

# Langzeitverhalten von Schweißverbindungen an Großrohren aus Polyethylen

Von Dr. Joachim Hessel

**ZUSAMMENFASSUNG:** Die Entwicklung von Großrohren aus Polyethylen und deren Verbindungstechnik durch Stumpfschweißen stellt eine neue Herausforderung an die Prüftechnik dar. Unter Berücksichtigung des typischen Bruchverhaltens von PE-Schweißungen und einer den notwendigen hohen Prüflasten angepassten Prüfvorrichtung sind Zeitstandzugprüfungen bis zu einer Wanddicke von 120 mm mit einer reduzierten Probenanzahl möglich.

## **EINLEITUNG**

In den letzten Jahren haben sich die Durchmesser von Rohren aus Polyethylen ständig vergrößert. Bei den axial extrudierten Rohren hat man bisher Durchmesser von 2400 mm erreicht [1]. Im Wickelverfahren werden in naher Zukunft Rohre bis zu einem Durchmesser von 4200 mm hergestellt [2].

Rohre mit derart großen Durchmessern haben naturgemäß große Wanddicken, die entsprechend dimensionierte Heizelementstumpf–Schweißmaschinen erfordern (**Bild 1**). Neben den notwendigen "low sagging"–Eigenschaften der verwendeten Rohstoffe und der Qualitätsüberwachung des Schweißprozesses werden auch an die Prüftechnik neue Anforderungen gestellt.

**PRÜFUNG DES LANGZEITVERHALTENS** 

Zur Prüfung des Langzeitverhaltens von Schweißverbindungen aus PE-Rohren stehen die Richtlinien des Deutschen Verbandes für Schweißtechnik e.V. (DVS) [3] bzw. Europäische Normen zur Verfügung.

In der Richtlinie DVS 2203-4 bzw. in EN 12814-3 sind die grundlegenden Bedingungen für den Zeitstandzugversuch festgelegt. Im Beiblatt 3 zu DVS 2203-4 ist darüber hinaus ein Verfahren beschrieben, das es erlaubt, die Mindestlebensdauer einer Schweißverbindung prüftechnisch abzusichern.

Die bisher üblichen Prüfeinrichtungen ermöglichen Prüfungen von Heizelementstumpf-Schweißungen bis zu einer Wanddicke von ca. 70 mm (**Bild 2**).

Für den Wanddickenbereich über 70 mm sind weiterentwickelte Prüfeinrichtungen erforderlich, die es ermöglichen, Prüfkräfte bis zu 60.000 N (ca. 6 Tonnen) in die Probe einzuleiten. Die Proben haben dabei eine Länge von 800 mm und eine Breite von 400 mm ("Rohabmaße").

Um bei Rohren aus modernen Rohstoffen (PE 100; PE 100-RC) in vertretbaren Zeiten zu Endergebnissen (Brüchen) zu gelangen, ist eine Beschleunigung des





BILD 1: a) Rohrschweißmaschine Da 1800 mm (Quelle: Fa. FRANK, Mörfelden), b) Großrohrschweißmaschine (Quelle: Fa. WIDOS, Ditzingen) Langzeit-Bruchmechanismus sowohl durch die Prüfung bei höheren Temperaturen, als auch die Verwendung von Netzmitteln zwingend notwendig.

Erste Erfahrungen mit dickwandigen Schweißungen (Wanddicke 100 mm) haben gezeigt, dass die Prüfparameter über einen Zeitraum von ca. einem Jahr konstant gehalten werden müssen, damit bei der üblichen Streuung auch die letzte brechende Probe einer Prüfserie dieselben Prüfbedingungen erfahren hat. Dabei wird die Wirksamkeit des Netzmittels durch Referenzproben kontinuierlich überprüft und damit sichergestellt.

Ein Beispiel für die gleichbleibende Wirksamkeit von Netzmittellösungen über einen Zeitraum von einem Jahr zeigt **Bild 3**.

# BRUCHVERHALTEN VON SCHWEISSVERBINDUNGEN

Die mehr als 25jährige Erfahrung bei der Zeitstandprüfung von Schweißverbindungen zeigt, dass bei fachgerecht ausgeführten Schweißverbindungen (z. B. Heizelementstumpfschweißungen nach Richtlinie DVS 2207–1) der Zeitstandbruch immer von der Kerbe zwischen dem Schweißwulst und der Oberfläche des Halbzeuges ausgeht und sich der Riss dann durch das ungeschweißte Material fortsetzt (**Bild 4**).

Dieses typische Bruchverhalten wurde bisher im Wanddickenbereich von 10 mm bis 70 mm beobachtet. Obwohl der eigentliche Schweißvorgang in der Fügeebene in einer Tiefe von weniger als 0,1 µm stattfindet, ist das Langzeitbruchverhalten – beeinflusst durch den mittragenden Wulst – hier günstiger als das Langzeitbruchverhalten des ungeschweißten Materials unter dem Einfluss der Wulstkerbe.

Demgemäß wird bei Schweißverbindungen nach DVS 2207-1 die Standzeit der Verbindung durch die "Schärfe" der Wulstkerbe einerseits und den Widerstand des Grundmaterials gegenüber langsamem Rissfortschritt ("Kerbempfindlichkeit") andererseits bestimmt [4].

In Untersuchungen von GRIESER wurde die sich beim Heizelementstumpfschweißen bildende Wulstkerbe durch definierte Außenkerben an ungeschweißten Proben (z. B. "spitze Kerbe" oder "Rundkerbe") simuliert. Es ergab sich für PE 80 (HD) ein wirksamer Radius von ca. 0,25 mm im Kerbgrund von [3]. In **Bild 5** sind einige Ergebnisse von Untersuchungen zur Bedeutung der Wulstkerbe bei Heizelementstumpfschweißungen gezeigt. Der Schweißfaktor und der Kerbfaktor sind gleichsinnig definiert. Dabei bedeutet "X" in Bild 5 das Vielfache des Fügedrucks nach DVS 2207-1.

Es hat sich gezeigt, dass sich die Schärfe der Wulstkerbe bei den untersuchten Schweißungen nur in geringem (z. B. durch den Schweißdruck) Umfang beeinflussen lässt. Demzufolge ist die größte Einflussmöglichkeit auf die Standzeit der Schweißverbindung durch den Wider-

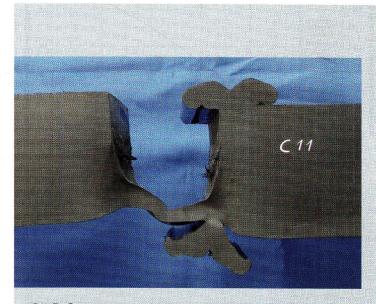


BILD 2: Heizelementstumpfschweißung (s=70 mm) nach dem Zeitstandzugversuch

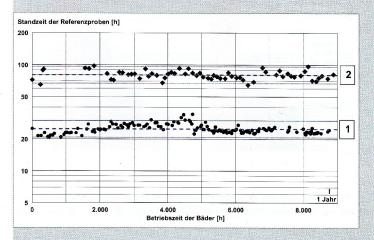


BILD 3: Ergebnisse von Prüfungen an Referenzproben über ein Jahr [3] 1: PE 100, ACT-Verfahren 2: PE 80; FNCT bei 80 °C, 4 N/mm², 2 % Arkopal N-100

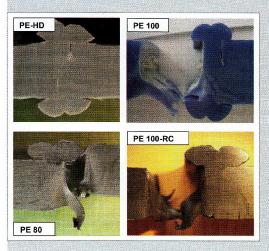


BILD 4: Typisches Bruchverhalten von HS-Schweißungen nach Richtlinie 2207-1

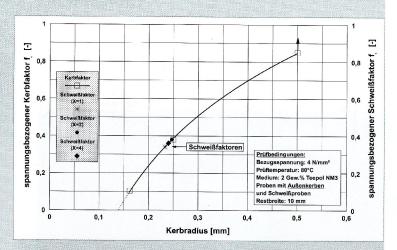
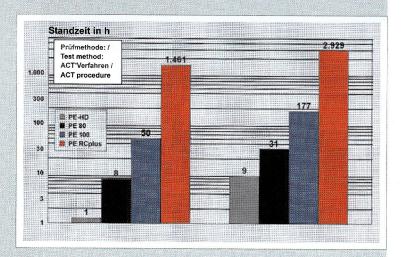


BILD 5: Vergleich des spannungsbezogenen Schweißfaktors und des spannungsbezogenen Kerbfaktors von Proben mit Außenkerben aus der PE 80-Platte [5]



BLD 6: Zusammenhang zwischen Kerbempfindlichkeit und Langzeitbruchverhalten von Schweißverbindungen im ACT-Verfahren (RCplus = PE 100-RC)

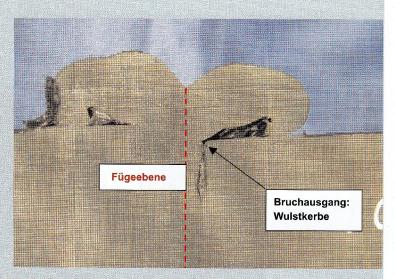


BILD 7: Bruchausgang an der Wulstkerbe einer Stumpfschweißung (Rohrwanddicke 100 mm)

stand des Grundmaterials gegenüber langsamem Rissfortschritt ("Kerbempfindlichkeit") gegeben. Die von NEUBER für metallische Werkstoffe gefundenen Gesetzmäßigkeiten zur Spannungsüberhöhung bei Werkstoffanhäufungen bzw. Kerben [6] können sinngemäß auch auf das Langzeitverhalten von PE-Schweißverbindungen übertragen werden, wenn der Bruch nicht in der Fügeebene stattfindet.

Eine geeignete Methode zur Bestimmung der Kerbempfindlichkeit von Polyethylen ist der Full Notch Creep Test (FNCT).

Dieser ursprünglich in Japan zur Charakterisierung von Polyethylen-Werkstoffen entwickelte Versuch zeichnet sich bei entsprechend sorgfältiger Durchführung durch eine hohe Reproduzierbarkeit und Präzision aus.

In der Europäischen Norm DIN EN 12814-3 (10/2005) wird bei der Prüfung von Schweißverbindungen auf den Zusammenhang zwischen Kerbempfindlichkeit des Grundmaterials und Langzeitbruchverhalten von Schweißverbindungen wie folgt hingewiesen:

"Das Bruchverhalten der Schweißverbindungen, bei denen der Bruch im Grundwerkstoff auftritt und von der Kerbstelle zwischen Grundwerkstoff und Schweißraupe ausgeht, steht in engem Zusammenhang mit der Beständigkeit des Grundwerkstoffs gegenüber langsamem Risswachstum. Die Beständigkeit des Grundwerkstoffs gegenüber langsamem Risswachstum kann auch in einem Zeitstandversuch an einer Probe mit umlaufender Kerbe (FNCT-Versuch) bestimmt werden."

In **Bild 6** ist am Beispiel von Polyethylen-Werkstoffen mit verschiedenen Kerbempfindlichkeiten die Auswirkung dieser Materialeigenschaft auf die Standzeit von Heizelementstumpf-Schweißungen veranschaulicht.

Bei allen Proben verläuft der Bruch von der Wulstkerbe ausgehend durch das Grundmaterial. Dieses Bruchverhalten tritt immer dann auf, wenn keine Schwachstellen im Grundmaterial vorhanden sind, die sich stärker als die Spannungsüberhöhung durch die Kerbe zwischen Wulst und Grundmaterialoberfläche auswirken. Abweichungen von diesem Rissverhalten sind zu erwarten, wenn die Standzeiten der Schweißverbindungen die Grenze der Wärmealterung erreichen und in der Fügeebene brechen. Dieses Bruchverhalten ist bei der Prüfung extrem spannungsrissbeständiger Werkstoffe z. B. in wässriger Lösung von Arkopal N-100 zu erwarten.

# **REDUZIERTER PRÜFAUFWAND MÖGLICH**

Aufgrund des typischen Bruchverhaltens von Schweißverbindungen nach DVS 2207-1 kann die Frage der "Schweißbarkeit" mit einem reduzierten Aufwand ermittelt werden. Es genügt demnach, an einer genügenden Anzahl von Proben festzustellen, ob der Zeitstandbruch in der Fügeebene verläuft oder von der Wulstkerbe ausgehend (Bild 7) durch das Grundmaterial fortschreitet. Wird ausnahmslos festgestellt, dass der Bruch von der Wulstkerbe ausgehend durch das Grundmaterial verläuft, ist die "Schweißbarkeit" gegeben.

Die Quantifizierung der Mindestlebensdauer ist demnach durch Prüfungen gemäß der Richtlinie DVS 2203-4 Beiblatt 3 möglich und hängt nur noch von der Kerbempfindlichkeit ("Spannungsrissbeständigkeit") des Grundwerkstoffs ab. Mit steigender "Spannungsrissbeständigkeit" des Grundwerkstoffs verlängert sich die Mindestlebensdauer der Schweißverbindungen.

#### **SCHLUSSFOLGERUNGEN**

Die bereits bei Schweißverbindungen aus Polyethylen mit kleineren Wanddicken gefundenen Zusammenhänge im Hinblick auf das Bruchverhalten bestätigen sich auch bei größeren Wanddicken. Die für Wanddicken von 120 mm notwendigen Prüfeinrichtungen stehen ab Herbst 2011 zur Verfügung.

## LITERATUR

- [1] http://www.skz.de/content/Joo/index.php?option= com\_content&task=view&id=783&Itemid=118
- [2] http://www.weber-kunststofftechnik.de/images/ stories/zeitung/weber\_ztg\_2-2010\_de.pdf
- [3] DVS-Taschenbuch "Fachbuchreihe Schweißtechnik, Band 68/IV, 11.Auflage, 2006, Verlag für Schweißen und verwandte Verfahren DVS-Verlag GmbH, Düsseldorf
- [4] Hessel, J.: Das Langzeitverhalten von Schweißverbindungen an Halbzeugen aus Polyethylen – Eine Frage der Kerbempfindlichkeit – Joining Plastics 02/2007; Seite 161-163
- [5] Grieser, J.: "Theoretische und experimentelle Untersuchungen zum Versagensverhalten von Schweißverbindungen an Polyethylen unter Berücksichtigung der Grundmaterialkerbempfindlichkeit bei langzeitiger Beanspruchung", Diplomarbeit Januar 2003, Fachhochschule Aachen (unveröffentlicht)
- [6] Neuber, H: "Kerbspannungslehre, Grundlagen für genaue Spannungsberechnung", Verlag von Julius Springer, Berlin, 1937

# **AUTOR**



DR.-ING. JOACHIM HESSEL HESSEL Ingenieurtechnik GmbH, Roetgen, Tel. +49 2471 920 2211 E-Mail: joachim.hessel@ hessel-ingtech.de

