

**Aktueller Stand und Perspektiven:
Druckrohre aus PE für alternative Verlegetechniken nach PAS 1075
- Eigenschaften, Anforderungen und Prüfverfahren –**

Dr.-Ing. Joachim Hessel, HESSEL Ingenieurtechnik GmbH, Roetgen

1. Einleitung

Die Zeitstandfestigkeit von derzeit neun Polyethylen-Rohstoffen hat einen Entwicklungsstand erreicht, der ein Versagen innerhalb der vorgesehenen Betriebsdauer auch bei Druckrohren unter zusätzlicher äußerer Punktlast, wie sie bei alternativ verlegten Rohren (z. B. ohne Sandeinbettung) berücksichtigt werden muss, ausschließt.

Notwendige Voraussetzung ist ein Mindestniveau der Spannungsrissunempfindlichkeit der betreffenden PE-Rohstoffe, wie es in der PAS 1075 festgelegt ist, so dass punkt- oder linienförmige Lasten, die zusätzlich zu den planmäßigen Betriebslasten wie z.B. Innendruck, Erd- oder Verkehrslasten wirken, über den vorgesehenen Betriebszeitraum ertragen werden können.

Da sich der Bruchausgang bei von außen punktbelasteten Rohren immer an der Rohrinneenseite befindet und durch langsamen Rissfortschritt bis zur Rohraußenseite fortsetzt, ist für das Bruchverhalten der Widerstand des Polyethylens gegenüber langsamem Rissfortschritt maßgebend.

2. Gemeinschaftsversuch der Industrie führt zur PAS 1075

In einem breiten Untersuchungsprogramm seit 1998 wurden Rohre 110 x 10 mm (SDR 11) aus Polyethylen der Festigkeitsklassen PE 63, PE 80, PE 100 nach DIN 8075 sowie PE 100-RC [1] geprüft.

Darüber hinaus wurden weitere Punktlastversuche an SDR 11 bzw. SDR 17-Rohren aus PE 100-RC mit Außendurchmessern von 32 mm, 63 mm, 90 mm, 110 mm, 250 mm und 400 mm durchgeführt.

Im Hinblick auf die Erfassung der in der Praxis zu erwartenden maximalen Spannungskonzentration durch äußere Punktlast wird die Dehnung bei Streckspannung an der Randfaser der inneren Rohrwand herangezogen. Hieraus wird die Größe der äußeren Punktlast im Versuch abgeleitet.

Das Erreichen der Streckspannung stellt die maximal vom Werkstoff ertragbare Belastung dar und umfasst damit alle in der Praxis vorstellbaren kraft- bzw. weggesteuerten Punktlasten auf Rohre.

Die Randfaserdehnung an der inneren Rohrwand über die Streckspannung hinaus wird durch radiales Eindringen von Stempeln auf die äußere Rohrwand erzeugt.

Die Ergebnisse der derzeit abgeschlossenen Versuchsreihen an Rohren mit zusätzlicher äußerer Punktlast und die entsprechenden Proben im FNCT sind im Bild 1 zusammengefasst.

Standzeit Rohr mit Punktlast (h)

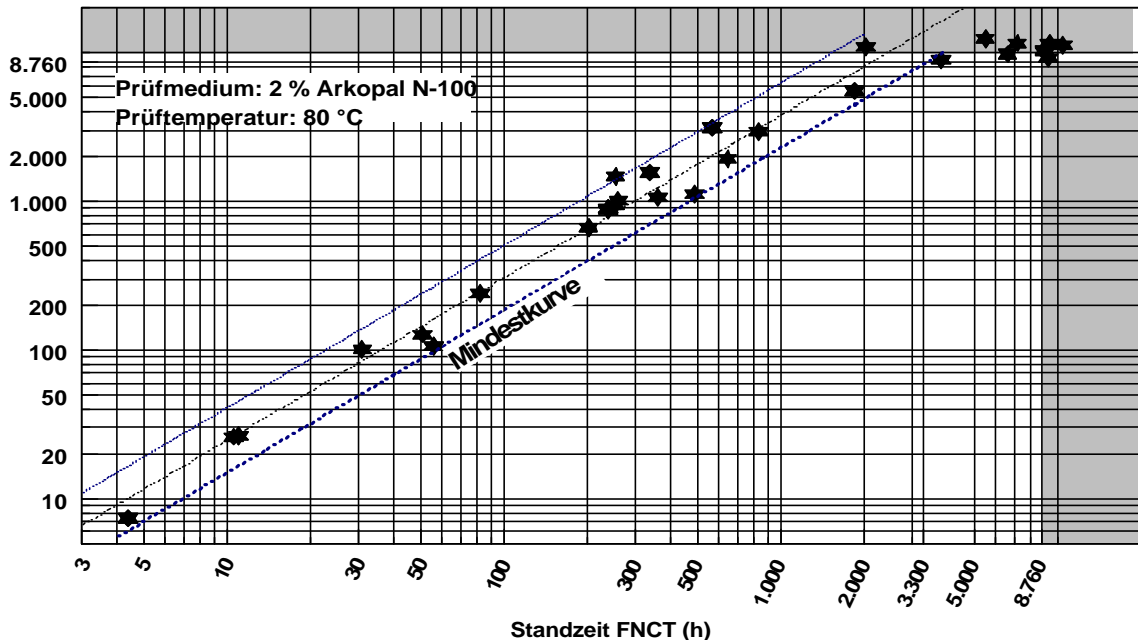


Bild 1: Korrelation zwischen FNCT und Punktlastversuchen

Das Muster aus PE 63 zeigt erwartungsgemäß die kürzesten Zeiten, sowohl im FNCT als auch an den Rohren unter zusätzlicher äußerer Punktlast. Die Standzeiten in beiden Versuchsarten steigen in der Folge PE 63 – PE 80 – PE 100 – PE 100-RC. Die Ergebnisse der Prüfserien mit PE 100-RC liegen alle im Bereich der Wärmealterung (grau schattierte Bereiche im Bild 1).

Der aktuelle Stand der Versuchsergebnisse ist in der PAS 1075 wiedergegeben.

3. Allgemeines zu Prüfverfahren und Prüflaboratorien in der PAS 1075

Die zur Qualitätssicherung alternativ verlegbarer PE-Rohre eingesetzten Prüfverfahren sind: FNCT, Punktlastversuch und Wärmealterungsversuch. Zur Verkürzung der Prüfzeiten dürfen auch beschleunigte Prüfverfahren (z. B. ACT) eingesetzt werden.

Anmerkung:

Da Standzeiten über 8760 Stunden den Bereich der Wärmealterung von Polyethylen bei 80 °C betreffen, sind extrapolierte (aus beschleunigten Prüfverfahren erhaltene) Zeiten > 8760 Stunden nicht zulässig.

Die Prüfverfahren müssen hinsichtlich ihrer Präzision und Genauigkeit kontinuierlich validiert werden.

Ein wesentlicher Bestandteil der Validierung von Langzeitprüfverfahren zur Charakterisierung des Spannungsrissverhaltens ist die Prüfung von Referenzproben.

Die Prüflaboratorien für Prüfungen gemäß dieser PAS müssen über einen Erfahrungszeitraum von mindestens 3 Jahren bei den eingesetzten Prüfverfahren verfügen und für sämtliche Prüfverfahren nach DIN EN ISO 17025:2005 akkreditiert sein.

4. Prüfungen (Zulassung, Qualitätssicherung) in der PAS 1075

Es wird zwischen Zulassungsprüfungen und produktionsüberwachenden Prüfungen unterschieden. Des Weiteren wird zwischen Werkstoffprüfungen und Bauteil (Rohr-)prüfungen unterschieden.

Bei den Zulassungsprüfungen für den Werkstoff (Granulat) werden z. T. höhere Anforderungen gestellt, um Einflüsse aus z. B. Verarbeitung und konstruktiver Gestaltung abzusichern.

4.1 Zulassungsprüfung „Werkstoff“

Die durchzuführenden Prüfungen für die Erstzulassung eines PE 100-RC-Werkstoffes sind in der PAS 1031 sowie Tabellen 1a bzw. 1b aufgeführt.

Lfd. Nr.	Prüfung	Anforderung	Bemerkung
1	Spannungsrisssprüfung *) des Rohstoffs	>8760 h bei 80 °C, 4 N/mm ² , 2 % Arkopal N-100	FNCT an 6 Einzelproben (Orientierungsfreies Verarbeitungsverfahren)
2	Punktlastversuch *) am Vollwandrohr	8760 h bei 80 °C, 4 N/mm ² , 2 % Arkopal N-100	3 Einzelproben z. B. bei 80 °C bzw. Einzelproben verteilt gemäß mathematischem Modell (z. B. Arrhenius)
3	Wärmealterungsversuch	>100 Jahre bei 20 °C	Prüfung bei erhöhter Temperatur und Nachweis einer Mindestaktivierungsenergie
4	Kerbprüfung am Vollwandrohr (DIN EN ISO 13479)	>8760 Stunden	Wahlweise auch an definierter Rohrkonstruktion möglich.

Tabelle 1a: Spezielle, ergänzende Zulassungsprüfungen für den Werkstoff PE 100-RC zum Nachweis der Spannungsrisssbeständigkeit und der Beständigkeit gegen thermische Alterung

*) Werden im FNCT bzw. im Punktlastversuch widersprüchliche Ergebnisse erhalten, so sind die Ergebnisse des Punktlastversuchs für die Bewertung der alternativen Verlegbarkeit maßgebend.

Anmerkung:

Bei der Prüfung des Spannungsrisssverhaltens gemäß Tabelle 1a Lfd. Nr. 1, Tabelle 2, Lfd. Nr. 1 bzw. Tabelle 3, Lfd. Nr. 1 dürfen keine Sprödbrüche vor Erreichen der Anforderungszeit auftreten. Kommt es vor Erreichen der Anforderungen zu Duktilbrüchen, müssen nach ISO 16770 die Prüfparameter derart angepasst werden, dass Sprödbrüche erzeugt werden [2].

Die angepassten Parameter bei der Prüfung des Spannungsrissverhaltens müssen mit den Ergebnissen im Punktlastversuch an mindestens 3 Produktionschargen abgesichert werden.

Der aus der Anforderungszeit bei der Spannungsrissprüfung des Rohstoffes (Anforderung: 8760 h) und der Prüfung des Spannungsrissverhaltens an Probekörpern aus dem Rohr (Anforderung: 3300 h) abgeleitete Quotient von 2,65 ist in den Prüfverfahren mit den angepassten Parametern für den Rohstoff nachzuweisen.

Beispiel:

Ergibt sich bei der Prüfung des Spannungsrissverhaltens mit angepassten Parametern an Probekörpern aus dem Rohr eine Standzeit von z.B. 160 Stunden, gilt als Anforderungswert für das Spannungsrissverhalten des Rohstoffes 2,65 x 160 Stunden = 424 Stunden.

Lfd. Nr.	Eigenschaft	Anforderung		Prüfnorm
1	Dichte	Angabe des Mindestwertes des Grundstoffwerkstoffes (Basisdichte)	= 945 kg/m ³ (Herstellerangabe von Nominalwert und Toleranz)	DIN EN ISO1183 DIN EN ISO1872-1
2	Schmelzindex	Angabe des MFR-Bereiches	Angabe in 190°C/5kg max (0,2 bis 0,4) g/10 min	DIN EN ISO 1133

Tabelle 1b: Zusätzlicher Anforderungen an den Werkstoff PE 100-RC (zusätzlich zur PAS 1031)

4.2 Qualitätssicherung „Werkstoff“

Die durchzuführenden Prüfungen für die Qualitätssicherung der Werkstoffe sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Lfd. Nr.	Eigenschaft	Anforderung	Häufigkeit	
			Werkseitig Überwacht	Fremdüberwacht
1	FNCT Test	>8760 h bei 80 °C, 4 N/mm ² , 2 % Arkopal N-100 (Rohstoff); oder in einem korrelierenden Prüfverfahren ²	Jede Charge	-
2	Punktlastversuch am Vollwandrohr	8760 h bei 80 °C, 4 N/mm ² , 2 % Arkopal N-100		Alle 3 Jahre, wenn keine Auffälligkeit
3	Kerbprüfung (DIN EN ISO 13479)	8760 h		Gestaffelt, 1...3 Jahre, wenn keine Auffälligkeit

Tabelle 2: Spezielle ergänzende Prüfungen zur Qualitätssicherung für den Werkstoff PE-100-RC zum Nachweis der Spannungsrissbeständigkeit

² Absicherung über mindestens 30 Prüfserien in 3 Dekaden, wobei die Zielgröße (z. B. 8760 Stunden) eingeschlossen sein muss. Der Korrelationskoeffizient muss >0,9 sein. Die Mindestanforderung ist mit einem „lower confidence limit“ von 2,5% nachzuweisen. Die Korrelation muss nach EN ISO/IEC 17025 akkreditiert sein.

4.3 Prüfungen für die Erstzulassung der Rohre

Die durchzuführenden Prüfungen für die Erstzulassung der Rohre sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Lfd. Nr.	Prüfung	Anforderung	Bemerkung
1	Prüfung des Spannungsrissverhaltens	>3300 h bei 80 °C, 4 N/mm ² , 2 % Arkopal N-100 (Proben aus Rohr)	2NCT je 3 Einzelproben an kleinster und größter Wanddicke + Da 110, SDR 11 über Rohrwandquerschnitt
2	Punktlastversuch	8760 h bei 80 °C, 4 N/mm ² , 2 % Arkopal N-100	3 Einzelproben z. B. bei 80 °C bzw. Einzelproben (Da 110, SDR 11) verteilt über Temperatur gemäß mathematischem Modell (z.B. Arrhenius)
3	Penetrationsversuch (Simulation einer Graugussscherbe durch „GG2“, siehe Anhang A 4)	Restwanddicke nach 9000 h > 50 % der Ursprungswanddicke	Prüfbedingungen nach MAC- Konzept ⁴ unter Berücksichtigung von Spannungsrissbeständigkeit und Wärmealterung

Tabelle 3: Prüfungen an Rohren aus Polyethylen für alternative Verlegetechniken und Anforderungen.

4.4 Wiederholungsprüfungen der Rohre

Die durchzuführenden Wiederholungsprüfungen der Rohre sind in Tabelle 4 aufgeführt:

Lfd. Nr.	Prüfung	Anforderung	Häufigkeit	Bemerkung
1	Spannungsriss- prüfung des Rohres	>3300 h bei 80 °C, 4 N/mm ² , 2 % Arkopal N-100 oder in einem korrelierendem Prüfverfahren ³ , z. B. 160 h im ACT-Verfahren (Proben aus Rohr)	1 x pro Halbjahr, jedoch mindestens pro Fertigungsgruppe 1 x pro Jahr	2NCT bzw. FNCT an 3 Einzelproben (Rohrinnenseite Bestandteil der Proben!)
2	Punktlastversuch	8760 h bei 80 °C, 4 N/mm ² , 2 % Arkopal N-100	Fertigungsgruppe 1 u. 2 jährlich, Fertigungsgruppe 3 in 3 Jahren einmal	80 °C Einzelprobe

Tabelle 4: Wiederholungsprüfungen der Rohre

5. Schlussfolgerungen

Die maßgebenden Anforderungen an Werkstoffe und Rohre werden in der PAS 1075 für eine Mindestnutzungsdauer von 100 Jahren erstmalig beschrieben.

Die Pas 1075 bietet dem Endanwender eine sichere Grundlage für die Ausschreibung von alternativ zu verlegenden Rohren aus Polyethylen (PE 100-RC).

6. Literatur

- [1] Hessel, J.: PE 100-RC – Ein PE 100 mit erweitertem Anwendungspotenzial
3Rinternational (47) Heft 3-4/2008, S. 189 – 193
- [2] McGoldrick, J. et al: Auf den Sprödbruch kommt es an
3Rinternational (48) Heft 3-4/2009, S. 168 – 171