

Neues Konzept zur Lebensdauerbestimmung an Kunststoff-Mantelrohr-Schweißverbindungen aus Polyethylen

A new concept for prediction of the service-life of polyethylene casing tube welds

J. Hessel, E. Mauer, A. Schleyer und V. Schröder-Wrede

Zusammenfassung

Im Rahmen eines BMFT-geförderten Forschungsvorhabens wurden umfangreiche Versuche an Kunststoffmantelrohr-Schweißverbindungen durchgeführt. Als Resultat der Untersuchungen entstand eine wissenschaftlich abgesicherte Methode zur Bestimmung der Lebensdauer von KMR-Schweißmuffen.

Im folgenden Beitrag werden einige grundlegende Erkenntnisse geschildert, die in mehrjährigen systematischen Versuchsreihen in Wasser und in 2%iger wäßriger Netzmittellösung bei Prüftemperaturen von 50, 60, 80 und 95 °C sowie Prüfspannungen von 4, 3 und 2 N/mm² gewonnen wurden. Da der Zeitstandzug-Schweißfaktor zwar die Beurteilung der Fügestoßgüte im Verhältnis zur Güte des Grundmaterials erlaubt, jedoch keine quantitative Aussage über die tatsächliche Lebensdauer der Schweißverbindung liefert, wird hier ein neuer praxisnaher Vorschlag für die Auswertung von Zeitstand-Zugversuchen an KMR-Schweißmuffen im Hinblick auf ihre zu erwartende Mindestlebensdauer gemacht.

Der Aufwand zur Bestimmung der Lebensdauer hängt vom Qualitätsniveau der zu untersuchenden Schweißmuffe ab. Bei Schweißverbindungen mit hoher Zeitstandfestigkeit reicht die zeitraffende Prüfung in wäßriger Netzmittellösung zur Verifizierung der Mindestlebensdauer aus. Schweißverbindungen mit geringer Zeitstandfestigkeit erfordern dagegen die zeitlich aufwendigere Prüfung in Wasser.

Summary

Comprehensive studies on plastic casing tube welds were performed within the scope of a research project supported by the Federal Ministry for Research and Technology (BMFT). The result of the tests was a scientifically substantiated method for prediction of the service-life of plastic casing tube welded sockets.

The following article discusses certain basic discoveries obtained in tests systematically conducted over periods of several years in water and 2 % aqueous wetting agent solutions at test temperatures of 50, 60, 80 and 95 °C and test stresses of 4, 3 and 2 N/mm². A new, practice-oriented proposal for the evaluation of tensile creep rupture tests on plastic casing tube welded sockets in terms of their minimum service-life expectation is presented here, since the tensile weld creep rupture factor permits assessment of joint quality relative to parent material quality but supplies no information regarding the actual service-life of the weld.

The input necessary for determination of service-life depends on the quality level of the welded socket under investigation. In the case of high creep resistance welds, accelerated testing in aqueous wetting agent solutions suffices for verification of minimum service-life. Welds with a low creep resistance, on the other hand, necessitate more time-consuming testing in water.

Dr.-Ing. Joachim Hessel

* 17. Juli 1952 in Geisenheim

Geschäftsführer der HESSEL Ingenieurtechnik GmbH, Aachen; Tel. (024 08) 92 80 31. – Aufgabenbereich Prüfung, Berechnung, Beratung, gutachterliche Stellungnahmen im Rohrleitungs-, Apparat- und Anlagenbau. – Vorsitz in CEN/TC 249/SC 5 „Welding of thermoplastic materials“, CEN/TC 266/WG 2 „Welded static thermoplastic tanks“, DVS AGW 4 „Kunststoffe, Schweißen und Kleben“.



Eberhard Mauer

* 30. August 1937 in Frankfurt am Main

Mitarbeit in DVS AGW 4.4 „Messen und Prüfen“.



Dr.-Ing. Andreas Schleyer

* 14. Oktober 1954 in Wiesbaden

Prokurist der GEF Ingenieurgesellschaft für Energietechnik und Fernwärme mbH, Leimen; Tel. (0 62 24) 97 13-0. – Aufgabenbereich Planung von Fernwärmeanlagen, Kunststoffmantelrohr-Technik, statische Berechnung, Forschung.



Dipl.-Ing. Volker Schröder-Wrede

* 12. April 1949 in Nienburg/Weser

Prokurist der GEW-Werke Köln AG; Tel. (0221) 178-3630. – Aufgabenbereich Leitung der Hauptabteilung Gas-, Wasser- und Fernwärmerohrnetze. – Mitarbeit im DVGW-Fachausschuß Planung und Bau von Wasserrohrnetzen, in CEN TC 164/WG 1, im DIN-Normenausschuß Wasserwesen und als Delegierter der AGFW in CEN TC 107/WG 3.



Einführung

Ein Ziel des Forschungsvorhabens A4 „Neue Prüftechniken und Systemkomponenten beim Kunststoff-Mantelrohr“ der Gas-, Elektrizitäts- und Wasserwerke Köln (GEW) war die Verbesserung der Muffenschweißungen. Beim Verlegen von Kunststoff-Mantelrohren (KMR) gelten neben den Dehnpol-

stern vor allem die Verbindungsmuffen als Schwachstellen des Systems. Die in den vergangenen Jahren üblicherweise eingesetzten Schrumpfmanschetten haben sich zwar für Standardsituationen bewährt, sie sind jedoch als äußerst temperaturempfindlich anzusehen und erscheinen für weitergehende Belastung ungeeignet.

Mehrere namhafte europäische KMR-Hersteller arbeiten daher seit Ende der 80er Jahre verstärkt an der Entwicklung von Schweißmuffen mit dem Ziel, eine möglichst homogene, feste und zuverlässige Verbindung zwischen Mantelrohr und Muffe zu erreichen. Den Versorgungsunternehmen wird heute eine Vielzahl unterschiedlicher Schweißmuffentechniken angeboten, die sich durch zahlreiche, zunehmend automatisierte Verfahrensvarianten voneinander unterscheiden.

Infolge der neuen Entwicklung stand die Diskussion über die Qualitätsanforderungen an Schweißmuffen vor etwa 5 Jahren noch am Anfang. Ziel des GEW-Teilvorhabens war deshalb die Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Bestimmung der Lebensdauer von Schweißverbindungen unter thermomechanischer Belastung.

Beanspruchung von KMR-Schweißmuffen

Zur Ermittlung realistischer Eingangsparameter für die durchgeführten Zeitstanduntersuchungen an Mantelrohr-Schweißverbindungen wurde von der als Projektingenieur beauftragten Ingenieurgesellschaft die Beanspruchung von KMR-Schweißmuffen erstmals umfassend untersucht und in einer theoretischen Studie dargestellt [2].

Die Beanspruchung geschweißter Muffenverbindungen hängt von der Muffenform und dem jeweiligen Belastungskollektiv ab. Mögliche Belastungen sind

- Erd- und Verkehrslasten,
- äußerer Wasserdruck,
- Innendruck des PUR-Schaums,
- Reaktionskräfte infolge Verschiebung,
- behinderte Wärmedehnung sowie
- thermische Belastung.

Der Einfluß der radialen und axialen Belastungen sowie der temperaturbedingten Festigkeitsabnahme des Werkstoffs wurden systematisch im Rahmen realistischer Grenzwerte und Korrelationen untersucht. Auf Basis anerkannter Berechnungsmethoden sowie bodenmechanischer und kunststoffseitiger Kenngrößen wurde der Einfluß des Bettungsmaterials, der Überdeckungshöhe, der Verkehrslast, der Nennweite, des Stirnwiderstandes und des Dehnpolsters auf die Beanspruchung von KMR-Schweißmuffen ermittelt. Die Spannungen in axialer Richtung werden durch Mantelreibung, Stirnwiderstand und behinderte Wärmedehnung hervorgerufen. Aus früheren Versuchen ist bekannt, daß auch der Schaumdruck einen Einfluß auf die Höhe der Gesamtbeanspruchung hat.

Demnach sind bei den üblichen KMR-Anwendungen in der Muffenwand Axialspannungen von ungefähr 2 N/mm^2 zu erwarten.

Versuche

An fünf marktgängigen Schweißmuffen wurden umfangreiche Versuche durchgeführt. Die Verfahren zum Schweißen der Muffenkonstruktionen lassen sich unterscheiden nach Warmgas-Extrusions-Schweißungen und Heizwendel-Schweißungen.

Folgende Systeme wurden hinsichtlich ihrer Zeitstandfestigkeit untersucht:

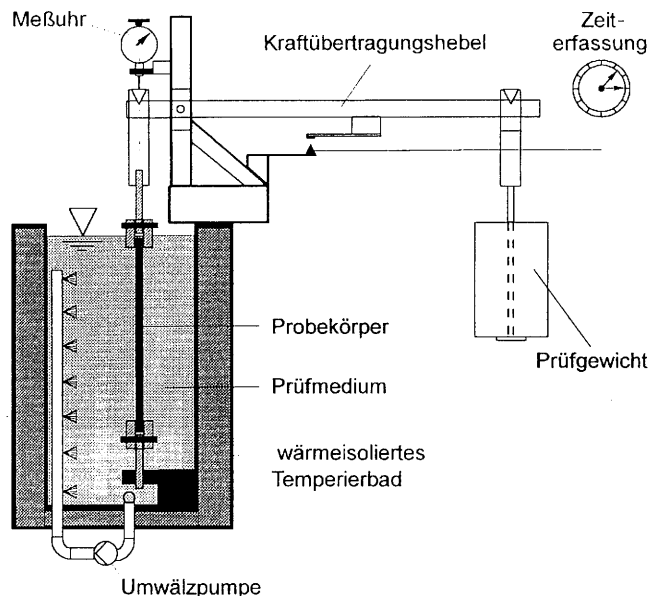


Bild 1: Prüfeinrichtung für Zeitstand-Zugversuche

Fig. 1: Test apparatus for tensile creep rupture tests

System 1	Extrusionsschweißung V-Naht
System 2	Heizwendelschweißmuffe A
System 3	Heizwendelschweißmuffe B
System 4	Heizwendelschweißmuffe C
System 5	Extrusionsschweißung Kehlnaht

Versuchseinrichtung

Zur Durchführung von Zeitstandzugversuchen bei erhöhter Temperatur und gleichzeitiger Einwirkung von wäßriger Netzmittellösung wird die in Bild 1 dargestellte Prüfeinrichtung verwendet. Sie besteht aus einem verwindungssteifen Rahmen, einem thermisch isolierten Becken zur Aufnahme des Prüfmediums sowie dem Mechanismus zur Belastung der Proben. Die intensive Durchmischung der wässrigen Netzmittellösung wird durch Umpumpen (Absaugen am Beckenboden und Zugabe über vertikal angeordnete gelochte Rohre) erreicht. Die Belastungshebel sind reibungsarm gelagert. Nach Berechnung der erforderlichen Prüfkraft fixiert man anstelle der später einzubauenden Proben eine Kraftmeßdose zwischen den Einspannklemmen und stellt die Prüflast durch Auflegen von Gewichten und Verschieben auf dem Lastübertragungshebel ein. Nach dem Einbau werden die Proben je nach Probendicke ein bis zwei Stunden ohne mechanische Belastung zum Temperaturangleich im Prüfmedium belassen. Vom Zeitpunkt der mechanischen Belastung der Probe ab zählt die Prüfzeit.

Prüfmedien

Als Prüfmedium wurde sowohl Wasser als auch eine 2%ige wässrige Lösung aus einem nichtionischen Tensid¹⁾ und entsalztem Wasser verwendet. Diese Netzmittellösung verkürzt die Standzeiten von ungeschweißten Polyethylenzugproben – bei einer Prüfspannung von 4 N/mm^2 und einer Prüftemperatur von 80 °C – um einen Faktor f_1 von 20 bis 30 (Standzeit in Wasser/Standzeit in 2%iger wäßriger Netzmittellösung). Aus früheren Untersuchungen ist bekannt, daß die Zeitstandkurven von Polyethylen bei der Einwirkung von wäßriger Netzmittellösung einerseits und Wasser anderer-

1) Arkopal N 100®

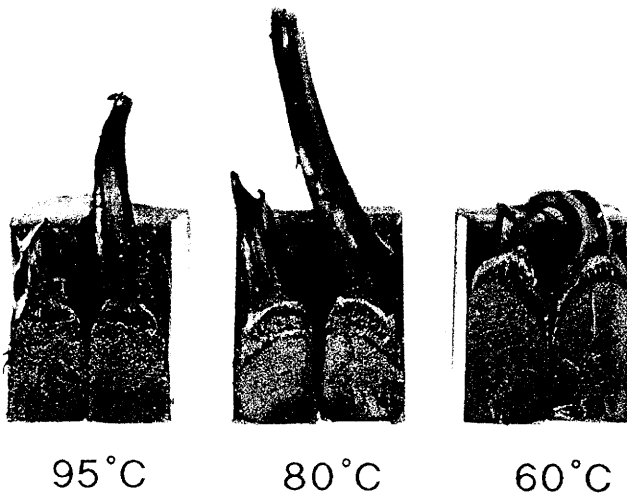


Bild 2: Bruchspiegel von Zeitstand-Zugproben aus Polyethylen bei einer Prüfspannung von 4 N/mm^2 in 2%iger wäßriger Netzmittellösung

Fig. 2: Fracture pattern of polyethylene tensile creep resistance test specimens at a test stress of 4 N/mm^2 in a 2 % aqueous solution of wetting agent

seits im doppeltlogarithmischen Maßstab parallel verlaufen [3]. Dies bedeutet, daß die Spannungsabhängigkeit der Festigkeit in beiden Medien gleich ist.

Prüftemperatur und Prüfspannung

Die bei der Zeitstandzugprüfung von Polyethylen gewählten Werte von Prüftemperatur und Prüfspannung dürfen nur so hoch sein, daß die Probe nicht verstreckt, sondern weitgehend verformungslose Sprödbüche auftreten. Nach Richtlinie DVS 2203 Teil 4 (Ausgabe 1995) ist ein Mindestanteil

der Sprödbbruchfläche von 30% festgelegt. Die im Rahmen dieser Untersuchungen gewählten Prüfspannungen führten zu Bruchflächen, die diese Bedingung erfüllten (Bild 2).

Probekörperherstellung

Die Ausarbeitung der Probekörper für die Zeitstandzugprüfung kann einen erheblichen Einfluß auf die Standzeiten haben. Nach [4] führen alle Ausarbeitungsverfahren, die Riefen (Kerben) senkrecht zur Probenlängsachse erzeugen oder die Schnittflächen thermisch schädigen, zu kürzeren Standzeiten. Demzufolge wurden die Probekörper aus den Schweißmustern im Rahmen dieser Untersuchungen auf einer Kreissäge mit einem Doppelsägeblatt ausgearbeitet.

Probenform

Bei den untersuchten Muffenschweißverbindungen handelt es sich mit Ausnahme des Systems 1 um Überschiebmuffen, das heißt der mittlere Durchmesser des Rohres ist kleiner als derjenige der Muffe. Beim Zeitstand-Zugversuch an ausgearbeiteten Streifenproben sind deshalb die Wirkungslinien der eingeleiteten Kräfte versetzt, so daß zusätzliche Biegespannungen im Bereich des Querschnittsüberganges entstehen. Um diesen Einfluß auf die Größe der Standzeiten zu untersuchen, wurden an drei Systemen Vergleichsversuche mit symmetrisch gespannten „Doppelproben“ durchgeführt (Bild 3).

Eine weitere Versuchsreihe galt der Frage, ob zwischen den Prüfungen an aus den Rohr-Muffen-Verbindungen herausgesägten Streifenproben und der Prüfung von kompletten Rohr-Muffen-Verbindungen (Bild 4) unter konstanter Zugbelastung ein signifikanter Unterschied besteht. Die bisher vorliegenden Versuchsergebnisse zeigen, daß die herausgesägten Proben keine kürzeren Standzeiten aufweisen als die komplette Rohr-Muffen-Verbindung.

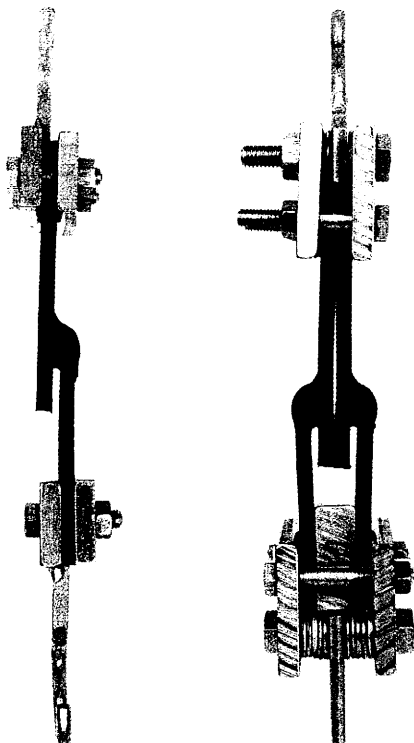
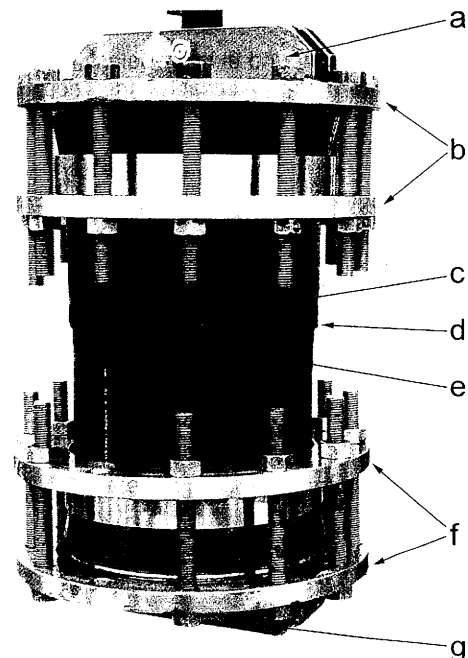


Bild 3: Einfach- und Doppelprobe für Zeitstand-Zugversuche

Fig. 3: Single and twin specimens for tensile creep rupture tests



a) obere Einhängung, b) obere Einspannung, c) Muffe, d) Schweißnaht, e) Kunststoff-Mantelrohr, f) untere Einspannung, g) untere Einhängung

Bild 4: Probe zur Prüfung der Gesamtmuffe im Zeitstand-Zugversuch

Fig. 4: Specimen for tensile creep resistance testing of a complete socket

Tafel 1: Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse
Table 1: Summary of results

System		Prüf­temperatur in °C	Prüf­spannung in N/mm ²	Geometrischer Mittelwert		Charakteristische Kenngrößen
				Standzeit in Stunden (Netzmittelsg.)	Standzeit in Stunden (Wasser)	
1	Schweißung	95	4	23,3 / 228 ¹⁾	86,8 / 3661 ¹⁾	Schweißfaktor bei 95 °C/4 N/mm ² 0,61 / 0,66 ¹⁾
			3	35,4 / 1458 ¹⁾		
			2	294 / 5647 ¹⁾		
		80	4	85,8	systemspezifische Streuung 0,5083 / 0,27 ¹⁾	
			3	217		
			60	–		
	Grundmaterial	50	3	13937		
		95	4	117,5 / 3500 ¹⁾		
2	Schweißung	95	3,4 ²⁾ bzw. 4	13,7	102	Schweißfaktor nicht auswertbar (s. DVS 2203 Teil 4 Ausgabe 1995)
			2,5 ²⁾ bzw. 3	17		
			1,7 ²⁾ bzw. 2	61,2		
		80	2,5 ²⁾ bzw. 3	54,5	systemspezifische Streuung 0,10315	
			60	2,5 ²⁾ bzw. 3		414,3
			50	2,5 ²⁾ bzw. 3		1457
	Grundmaterial	95	4	7,9	489	
		80	4	184,8		
3	Schweißung	95	4	14,9	152	Schweißfaktor bei 95 °C/4 N/mm ² 0,53
			3	22,6		
			2	51,8		
		80	3	63,1	systemspezifische Streuung 0,06664	
			60	3		367,4
			50	–		–
	Grundmaterial	95	4	45,6		
		80	4	2218		
4	Schweißung	95	4	11,5	114	Schweißfaktor bei 95 °C/4 N/mm ² 0,57
			3	34,5		
			2	55,9		
		80	3	67,6	systemspezifische Streuung 0,06904	
			60	3		313,5
			50	–		–
	Grundmaterial	95	4	48,1	1015	
		80	4	5067		
5	Schweißung	95	4	15,2	111	Schweißfaktor bei 95 °C/4 N/mm ² 0,03
			3	17,2		
			2	18,2		
		80	3	43,6	systemspezifische Streuung 0,1253	
			60	3		143,5
			50	3		405,2
	Grundmaterial	95	4	37,5		
		80	4	2024		

1) nach Optimierung

2) bezogen auf den Querschnitt des Rohres

Tafel 2: Zeitstandfestigkeit von Mantelrohren aus Polyethylen in 2%iger Netzmittellösung bei 4 N/mm²

Table 2: Creep resistance of polyethylene casing tube in 2 % wetting agent solution at 4 N/mm²

Bezeichnung	Geometrischer Mittelwert in Stunden	
	95 °C	80 °C
System 1	118	3992
System 2	8	185
System 3	45	2218
System 4	48	5067
System 5	37	2024

Durchgeführte Untersuchungen und Versuchsergebnisse

Die beanspruchungs- und werkstoffgerechte Lebensdauerbestimmung basiert auf der statistischen Auswertung von Zeitstand-Zugversuchen entsprechend DVS-Richtlinie 2203 Teil 4 [1] bei 50, 60, 80 und 95 °C und bekannter Größenordnung der Temperatur- und Spannungsbeanspruchung der Schweißmuffe. Aufgrund umfangreicher ingenieurmäßiger Untersuchungen wird für übliche Verhältnisse eine mechanische Belastung der Schweißverbindung von 2 N/mm² als Zugspannung angenommen. Aus den typischen Temperaturkollektiven deutscher Fernwärmenetze wurden nach der „Minerschen Regel“ mittlere Mantelrohrtemperaturen von 45 °C (im Dehnpolster) und 21 °C (außerhalb des Dehnpolsters) ermittelt.

Für die Zeitstand-Zugversuche an KMR-Schweißmuffen sind einfache Streifenproben gemäß DVS 2203 Teil 2, Form 1 ausreichend. Die durch diese Probenform bei Überschiebmuffen auftretenden Biegespannungen beeinflussen die Ergebnisse nicht negativ. Vergleichsmessungen von Einzel- und Doppelproben zeigen keinen wesentlichen Unterschied in den Standzeiten. Zugversuche an Gesamtmuffen

zeigen keine längeren Standzeiten als Zugversuche an entsprechenden Streifenproben.

Ein Gesamtüberblick über die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Versuche und deren Ergebnisse ist in Tafel 1 dargestellt.

Zur Bestimmung der Schweißnahtqualität wurde der Zeitstand-Zugschweißfaktor nach Richtlinie DVS 2203 Teil 4 ermittelt. Er wird auch als Langzeit-Schweißfaktor oder in [5] als Langzeit-Fügefaktor bezeichnet und ist eine Berechnungsgröße, die seit nunmehr 30 Jahren im Kunststoffapparate-, -behälter und -rohrleitungsbau angewandt wird.

Die Versuche werden in Anlehnung an DIN 53 444 durchgeführt. Je Prüfspannung werden jeweils sechs geschweißte bzw. sechs ungeschweißte Probekörper bei konstanter Temperatur, gleichbleibender ruhender Zugkraft geprüft. Aus den Standzeiten der einzelnen Proben wird der geometrische Mittelwert und hieraus die Zeitstandkurven für die Schweißverbindung und das Grundmaterial berechnet. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden die Zeitstand-Zugschweißfaktoren bei 95 °C in einer wässrigen Lösung aus entsalztem Wasser und 2 % Arkopal N 100 gemessen und auf eine Spannung des Grundmaterials von 4 N/mm² bezogen. Die Gültigkeit der Messungen bei einer Prüftemperatur von 95 °C und die Möglichkeit auf das Verhalten bei niedrigeren Temperaturen zu schließen ist in [4] nachgewiesen und wird durch die Ergebnisse der Zeitstand-Zugprüfungen an Rohr-Muffen-Verbindungen von KMR-Systemen bestätigt.

Die Versuchstemperaturen zur Lebensdauerbestimmung betragen 95, 80, 60 und 50 °C, die Prüfspannung in allen Fällen 3 N/mm². Mit Hilfe der Regressionsrechnung wurden die Arrhenius-Geraden [6] ermittelt und somit eine objektive Möglichkeit zur Extrapolation geschaffen. Bei allen Systemen kann mit hinreichender Genauigkeit von einem linearen Verlauf der Standzeiten als Funktion der Prüftemperatur im Arrhenius-Diagramm ausgegangen werden, das heißt die Aktivierungsenergie zum Erzeugen eines Sprödbruchs ist innerhalb des betrachteten Temperaturbereichs konstant.

Die Versuche in Wasser zur Bestimmung der Lebensdauer wurden bei 95 und 80 °C durchgeführt.

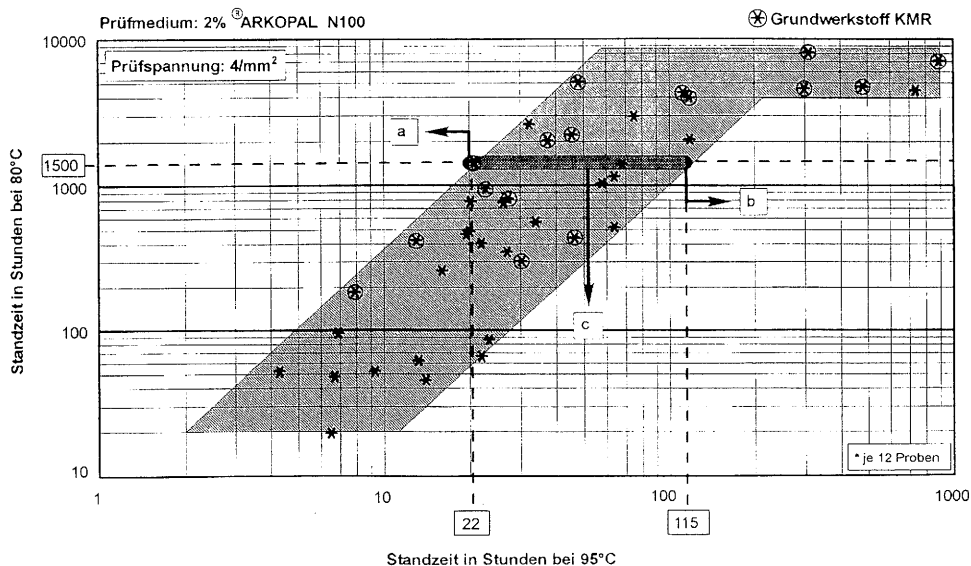


Bild 5: Gegenüberstellung der Standzeiten von Zugproben aus Polyethylen bei 95 und 80 °C

Fig. 5: Comparative assessment of the service-lives of unwelded polyethylene tensile specimens at 95 and 80 °C

Qualität von Grundmaterialien

Die Zeitstandfestigkeit der Grundmaterialien wurde an Schalterproben nach DIN 53 455 in 2%iger wäßriger Netzmittellösung bei 95 und zum Teil bei 80 °C sowie einer Prüfspannung von 4 N/mm² bestimmt. Die dabei aus den jeweils gemessenen Einzelwerten berechneten geometrischen Mittelwerte zeigt Tafel 2. Die Anforderungen nach Richtlinie DVS 2207 Teil 5 [7] von 1500 Stunden bei 80 °C und 4 N/mm² werden von vier der fünf untersuchten Grundmaterialien erfüllt.

Die bei 80 und 95 °C ermittelten Zeitstandfestigkeiten an KMR-Grundmaterialien sind zusammen mit Ergebnissen aus anderen Untersuchungen in Bild 5 dargestellt und durch einen Kreis gekennzeichnet. Jedem eingezeichneten Punkt liegen je sechs Meßwerte bei 95 °C und je sechs Meßwerte bei 80 °C zugrunde. Das sich ergebende Streuband aus allen bisher vorliegenden Messungen läßt hinsichtlich der von DVS bzw. AGFW gestellten Anforderungen bezüglich des Zeitstandverhaltens von Grundmaterialien folgende Interpretation zu:

- a) Wird aus den Prüfungen bei 95 °C ein geometrischer Mittelwert von weniger als 22 Stunden berechnet, so werden die 1500 Stunden bei 80 °C mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht erreicht.
- b) Wird aus den Prüfungen bei 95 °C ein geometrischer Mittelwert von mehr als 115 Stunden berechnet, so werden die 1500 Stunden bei 80 °C mit hoher Wahrscheinlichkeit erreicht.
- c) Wird aus den Prüfungen bei 95 °C ein geometrischer Mittelwert zwischen 22 und 115 Stunden berechnet, so ist zur Überprüfung der Anforderung eine Messung bei 80 °C erforderlich.

Lebensdauerbestimmung von Schweißverbindungen

Zur Bestimmung der Mindestlebensdauer von Schweißverbindungen muß das Zeitstandverhalten in Abhängigkeit von

- Temperatur,
- Spannung und
- Umgebungsmedium

bekannt sein. Zusätzlich ist zur statistischen Absicherung die Streuung der Meßwerte zu berücksichtigen. Um die Neigung der Arrhenius-Geraden hinreichend genau bestimmen zu können, ist erfahrungsgemäß die Messung der Standzeiten bei 95, 80 und 60 °C erforderlich.

Da die in nationalen und internationalen Normen festgelegten Zeitstandprüfungen an Polyethylen mit dem Referenzmedium Wasser durchgeführt werden, wäre es naheliegend, auch die Lebensdauer von Schweißverbindungen mit Wasser als Umgebungsmedium zu ermitteln. Unter den oben genannten Voraussetzungen (zum Beispiel Prüftemperatur 60 °C) ist dabei mit relativ langen Prüfzeiten zu rechnen. Für die in dieser Arbeit untersuchten Systeme würden sich bei einer Prüfspannung von 2 N/mm² Prüfzeiten zwischen 2,8 und 5 Jahren ergeben.

Um kürzere Prüfzeiten zu erreichen, wird im folgenden ein neues Konzept vorgestellt, das auf der zeitraffenden Prüfung bei höheren Temperaturen und der Verwendung einer wäßrigen Netzmittellösung basiert. Durch einen Vergleichsversuch unter Wassereinwirkung kann eine „auf der sicheren Seite liegende“ Mindestlebensdauer bestimmt werden. Das Vorgehen wird in den Bildern 6, 7 und 8 am Beispiel einer KMR-Schweißverbindung erläutert.

Um die Temperaturabhängigkeit des Festigkeitsverhaltens zu charakterisieren, wurden die Standzeiten hier bei 95, 80 und 50 °C und der Prüfspannung von 3 N/mm² ermittelt (Bild 6). Zur Bestimmung des Spannungsflusses wurden die Zeitstandzugversuche bei 4, 3 und 2 N/mm² durchgeführt. Dabei wurden die Anforderungen hinsichtlich des Sprödbrechverhaltens, wie sie in der neuesten Fassung der Richtlinie DVS 2203 Teil 4 beschrieben sind, erfüllt. Die Standzeiten bei verschiedenen Prüfspannungen liegen bei doppeltlogarithmischer Darstellung auf einer Geraden, so daß man nach Messungen bei 4, 3 und 2 N/mm² auch die Standzeit bei 1 N/mm² berechnen kann.

Die Messungen zum Temperatur- und Spannungseinfluß wurden in Netzmittellösung durchgeführt. Da die KMR-Systeme mit Wasser in Berührung kommen, ist es notwendig

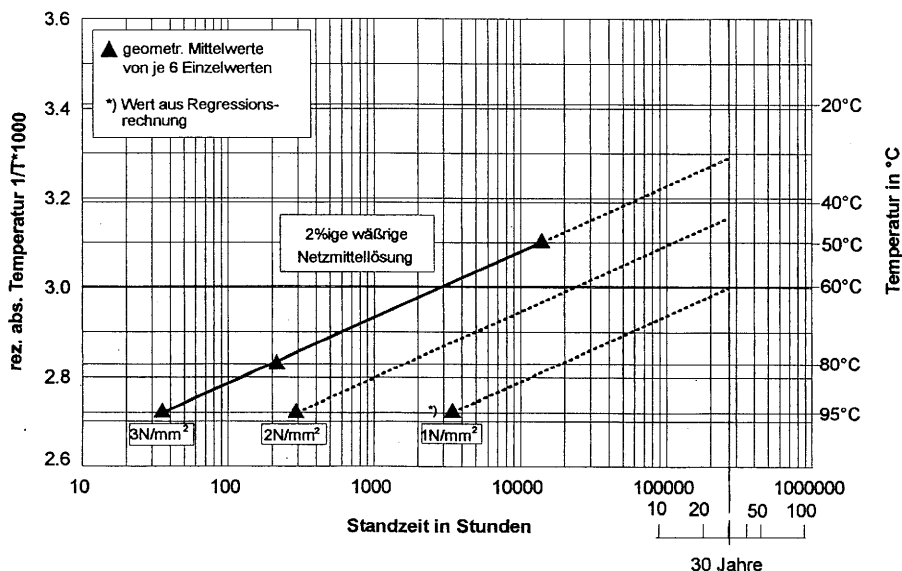


Bild 6: Zeitstand-Zugversuche an einer KMR-Muffenschweißung aus PE-HD in Netzmittellösung

Fig. 6: Tensile creep rupture tests on a HD-PE casing tube socket weld in wetting agent solution

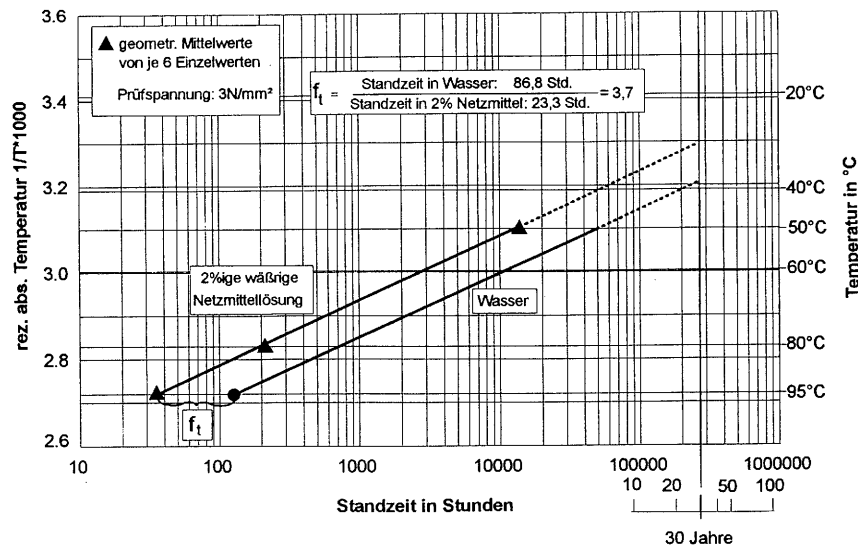


Bild 7: Zeitstand-Zugversuche an einer KMR-Muffenschweißverbindung in Netzmittellösung und Wasser
 Fig. 7: Tensile creep rupture tests on a casing tube socket weld in wetting agent solution and water

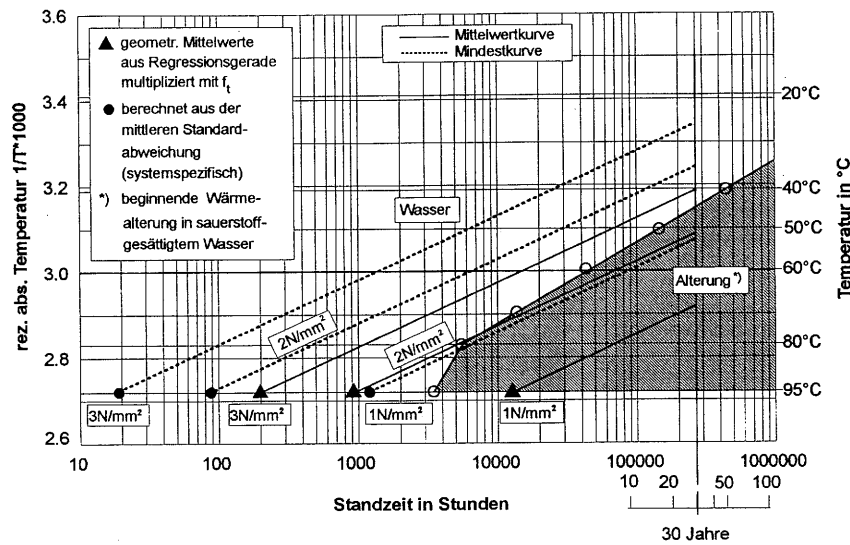


Bild 8: Mindestlebensdauerbestimmung einer KMR-Muffenschweißverbindung
 Fig. 8: Determination of minimum service-life for a plastic casing tube socket weld

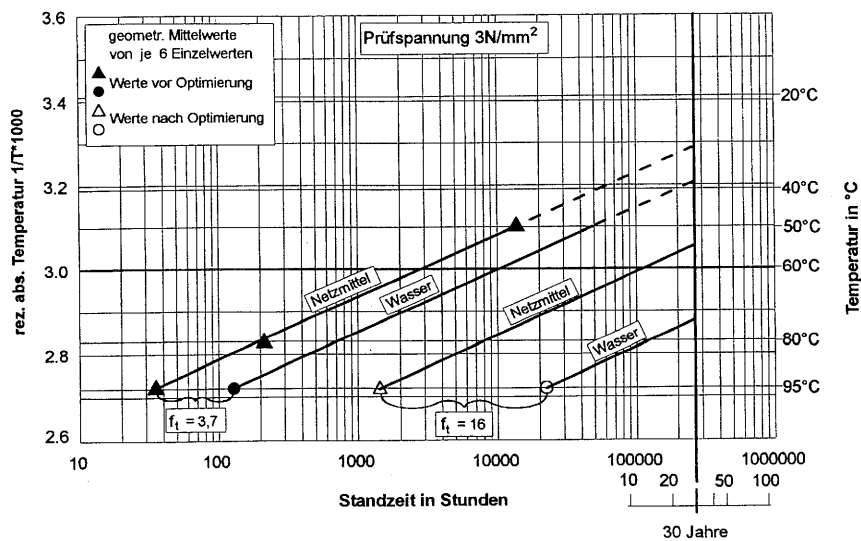


Bild 9: Optimierung einer KMR-Muffenschweißverbindung aus Polyethylen
 Fig. 9: Optimization of the service-life of a polyethylene casing tube socket weld

Vogelsang Korrosionsschutz-Pipeline

Vogelsang Kabelschutz-Rohre

Vogelsang Druckrohre Gas Wasser

Dipl.-Ing. Dr. E. Vogelsang
 GmbH & Co. KG
 KUNSTSTOFF- UND KORROSIONSSCHUTZWERK
 Industriestraße 2 · 45699 HERTEN
 Postfach 2162 · 45678 HERTEN
 Ruf 02366/8006-0 · Fax 02366/800688

DVGW

RAL GÜTEZEICHEN
KUNSTSTOFFROHRE

TÜV CERT
 DIN ISO 9001

die zeitraffende Wirkung der Prüfung in Netzmittel gegenüber der Prüfung in Wasser zu quantifizieren. Deshalb wurden bei einer Prüfspannung (4 N/mm^2) und der höchsten Prüftemperatur ($95 \text{ }^\circ\text{C}$) der Faktor zwischen den Standzeiten in Wasser und Netzmittel gemessen (Bild 7). Aus allen im Rahmen dieser Untersuchung ermittelten f_t -Faktoren kann die Tendenz abgeleitet werden, daß das Verhältnis der Standzeiten in Wasser zu den Standzeiten in Netzmittellösung umso größer ist, je geringer die Spannungsüberhöhung durch die Kerbe im Bereich der Schweißung ist.

Die Aussagen zur Mindestlebensdauer wurde für jedes der geprüften Systeme auf der Basis einer systemspezifischen Streuung statistisch abgesichert. Für ein System ist dies exemplarisch in Bild 8 wiedergegeben.

Bei dem beschriebenen Vorgehen zur Ermittlung der Mindestlebensdauer wurden folgende Annahmen getroffen:

1. konstante Aktivierungsenergie zur Erzeugung eines Sprödbruchs im Temperaturbereich zwischen 95 und $20 \text{ }^\circ\text{C}$;
2. gleiche Aktivierungsenergie in Netzmittellösung bzw. Wasser;
3. gleiche Spannungsabhängigkeit des Festigkeitsverhaltens in Netzmittellösung bzw. Wasser.

Die unter 1. genannte Annahme wird in [4] bestätigt. Die zweite Annahme ist nach neuesten Erfahrungen konservativ. Dies bedeutet, daß die damit ermittelte Mindestlebensdauer „auf der sicheren Seite liegt.“ Die Gültigkeit der dritten Annahme wird durch die in [3] durchgeführten Messungen bestätigt.

Die im oben genannten Beispiel dargestellten Ergebnisse sind durch eine sehr große Streuung der Meßwerte gekenn-

zeichnet. Daraufhin wurde am gleichen System unter Verwendung eines besseren Grundmaterials das Schweißverfahren optimiert. Die systemspezifische Streuung konnte von $0,5$ (Streufaktor $3,2$) auf $0,27$ (Streufaktor $1,86$) reduziert werden. Daneben wurde die Standzeit der Schweißverbindung um den Faktor 41 erhöht (Bild 9). Dies zeigt, daß durch gezielte verfahrenstechnische Maßnahmen und unter Anwendung dieses neuen Konzepts zur Lebensdauerbestimmung von Schweißverbindungen an Kunststoffmantelrohren die gewünschte Mindestlebensdauer von 30 Jahren mit Sicherheit erreicht werden kann.

Schrifttum

- [1] Richtlinie DVS 2203 Teil 4 „Prüfen von Schweißverbindungen aus thermoplastischen Kunststoffen – Zeitstand-Zugversuch –“ (Ausgabe 1995)
- [2] N.N.: Beanspruchung von KMR-Schweißmuffen. Untersuchungsbericht der Ingenieurgesellschaft für Energietechnik und Fernwärme mbH, Leimen (1989)
- [3] Hessel, J., Hausdörfer, D., Kempe, B.: Zum Einfluß von oxidierenden, oberflächenaktiven und quellenden Medien auf Schweißverbindungen aus PE-HD. IIW-Doc. XVI-453-84 (1984)
- [4] Hessel, J., Mauer, E.: Zeitstandzugprüfung in wäßriger Netzmittellösung. Materialprüfung 36 (1994) 6, S.240/243
- [5] Bollen, H.J.L.S.: Der Langzeitschweißfaktor. Vortrag auf der Plenarsitzung der DVS-AG 22 (1963)
- [6] Arrhenius, S.: Über die Reaktionsgeschwindigkeit bei der Inversion von Rohrzucker durch Säuren. Zeitschrift f. physikalische Chemie 4 (1889) S. 226/248
- [7] N.N.: Richtlinie DVS 2207 Teil 5 „Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen, Schweißen von PE-Mantelrohren, -Rohre und Rohrleitungsteile“. Deutscher Verlag für Schweißtechnik, Düsseldorf (1993)