

# Prüfung und Bewertung der Sprödigkeit von Bauteilen und Bauteilkomponenten aus Kunststoff

Von Hans-Jürgen Kocks

Angesichts der Forderung in den Regelwerken Bauteile oder Bauteilkomponenten aus Kunststoff hinsichtlich ihres Versprödungsgrades zu untersuchen, fehlt bisher das geeignete Prüfverfahren für die Baustelle. In diesem Beitrag wird mit der „KIZ“-Probe ein einfaches, baustellengerechtes Verfahren zur Bewertung der Sprödigkeit von Kunststoffen vorgestellt. Anwendungsbeispiele zeigen, dass sich die Schadensbilder und Erfahrungen der Praxis in den Prüfergebnissen widerspiegeln.

## 1. EINLEITUNG

Im September 2010 wurde mit dem DVGW-Arbeitsblatt W 402 die Basis für die heute angestrebte Erfassung von Bestands-, Zustands- und Umgebungsdaten für die Instandhaltung von Leitungsnetzen geschaffen [1]. Wesentlicher Vorteil einer solchen Datenerfassung ist die Übertragbarkeit der Verhältnisse auf andere Netzbereiche mit Bauteilen gleicher Bauart und ähnlichen Umgebungsbedingungen. Eine so generierte Datenbank bildet die Planungsgrundlage für die Instandhaltung von Versorgungsnetzen. Die erforderlichen Daten sind sowohl bei Netzarbeiten, bei systematischen Untersuchungen, vor allem aber auch im Schadensfall zugänglich. Für die Zustandserfassung von Rohren ist neben der Bewertung von Korrosionserscheinungen metallischer Leitungen auch die Beurteilung des Versprödungsgrades von Umhüllungen und Bauteilen aus Kunststoff vorgesehen [1].

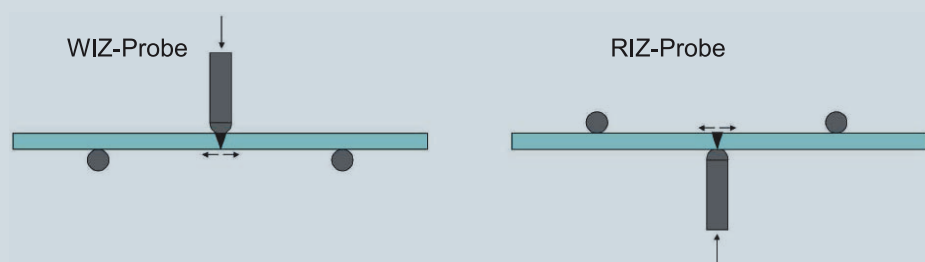
Zur Beurteilung des Versprödungsgrades wird derzeit im Regelwerk eine Prüfung mit dem Hammer vorgeschlagen. Diese Prüfung ist aufgrund der Verformbarkeit von Kunststoffbauteilen praktisch nur im Falle der Umhüllungen von Stahl- oder Gussrohren in Grenzen anwendbar. Eine Reproduzierbarkeit ist aufgrund der möglichen Variabilität der Prüfmittel an den Baustellen und die eher unterschiedlichen konstitutionellen bzw. physischen Gegebenheiten der Prüfer nicht gegeben. Aus diesem Grunde bietet sich die Anwendung des hier vorgestellten alternativen Prüfverfahrens geradezu an.

## 2. DAS PRÜFVERFAHREN

Bei diesem Prüfverfahren für Kunststoffe handelt es sich um eine abgewandelte Form der aus dem Stahlbereich bekannten WIZ (TRBB)- und RIZ (TFBB)-Probe nach DIN EN ISO 5173 [2]. Die Prüfung nach DIN EN ISO 5173 dient dazu, das Bruchverhalten einer geschweißten Stahlprobe im Nahtbereich zu bewerten (**Bild 1**). Zur Prüfung wird eine Dreipunktbiegung angewendet, die Zugspannungen „Wurzel“-seitig (WIZ) oder „Raupe“-seitig (RIZ) erzeugt. Im Falle der Rissbildung lassen sich so Verunreinigungen oder Fehler in der Schweißnaht nachweisen.

Das Prinzip dieses Prüfverfahrens kann auch dazu angewendet werden, den Versprödungsgrad von Bauteilen oder Bauteilkomponenten aus Kunststoff zu beurteilen. Bei der Probennahme ist darauf zu achten, dass eine Erwärmung des Materials vermieden wird. Zur Prüfung wird ein etwa 5 bis 10 mm breiter Probestreifen des Kunststoffmaterials mit einem Messer oberflächlich gekerbt. **Bild 2** zeigt die Vorbereitung des Prüfstreifens am Beispiel eines unter Laborbedingungen hergestellten Normprüfstabes aus Polypropylen (PP). Die Probe wird von Hand gebogen, so dass die Zugkräfte in der Kerbe wirksam werden („KIZ“-Probe).

Die Praxisrelevanz einer derart gekerbten Probe ergibt sich aufgrund der Tatsache, dass Riefen und Kratzer je nach Verlegeweise insbesondere bei nicht konventionellen Verlegungsverfahren unvermeidbar sind. Laut Regelwerk sind Riefen und Kratzer bei Bauteilen aus Polyethylen (PE) immerhin bis zu



**Bild 1:** Die Prüfung nach DIN EN ISO 5173

einer Tiefe von 10 % der Mindestwanddicke akzeptiert [3]. Biegespannungen ergeben sich in der Praxis durch Verformungen, bei Punktlasten oder Punktlagerungen in Verbindung mit Bodenbewegungen im Falle des Frosttauwechsels usw.

### 3. ANWENDUNGSBEISPIELE

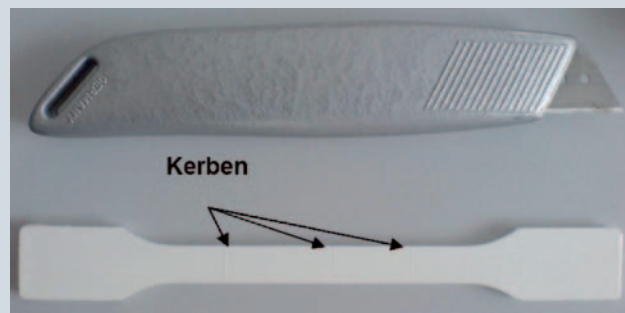
#### 3.1 Kälteversprödung von Polypropylen – Produktionsbedingungen

**Bild 3** zeigt das Ergebnis der Prüfung an Polypropylentypen mit unterschiedlicher Kältebeständigkeit. Die Prüfung wurde hier an den unter Laborbedingungen hergestellten Normprüfstäben bei 0 °C durchgeführt (vgl. Bild 2). Während sich der kältebeständige PP-Typ 1 in der Kerbe wie „Kaugummi“ ziehen lässt, zeigt der PP-Typ 2 im gekerbten Bereich ein sprödes Bruchverhalten. In diesem Beispiel liefert die KIZ-Probe einen Hinweis, welcher Werkstoff für niedrige Temperaturen besser geeignet ist.

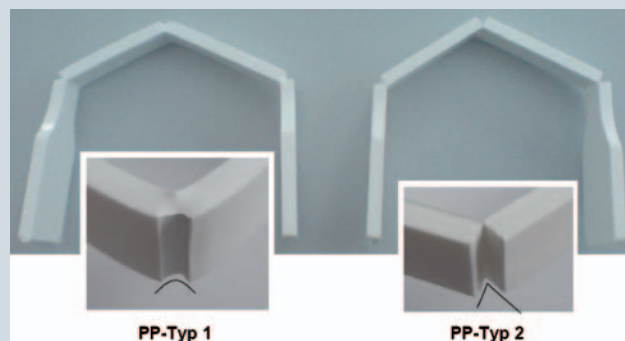
#### 3.2 Kälteversprödung von Polypropylen – Baustellenbedingungen

Von Polypropylenumhüllungen sind Schäden bei niedrigen Umgebungstemperaturen bekannt. **Bild 4** und **Bild 5** zeigen Beispiele solcher Schadensformen. Im ersten Fall handelt es sich um einen im Spülbohrverfahren eingezogenen Rohrstrang. Das Rohrende in Zugrichtung ragte aus der Bohrung und zeigte nach einer Kälteperiode mit -10 bis -15 °C deutliche Abplatzungen. Auch im Falle der noch unbeanspruchten Rohre auf dem Rohrlager fanden sich erste Risse. Bei einer Überprüfung der Sprödigkeit konnte selbst noch bei -4 °C an Lagerrohren unter Schlagwirkung diese Rissbildung beobachtet werden.

Die Anwendung der KIZ-Probe auf die im Schadensfall eingesetzte PP-Umhüllung bestätigt nach einer Temperierung auf 0 °C diese Sprödigkeit (**Bild 6**). Mit dieser Methodik besteht sowohl in der Produktion als auch an Baustellen die Möglichkeit, das Werkstoffverhalten in Bezug auf die bruchmechanischen Eigenschaften bei niedrigen Temperaturen schnell und aussagekräftig prüfen zu können.



**Bild 2:** Vorbereitung eines PP-Prüfstreifens für die KIZ-Probe



**Bild 3:** KIZ-Probe von zwei PP-Typen bei 0 °C

#### 3.3 Gesintertes Polyethylen – Produktionsbedingungen

Ein weiteres Beispiel für die Anwendung dieses Prüfverfahrens ist die Bewertung des Einsatzmaterials für gesinterte Polyethylenumhüllungen. Im Gegensatz zum Extrusionsprozess rieselt beim Sinterverfahren Polyethylenpulver auf das sich drehende, ca. 300 °C heiße Rohr. Im Beispiel wurden dazu zwei PE-Typen mit unterschiedlicher Festigkeit eingesetzt. Der Zugversuch zeigt, dass der PE-Typ 1 eine mehr als doppelt so hohe Streckspannung erreicht als der PE-Typ 2 (**Bild 7**). Der hochfeste PE-Typ 1 erfüllt dabei nicht die Anforderungen der DIN 30670 an die Reißdehnung von mind. 200 % [4]. Die im Zugversuch ermittelte Reißdehnung liegt im Mittel bei 150 %. Im Vergleich zum spröden Bruchergebnis



**Bild 4 und Bild 5:** Schaden an einer PP-Umhüllung durch Kälteversprödung nach einem Rohreinzug und auf dem Rohrlager

mit der KIZ-Probe wird deutlich, dass beim Zugversuch vermutlich durch die Wärmetönung im Einschnürungsbereich ein nicht zu unterschätzender Einfluss auf das Bruchverhalten besteht und so ein flexibleres Verhalten vorgetäuscht wird. Die KIZ-Probe lässt beim PE-Typ 1 das spröde Bruchverhalten eindeutig erkennen, während sich der PE-Typ 2 in der Prüfung duktil verhält (**Bild 8**). Die bei der Dehnung des PE-Typ 2 erkennbaren Lücken sind dabei auf die, für eine gesinterte Umhüllung typischen, geschlossenen Poren im Gefüge zurückzuführen.

### 3.4 Alterung von Polyethylen – Baustellenbedingungen

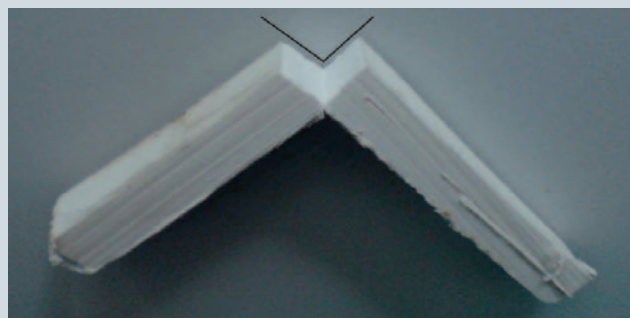
Aus früheren Untersuchungen ist bekannt, dass die sich ergebende Änderung der mechanischen Eigenschaften im Falle niedriger Temperaturen prinzipiell auf die Alterung des Kunststoffes über-

tragbar ist [5]. Aus diesem Grunde ist die KIZ-Probe auch für die im Rahmen des DVGW-Arbeitsblattes W 402 geforderte Prüfung des Versprödungsgrades geeignet. **Bild 9** zeigt das Ergebnis der KIZ-Probe im Falle eines Rohrschadens. Während sich bei einem neuwertigen PE-Rohr das Material in der Biegefläche erwartungsgemäß „kaugummiartig“ verzieht, zeigt die 30 Jahre alte Rohrprobe (Herstellungsjahr 1981) das für die Rissbildung ursächliche spröde Bruchverhalten.

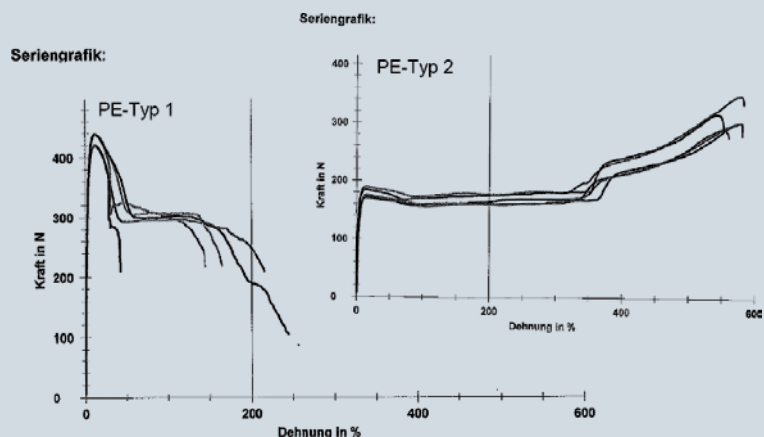
### 4. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Anwendungsbeispiele zeigen, dass die KIZ-Probe zur Beurteilung des Versprödungsgrades von Bauteilen und Bauteilkomponenten aus Kunststoffen geeignet ist. Dies gilt für die Bewertung sowohl im Falle neuwertiger als auch gealterter Werkstoffe. Die Prüfung bei Umgebungsbedingungen ermöglicht bereits eine erste Einschätzung des Bruchverhaltens. Aussagekräftiger ist natürlich die Bewertung bei den zu erwartenden tiefsten Umgebungstemperaturen während des Betriebes. Gegenüber dem Zugversuch hat die KIZ-Probe den Vorteil, dass aufgrund der sehr kurzen Prüfzeit die für eine Bewertung störende Wärmetönung im Einschnürungsbereich der Zugproben vermieden wird. Diese Wärmetönung täuscht ggf. eine Flexibilität vor, die tatsächlich gar nicht gegeben ist. Da es sich bei der KIZ-Probe weiterhin um eine zerstörende Prüfung handelt, kann diese an Bauteilen zwangsläufig nur im Falle von Schäden, systematischen Untersuchungen oder beispielsweise bei Umverlegungen angewendet werden. Bauteilkomponenten wie die Umhüllung von Stahl- oder Gussrohren können auch an in Betrieb befindlichen Leitungen mit dieser Prüfung bewertet werden. Hier ist nach der Probennahme eine Reparatur der Umhüllung mit handelsüblichen Materialien durchführbar.

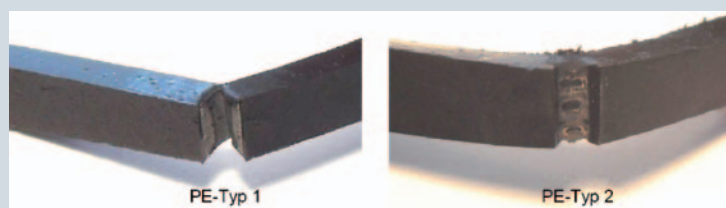
Im Falle der Korrosionsschutzumhüllungen sind spröde (Epoxidharz, Polyurethanharz usw.) von duktilen Umhüllungssystemen (PE, PP-Umhüllungen) zu unterscheiden. Ungeachtet ihres Bruchverhaltens entsprechen alle diese Materialien als Korrosionsschutz dem aktuellen „Stand der Technik“.



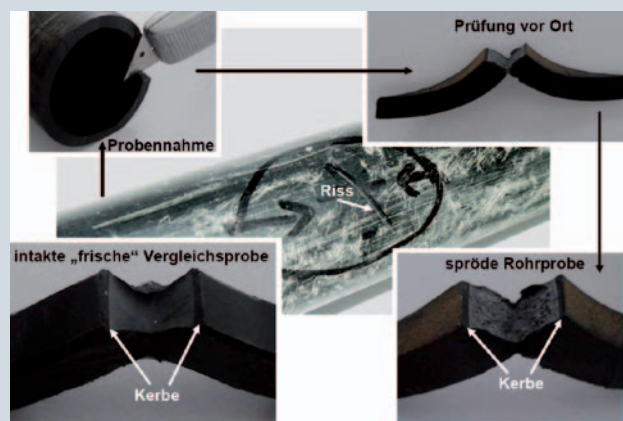
**Bild 6:** KIZ-Probe der PP-Umhüllung bei 0 °C (Schadensfall siehe Bild 4 und 5)



**Bild 7:** Zugversuche an Umhüllungen der Sinter-PE-Typen 1 und 2



**Bild 8:** Ergebnis der KIZ-Probe an gesinterten Polyethylen-typen



**Bild 9:** Ergebnis der KIZ-Probe an gealterten Polyethylen-rohren – Vergleich einer neuwertigen, „frischen“ Probe mit einer 30 Jahre alten Probe



Entscheidend für die Anwendung als Korrosionsschutzschicht ist letztlich die Barrierewirkung gegenüber korrosiven Einflüssen. Angesichts einer maximal zu erwartenden Dehnung der Werkstoffkombination aus Kunststoff und Stahl von 0,5 % wird diese Barrierewirkung durch die bruchmechanischen Eigenschaften des Umhüllungsmaterials nicht beeinflusst.

Umhüllungen auf Polyolefinbasis sind aufgrund des duktilen Bruchverhaltens im Vergleich zu den spröderen Beschichtungsmaterialien in Handhabung und Betrieb wesentlich unempfindlicher, solange sich nicht durch Alterung oder Korrosion das mechanische Bruchverhalten dem der duromeren Systeme annähert. In diesem Zustand können unzulässige Punktlasten oder Punktlagerungen zur Rissbildung führen. Dies ist ein wesentlicher Grund für die Forderung einer steinfreien Bettung polyolefinumhüllter Leitungsrohre [5;6]. Im Falle einer steinfreien Bettung ist unabhängig von der Sprödigkeit des Beschichtungsmaterials die Wirksamkeit eines Korrosionsschutzes sichergestellt.

Die Bettungsverhältnisse können sich lokal im Laufe der Betriebsjahre durch Fremdaufgrabungen oder schwankende Grundwasserstände und das damit verbundene Ausschwemmen der Feinanteile verändern. Für eine Rehabilitationsplanung im Sinne des DVGW-Arbeitsblattes W 402 ist es daher unerlässlich neben der Zustandserfassung auch die aktuellen Umgebungsbedingungen zu dokumentieren [1]. Im Falle unzulässiger Bettungsbedingungen ergibt sich bei Polyolefinen mit dem Wechsel des Bruchverhaltens zwangsläufig auch ein Wechsel des Nutzungsverhaltens. Das hier beschriebene Prüfverfahren liefert dabei die für eine Zustandserfassung notwendige Information, ob den Bauteilen oder Bauteilkomponenten aus Kunststoff zum Zeitpunkt der Prüfung ein duktiler oder spröder Bruchverhalten zuzuordnen ist.

## LITERATUR

- [1] DVGW-Arbeitsblatt W 402; Netz- und Schadenstatistik – Erfassung und Auswertung von Daten zur Instandhaltung von Wasserrohrnetzen, September 2010
- [2] DIN EN ISO 5173; Zerstörende Prüfungen von Schweißnähten an metallischen Werkstoffen – Biegeprüfungen, Februar 2012
- [3] DVGW-Arbeitsblatt W 400-2; Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV), September 2004
- [4] DIN 30670; Umhüllungen von Stahlrohren und -formstücken mit Polyethylen, April 2012
- [5] H.-J. Kocks, C. Bosch, M. Betz; „Die bruchmechanischen Eigenschaften der Polyolefine – Sind die in den Normen vorgesehenen Anwendungsbereiche realistisch?“ 3R international 50 (2011) H. 8–9, S. 618–625
- [6] DIN 30675-1 „Äußerer Korrosionsschutz von erdverlegten Rohrleitungen“, September 1991

## AUTOR



**DR. HANS-JÜRGEN KOCKS**  
Salzgitter Mannesmann Line Pipe  
GmbH, Siegen,  
Tel. +49 271-691-170,  
E-Mail: hans-juergen.kocks@smlp.eu

# Kompetenz, die verbindet



Pipeline Symposium 2012  
19. – 20. November in Hamburg  
Lindner Park-Hotel Hagenbeck

## TÜV NORD begleitet Sie über den gesamten Lebenszyklus Ihrer Pipelines

- Planung und Konstruktion
- Fertigung, Montage und Inbetriebnahme
- Betriebsbegleitung
- Rückbau und Stilllegung

### Ihr Nutzen:

- Einhaltung hoher Sicherheitsstandards
- Reduzierung von Betriebsstörungen
- Verbesserung der Wirtschaftlichkeit
- Reduzierung der Ausfall- und Reparaturkosten

Kontakt: [pipeline@tuev-nord.de](mailto:pipeline@tuev-nord.de)

