

3R INTERNATIONAL

Zeitschrift für die Rohrleitungspraxis

Rohre Rohrleitungsbau Rohrleitungssysteme

Pipes Piping Engineering Piping Systems

Moderne Heizwendelformteile Teil 1

Thomas Narbeshuber und Ulrich Seidelt

erschienen in 3R international 9/2002

Vulkan-Verlag GmbH, Essen

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

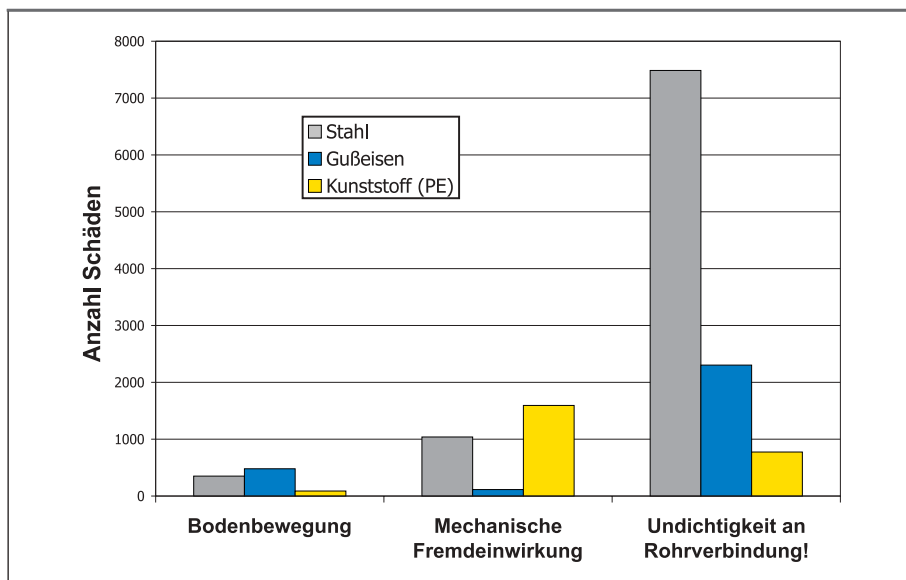


Bild 1: Gasversorgung, da < 200 mm (Quelle: DVGW Schadensstatistik 1990)

Fig. 1: Gas supply, since < 200 mm (Source: DVGW Damage statistics 1990)

Ein richtungsweisendes System für die Zukunft

Moderne Heizwendelformteile – Teil 1

A system that points the way for the future

Modern resistance welding fittings – part 1

Polyethylen hat sich als Rohrwerkstoff in der Versorgung flächendeckend durchgesetzt. Wurde zu Beginn der fünfziger Jahre hauptsächlich PE 63 verwendet, spricht man bei dem heute eingesetzten bimodalen PE 100 von einem Polyethylen der 3. Generation. Analoge Entwicklungen in der Verbindungstechnik für Polyethylenrohre wurden vollzogen. So hat sich als eine Verbindungsart, auch zunehmend größerer Durchmesser, seit vielen Jahren die Heizwendelschweißung etabliert. Die verwendeten Heizwendelformteile sollten jedoch den neuesten technischen Gesichtspunkten entsprechen, um konstant hochwertige Rohrverbindungen unter Baustellenbedingungen zu gewährleisten. Der folgende Beitrag zeigt den heutigen Standard der Fertigung von Heizwendelformteilen und stellt einen ersten Systemvergleich dar. In einem zweiten Teil werden Prüfergebnisse an Heizwendelverbindungen präsentiert und kommentiert.

Polyethylene has now become accepted throughout as a raw material in the field of supply. In the early fifties PE 63 was mainly used, but when talking of the current bimodal PE 100 used now, we speak of a 3rd generation polyethylene. Analogue developments in connection technology for polyethylene piping have also taken place. This is why for many years now resistance welding has increasingly become more established as a type of connection for larger diameters. The resistance welding fittings should however come up to the latest technical standards to guarantee constant high-quality pipeline connections under construction site conditions. The following article shows the standard of production of resistance welded fittings today and portrays an initial system comparison. In the second part the test results of resistance welding fittings are presented and commented upon.



Thomas Narbeshuber

AGRU Kunststofftechnik GmbH,
Bad Hall (A)
Tel. +43(0)7258/790-332
E-Mail: nt@agru.at



Ulrich Seidelt

Frank GmbH, Mörfelden
Tel. 06105/28252
E-Mail: u.seidelt@frank-gmbh.de

Einleitung

Erste Ansiedlungen in der Frühzeit orientierten sich meistens an Flüssen. Einerseits ermöglichten die Flüsse den An- und Abtransport von Gütern, andererseits sicherten sie auch die Versorgung der Bevölkerung mit dem Lebensmittel Trinkwasser. Zunehmend wurde der Transport des Wassers über größere Strecken notwendig. Zunächst erfolgte die Wasserverteilung in offenen Gerinnen, später jedoch in Rohrleitungen. Erste verwendete Werkstoffe waren Stein und Holz. Als Beispiel sei die Aqua Appia, erbaut von Claudius Caesius 312 v. Chr., mit einer Gesamtlänge von 400 km erwähnt.

Neben der existentiell notwendigen Wasserversorgung wurde im Europa des 19. Jahrhunderts die Gasversorgung aufgebaut, ein Zugeständnis an die Erhöhung des Lebensstandards der Bevölkerung. Auch hier erfolgte die Verteilung an den Endverbraucher durch Rohre, bevorzugt aus den Materialien Guss und Stahl. Bei allen bis hier angesprochenen Rohren gab es, unabhängig von Schwächen im Material selbst, wie Korrosion und Biegesteifigkeit, einen immer wieder auftretenden Schwachpunkt, die Rohrverbindungen.

Generell waren Steckverbindungen der Stand der Technik, im weiteren zeitlichen Verlauf kamen bei Stahlleitungen Schweißverbindungen zum Einsatz. Als Dichtelemente wurden eingestemmt Blei und Naturkautschuk verwendet.

Mit dem Durchbruch der Polyethylenrohre gab es erstmals die Möglichkeit, einen korrosionsbeständigen Werkstoff zugfest und homogen durch Schweißung zu verbinden. Zuerst wurden die Rohre mittels Stumpfschweißung und die Formteile durch Flansche verbunden. In der weiteren Entwicklung der Verbindungstechnik kam die erste Generation von Heizwendelformteilen auf den Markt, die bei beengten Baustellenverhältnissen eine Erhöhung der Verlegegeschwindigkeit ermöglichten. Kontinuierlich wurden die Produktvielfalt und der verfügbare Dimensionsbereich erweitert.

Der folgende Artikel befasst sich mit Heizwendelformteilen der neuesten Generation, deren Konstruktion, Fertigung und Installation. Eine spätere Veröffentlichung zu diesem Thema wird sich mit Prüfungen an Heizwendelverbindungen und einigen weiteren Besonderheiten befassen.

Unbestritten ist, dass sich Polyethylenrohre in der heutigen Versorgungswirtschaft sowohl in der Gas- als auch Wasserversorgung durchgesetzt haben. Im gleichen Maße hat sich neben der Heizelementstumpfschweißung, in Anhängigkeit der Nennweiten und Einbaubedingungen, die Heizwendelschweißung durchgesetzt.

Jedoch zeigt **Bild 1** Anfälligkeiten an Kunststoffrohrverbindungen, die zu hinter-

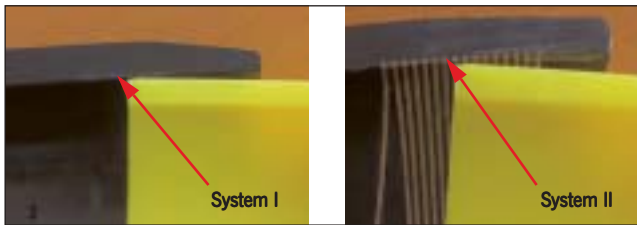


Bild 2: Schutz der Heizwendel beim Einbau
Fig. 2: Protecting the resistance welding during installation



Bild 3: Vergleich der Systeme
Fig. 3: System comparison

fragen sind. Sind bei der bisherigen Konstruktion von Heizwendelformteilen wirklich alle Reserven des Werkstoffes Polyethylen ausgenutzt worden, um ein Maximum an Sicherheit zu erreichen?

Konstruktive Vorgaben

Bei der Entwicklung eines neuen Produktes sind zunächst die generellen Anforderungen an das Bauteil zu definieren. Im Folgenden sind einige Vorgaben genannt, die für Heizwendelformteile zwingend zu berücksichtigen sind:

- dauerhaft dichte Schweißverbindungen mit den Werkstoffen PE80/100 und PE-X, Auslegung nach nationalen und internationalen Normen: EN 12201-3 (Wasser), EN 1555-3 (Gas),
- DIN 16963-7 (Maße),
- MFR-Bereich gemäß DVS 2207-1, PE 100,
- zuverlässige, fehlerneutrale Installation,
- sichere Schweißbarkeit bei maximal zulässiger Ovalität,
- hohe Reproduzierbarkeit der Schweißnahtqualitäten,
- Worst-Case-Auslegung (-10 °C und +50 °C),

- optimierte Steckanschlüsse,
- Formteiltrückverfolgung mittels Traceability Code,
- Abdeckung umfassender Einsatzgebiete wie Gas, Wasser, Abwasser und Industrie bis 16 bar,
- kurze Schweißzeiten,
- wegbegrenzte Schweißindikatoren,
- Schweißung mit polyvalenten Schweißgeräten.

Während der Konstruktion werden die wesentlichen Merkmale eines Heizwendelformteils festgelegt. Die geometrische Form muss den Fertigungsbedingungen angepasst werden und auf mindestens 16 bar Betriebsdruck für Wasser, bei einer Bemessungstemperatur von 20 °C und einem Bemessungszeitraum von 100 Jahren, ausgelegt sein. Die Optimierung der Anzahl der Windungen erfolgt so, dass in einem möglichst großem Temperaturfenster sicher geschweißt werden kann.

Durch das gesteuerte Einbringen von elektrischer Energie über das Schweißgerät in die Schweißzone werden die für die Schweißung notwendigen Parameter Zeit und Temperatur erbracht. Die für eine erfolgreiche Verbindung notwendige dritte Komponente, der Schweißdruck, wird über das weiter un-

ten beschrieben Schrumpfverhalten des Heizwendelformteils in Verbindung mit der Erwärmung erzeugt und über die beidseitig der Schweißzone angeordneten Kaltzonen gehalten.

Von großer Wichtigkeit für die Qualität einer Heizwendelschweißung ist unter anderem die Lage des Heizwendels im Formteil in Bezug auf die Fügezone. Zurzeit werden drei unterschiedliche Konstruktionsprinzipien eingesetzt:

- System I: vollständig in das Formteil eingebetteter Widerstandsdraht
- System II: freiliegender Widerstandsdraht in der Fügezone
- System III: PE-ummantelter Widerstandsdraht in der Fügezone

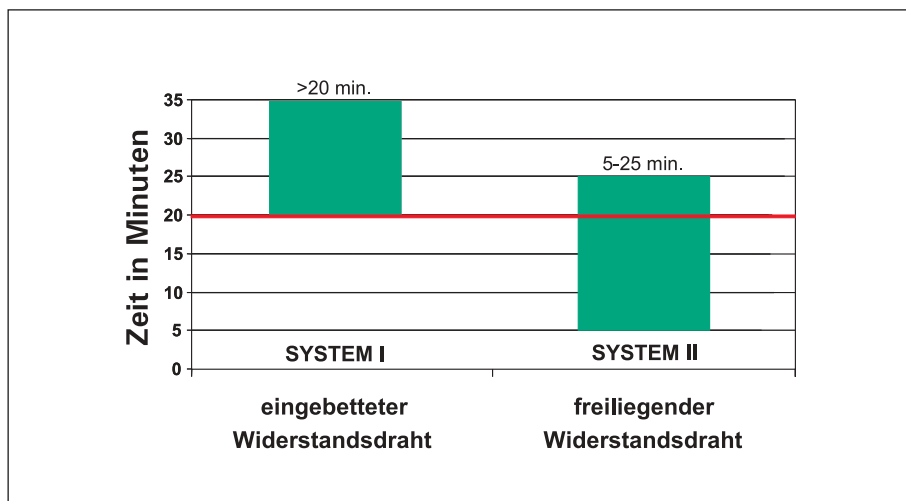
An den Systemen I und II wurden umfassende Messungen durchgeführt, um eine für den Anwender optimierte Lösung anbieten zu können.

Ein erster praktischer Ansatzpunkt ist die problemlose Reinigung der Formteile nach einer eventuellen Verschmutzung auf der Baustelle. Hier ist das System I mit integriertem Widerstandsdraht den anderen Ausführungen durch seine glatte Oberfläche überlegen (**Bild 2**).

Eine weitere interessante Fragestellung ist der Schutz der Heizwendel gegen das Verschieben bei schwierigen Einbauverhältnissen. Stellvertretend sei der Einsatz von Ringbandware oder relativ dünnwandigen Rohren erwähnt. Hier treten verstärkt Vorspannungen und erhöhte Ovalitäten auf. Dadurch, dass beim Aufbringen der Schweißenergie zuerst das unter dem Heizwendel liegende Polyethylen erwärmt wird und sich ausdehnt, werden Spaltmaße zuverlässig überbrückt. Der Schrumpf des Formteils wird ausgelöst, bevor Schmelze für die eigentliche Schweißung gebildet wird.

Ein weiteres Kriterium, speziell beim Transport aggressiver Medien, ist ein möglicher Kontakt zwischen Heizwendel und Medium. Bei einem vollständig eingebetteten Widerstandsdraht sind die Korrosion des Heizdrahtes und ein Kontakt mit dem Durchflussmedium ausgeschlossen. Es entsteht somit ein absolut materialkonformes und homogenes Rohrsystem aus Polyethylen, ohne aktive metallische Komponenten. Der bisherige Nachteil des freiliegenden Heizwendels

Bild 4: Vergleich der thermischen Stabilität (OIT)
Fig. 4: Comparison of the thermal stability (OIT)



fürte dazu, dass diese Konstruktion im industriellen Rohrleitungsbau bei Durchleitung bestimmter Medien keine Berücksichtigung fand (**Bild 3**).

Wichtig für die langfristige Qualität einer Heizwendelschweißung ist die Art der Wärmeeinbringung in die Schweißzone. Um hier Vergleichsparameter zu erhalten, wurden von beiden Vergleichssystemen Proben aus der Schweißzone entnommen und auf thermische Stabilität (OIT) hin untersucht. Die Bestimmung erfolgt nach DIN EN 728, wonach die Oxidations-Induktions-Zeit für ein ungeschweißtes Bauteil gemäß VP 608 >20 min betragen muss (**Bild 4**).

Aus Bild 4 wird ersichtlich, dass bei dem System mit freiliegenden Heizwendeln die vorgegebenen OIT-Zeiten teilweise nicht erreicht werden. Um die Ursache zu prüfen, waren weitere Untersuchungen nötig. So wurden Temperaturmessungen direkt in der Schweißzone vorgenommen. Beim System I der Fa. AGRU traten Temperaturen von 210 bis 230 °C auf. Diese Temperaturen liegen im Bereich der Vorgaben für das bewährte Heizelementstumpfschweißverfahren. Durch den vollständig eingebetteten Schweißdraht wird die Wärme gleichmäßig abgeführt und daher entsteht keinerlei Überhitzung in der Schweißzone.

Beim System II mit freiliegenden Heizwendeln ist ein gleichmäßiger Wärmeübergang nur bedingt, in Abhängigkeit vom Spaltmaß möglich, so dass Temperaturspitzen bis 350 °C auftreten können. Aus diesem Grund werden bei einigen am Markt verfügbaren Systemen die Heizwendelformteile vor der eigentlichen Schweißung vorgewärmt oder mit einer metallischen Armierung versehen, um die Spaltmaße so gering wie möglich zu halten. Da die Zersetzungstemperatur von Polyethylen bei 280 °C beginnt, können höhere Temperaturen zu einer thermischen Vorschädigung des Polyethylens führen. Das Ergebnis der OIT-Messung ist somit nachvollziehbar. Anzumerken ist, dass dieser Effekt verstärkt bei großen Heizwendelmuffen aufgrund des vorhandenen Spaltmaßes auftritt.

Eine visuelle Kontrolle der Schweißungen mittels manueller Schälprüfung gemäß DVS 2207-5 (Peeltest) bestätigte die vorangegangenen Aussagen. Während beim System I mit eingebettetem Heizdraht eine vollflächig homogene Schweißung vorgefunden wurde, konnte beim System II statistisch verteilt eine deutlich unregelmäßige Schweißnahthaftung festgestellt werden. Über dieses Phänomen wurde in verschiedenen Abhandlungen bereits berichtet.

Um die Einsatzfähigkeit der AGRU-Heizwendelformteile mit eingebettetem Heizwendeldraht unter „Worst Case“-Bedingungen sicherzustellen, erfolgten alle Testschweißungen bei Temperaturen von –10 °C und +50 °C. Als Rohrdimensionen wurden



Bild 5: Testverfahren
Fig. 5: Test process

SDR 17 und SDR 7,4 mit den jeweils maximal zulässigen Toleranzen der Ovalität nach DIN 8074 verwendet. Als Tests kamen jeweils die Auszugprüfung nach ISO 13951, der Abreißversuch nach ISO 13955, der Zeitstandzugversuch nach DVS 2203-4 und die vorab erwähnte manuelle Schälprüfung nach DVS 2207-5 zur Anwendung (Bild 5).

Insgesamt wurden im AGRU-Versuchslabor weit mehr als 2000 Probeschweißungen durchgeführt, um ein repräsentatives Untersuchungsergebnis zu erhalten.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass einem eingebetteten Heizwendeldraht für eine kontrollierte Energieeinbringung in Verbindung mit einer glatten Innenfläche des Heizwendelformteils eine große Bedeutung zukommt.

Fertigung

Um Heizwendelformteile entsprechend der ermittelten Vorgaben herzustellen, be-

darf es einer speziellen modularen Fertigungstechnologie. Die Produktionstechnik von AGRU-Heizwendelformteilen ist generell wie folgt aufgebaut und deckt den Dimensionsbereich bis 225 mm ab. Gerade Heizwendelmuffen können derzeit auf diese Art bis zu 400 mm Durchmesser hergestellt werden.

Im ersten Arbeitsschritt wird auf einen entsprechend dimensionierten Kern eine Innenhülse gespritzt. Auf diese Hülse werden anschließend der Widerstandsdraht und die Anschluss terminals mit 4 mm Durchmesser (ISO 8085-3 und EN 1555-3 Typ A) aufgebracht. Hierbei wird der Widerstandsdraht durch eine Punktschweißung mit dem Anschlussstecker verbunden. Durch diese Verbindungstechnik ist ein Ablösen des Widerstandsdrahtes während des eigentlichen Schweißprozesses und den daraus resultierenden Bewegungen ausgeschlossen. Eine erste Kontrolle auf Stromfluss erfolgt nach

der Punktschweißung. Im dritten Schritt wird der eigentliche Formteilkörper gespritzt, eine weitere Stromflusskontrolle erfolgt anschließend. Dieser Produktionsablauf ist vollautomatisch und mit einer integrierten "In Line"-Qualitätskontrolle versehen. Somit ist eine hohe und konstante Qualität der Heizwendelformteile garantiert.

Qualitätskontrolle

Um dieses Fertigungsniveau permanent zu überwachen sind folgende Prüfungen vorgesehen:

- Warmlagerungsversuche
- Maßkontrollen
- optische Kontrollen der Oberfläche
- Prüfung auf Homogenität (Mikrotomschnitte)
- Überprüfung der Kennzeichnung
- Kurzzeit- und Langzeit-Innendruckversuche
- Bestimmung der thermische Stabilität (OIT)
- Dichtmessung
- MFR-Prüfung am gespritzten Formteil
- Kontrolle der Verpackung.

Zusätzlich erfolgt eine Röntgenprüfung zur Kontrolle auf Lunken, Einschlüsse und die richtige Lage des Heizdrahtes.

Alle erforderlichen Prüfschritte sind in Prüfplänen festgelegt, in denen neben den durchzuführenden Tätigkeiten auch die entsprechende Dokumentationsform und die jeweilige Verantwortlichkeit für die Prüfungen angegeben ist. Damit ist sichergestellt, dass die Produktionsprozesse regelmäßig überprüft und bei Abweichungen von den in der jeweiligen Werksnorm festgelegten Kennwerten eventuelle Fehlerquellen festgestellt werden können. Darüber hinaus wird durch eine hohe Prüfichte sichergestellt, dass eine Abweichung bestimmter Abmessungen oder technischer Eigenschaften der Produkte frühzeitig erkannt und fehlerhafte Produkte ausgesondert werden können.

Tab. 1: Einsatzbereiche für AGRU E-Muffen
Table 1: Area of application for AGRU E sockets

da	SDR 41	SDR 33	SDR 26	SDR 17,6	SDR 17	SDR 11	SDR 7,4
20	-	-	-	-	-	✓	✓
25	-	-	-	-	-	✓	✓
32	-	-	-	-	-	✓	✓
40	-	-	-	✓	✓	✓	✓
50	-	-	-	✓	✓	✓	✓
63	-	-	-	✓	✓	✓	✓
75	-	-	-	✓	✓	✓	✓
90	-	-	-	✓	✓	✓	✓
110	-	-	-	✓	✓	✓	✓
125	-	-	-	✓	✓	✓	✓
140	-	-	-	✓	✓	✓	✓
160	-	-	-	✓	✓	✓	✓
180	-	-	✓	✓	✓	✓	✓
200	-	-	✓	✓	✓	✓	✓
225	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
250	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Größere Dimensionen auf Anfrage							

- lt. DVGW Einsatzbereich für Gasrohre
- lt. DVGW Einsatzbereich für Gas- und Wasserrohre
- lt. DVGW Einsatzbereich für Wasserrohre

Einbau

Durch die modulare Produktionstechnologie ist gesichert, dass beim Schweißen die im Formteil enthaltenen Schrumpfspannungen frei werden können, welche für einen gesicherten Schmelzefluss und -druck und somit eine homogene Schweißverbindung notwendig sind. Ovalitäten und Spaltmaße werden zuverlässig überbrückt. Ein Vorwärmcode entfällt somit. Trotz alledem wird weiterhin der Einsatz von Halteklemmen empfohlen.

Tabelle 1 veranschaulicht das breite Einsatzspektrum von AGRU-Heizwendelmuffen in Abhängigkeit der SDR-Stufen von PE 80 und PE 100 Rohren.

Eine weitere Besonderheit bei AGRU-Heizwendelformteilen ist die Ausstattung mit einem Bauteilrückverfolgungscode (Traceability) zusätzlich zum Schweißcode. Dieser Code ermöglicht die automatische Erfassung spezifischer Angaben wie Hersteller, Typ, Durchmesser, Material, Chargennummer und MFR-Wert. Diese Daten werden später über die Schnittstelle am Schweißge-

rät ausgelesen und in einer Datenbank verwaltet. AGRU verwendet für die eindeutige Identifikation des Codes zweifarbiges Etiketten (**Bild 6**).

Die weiße Hälfte beinhaltet den Schweißcode (ISO/TR 13950) und die gelbe Fläche den Rückverfolgbarkeitscode (ISO/WD 12176-4).

Fehlschweißungen durch Vertauschung der Codes sind durch deren unterschiedlichen Aufbau definitiv ausgeschlossen. In Verbindung mit der geeigneten Software (Trace Base) und den entsprechenden Schweißgeräten (polymatic top) lässt sich ein komplettes Rohrbuch (Rohr-Ident-System) erstellen und verwalten. Hierin kann jede Schweißung topografisch und von den Schweißparametern her auftragsbezogen eindeutig zugeordnet werden.

Fazit

Heizwendelformteile mit eingebettetem Heizdraht bieten qualitativ die besten Vor-



Bild 6: Schweißcode / Traceability Code

Fig. 6: Welding code/ Traceability Code

aussetzungen für eine Heizwendelschweißung. Eine thermische Überbeanspruchung des Polyethylens in der Schweißzone kann nicht erfolgen. Eine glatte Innenfläche ohne freiliegenden Heizdraht ermöglicht die Herstellung eines materialkonformen Rohrsystems ohne jede Gefahr des Kontaktes oder Beschädigung der Heizdrähte. Durch den modularen Aufbau während der Herstellung erfolgt ein definierter Schrumpf während des Schweißvorganges.