

# Einfluss der Probengröße auf die Werte im Kerbschlagbiegeversuch an Rohren

Von Daniela Großpietsch, Holger Brauer

Rohrwanddicken kleiner als 10 mm oder geringe Rohrdurchmesser erfordern die Entnahme von Untermaßproben. Diese weisen durch den kleineren Probenquerschnitt geringere Kerbschlagenergiewerte auf. Es zeigte sich, dass eine proportionale Umrechnung von Voll- auf Untermaßproben zu überhöhten Anforderungen an die Kerbschlagwerte an Untermaßproben führen würde. Es ergaben sich von Material, Rohrabmessung und Fertigungsweg unabhängige Umrechnungsfaktoren im untersuchten Temperaturbereich von im Mittel um 0,36 für ½-Proben, bzw. 0,66 für ¾-Proben.

## EINLEITUNG

Forderungen nach Leichtbaukonzepten im Zylinderbereich haben die Entwicklung hochfester Zylinderrohrgüten vorangetrieben, die auch im Temperaturbereich -20 °C und tiefer ein zähes Versagen unter Innendruck garantieren. Ebenfalls im Bereich der Leitungsrohre für den Transport von Gas und Öl ist

eine steigende Tendenz zu beobachten, auch in Regionen mit arktischen Bedingungen eine Reduzierung der Wanddicke durch den Einsatz höherfester und gleichzeitig zäher Güten zu kompensieren.

Die im Rahmen von gemeinsamen F&E-Tätigkeiten der Salzgitter Mannesmann Präzisrohr GmbH (SMP) und Salzgitter Mannesmann Line Pipe GmbH (MLP), in Zusammenarbeit mit der Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH (SZMF), entwickelten modifizierten Werkstoffkonzepte kommen diesen Forderungen nach. Für diese Werkstoffvarianten wie auch für klassischen Einsatzwerkstoffe konnten in diversen Untersuchungen eine Korrelation zwischen Bauteilversuchen und der für Innendruckbeanspruchung maßgeblichen Kerbschlagarbeit im Kerbschlagbiegeversuch hergestellt werden. Dies ermöglicht eine kostengünstige Überprüfung des Werkstoffzustandes im Rahmen der Produktion.

Das Bestreben durch den Einsatz höherfester Werkstoffe Wanddicken zu reduzieren und Gewicht einzusparen, hat teilweise zur Folge, dass Vollproben zum Nachweis der Zähigkeit im Kerbschlagbiegeversuch nicht mehr entnommen werden können. Geringere Wanddicken, d.h. kleiner 10 mm, erfordern die Entnahme von größtmöglichen Untermaßproben mit Probenbreiten von 7,5 mm beziehungsweise 5 mm, bei denen durch den kleineren Probenquerschnitt geringere Kerbschlagwerte resultieren. Die Relation der Werte zueinander bei Verwendung unterschiedlicher Probenbreiten bei ein und demselben Werkstoff ist folglich ein entscheidendes Kriterium, um Untermaßproben anzuwenden und auszuwerten zu können.

**Tabelle 1: Übersicht der verwendeten Probengrößen mit Charpy-V-Kerb im Grundwerkstoff (Querproben) nach DIN EN ISO 148-1 [10]**

	Breite x Höhe in mm	Prüfquerschnitt in mm <sup>2</sup>	Bezeichnung ff.
Standard-Probe	10 x 8	80	Vollprobe
Untermaß-Probe	7,5 x 8	60	¾-Probe
Untermaß-Probe	5 x 8	40	½-Probe

**Tabelle 2: Übersicht der verwendeten Materialien**

Typ	Güte	AD in mm	WD in mm
Präzisrohr	St52mod.	288	14
Präzisrohr	P460	206	13,85
Präzisrohr	StE460mod.	161	14
HFI-Rohr	X70M	609,6	12,7
HFI-Rohr	X65M	508	15
HFI-Rohr	X60M	508	12,7
HFI-Rohr	L450MB	457,2	16,1
HFI-Rohr	X65M	457,2	12,7
HFI-Rohr	L360MB	273	10
Warmbreitband*1	X52	508	11,8
Warmbreitband*1	X52	406	15,8

Warmbreitband\*1: nicht eingeformt

## STAND DER TECHNIK

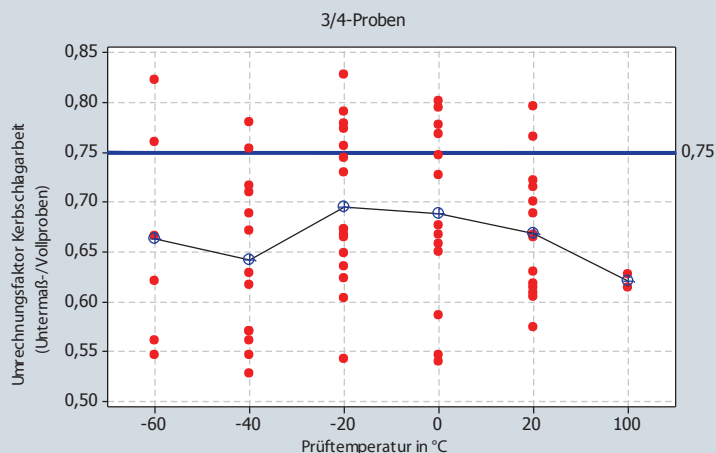
In den Normen bzw. der Literatur finden sich zum Teil widersprüchliche Aussagen zum Einfluss der Probenbreite auf die Kerbschlagarbeit. So geben beispielsweise die Europäischen Normen DIN EN 13480 [1] für industrielle Rohrleitungen und DIN EN 13445 [2] für unbefeuerte Druckgeräte Mindestwerte für die Kerbschlagarbeit an Untermaßproben im Vergleich

zur Vollprobe an. Für die Probenbreite 7,5 mm werden 80%, bei 5 mm werden 70% der Kerbschlagarbeit an der Vollprobe angegeben. Im Amerikanischen Standard ASTM A 333 [3] für nahtlose und geschweißte Rohre für den Einsatz bei tiefen Temperaturen, der API 5L und DIN EN ISO 3183 [4,5] für Leitungsrohre und der europäischen Produktnorm für Rohre unter Innendruckbeanspruchung EN 10216-3 [6], sowie in diversen Literaturstellen [siehe beispielhaft 7-9] wird hingegen für die Hochlage im Kerbschlagbiegeversuch ein proportionaler Zusammenhang zwischen Probenbreite und Kerbschlagarbeit hergestellt.

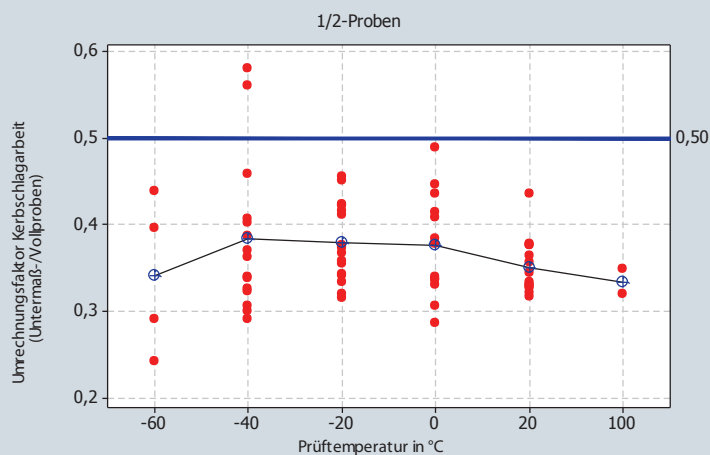
## UNTERSUCHUNGEN

In vergleichenden Untersuchungen wurde der Einfluss unterschiedlicher Probenbreiten gemäß **Tabelle 1** im Kerbschlagbiegeversuch an Untermaß- und Vollproben auf die Kerbschlagenergie, und damit das Bruchverhalten von Rohren bewertet. Verwendet wurden Charpy Proben mit einem 2 mm tiefen V-Kerb nach DIN EN ISO 148-1 [10]. Als Herstellverfahren wurden sowohl nahtlose Präzisionsstahlrohre nach dem Warmwalzen und Kaltziehen aus einem massiven runden Rohling (Knüppel), als auch HFI-geschweißte Rohre aus Warmbreitband in die Untersuchungen mit einbezogen. Um für die vorliegende Versuchsreihen unterschiedliche Umformgrade und Werkstoffkonzepte zu berücksichtigen, dienten mehrere Abmessungen, sowie diverse Stahlgüten (un- bzw. mikrolegierte Kohlenstoffstähle) aus den Produktportfolios als Probenmaterial. Die Prüftemperaturen lagen zwischen  $-60\text{ °C}$  und  $+100\text{ °C}$ , und damit in der Hochlage bzw. im Anfang des Steilabfalls der verwendeten Werkstoffe. Die untersuchten Parameter sind in **Tabelle 2** übersichtlich wiedergegeben.

Bestimmt wurde der Umrechnungsfaktor aus dem Verhältnis zwischen der Kerbschlagenergie an Untermaßproben zur Kerbschlagenergie an Vollproben. Unabhängig von Werkstoffkonzepten, Abmessungen und Prozessrouten zeigte sich ein einheitliches Verhalten (**Bild 1** und **Bild 2**). Es wurde ein nicht-proportionaler Einfluss von verringerter Probenbreite auf die Ergebnisse im Kerbschlagbiegeversuch, mit geringeren Werten für die Umrechnungsfaktoren im Vergleich zum proportionalen Verhältnis der Probengrößen, gefunden. So würde beispielsweise bei einem tatsächlichen Umrechnungsfaktor von 0,38 (bei  $-20\text{ °C}$ ) eine  $\frac{1}{2}$ -Probe lediglich eine Kerbschlagenergie von etwa 23 J aufweisen, wenn an einer Vollprobe 60 J gemessen werden würde. Damit läge die übliche Forderung von 30 J ( $0,5 \cdot 60\text{ J}$ ) um etwa 30% oberhalb des tatsächlich erreichbaren Wertes. Somit gibt der üblicherweise angewandte direkt proportionale Zusammenhang zwischen Probengröße und Kerbschlagenergie, also Umrechnungsfaktor 0,5 für  $\frac{1}{2}$ - bzw. 0,75 für  $\frac{3}{4}$ -Proben, die Realität nicht ausreichend genau wieder. Dies würde für Rohre aus denen keine Vollproben entnommen werden können bedeuten, dass die oftmals geforderte Umrechnung der Kerbschlagenergie von Vollproben auf Untermaßproben zu überhöhten Anforderungen an die Kerbschlagwerte an Untermaßproben führt.



**Bild 1:** Einfluss der Probengröße auf die Kerbschlagenergie, Umrechnungsfaktor von Voll- auf Untermaßproben ( $\frac{3}{4}$ -Probe) in Abhängigkeit der Prüftemperatur (geschlossene Symbole: Mittelwert aus mehreren Probensätzen je Produktion, offene Symbole: Gesamtmittelwert)



**Bild 2:** Einfluss der Probengröße auf die Kerbschlagenergie, Umrechnungsfaktor von Voll- auf Untermaßproben ( $\frac{1}{2}$ -Probe) in Abhängigkeit der Prüftemperatur (geschlossene Symbole: Mittelwert aus mehreren Probensätzen je Produktion, offene Symbole: Gesamtmittelwert)

## ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

An verschiedenen niedriglegierten Rohrwerkstoffen durchgeführte Untersuchungen zeigten eine werkstoffunabhängige überproportionale Abhängigkeit der Kerbschlagenergie von der Probenbreite. Dies würde für Rohre aus denen keine Vollproben entnommen werden können bedeuten, dass die oftmals geforderte proportionale Umrechnung der Kerbschlagenergie von Vollproben auf Untermaßproben zu überhöhten Anforderungen an die Kerbschlagwerte an Untermaßproben führt. Zukünftige Untersuchungen werden sich mit den werkstoffkundlichen und bruchmechanischen Ursachen für das gefundene Verhalten beschäftigen.

## LITERATUR

- [1] DIN EN 13480 (2008): Metallische industrielle Rohrleitungen – Teil 1: Allgemeines
- [2] DIN EN 13445 (2009): Unbefeuerte Druckbehälter – Teil 1: Allgemeines
- [3] ASTM A 333: Standard Specification for Seamless and Welded Steel Pipe for Low-Temperature Service
- [4] API 5L: Specification for Line Pipe, Committee on Standardization of Tubular Goods, American Petroleum Institute, 42nd Edition
- [5] DIN EN ISO 3183 (2010): Stahlrohre für Rohrleitungstransportsysteme
- [6] DIN EN 10216-3 (2009): Nahtlose Stahlrohre für Druckbeanspruchungen – Technische Lieferbedingungen – Teil 3: Rohre aus legierten Feinkornbaustählen
- [7] Schmidt, W.; Schaffrath, W.: Der Einfluß der Probenbreite auf die Ergebnisse von Kerbschlagbiegeversuchen an verschiedenen Stählen. Blech, Rohre, Profile, 38 (1991) 6, S. 516/20
- [8] Robiller, G.: Einfluß der Probenbreite auf die im Kerbschlagbiegeversuch ermittelten Kennwerte für das Zähigkeitsverhalten von Stählen. Fachausschußbericht Verein Deutscher Eisenhüttenleute, Düsseldorf, 1980
- [9] Dohi, K.; Soneda, N.; Onchi, T.; Matsui, H.: Charpy-V subsize specimens. Measurements of steel impact properties. ASTM Special Technical Publication (2002) 1418, S. 137/50
- [10] DIN EN ISO 148-1 (2010): Metallische Werkstoffe – Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy – Teil 1: Prüfverfahren

## AUTOREN



**DIPL. WIRT.-ING. DANIELA GROSSPIETSCH**  
Salzgitter Mannesmann Präzisrohr GmbH  
(SMP), Mülheim/Ruhr  
Tel. +49 208 4581280  
E-Mail: daniela.grosspietsch@smp-tubes.com



**DR.-ING. HOLGER BRAUER**  
Salzgitter Mannesmann Line Pipe  
GmbH, Hamm, Germany  
Tel. +49 2381 420447  
E-Mail: Holger.Brauer@smlp.eu