

3R INTERNATIONAL

Zeitschrift für die Rohrleitungspraxis

Einsatz der Heizwendelschweißtechnik bei PE-Rohren in großen Nennweiten bis d 710 mm

Dipl.-Ing. Robert Eckert, Mannheim

erschienen in 3R international 4-5/2004

Vulkan-Verlag GmbH, Essen

Kontakt: N. Hülsdau (Tel. 0201/82002-33, E-Mail: n.huelsdau@vulkan-verlag.de)

Einsatz der Heizwendel-schweißtechnik bei PE-Rohren in großen Nennweiten bis d 710 mm

Use of resistance welding for PE pipes in large DN's up to d = 710 mm

Seit nahezu 50 Jahren werden PE-Rohre mit sehr guten Erfahrungen eingesetzt. Heute ist Polyethylen ein etablierter Werkstoff für die Gas- und Wasserversorgung, in den Bereichen Abwasserentsorgung und Kanalisation sowie in einer Vielzahl von industriellen Anwendungen. Auch in größeren Nennweiten ist das PE-Rohrleitungssystem längst Standard sowohl bei Ausschreibungen als auch in den Leistungsverzeichnissen der Tiefbauunternehmen. Heute werden bereits Transportleitungen in DN 500 und größer routiniert verlegt. Auch bei großen Dimensionen ist als Verbindungstechnik das Heizwendel-schweißverfahren unverzichtbar. Verfahrens- und anwendungstechnisches Know-how ist nicht nur Grundlage für die sichere und zuverlässige Handhabung sondern verbessert auch die Wirtschaftlichkeit - sowohl in der Bauphase als auch im Betrieb.

PE pipes have been in use, producing extremely good results, for practically fifty years now. Polyethylene is now a well established material for gas and water supply systems, and also in the fields of waste-water disposal, drains and sewers, and a large range of other industrial applications. PE piping systems, including larger nominal diameters, long ago became standard features of both invitations to tender and specifications issued by underground and pipe engineering companies. Transmission pipelines of DN 500 and larger are nowadays installed as a matter of routine. For these large dimensions, too, the resistance welding method remains indispensable as a joining method. Process and application-orientated know-how is not only the vital basis for safe and dependable handling, it also improves cost-efficiency, both during the construction phase and during operation.

Polyethylen: Rückblick – Überblick – Ausblick

Bei der Verlegung der ersten PE-Rohre vor ca. 45 Jahren standen bereits die Fragen zur Zuverlässigkeit und zur erwartenden Nutzungsdauer der Kunststoffrohre im Vordergrund. Als „Pionier“ kann man naturgemäß nicht auf Betriebserfahrungen zurückgreifen, sondern muss auf theoretische Annahmen

vertrauen. Eine Prognose über die Langzeit-Rohreigenschaften erlaubte die bereits von Arrhenius entwickelte Theorie, die Lebenserwartung eines Kunststoffrohres durch höhere Prüftemperaturen bei verkürzten Prüfzeiten nachzuweisen. Im Rückblick haben sich die getroffenen Aussagen bestätigt. Die von Arrhenius entwickelten Aussagen sind inzwischen in allen gängigen Werkstoffgrundnormen als Basisnachweis für Lebenserwar-

tung, Betriebsdruck und -temperatur eines Rohrwerkstoffes maßgebend. Gleichzeitig ist im Laufe der Jahrzehnte das Wissen um den Kunststoff enorm gewachsen, was zu einer stetigen Verbesserung der Werkstoffeigenschaften führte. Heute lassen sich die Materialeigenschaften nach anwendungsspezifischen Anforderungen in weiten Bereichen maßschneidern.

Der Werkstoff Polyethylen hat sich für die Herstellung von Rohren und auch in anderen Bereichen des täglichen Lebens hervorragend bewährt. Kunststoffe bieten im Gegensatz zu konventionellen Werkstoffen eine Vielzahl von Vorteilen, nicht nur aus technischer Sicht: In der Regel sprechen auch die wirtschaftlichen Vorteile „pro Polyethylen“. Der Umgang auf der Baustelle mit Polyethylen-Rohren zeichnet sich vor allem durch das geringe Gewicht, die hohe Flexibilität, die ausgezeichnete Kerbschlagzähigkeit sowie eine sichere und bewährte Verbindungstechnik aus. Die glatte Innenoberfläche führt im Betrieb zu geringen Wandreibungsverlusten und auch die erhebliche Beeinträchtigung der hydraulischen Leistung durch die typischen Ablagerungen und Inkrustationen treten bei PE-Rohren in der Wasserversorgung praktisch nicht auf. Korrosion ist bei Polyethylen im Rohrleitungsbau unbekannt. Speziell auch die Kerbunempfindlichkeit, die gute Schweißbarkeit und weiter verbesserte Eigenschaften ermutigen uns, die Lebenserwartung von PE-Werkstoffen der dritten Generation auf 100 Jahre zu prognostizieren.

Anwendungsbereich von Heizwendelformstücken in der Großrohrtechnik

Besonders wichtig für den Praxiseinsatz ist eine Verbindungstechnik, die den Erwartungen an das Rohr gerecht wird. Moderne Schweißverfahren nutzen die Möglichkeit einer optimalen, homogenen Werkstoffverbindung durch das Heizelementstumpfschweißen und das Heizwendelschweißen. So entsteht aus der Summe von Rohreinzellängen ein einziger, homogener Rohrstrang. Die Festigkeit der Verbindung beim Einsatz der Heizwendelschweißtechnik ist sogar in der Regel höher als die Festigkeit des Rohres. Dies lässt sich durch Berstdruck- oder Zugversuche eindrucksvoll nachweisen.

Heizwendel-Formstücke werden heute eingesetzt bis d 710 mm/28" in Form von Muffen für axiale Verbindungen und Sattelbauteilen für Abzweige und Anbindungen. Durch die Wahl des Werkstoffes PE 100 und entsprechende Auslegungen der Dimensionierung können z. T. zulässige Betriebsdrücke bis PN 25 (Wasser) erreicht werden. Im Gasbereich ist der max. Betriebsdruck für



Dipl.-Ing. Robert Eckert

Leiter der Anwendungstechnik
Division Technische Kunststoffe,
Friatec Aktiengesellschaft,
Mannheim
Tel. +49(0)621/486-2214
E-Mail: robert.eckert@friatec.de

Tab. 1: Technische Daten für Großmuffen

Table 1: Technical data for large-diameter sockets

Dimension FRIALEN UB	Vorwärmtechnik (siehe Punkt 3.3)		Werkstoff	Schweißbare Rohrreihen*	Max. Betriebsdruck	
	Optional	Vorschrift			Gas (MOP)	Wasser (PN)
D 250		–	PE 100	SDR 7,4 – SDR 17,6	10	25**
D 280	+		PE 100	SDR 7,4 – SDR 17,6	10	25**
D 315	+		PE 100	SDR 7,4 – SDR 17,6	10	25**
D 355	+		PE 100	SDR 7,4 – SDR 17,6	10	16
D 400	+		PE 100	SDR 7,4 – SDR 17,6	10	16
D 450	+		PE 100	SDR 7,4 – SDR 17,6	10	16
D 500		+	PE 100	SDR 7,4 – SDR 17,6	10	16
D 560		+	PE 100	SDR 11 – SDR 17,6	4	10
D 630		+	PE 100	SDR 11 – SDR 17,6	4	10
D 710		+	PE 100	SDR 11 – SDR 17,6	4	10

* andere SDR-Reihen auf Anfrage

** Druckbereich ist anwendungsbezogen zu bestätigen

PE 100 momentan auf 10 bar (EN 1555, DVGW-G472) begrenzt (Tabelle 1).

Einfache Handhabung, weites Einsatzspektrum und – natürlich in erster Linie – eine zuverlässige und sichere Verarbeitung stehen im Mittelpunkt der Produktentwicklung.



Bild 1: Schnitt durch eine Schweißverbindung d 710 mm

Fig. 1: Section through a d = 710 mm weld



Bild 2: Fitting-Außenarmierung behindert dessen Ausdehnung während der Schweißung

Fig. 2: Outer armoring on a fitting prevents its expansion during welding

Konstruktive Auslegung des Formstücks

Konstruktionskriterien

Die konstruktive Auslegung von Heizwendelformstücken erfolgt nach folgenden Kriterien (Bild 1):

- Solide Wanddicken zur Aufnahme der Innendruckbelastung
- Lange Rohreinstecktiefen dienen der Rohrführung
- Breite Schweißzonen für die zulässige Verbindung
- Breite innere Kaltzone eliminieren den Effekt eingefallener Rohrenden
- Freiliegende Heizwendeln für die optimale Wärmeübertragung
- Vorwärmtechnik für eine große Spaltüberbrückungskapazität
- Armierung des Außendurchmessers zur Verbesserung der Fügequalität (Bild 2)
- Getrennte Schweißzonen für Flexibilität bei der Verlegung
- Abgestimmter Einsatz von Verlegehilfsmitteln und Gerätetechnik

Sicherer Schmelzedruckaufbau durch behinderte Dehnung

Ein wesentlicher Parameter für die Schweißverbindung ist – neben Temperatur und Zeit – der während der Schweißung in der Schmelze wirkende Druck. Dieser Fügedruck wird beim Stumpfschweißprozess aufwendig über den Schlitten, in den die Rohre fest eingespannt werden müssen, durch in der Regel hydraulisch eingeleitete Kräfte aufgebracht.

Bei der Heizwendelschweißung wird die Volumenzunahme bei der Umwandlung des Aggregatzustandes fest – flüssig genutzt. Der Fügeseit wird von der entstehenden



Bild 3: Professionelle Schweißflächenvorbereitung an einer Trinkwasserleitung d 355 mm mit Hilfe des Schälgeräts FWSG710L

Fig. 3: Professional weld-surface preparation on a d = 350 mm potable-water pipeline using the FWSG710L peeler

Schmelze gefüllt, der Fügedruck wird durch die weitere Volumenausdehnung aufgebaut.

Die hier entstehenden Kräfte führen in Abhängigkeit von der Größe des Ringspalts zwischen Muffen und Rohr zu einer Ausdehnung des Muffendurchmessers. Wird die Ausdehnung zugelassen, reduziert sich gleichzeitig der Schmelzedruck. Die Außenarmierung (Bild 2) der Muffe behindert die Ausdehnung während des Schweißprozesses unter dem wirkenden Schmelzedruck. Die Drahtarmierung bleibt zunächst elastisch und wirkt der zunehmend steigenden Ausdehnung progressiv entgegen. Eine starke, unflexible Armierung könnte dagegen Schmelzeaustritt, also einen unzulässigen Druckabbau, provozieren.

Der Effekt der Armierung lässt sich in der Praxis gut beobachten: Nach dem Abkühlen der Verbindung schrumpft die Muffe wieder, im Gegensatz zur Drahtarmierung. Die Armierung hebt sich partiell von der Muffe ab und bietet damit ein sicheres Zeichen dafür, dass die Armierung im Fügeprozess aktiv war und ein optimaler Schmelzedruck anstand.

Typische Fehlerbilder bei Produkten im Großrohrbereich, bei deren Entwicklung dieser physikalische Effekt nicht berücksichtigt wurde, sind ausgeprägte Schrumplunker in der Schweißzone.

Verarbeitungsschritte für Großmuffen

Im Folgenden sei ein kurzer Abriss der wichtigsten Verarbeitungsschritten gegeben:

Rohre rechtwinklig zur Rohrachse abtrennen

Neben sehr aufwendigen Vorrichtungen hat sich in der Praxis der elektrische Fuchschwanz bewährt. Zur Orientierung lässt

Tab. 2: Vergleich der Außendurchmessertoleranzen an Rohren nach EN1555/EN12201

Table 2: Comparative assessment of outer-diameter tolerances in pipes in conformity with EN1555/EN12201

Nenn-Außendurchmesser Nach EN12201-2, EN1555-2 d_n [mm]	Mittlerer Außendurchmesser d_{em} [mm]		Toleranz [mm]
	$d_{em, min.}$	$d_{em, max}$	Äd
32	32,0	32,3	+ 0,3
63	63,0	63,4	+ 0,4
125	125,0	125,8	+ 0,8
225	225,0	226,4	+ 1,4
400	400,0	402,4	+ 2,4
630	630,0	633,8	+ 3,8

sich mit einem Flachband problemlos die Schnittkante rechtwinklig um den gesamten Durchmesser anzeichnen. Auch eingesetzt werden kann eine Motorsäge. Um Rückstände des Schmiermittels im Bereich der Schweißzone grundsätzlich zu vermeiden muss auf Kettenschmierung verzichtet werden. Die Herstellerangaben und Unfall-schutzmaßnahmen sind zu beachten.

Schälbereich (Rohreinstecktiefe + ca. 5 mm) kennzeichnen

Oxidhaut mit Schälgerät entfernen

Der Einsatz des Handschabers ist bei Großrohren aufgrund des erheblichen Aufwandes weder aus wirtschaftlichen noch technischen Gründen gerechtfertigt. Bei einem Rohr d 630 mm beträgt die abgewinkelte Länge des zu bearbeitenden Umfangs ca. 2000 mm. (Bild 3). Unter Umständen muss bei Rohren im Bereich des oberen Toleranzlimits mehrfach geschält werden. Der

Einsatz von Schälggeräten ist daher dringend empfohlen, bzw. sogar vorgeschrieben.

Für das Passungsverhältnis Muffe/Rohr gelten enge Grenzen. Bei Großrohren wächst auch der zulässige Toleranzbereich des „plus-tolerierten“ Außendurchmessers (Tabelle 2). Zwar muss die anwendungsfreundliche Montierbarkeit des Formstücks gewährleistet sein. In der Praxis kann jedoch ein mehrmaliges Schälen erforderlich sein, um den Rohrdurchmesser zu reduzieren und ein Überschieben der Muffe zu ermöglichen.

Zu beachten ist, dass – sollte mehrfaches Schälen erforderlich sein – nicht ovalitätsbedingte Abweichungen ursächlich die Montage erschweren.

Schnittkante entgraten, ausgeprägte Fase anbringen

Eine ausgeprägte Anfasung der äußeren Rohrschnittkante erleichtert die Montage des Fittings. Durch das Aufschieben des ersten Teils der Einstecktiefe, das „Anschnäbeln“ der Muffe, lassen sich einfach per visueller Kontrolle Hochpunkte am Rohrdurchmesser



Bild 4: Einbindung eines Abzweigs in eine Gasleitung d 500 mm

Fig. 4: Connection of a branch line onto a $d = 500$ mm gas line

feststellen, die ggf. noch lokal mit dem Handschaber abgearbeitet werden müssen.

Einstecktiefe markieren

Länge der Einstecktiefe dreifach, ca. 120° um den Rohrdurchmesser versetzt, markieren. Dadurch lässt sich einfach und zuverlässig eine verkantungsfreie Montage des Fittings kontrollieren.

Unrunde/Ovale Rohre mittels Rundungsschelle rückrunden

Bei einer ausgeprägten Ovalität von mehr als 3 mm sind Rundungsschellen einzusetzen, um die Montage zu erleichtern. Mit mechanischen Rundungsschellen sind hier die Kräfte nicht mehr beherrschbar. Daher werden Werkzeuge mit Hydraulikunterstützung angeboten. Die Rundungsschellen werden am Ende der Einstecktiefenmarkierung auf das Rohr montiert und dienen damit gleichzeitig beim Aufschieben der Muffe als Anschlag.



Bild 5: Einbindungen von Armaturen und Abzweigen in ein Gasleitungsnetz d 400 mm bis d 630 mm zur Befüllung des Gaskessels

Fig. 5: Connection of valves and branches to a $d = 400$ mm to $d = 630$ mm gas piping system for filling of gas tanks

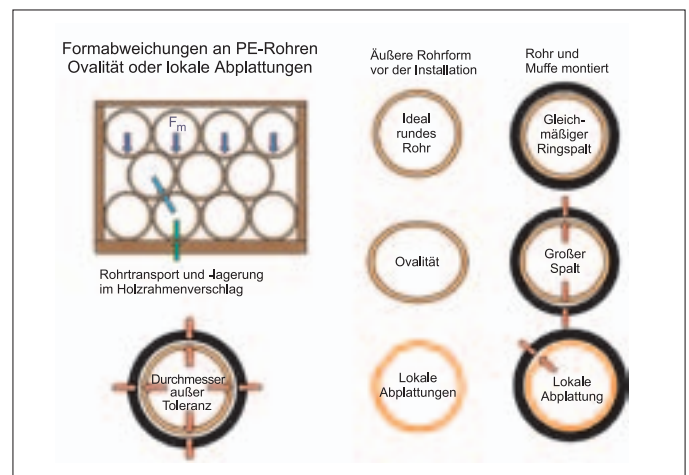


Bild 6: Prinzipielle Darstellung möglicher Verformungen der Rohrkontur und deren Auswirkungen

Fig. 6: View in principle of possible deformations of pipe contour and their effects

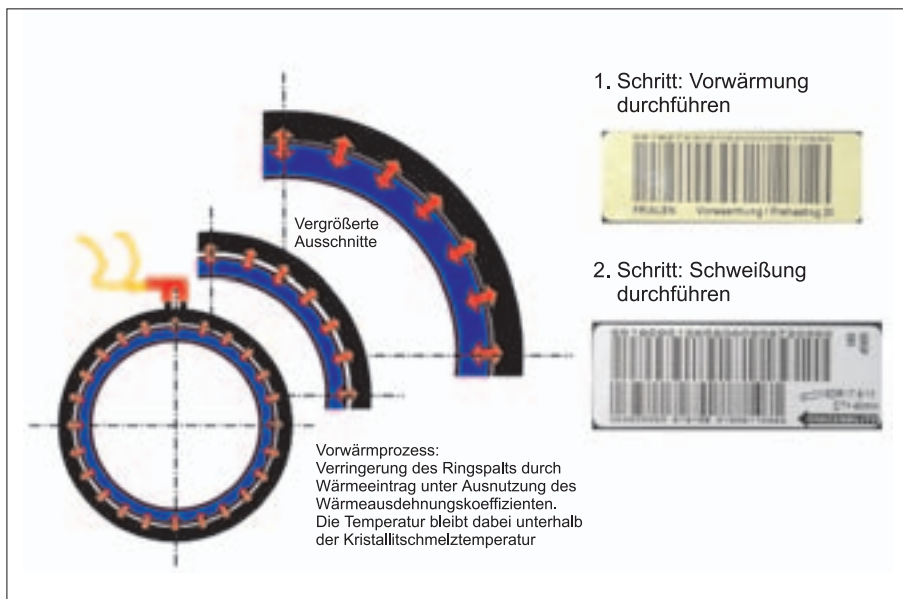


Bild 7: Funktionsprinzip der Vorwärmtechnik

Fig. 7: Functional principle of preheating

Schweißflächen reinigen

Empfohlen werden Reinigungsmittel, die entsprechend DVGW VP 603 Ethanol mit einem Reinheitsgrad 99,8 % aufweisen. Zum Reinigen werden Tücher verwendet, die fusselfrei, nicht eingefärbt und nicht aus Recyclingmaterial hergestellt sind.

Es sind nur die vorgesehenen Schweißflächen zu reinigen. Eventuelle Verschmutzungen aus der benachbarten, ungeschälten Fläche dürfen dabei nicht in die Verbindungszone gewischt werden.

Rohr und Fitting montieren (Bild 4)

Aufgrund der Passungstoleranzen lässt sich im Großmuffenbereich ein einfaches

Aufschieben des Fittings meist nicht erreichen. Enge Passungsverhältnisse sind für einen gleichmäßigen Schmelzedruckaufbau erforderlich. Ein zu großer Spalt zwischen Muffe und Rohr ist zu vermeiden. Zu beachten sind hierzu die Verarbeitungshinweise des Herstellers.

Ggf. Vorwärmung durchführen (siehe „Praxisanforderungen kennen, Probleme lösen“: Vorwärmtechnik)

Schweißung durchführen (Bild 5)

Daten protokollieren

Empfohlen werden Datum, Schweißzeit, Name des Ausführenden und vor allem die Uhrzeit nach der Schweißung um die folgenden Abkühlzeit nachvollziehbar beachten zu können.

Verbindung abkühlen lassen

Die Abkühlzeiten für die Druckprobe der Rohrleitung ist zu beachten.

Praxisanforderungen kennen, Probleme lösen: Vorwärmtechnik

Vermeidbare Probleme bei der Verarbeitung von Großrohren sind in erster Linie zurückzuführen auf Formabweichungen: Ovalität und Abplattung am Außendurchmesser. Lagerungs- und Transporteinflüsse können diese Abweichungen von der ideal-runden Form des Rohres verursachen, vor allem im Hinblick auf das Eigengewicht oder Linienlasten als Auflagerreaktionen (Bild 6). Lässt sich die Unrundheit der Rohre nicht grund-

sätzlich vermeiden, muss der Fitting eine entsprechende Resistenz gegen Formabweichungen aufweisen. Für die Verbesserung des Passungsverhältnisses bei Muffenbauteilen wurde daher die Vorwärmtechnik entwickelt.

Sowohl die Lagerung am Untergrund als auch die versetzte Anordnung der Rohrlagen im Holzrahmenverschlag können zu lokalen Abplattung am Rohraussendurchmesser führen. Die Folge können beim Stumpfschweißverfahren unzulässiger Versatz, bzw. beim Heizwendelschweißverfahren zu große Abstände zwischen Muffe und Rohr sein. Ein großes Spaltmaß zwischen dem Rohr und der montierten Muffe – als Ringspalt oder auch in lokal begrenzten Bereichen – kann im Extremfall zu ungenügendem Schmelzedruckaufbau führen. Um diesen – in der Praxis kaum vollständig vermeidbaren – Abweichungen entgegenzuwirken wird deren negativer Einfluss in der konstruktiven Auslegung der Muffe berücksichtigt: Durch eine, der Schweißung vorgeschaltete, Erwärmung der Fügezone unterhalb der Schmelztemperatur wird der Fügspalt reduziert (Bild 7).

Ausgenutzt werden hierfür die spezifischen Materialeigenschaften des Werkstoffs Polyethylen:

- Die relativ große thermische Ausdehnung von PE führt zu einer Volumenzunahme, Rohr und Fitting wachsen sich entgegen, der Fügspalt wird reduziert.
- Spannungsabbau unter Wärmeeinfluss und Memory-Effekt: Eingefrorene Spannung (wie z. B. Ovalität in Folge der Lagerung) werden abgebaut, gleichzeitig „erinnert“ sich das Rohr an seine im Produktionsprozess nahezu ideal runde Kontur und versucht diese wieder einzunehmen. Der Memory-Effekt von Kunststoffen ist bereits seit Jahrzehnten bekannt und wird in vielen Bereichen, z. B. der Medizintechnik, genutzt.
- Die in den Verbindungsbereich eingebrachte Wärme – unterhalb der Schmelztemperatur – erhöht vor dem Fügeprozess das energetische Niveau im Fügebereich und verbessert damit den Zustand für den nachfolgenden Schweißprozess.

Hausanschlüsse und Abzweige

Im Top-Loading-Verfahren (Bild 8) lassen sich Sattelformteile auf Großrohre ab d 250 mm bis d 710 mm montieren und schweißen. Dadurch entfällt die bei Großrohren unhandliche Unterschelle. Durch die Flexibilität des Bauteils in den Sattelflanken und der pneumatisch unterstützten, federelastischen Aufspanntechnik kann mit einem einzigen Fitting der gesamte Dimensionsbereich von d 250 mm bis d 560 mm (d 630 mm) inklusive aller Zwischengrößen abgedeckt werden. Diese Technik ermöglicht die Erstellung von Hausanschlüssen und Abzweigleitungen



Bild 8: Anschluss an eine Trinkwasserleitung d 400 mm im Top-Loading-Verfahren

Fig. 8: Connection of a d = 400 mm potable-water line using the Top Loading method



Bild 9: Anbohrkugelhahn Top-Loading: Kombination von Sattelformstück und Absperrarmatur für Rohre bis d 560 mm

Fig. 9: Top Loading tapping-type ball-valve; combination of a saddle-type shape and a shut-off valve for pipe diameters up to d = 560 mm

unter Betriebsdruck und ohne Unterbrechung der Versorgung, z. B. mit einem Anbohrkugelhahn (**Bild 9**).

Fazit

Mit PE-Rohren in großen Dimensionen sind in einer Vielzahl von Anwendungsbereichen ausgezeichnete Erfahrungen gesammelt worden. Die Vorteile des Werkstoffs und die Verbindungstechnik, das Heizwendelschweißverfahren, lassen ein technisches und wirtschaftliches Optimum hinsichtlich Verlegung, Betrieb und Nutzungsdauer erwarten. Neue Formteile und innovativ Montage-techniken schöpfen Kosteneinsparungspotenziale aus und erhöhen so zusätzlich die Attraktivität von PE-Rohrsystemen.

Literatur

- [1] „FRIALEN®-Sicherheitsfittings, Montageanleitung für Großrohre und Reliningtechnik“, 2004
- [2] Eckert, R.: Heizwendelschweißtechnik als Mittel zur Kostensenkung im Rohrleitungsbau? Energie Wasser Praxis, Juni 2001

- [3] Rohrsysteme aus PE100 / Heiner Brömstrup (Hrsg.) – Essen: Vulkan Verlag, 1998
- [4] DVGW Gas-Wasser-Information Nr. 17, 04/03: Einsatz von PE 80, PE 100 und PE-Xa in der Gas- und Wasserverteilung
- [5] DVGW-Arbeitsblatt G472: Gasrohrleitungen aus PE80, Pe100 und PE-Xa – Errichtung, (2000-08)
- [6] DVGW-Arbeitsblatt GW 335-A2: „Kunststoffrohrleitungssysteme in der Gas- und Wasserverteilung, Anforderungen und Prüfungen – Teil A2: Rohre aus PE80 und PE100“
- [7] DVGW VP603: Reinigungsmittel zur Vorbereitung von PE-Schweißverbindungen
- [8] DVS 2207, Teil 1 „Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen“
- [9] DIN 8074 „Rohre aus Polyethylen“ (1999-08)
- [10] DIN EN 1555 „Kunststoffrohrleitungssysteme für die Gasversorgung – Polyethylen (PE)“
- [11] DIN EN 12201 „Kunststoffrohrleitungssysteme für die Wasserversorgung – Polyethylen (PE)“