

Untersuchungen an Heizwendelschweißverbindungen mit Rohren und Fittings in Kombination aus PE 80, PE 100 und vernetztem PE – PE-Xa

Tests on resistance-welds on pipes and fittings involving pairings of PE 80, PE 100 and cross-linked PE/PE-Xa

Der an Heizwendelschweißverbindungen im Zeitstand-Zugversuch ermittelte Bruch verläuft nicht in der Fügeebene der Werkstoffe, sondern in der Heizwendel-ebene. Die Heizwendel verringert die beim Zugversuch mittragende Fläche und wirkt als Kerbe festigkeitsreduzierend. Die Prüfungen belegen, daß die Widerstandsfähigkeit von Heizwendelschweißverbindungen maßgeblich von der Kerbunempfindlichkeit des verwendeten Fittingmaterials abhängt. Die Materialkombination in der Fügeebene zwischen Fitting und Rohr – PE 80 (PE 100)/PE 100 (PE 80) oder PE 80/PE-Xa, PE 100/PE-Xa – beeinflusst hierbei die Standzeit nur unwesentlich. Die materialspezifisch höhere Kerbunempfindlichkeit des Fittings aus PE 100 verbessert deshalb die Standzeit der Schweißverbindung im Zeitstand-Zugversuch.

Die Versuchsergebnisse von aus Fittingkörpern entnommenen und gekerbten Proben im sogenannten Full Notch Creep Test (FNCT) zeigen mit den Resultaten der Zeitstand-Zugversuche an Schweißverbindungen eine Abhängigkeit. Durch entsprechende Darstellung können für beliebige FNCT-Standzeiten die zu erwartenden Standzeiten für die Heizwendelschweißverbindung abgeschätzt werden.

The fracture observed in the long-term tensile test performed on resistance-welds does not run along the contact plane of the materials, but instead in the plane of the heating element. The heating element reduces the surface area carrying the load in the tensile test and has the strength-reducing action of a notch. The tests demonstrate that the strength of resistance-welds depends decisively on the relative insensitivity to notching of the fitting material used. The material combination at the contact plane between the fitting and the pipe – PE 80(PE 100)/PE 100(PE 80) or PE 80/PE-Xa, PE 100/PE-Xa – has only a slight influence on weld-life. The material-specific higher insensitivity to notching of PE 100 fittings therefore improves the life of the weld in the long-term tensile test.

The test results obtained on notched specimens taken from fitting-bodies in the so-called Full Notch Creep Test (FNCT) indicate a correlation with the results of the long-term tensile tests on welds. Appropriate representation makes it possible to estimate the anticipated service-life for the resistance-weld for any FNCT service-lives.

PE 100 wird sich als moderner Werkstoff im Rohrleitungsbau aufgrund der besseren spezifischen Materialeigenschaften mehr und mehr durchsetzen. Diese Eigenschaften und der Nachweis der uneingeschränkten Verschweißbarkeit im Heizwendelschweißverfahren sowohl untereinander – PE 100/PE 100 – als auch mit den heute gängigen PE-Rohrwerkstofftypen PE 80 und vernetztem Polyethylen PE-Xa, sind Voraussetzung für den Einsatz von Hochleistungs-Sicherheitsfittings aus dem Werkstoff der dritten Generation PE 100.

Aus diesem Grunde wurden Versuche an Heizwendelschweißungen durchgeführt, deren Ergebnisse einen direkten Festigkeitsvergleich der Verbindungsvarianten Rohr/Fitting ermöglichen.

Die Resultate der Prüfungen an den getesteten Fittingwerkstoffen beweisen, daß – auch unter den heutigen erhöhten Anforderungen im Gas- und Wasserbereich – die sichere und dauerhafte Funktion der Frialen-Heizwendelschweißfittings in Verbindung mit den gängigen PE-Rohrwerkstoffen gewährleistet ist.

PE 100 als moderner Werkstoff im Rohrleitungsbau

Der Werkstoff PE 100 zeichnet sich im Vergleich zum konventionellen PE 80-Material vor allem durch bessere mechanische Eigenschaften, wie höhere Festigkeit, bessere Spannungsrißbeständigkeit, höhere Kerbunempfindlichkeit sowie

Dipl.-Ing. (FH) Robert Eckert



Leiter der Anwendungstechnik in der Division Technische Kunststoffe der Friatec AG, Mannheim; Tel. (0621) 486-2214.

Reinhold Schlachter



Leiter des Qualitätsmanagements in der Division Technische Kunststoffe der Friatec AG.

Dr.-Ing. Joachim Hessel



Hessel Ingenieurtechnik, Roetgen; Tel. (02471) 920220.

den ausgezeichneten Widerstand gegen schnelle Rißfortpflanzung, aus.

Die Ausnutzung dieser verbesserten Materialcharakteristik erhöht die Wirtschaftlichkeit und erlaubt damit in zunehmendem Maße den Einsatz von Polyethylenrohren auch im Großrohrbereich der Versorgungs- und Transportleitungen. Für die Leitungsauslegung bedeutet das: geringere Rohrwanddicken bei gleichem Druckniveau oder die Erhöhung des Betriebsdruckes bei gleicher Dimensionierung oder ein höheres Sicherheitsniveau im Leitungssystem.

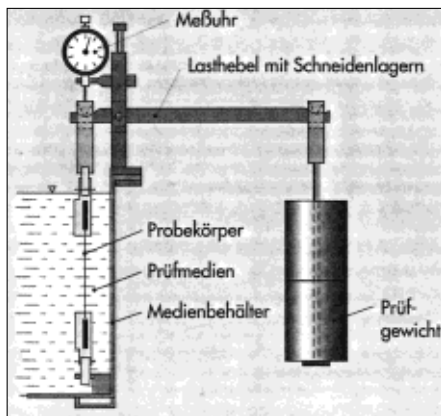


Bild 1: Zeitstand-Zugversuch: Prinzipieller Versuchsaufbau

Fig. 1: Long-term tensile test: Apparatus in principle

Tabelle 1: Verbindungsvarianten Frialen-Fitting/Rohr

Table 1: Frialen-fitting/pipe combination variants

Rohr Ø110 x 10 mm	Fitting			
	Werkstofftyp	Typ	Abmessung	Werkstofftyp
PE 80	FRIALEN Muffe UB	d110	PE 80	Material A
			PE 100	Material B
PE 100	FRIALEN Muffe UB	d110	PE 80	Material A
PE 80	FRIALEN Sattel DAA	d110/63	PE 80	Material A
			PE 100	Material B
PE 100	FRIALEN Sattel DAA	d110/63	PE 80	Material A

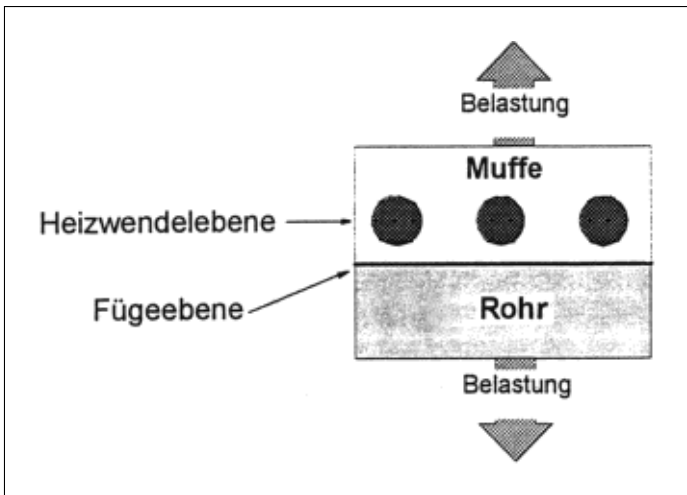


Bild 2: Probekörper aus der Heizwendelschweiß-Verbindung

Fig. 2: Test specimens from the resistance-weld

Verbindungstechnik für Rohre aus PE 80, PE 100 und PE-Xa

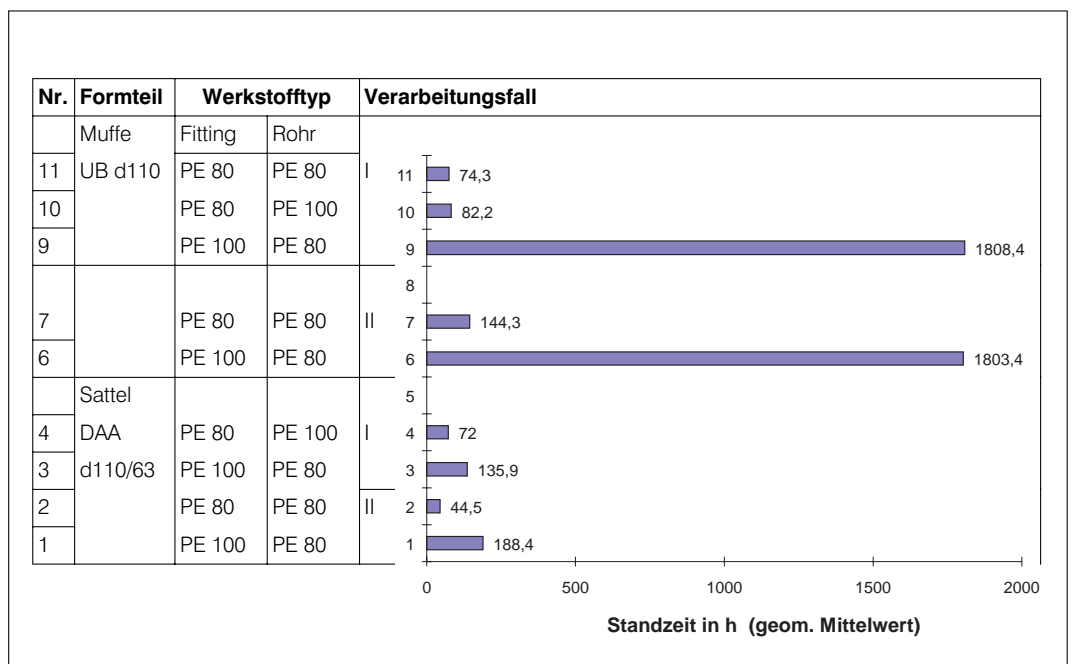
Die Verschweißbarkeit der heute im Rohrleitungsbau eingesetzten Polyethylen-typen in den Klassifizierungen PE 80, PE 100 und PE-Xa wurde durch eine Vielzahl von Versuchen mit Frialen-Schweiß-fittings bestätigt.

Die Verschweißung der Materialkombination Fitting PE 80/Rohr PE 80 hat sich bereits seit Jahrzehnten in der Praxis bewährt und ist Standard im Rohrleitungsbau.

Seit Anfang der neunziger Jahre werden in zunehmendem Maße PE 80-Fittings mit Rohren aus PE 100 verschweißt. Die seitdem gewonnenen Erfahrungen im Labor und auf der Baustelle sind für

Bild 3: Zeitstand-Zugversuche an Heizwendel-Schweißverbindungen senkrecht zur Fügeebene, Versuchsparameter: 80 °C; 3,2 N/mm²; 2 % Arkopal N-100 [5, 6]; Verarbeitungsfall I: Regelverarbeitung bei 20 °C. Verarbeitungsfall II: untere Grenzwertverschweißung: -20 °C, -1,5 % Schweißzeit, -1,5 % Spannung, maximaler Widerstand der Heizwendelwicklung

Fig. 3: Long-term tensile tests performed on resistance-welds perpendicular to the contact plane; Test parameters: 80 °C, 3,2 N/mm², 2 % Arkopal N-100 [5, 6]; Application-case I: Standard procedure at 20 °C; Application-case II: Lower limit weld -20 °C, -1.5 % welding time, -1.5 % voltage, maximum heating element winding resistance



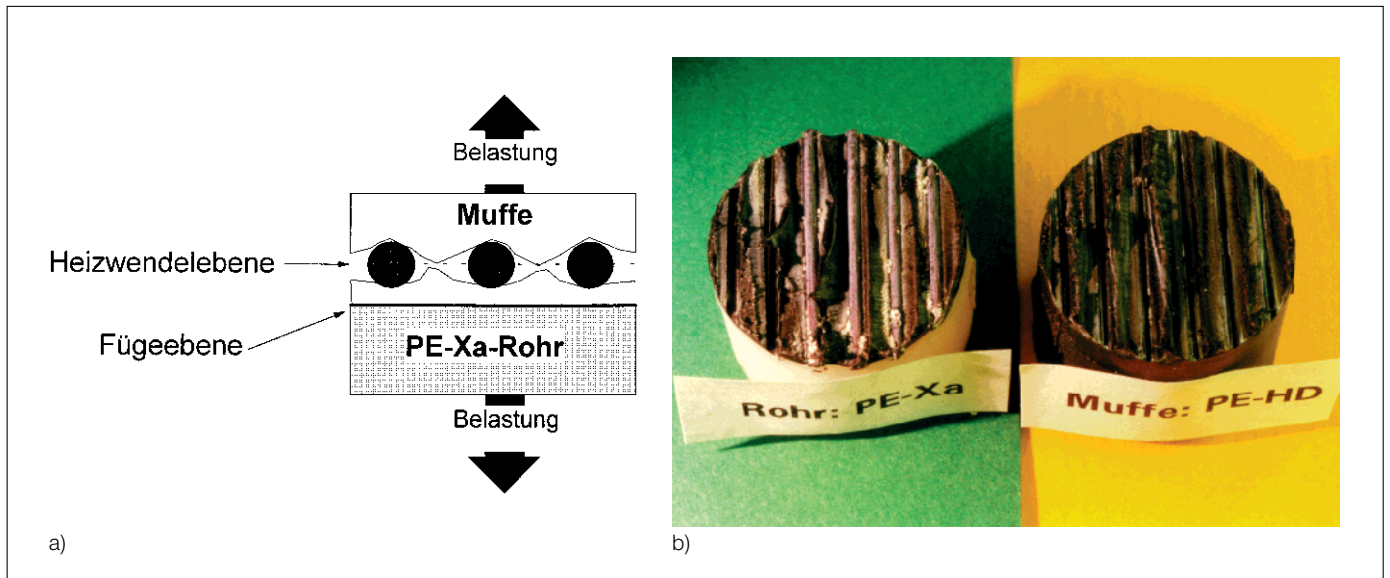


Bild 4: a) Typischer Bruchverlauf an der Heizwendelschweißverbindung, b) Bruchflächen nach der Zeitstandprüfung
 Fig. 4: a) Typical fracture plot at the resistance-weld, b) Fracture surfaces following the creep strength test

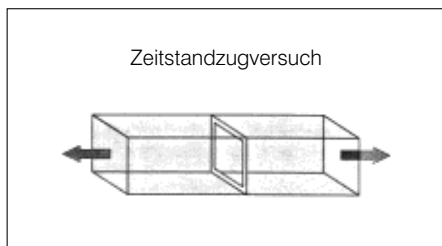


Bild 5: Probe und Belastungsrichtung für den FNCT

Fig. 5: Specimen and direction of load action for the FNCT

Schweißverbindungen mit dieser Materialkombination positiv.

Im Rahmen der DVGW-Forschungsmaßnahme „Schweißgung und Kerbempfindlichkeit von Rohren aus vernetztem Polyethylen (PE-X)“ [1] wurde – basierend auf der Theorie der Mischkristallisation – die Eignung des Heizwendelschweißverfahrens bei PE-Xa-Rohren in Kombination mit PE 80-(PE-MD)-Fittings nachgewiesen.

Vor allem im Hausanschlußbereich werden PE 80-Fittings mit PE-Xa-Rohren erfolgreich verschweißt.

Prüfungen von Heizwendelschweißverbindungen

Neben der Prüfung von Heizwendelschweißverbindungen nach DIN 16963, Teil 5 [2] werden folgende zusätzliche Tests im Rahmen einer Überarbeitung der DVGW VP 607 [3], 1/94 (Entwurf) diskutiert:

- der Streifen-Biege-Test zur Bewertung der Bruchstruktur an der Schweißverbindung (Homogenität),
- der erweiterte Zeitstand-Innendruckversuch (Basis-Betriebsfestigkeitsnachweis),

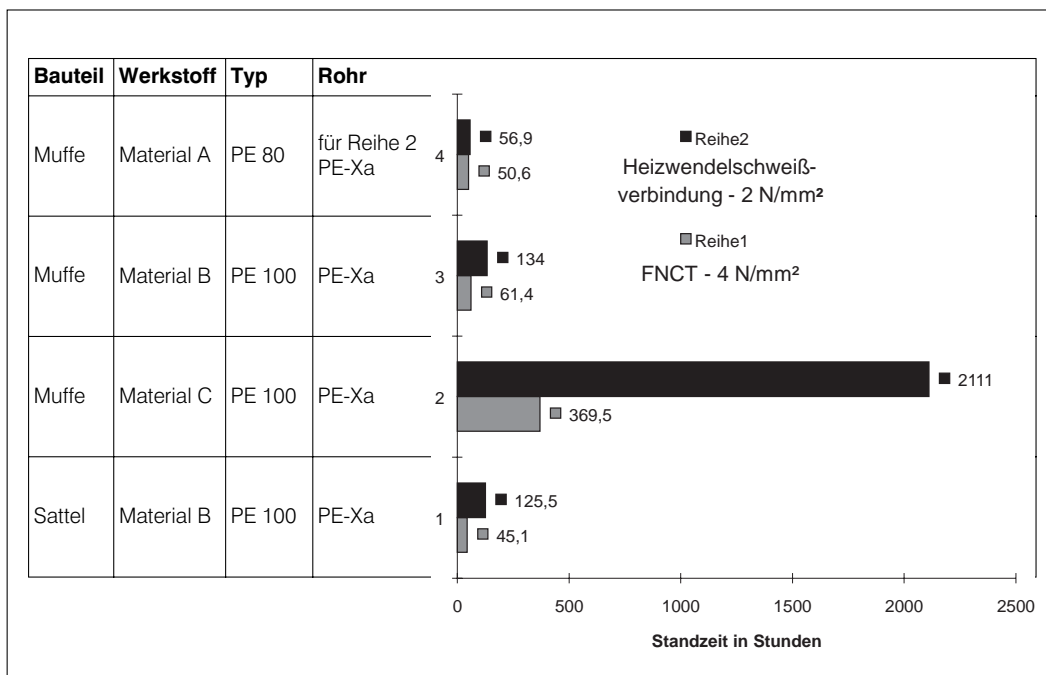


Bild 6: Zeitstand-Zugversuch nach DVS 2203-4; Prüftemperatur 95 °C – 2 % Arkopal N-100 FNCT an gekerbten Zugproben aus Frialen-Heizwendelschweiß-fittings im Vergleich mit dem Zeitstand-Zugversuch an Proben aus der Frialen-Heizwendelschweißverbindung mit Rohren aus vernetztem Polyethylen PE-Xa [8]

Fig. 6: Long-term tensile test as per DVS 2203-4; FNCT on notched tensile-test specimens from Frialen resistance-welded fittings compared to long-term tensile tests on specimens from the Frialen resistance-weld with interlinked polyethylene (PE-Xa) pipes; test temperature 95 °C; 2 % Arkopal N-100 [8]

- die Prüfung der thermischen Stabilität OIT (Oxidation-Induktionszeit) im Bereich der Schweißzone (Nachweis einer eventuellen thermischen Schädigung) sowie
- die Prüfung der Zeitstand-Zugfestigkeit (Rückschluß auf tatsächliche Verbindungsfestigkeit) und des langsamen Rißwachstums an gekerbten Prüfstäben aus dem Heizwendelschweißfitting gemäß DVS 2203-4, Beiblatt 1 und 2 [4].

Die Prüfparameter (Temperatur und Spannung) der hier dargestellten einzelnen Versuchsreihen sind nicht identisch mit den Parametern der aktuellen VP 607, da sie dem jeweiligen Entwicklungsstand der Prüfgrundlage angepaßt waren. Prüfergebnisse waren dadurch in einem akzeptablen Zeitrahmen zu erwarten.

Vergleichende Prüfungen an Materialverbindungsvarianten PE 80/PE 100

Die Anforderungen an Heizwendelschweißverbindungen sind durch die VP 607 ausreichend definiert. Eine konkrete Aussage, welche mechanische Belastbarkeit für eine Schweißverbindung bei verschiedenen Materialkombinationen zwischen Rohr und Fitting als Absolutwert ertragbar ist, wurde bislang jedoch noch nicht getroffen.

Aus diesem Grunde wurde in Zusammenarbeit mit der Hessel Ingenieurtechnik, Roetgen, eine Versuchsreihe initiiert. Ziel war es zunächst, durch Zeitstand-Zugversuche (Bild 1 und 2) einen Vergleich zwischen verschiedenen Frialen-Heizwendelschweißverbindungen zu erhalten (Tabelle 1 und Bild 3).

Zusammenfassung der Prüfergebnisse von Heizwendelschweißverbindungen PE 80/PE 100:

- Die Kombination PE 80-Fitting mit PE 100-Rohr hat keinen signifikanten festigkeitssteigernden Einfluß auf die Schweißverbindung im Vergleich zum PE 80-Rohr.
- Die Standzeiten der Schweißverbindungen mit Fittings aus PE 100 liegen deutlich über denen der Standzeiten der Schweißverbindungen mit Fittings aus PE 80.
Der an allen Heizwendelschweißverbindungen aufgetretene Bruchverlauf (vgl. Bild 4) läßt den Schluß zu, daß die Standzeit der Verbindungen allein von der Kerbunempfindlichkeit des Fittingwerkstoffes im Verarbeitungszustand bestimmt wird.
- Der Bruch verläuft nie in der Fügeebene.
- Ein signifikanter Unterschied zwischen den Standzeiten der Schweißverbindungen bei Regelverarbeitung bzw. Verarbeitung am unteren Grenzwert ist nicht zu erkennen.

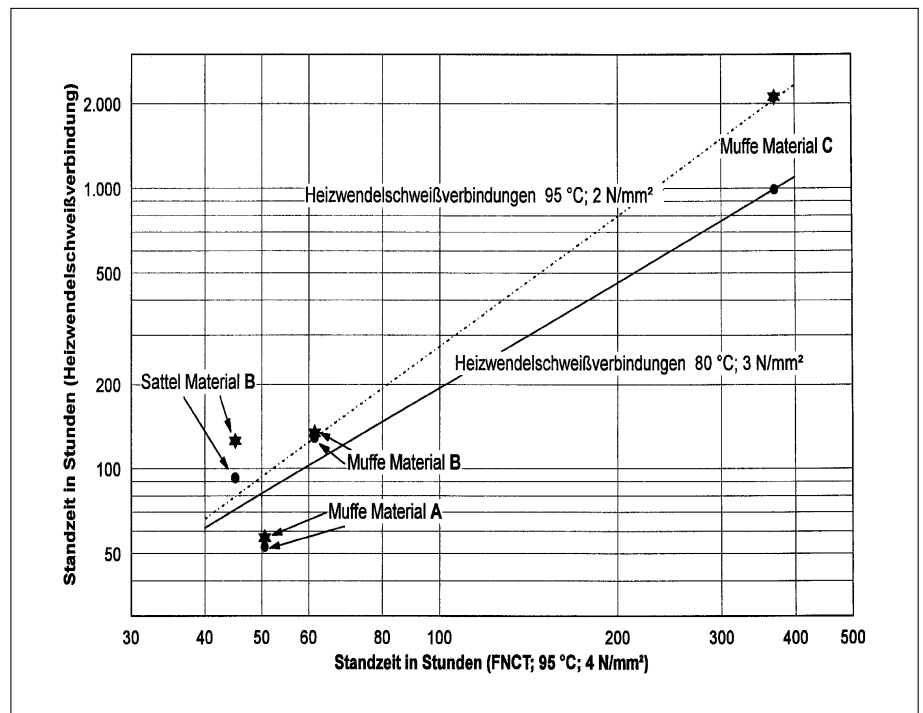


Bild 7: Zeitstand-Zugversuche nach DVS 2203-3, Beiblatt 1 bzw. Beiblatt 2

Fig. 7: Long-term tensile tests as per DVS 2203-3, Supplement 1/Supplement 2

Grundsätzlich existieren für die typgleiche Materialkombination PE 100-Fitting und PE 100-Rohr keine Einschränkungen bezüglich der Verschweißbarkeit. Die Ergebnisse der Zeitstand-Zugversuche zeigen, daß die Zeitstandfestigkeit praktisch nur vom Fittingwerkstoff abhängig ist. Die Ergebnisse der Versuche mit PE 100-Fittings sind daher auf die Kombination PE 100/PE 100 übertragbar.

Vergleichende Prüfungen von Heizwendelschweißverbindungen mit Fittings aus PE 80/PE 100 und Rohren aus PE-Xa

Zusätzlich zum Zeitstand-Zugversuch wurde der Full Notch Creep Test (FNCT) herangezogen (Bild 5 und 6). Um die oben beschriebenen Zusammenhänge zu bestätigen, wurde ein weiterer PE 100-Rohstoff in die Versuchsreihen einbezogen. Dieser Rohstoff zeichnet sich durch eine hervorragende Spannungsrißbeständigkeit aus.

Der FNCT dient zur Bestimmung des Spannungsrißverhaltens von Polymeren unter Verwendung von gekerbten Proben. Die Ergebnisse von FNCT-Versuchen korrelieren mit Zeitstand-Innen-druckversuchen an Rohren [7].

Zusammenfassung der Prüfergebnisse von den Zeitstand-Zugversuchen:

- Die Werte für den Widerstand gegenüber langsamen Rißfortschritt, bzw. für die Zeitstandfestigkeit von gekerbten Proben (FNCT) aus dem PE 100-Fit-

ting liegen über denen des PE 80-Fittings. Analog liegt die Zeitstandfestigkeit der Heizwendelschweißverbindung an Fittings aus PE 100 deutlich über der von Fittings aus PE 80.

- Die Zeitstandfestigkeit von gekerbten Proben (FNCT) des Fittings aus dem Material C ist gegenüber den Proben aus Material B um ein vielfaches höher. Entsprechend liegt die Zeitstandfestigkeit der Heizwendelschweißverbindung an Fittings aus dem Material C (PE 100) um ein vielfaches über der der Fittings aus Material B (PE 100).

Schlußfolgerungen aus den Versuchsergebnissen

Der an allen Heizwendelschweißverbindungen festgestellte Bruchverlauf in der Heizwendelebene läßt den Schluß zu, daß die Festigkeit in der Fügeebene zwischen den Frialen-Muffen aus PE 80 oder PE 100 in Kombination mit Rohren aus PE 80, PE 100 sowie aus vernetztem Polyethylen PE-Xa stets größer ist, als die Festigkeit in der Heizwendelebene. Demnach wird die Standzeit dieser Verbindungen allein von der Kerbunempfindlichkeit des Fittingwerkstoffes im Verarbeitungszustand bestimmt.

Aufgrund dieser Zusammenhänge ist die Zeitstandfestigkeit einer Schweißverbindung mit einem Fitting aus PE 100 – unabhängig vom verwendeten Rohrmaterial PE 80, PE 100 oder PE-Xa – höher

als die Zeitstandfestigkeit mit einem Fitting aus PE 80.

Der Nachweis der Kerb- und Spannungsrißunempfindlichkeit des Fittingmaterials ermöglicht aufgrund der dargestellten Zusammenhänge den direkten Rückschluß auf das Festigkeitsverhalten der Verbindung.

In Bild 7 sind die Zeitstandwerte für die Prüfung der Heizwendelschweißverbindungen bei 2 N/mm²/95 °C und 3 N/mm²/80 °C aufgetragen über den Ergebnissen aus dem FNCT am Fittingmaterial.

Sind die Standzeiten von gekerbten Proben des Fittings bekannt, kann dadurch die zu erwartende Festigkeit der Verbindung abgeschätzt werden.

Die Standzeiten der Fittings aus Material C (PE 100) liegen erheblich über denen der Fittings aus Material B (PE 100) und Material A (PE 80). Der Grund hierfür liegt in der hervorragenden Kerbunempfindlichkeit des Werkstoffs C.

Die begrenzte Anzahl der Prüfungen zeigt eine auffällige Abhängigkeit zwi-

sehen Zeitstand-Zugversuch an der Schweißverbindung und FNCT am Schweißfitting. Um diese Ergebnisse weiter zu manifestieren ist eine Ausweitung des Untersuchungsrahmens notwendig.

Unabhängig von den herausragenden Zeitstandwerten für den Rohstoff C ist für alle getesteten Fittingwerkstoffe – auch unter den heutigen erhöhten Anforderungen im Gas- und Wasserbereich – die sichere und dauerhafte Funktion der Fria-len-Heizwendelschweißfittings in Verbindung mit den gängigen PE-Rohrwerkstoffen gewährleistet.

Literatur

- [1] DVGW-Forschungsmaßnahme „Schweiß-eignung und Kerbunempfindlichkeit von Rohren aus vernetztem Polyethylen (PE-Xa)“
- [2] DIN 16963, Entwurf 5/94: Rohrverbindungen und Rohrleitungsteile für Druckrohrleitungen aus Polyethylen hoher Dichte (PE-HD), Teil 5: Allgemeine Qualitätsanforderungen, Prüfungen

- [3] DVGW-Vorläufige Prüfgrundlage VP607, 1/94: Formteile aus PE-HD für Gas- und Trinkwasserleitungen
- [4] Deutscher Verband für Schweißtechnik e.V.: Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen – Zeitstand-Zugversuch. Deutscher Verlag für Schweißtechnik DVS-Verlag GmbH, Düsseldorf
- [5] Hessel, J.; Mauer E.: Zeitstandprüfungen in wäßriger Netzmittellösung, Zeitschrift Materialprüfung 36 (1994) 6. Seite 240 bis 243.
- [6] Hessel, J.: Zeitstand-Zugversuche an Heizwendel-Schweißverbindungen senkrecht zur Heizwendel- bzw. Fügeebene, (Bericht R98 04 147)
- [7] Fleissner, M: Langsameres Wachstum und Zeitstandfestigkeit von Rohren aus Polyethylen, Kunststoffe 77 (1997) 1, Seite 45 bis 50.
- [8] Hessel, J.: Zeitstand-Zugversuche an Heizwendel-Schweißverbindungen senkrecht zur Heizwendel- bzw. Fügeebene zwischen vernetzten Rohren aus Polyethylen und unernetzten Heizwendelfittings aus Polyethylen, (Bericht R98 01 238)