

Neuartige Verbindungstechnik für faserverstärkte Kunststoffrohre in Hochdruckanwendungen

Innovative jointing method for GRP pipes for high-pressure service

Der Einsatz von Kunststoffrohren ist bislang auf maximal 10 bar in der Gasversorgung und 16 (20) bar in der Wasserversorgung begrenzt. Neue Rohrkonstruktionen erlauben jedoch eine Vervielfachung dieser zulässigen Betriebsdrücke. Wichtiger Bestandteil eines Kunststoffrohrsystems ist eine Verbindungstechnik, die auch unter höchsten Sicherheitsanforderungen zuverlässige und reproduzierbare Ergebnisse liefert und dabei auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten besteht. Der Schichtaufbau der Rohrkonstruktion für Hochdruckanwendungen erfordert eine spezifische Verbindungstechnik. Um dieser Anforderung gerecht zu werden wird ein völlig neuartiges Verfahren auf Basis der bewährten Heizwendelschweißtechnik entwickelt, das in kompakter Bauform unter Baustellenbedingungen sowohl in der Neuverlegung als auch im Reparatur- oder Einbindungsfall einfach und sicher anwendbar ist.

The use of plastic pipes has up to now remained restricted to a maximum of 10 bar in the gas supply industry and to 16 (20) bar in the case of water supplies. New pipe designs now permit the multiplication of these permissible operating pressures, however. An important constituent element of a plastic piping system is also a jointing technology which will produce reliable and repeatable results even under maximum safety specifications and also fulfills the necessary economic criteria. The laminar structure of a pipe design for high-pressure conditions necessitates a specific jointing technique. A completely new process which is based on tried and proven hot-element welding and is suitable for safe and easy use in compact form under on-site conditions both for installation of new lines and for repair of and connection to existing ones is under development in order to meet precisely these requirements.

Rohrwerkstoff Polyethylen

PE-Rohrsysteme haben sich während der vergangenen nahezu fünf Jahrzehnte in Anwendung sehr gut bewährt. Neben den Bereichen der Gas- und Trinkwasserversorgung und der Druckentwässerung werden PE-Rohre in Industrieranwendungen und zunehmend auch in drucklos betriebenen Abwasserkanälen eingesetzt. Die (nahezu) universellen Vorteile des Rohrwerkstoffes Polyethylen werden dabei für die jeweiligen anwendungsspezifischen Anforderungen optimal genutzt:

- Kunststoffe kennen unter den Bedingungen des herkömmlichen Erdeinbaues keine Korrosion und sind unempfindlich gegenüber einer Vielzahl von Chemikalien.
- Nach den bisherigen praktischen Erfahrungen und den theoretischen Erkenntnissen der Lebensdauervorhersage für ein PE-Rohrsystem lässt sich heute ein

Nutzungszeitraum von 100 Jahren prognostizieren (DIN 8074 / DIN 8075).

- Die Belastungen im Rahmen des Erdeinbaus in Bezug auf Setzungen, statische Belastungen und Bodenbewegungen, wie sie durch Straßenverkehr aber auch durch Tiefbauarbeiten in der Umgebung der Leitungszone auftreten, werden durch die elastischen Eigenschaften des Rohrsystems in aller Regel problemlos ertragen.
- Der wirtschaftliche Vorteil bei der Standardverlegetechnik im offenen Graben wird vor allem im Hinblick auf fortschrittliche Verlegverfahren (Berstlining, Horizontalspülbohren, Relining) weiter ausgenutzt.
- Die Schweißtechnik für PE-Rohre, neben dem Heizelementstumpfschweißverfahren insbesondere das Heizwendelschweißen, hat sich aufgrund der einfachen, sicheren und bewährten Handhabung als Standardverbindungstechnik etabliert.



Dipl.-Ing. Robert Eckert

FRIATEC Aktiengesellschaft,
Mannheim
Tel. +49(0)621/486-2214
E-Mail: robert.eckert@friatec.de

Standardanwendung und Druckklassifizierung von PE-Rohren

Die Klassifizierung von PE-Rohren erfolgt über die materialspezifische Mindestfestigkeit (MRS: Minimum Required Strength) für eine Lebensdauererwartung des Rohrsystems von mindestens 50 Jahren. Diese Vergleichsspannung von z. B. mindestens 10,0 MPa für einen PE-100-Rohrwerkstoff wird abgebildet in den Referenzkurven des Zeitstand-Innendruckdiagramms bezogen auf die Nutzungsdauer von 50 Jahren bei einer Anwendungstemperatur von 20 °C. Eine maximal zulässige Druckbelastung ergibt sich für das Rohrsystem über die Wanddicke des einzusetzenden Rohres und die Berechnung über die sogenannte Kesselformel. Außendurchmesser und Wanddicken sind über ihr Verhältnis mittels SDR-Reihen standardisiert. SDR (Standard Dimension Ratio) bezeichnet das Verhältnis von Außendurchmesser zu Wanddicke (d/s). Für den praktischen Einsatz werden meist Rohre in SDR 11 und SDR 17 (17,6) eingesetzt.

Die Festigkeitsklassifizierung des Werkstoffes PE 100, MRS 10, ermöglicht heute nach dem aktuellen DVGW-Regelwerk für Gas- und Wasserrohrleitungssysteme einen maximalen Betriebsdruck von 10 bar (Gas) und 20 bar (Wasser), wobei in der Regel für Wasserversorgungssysteme ein Limit von 16 bar Betriebsdruck durch die verfügbaren Standardformstücke und -rohre abgedeckt wird. Basis für die Ermittlung des maximal zulässigen Betriebsdruckes sind die medien-spezifischen Sicherheitsbeiwerte. **Tabelle 1** zeigt die aktuelle Betriebsdruckklassifizierung, wobei bereits die Anpassung an aktuelle Vorgaben aus dem europäischen Regelwerk Berücksichtigung finden.

PE-Rohre mit einem höheren Festigkeitswert, MRS > 10, die auch für höhere Druckbelastungen einsetzbar wären, sind bislang nicht verfügbar und würden vermutlich im Hinblick auf die standardisierten Druckstufen und SDR-Reihen auch nicht ohne weiteres mit dem Regelwerk harmonisieren.

Hochdruckrohre aus Polyethylen

Da die Vorteile von PE für die Anwendung durchaus wünschenswert sind und genutzt werden sollen, muss der Werkstoff eine kon-

strukture Verstärkung erfahren. Dies geschieht durch einen Mehrschichtaufbau, wobei die aus der Erhöhung des Innendrucks resultierenden Vergleichsspannungen von einer integrierten Armierung aufgenommen werden. **Bild 1** zeigt den konstruktiven Aufbau des PE-Hochdruckrohres: Auf ein Kernrohr aus PE 100 werden aramidverstärkte PE-Bänder kreuzweise bewickelt und dabei mit dem Kernrohr und untereinander homogen verbunden. Die Festigkeit der in den PE-Bändern integrierten Aramidfasern ist bezogen auf das spezifische Gewicht 25 mal stärker als die von Stahl. Aramid wird als Hochleistungswerkstoff da eingesetzt, wo es auf höchste Zuverlässigkeit und Festigkeit bei gleichzeitig geringem Gewicht ankommt, z. B. im Rennsport oder in der Luft- und Raumfahrt.

Eine weitere PE-Schicht dient dem Schutz und der Abdeckung der Faserschicht, wobei dieser Mantel ebenfalls homogen mit dem Rohr verbunden wird.

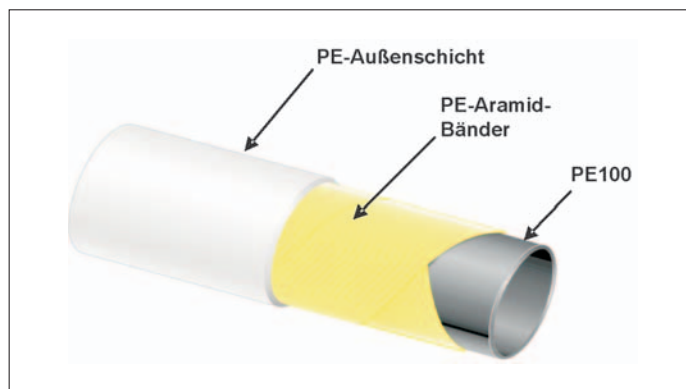
Die Vorteile dieser Rohrkonstruktion liegen in der erhalten bleibenden Flexibilität, die es ermöglicht Rohre in den Dimensionen DN 100 und DN 125 auf Trommeln in Längen von bis zu 400 (280) m zu wickeln. Gleichzeitig ermöglicht die Flexibilität geringe Biegegradienten und erleichtert so den Einbau der Rohre. Die Druckbeanspruchbarkeit liegt unter Berücksichtigung der systemspezifischen Sicherheitsbeiwerte bei 42 bar für den Gastransport, für Wasser sogar bei über 100 bar.

Besondere Anforderung an die Verbindungstechnik für faserverstärkte Hochdruckrohre: Kapselung der Rohrschnittenden

Die Standardverbindungstechnik, das Schweißen, ist auch bei faserverstärkten Rohrkonstruktionen die bevorzugte Verbindungstechnik. Grundanforderung an das System ist natürlich eine ausreichend solide Ausführung gegenüber den Belastungen aus Innendruck und Betrieb. Der Mehrschicht(-faser-)aufbau macht aber darüber hinaus erforderlich, dass die Schnittkante des Rohres gegen das Medium abgeschirmt ist. Da der Faserwerkstoff keine homogene

Bild 1: Aufbau eines PE-Hochdruckrohres (Quelle: Soluforce)

Fig. 1: Structure of a high-pressure PE pipe (source: Soluforce)



und damit dichte Verbindung zum PE eingeeht, wäre bei nicht gekapselten freiliegenden Schnittenden eine direkte Druckbeaufschlagung innerhalb der Rohrwand über die Faserkanäle möglich. Dies muss durch die Gestaltung der Verbindungstechnik verhindert werden.

Um dieser Anforderung gerecht zu werden, wurden spezielle Schweißhülsen entwickelt. Diese Schweißhülsen sind mit einer Außenwicklung versehen, d. h. der bekannte Prozess der Heizwendelschweißtechnik kehrt sich um: Die Schweißverbindung liegt an der Rohrinnefläche!

Die zu bearbeitende Oberfläche ist folglich die Innenseite des Rohres. Mit Hilfe eines modifizierten Anbohrgerätes wird das PE-Kernrohr auf einen definierten Innendurchmesser und einer definierten Länge bearbeitet. In das so vorbereitete Rohrende wird die Schweißhülse eingesteckt und geschweißt (**Bild 2**). Mit Ausnahme der Bearbeitung des Rohrinneinnendurchmessers erfolgt die Montage nach den Vorgaben der Standardverarbeitung. Sind beide Rohrenden mit der Schweißhülse versehen, erfolgt die eigentliche Verbindung mit der Heizwendelschweißmuffe in Hochdruckausführung wie beim Standard-PE-Rohr (**Bild 3**).

Diese Muffe unterscheidet sich jedoch durch ihre wesentlich größere Baulänge und ihren armierten Aufbau. Die konstruktive Auslegung des Muffenkörpers erlaubt trotz der hohen Druckbelastbarkeit ein schlankes Design bei gleichzeitig niedrigem Gewicht.

Die Anwendung der Heizwendelschweißtechnik erlaubt eine schnelle und sichere Verbindung von faserverstärkten Rohren. Neben den Formstücken, wie Muffe und Schweißhülsen ist ein Gerät zur Bearbeitung der Rohrinnefläche und ein modifiziertes Schälgerät zur Entfernung der Oxidhaut erforderlich. Als Schweißgerät kann das Standardequipment, z. B. der FRIAMAT, verwendet werden, der zur Grundausrüstung im PE-Rohrleitungsbau gehört. Starkstrom ist nicht erforderlich.

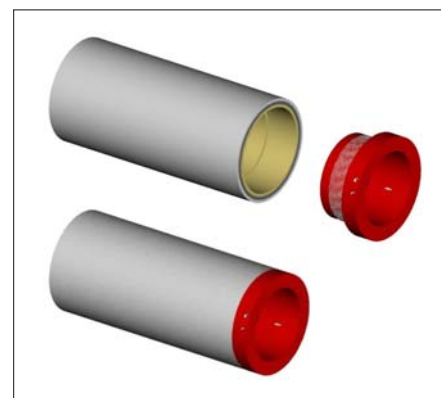
Ein Schnitt durch die fertiggestellte Verbindung (**Bild 3** und **Bild 4**) zeigt den Mehrschichtaufbau des Rohres, PE/Armierung/PE. Im Verbindungsbereich sind der bearbeitete Innendurchmesser des Rohres, die beidseitig montierten Schweißhülsen sowie die Hochdruckmuffe in Überschiebbauweise zu erkennen.

Welche Anforderungen werden an die Verbindung gestellt?

Die Prüfanforderungen für Kunststoff-Hochdruckrohrsysteme werden durch DVGW VP 642 „Faserverstärkte PE-Rohre (RTP) und

Bild 2: Vorbereitete Rohrinnefläche und Montage der Schweißhülse (oben), Faserverstärktes Hochdruckrohr mit Schweißhülse (unten)

Fig. 2: Prepared inner pipe surface and installation of welding sleeve (top), fiber-reinforced high-pressure pipe with welding sleeve (bottom)



Tab. 1: Maximale Betriebsdrücke für PE-Rohrsysteme

Table 1: Maximum operating pressures for PE piping systems

	PE 80		PE 100	
	Gas	Wasser	Gas	Wasser
Sicherheitsbeiwert	$C_{min} = 2,0$	$C_{min} = 1,25$	$C_{min} = 2,0$	$C_{min} = 1,25$
SDR 17,6	1 (neu: 2) bar	-	X*	-
SDR 17	-	-	4 (neu: 5) bar	10 bar
SDR 11	4 (neu: 5) bar	12,5 bar	10 bar	16 bar
SDR 7,4	-	20 bar	-	-

*) Die Aufnahme dieser Rohrreihe wird noch diskutiert.

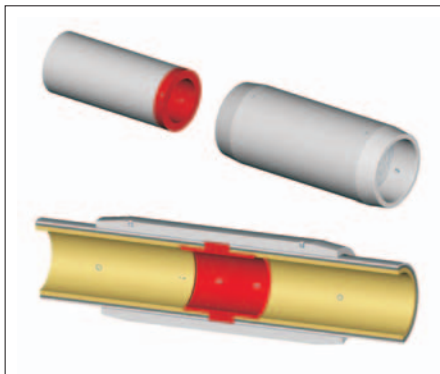


Bild 3: Faserverstärktes Rohr (Soluforce) mit Schweißhülse, vorbereitet für Montage der Hochdrucküberschiebmuffe (oben), Schnitt durch geschweißte Verbindung (unten)

Fig. 3: Fiber-reinforced pipe (Soluforce) with welding sleeve, prepared for installation of high-pressure slip-on socket (top), section through welded joint (bottom)

zugehörige Verbinder für Gasleitungen mit Betriebsdrücken über 16 bar“ (2004-06) definiert. Auch im internationalen Normungsbereich werden die Systemanforderungen im Rahmen des Draft ISO/TS 18226 bearbeitet.

Die Basisanforderungen an das Rohrsystem inklusive der Verbindungstechnik bezie-

hen sich auf den Langzeit-Innendruckversuch. Im Gegensatz zu den gängigen 1000-h-Tests wird für den Erstdruckversuch eine Prüfdauer von 10.000 h gefordert. Dies entspricht einem Zeitraum von über einem Jahr (417 Tage). Die Prüfparameter werden aus der Degressionskurve des Rohres ermittelt. Weitere Versuche bei 1.000 h und 165 h werden mit angepassten Parametern auch später im Rahmen der Produktionsüberwachung durchgeführt.

Um den Praxisanforderungen zu genügen wird die Zugfestigkeit der Verbindung im Hinblick auf axiale Belastungen geprüft. Eine weitere Anforderung bezieht sich auf die Biegefestigkeit der Verbindung um Setzungerscheinungen des Bodens im eingebauten Zustand zu simulieren. Der anzusetzende Biegeradius muss dabei kleiner oder gleich 20 x Rohraußendurchmesser betragen.

Fazit

Kunststoffrohre für die Anwendung in Hochdruckbereichen muten heute noch außergewöhnlich und exotisch an. Neben den anwendungstechnischen Vorteilen einer nahezu standardisierten Handhabung durch

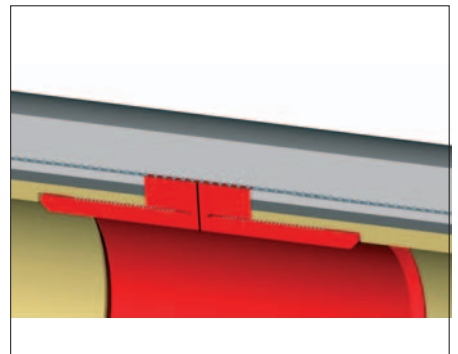
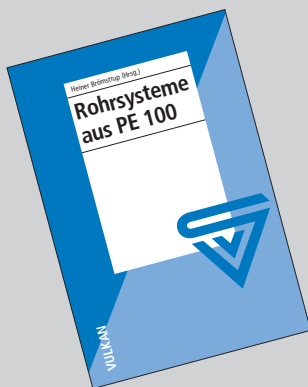


Bild 4: Schnittdarstellung der Verbindung im Detail

Fig. 4: Detailed sectional view of joint

die Vergleichbarkeit mit heutigen PE-Rohren, wie sie in der Gas- und Wasserversorgung eingesetzt werden, muss sich der Einsatz von faserverstärkten Rohren auch wirtschaftlich bewähren. Erste positive Erkenntnisse liegen vor und geben dem System eine Chance für einen breiteren Einsatz. Die hier vorgestellte Verbindungstechnik soll einen Beitrag leisten, diese Chancen zu verbessern.

DER SCHNELLE WEG ZUR FACHLITERATUR



Rohrsysteme aus PE 100

Vulkan-Verlag, Essen

2. Auflage 2004, 151 Seiten, broschiert, 18,00 €

ISBN 3-8027-2727-4

Aufgrund der wesentlich erhöhten Leistungsfähigkeit und Sicherheit erweitern Rohre aus PE 100 die bisherigen Anwendungsbereiche in der Gas- und Wasserversorgung, in der Abwasserentsorgung, im Industrierohrleitungsbau und bei der Erneuerung und Sanierung von schadhafte Rohrleitungen. Das Buch wendet sich vornehmlich an Ingenieure, Techniker und Meister aus den Bereichen der Ver- und Entsorgung sowie der Industrie. Gegenstand des Buches sind alle praxisrelevanten Fragen zu Bau, Betrieb und Instandhaltung von Rohrleitungssystemen in Bezug auf den Rohrwerkstoff PE 100.

VULKAN-VERLAG GmbH

FAX-BESTELLSCHEIN

Name: _____

Firma: _____

Anschrift: _____

Datum/Unterschrift: _____

____ Exemplare

Fax 0201/82002-40