzklasse. Im Montreal-Abkommen von 1987 wurde ein stufenweiser Ausstieg aus deren Nutzung beschlossen. In der Folge kam es zur Entwicklung und Kommerzialisierung zahlreicher Nachfolgeprodukte als Alternativen.

In der Folge kam es zur Entwicklung und Produktion neuer Triebmittel. )

## Vorteile von PUR-Schaumstoff

Hinsichtlich der technischen Leistungsfähigkeit sind Dämmstoffe auf der Basis von PUR-Schaumstoffen die derzeit beste Lösung in der Fern- und Nahwärme.

- Dadurch werden niedrige Werte der Wärmeleitfähigkeit erreicht. Es 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. Damit sinken die Logistikkosten bei der Ausführung eines Fernwärme-projekts.
- Aufgrund des Produktionsverfahrens mit einem reaktiven Zweikomponentengemisch ist garantiert, dass der Schaum einen festen Verbund zu den Innenrohren bildet.
- Darüber hinaus sind die hierfür verwendeten Triebmittel aus der HFO-Substanzklasse nachweislich klimafreundlich.

## kompakt



Die gesamte Wärmeleitfähigkeit, der Lambda-Wert ( $\lambda_{tot}$ ) eines Rohrsystems ergibt sich aus der Summe der Einzelkomponenten:

$$\lambda_{tot} = \lambda_{kon} + \lambda_{solid} + \lambda_{rad} + \lambda_{gas}$$

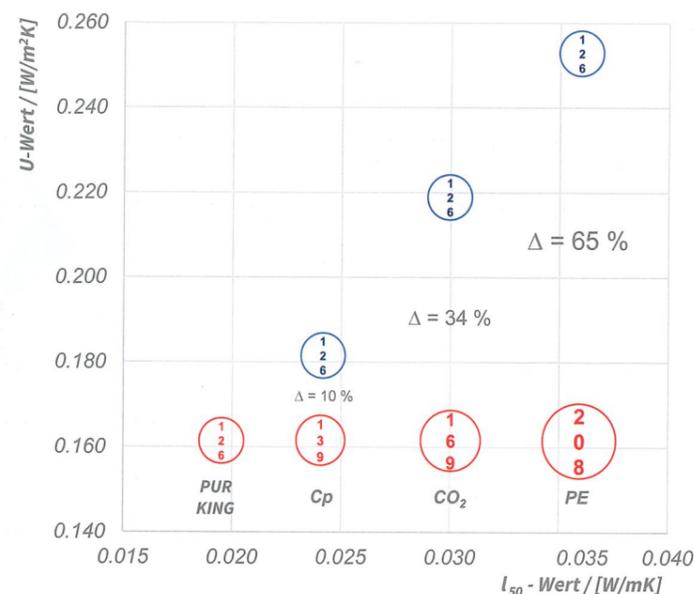
(Werte in der Dimension W/(m·K))

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

$\lambda_{solid}$ : Die Wärmeleitfähigkeit des festen Materials, welches die Poren umgibt

$\lambda_{rad}$ : Die Wärmestrahlung

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



Ein 126 mm-Rohr aus mit Triebmitteln Cyclopentan (Cp) oder Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) gefertigten Dämmstoffen oder aus Polyethylen (PE) weist eine schlechtere Wärmedämmung (blau) auf als eines mit HFO getriebener PUR-Schaumdämmung (rot). Die Rohrdurchmesser müssen (>10% bis >65%) verstärkt werden.

Die Hydro-Chlor-Kohlenstoffe (HCFC) mussten mit ihrem stark verringerten Ozonabbaupotenzial als Fortschritt gegenüber der älteren Stoffklasse angesehen werden. Der technische Fortschritt setzte sich fort mit den Hydro-Fluor-Kohlenstoffen (HFC), die nur aus Wasserstoff, Fluor und Kohlenstoff bestehen und ebenfalls nur Einfachbindungen aufweisen. Deren Ozonabbaupotenzial liegt tatsächlich bei null.

**Treibhauspotenzial**

Die bisher beschriebenen Substanzklassen (CFC, HCFC, HFC) haben aber einen weiteren gemeinsamen Nachteil, nämlich ihre Wirkung als Treibhausgase. Diese hängt

allerdings von der Verweildauer in der Atmosphäre ab, ein wesentlicher Faktor, damit eine Substanz überhaupt als Treibhausgas wirken kann. Das Treibhauspotenzial (Global Warming Potential bzw. GWP) der verwendeten Stoffe wird als Wert in Relation zu demjenigen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) angegeben. Dieser Wert liegt für alle oben beschriebenen Stoffklassen um Größenordnungen über dem von CO<sub>2</sub> (GWP=1).

Die Hydro-Fluor-Olefine (HFO) sind die jüngste Entwicklung. Diese beinhalten nun mindestens eine Doppelbindung im Molekül. 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.

**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. Diese enthalten nur Kohlenstoff und Wasserstoff, aber kein Halogen.

Bis dahin waren zwar die technischen Vorteile dieser Substanzen für die Schaumherstellung bekannt. Allerdings verhinderte die hohe Brennbarkeit für lange Zeit deren technischen Einsatz in der Industrie. Doch die Entwicklung der entsprechenden Anlagen, welche die gefahrlose Verarbeitung von Polyolen und Isocyanaten in Gegenwart von HC-Stoffen erlaubte, änderte dies in kurzer Zeit.

In der Kategorie dieser Stoffe hat sich Cyclopentan durchgesetzt. Die zur Stoffgruppe der Cycloalkane gehörende farblose Flüssigkeit (Siedepunkt: +49°C) weist eine geringe thermische Leitfähigkeit auf, ist kostengünstig herstellbar und ökologisch kaum bedenklich.

Obwohl heute Cyclopentan als Treibmittel für Rohre in der Fernwärme noch den Standard darstellt, weisen die HFO den besten Kompromiss aus Verfügbarkeit, Wärmeleitfähigkeit, ökologischer Unbedenklichkeit sowie Betriebssicherheit aus



Flexible Rohrsysteme bestehen aus polymeren Mediumrohren (PMR), einer thermischen Dämmung und einem Aussenmantel aus Polyethylen. Das hat den Vorteil, dass lange Längen am Stück verlegt werden können.

Zellgas	λ - Wert	ODP	GWP	Kosten	Sonstiges
	[W/m²K]				
CFC11	0.008 @ 25 °C	1	3800	Mittel	Nicht mehr zugelassen
HCFC-141b	0.010 @ 25 °C	0.11	600	Mittel	Nicht mehr zugelassen
HFC-245fa	0.013 @ 25 °C	0	1430	Mittel	Nicht mehr zugelassen
HFO-1336mzz	0.011 @ 25 °C	0	2.0	Hoch	Seit Kurzem kommerziell verfügbar
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	0.016 @ 25 °C	0	1	0	Hohe Wärmeleitfähigkeit
Cyclopentan	0.013 @ 25 °C	0	5	Niedrig	Brennbar

Vergleich der besprochenen Treibmittel und Zellgase inklusive ihrer Wärmeleitfähigkeiten.

$$\lambda_{tot} = \lambda_{kon} + \lambda_{solid} + \lambda_{rad} + \lambda_{gas} \quad [W/m²K]$$

(s. Vergleichstabelle).

**Wärmeleitfähigkeit**

Die physikalische Grösse, welche die Dämmwirkung eines Materials quantitativ beschreibt, ist die Wärmeleitfähigkeit. Sie wird abgekürzt mit dem griechischen Buchstaben λ (sprich: Lambda). Die Einheit dieser Grösse ist W/m²K (sprich: Watt pro Meter mal Kelvin). Je niedriger dieser λ-Wert ist, desto schlechter leitet das entsprechende Material die Wärme. Für gedämmte Rohre sollte demnach dieser Wert so niedrig wie möglich sein. In der Praxis ist die Wärmeleitfähigkeit der Zellgase und damit die eingesetzten Treibmittel der effizienteste Hebel zur Verringerung

des λ-Werts des verwendeten Dämmstoffs im Rohr.

**Materialwahl**

Gemeinhin gilt die Leitfähigkeit des HFO-getriebenen PUR-Schaums als Referenzwert (mit 0,0199 W/m²K). Es ist nun mit einem beliebigen Dämmstoff ohne Weiteres möglich, für das Rohrsystem 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 Rohrs auf 208 mm vergrössert werden, also um 65 %

des Referenzrohrs.

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. Ein weiterer nachteiliger Effekt der Vergrösserung des Aussendurchmessers sind die kürzeren Ringlängen. Die Rohre können zwar grundsätzlich hinsichtlich ihrer Länge auf Kundenwunsch konfektioniert werden. Limitierend wirken dann die Aussendurchmesser der Ringbunde, weil die Spedition mit dem Lkw standardmässig nur bis zu einem maximalen Durchmesser durchgeführt werden kann. Mit PUR als kompaktester Dämmtechnik im Bereich Fernwärme sind die grössten

Mit restclean®  
Experte werden

**Herzlichen Glückwunsch – Partner!**

Ein grosses Dankeschön an all unsere Partner und herzlichen Glückwunsch den **Gewinnern der restclean® PARTNER-Prämie** für das Jahr 2019:

[restclean.com/sanitaer-partner](http://restclean.com/sanitaer-partner)

- 1. Platz** Kurt Vorburger AG, Aarau (169 Empfehlungen)
- 2. Platz** Bürge Haustechnik AG, Dielsdorf (155 Empfehlungen)
- 3. Platz** Saniburki GmbH, Lupfig (97 Empfehlungen)
- 4. Platz** M. Fierz AG, Bülach; **5. Platz** Theo Michel GmbH, Dottikon; **6. Platz** Geiger AG, Samstagern;
- 7. Platz** Wihler Sanitär, Pfäffikon/ZH; **8. Platz** Gsell Oelfeuerungen, Dintikon;
- 9. Platz** Freuler Heizungen Sanitär GmbH, Pfäffikon/ZH und Walker Haustechnik AG, Grossehöchstetten

Im 2019 durften wir bei unseren gemeinsamen Kunden **10'269 restclean® SERVICES** durchführen.