



Zeitschrift für die Rohrleitungspraxis

**Zertifizierte Sicherheit für alternative
Verlegemethoden**
Certificated safety for alternative installation methods

Dr. Thorsten Späth

Sonderdruck aus „3R international“, 49. Jahrgang, Heft 4 · 2010, Seiten 211–215

Zertifizierte Sicherheit für alternative Verlegemethoden

Certificated safety for alternative installation methods

Von Dr. Thorsten Späth

Alternative Verlegetechniken bieten ökologischen und ökonomischen Nutzen. Sie bringen erhebliche zeitliche Vorteile und wirken sich günstig auf Verkehrs- und Lärmbelästigungen aus. Natürliche Hindernisse lassen sich kostengünstig unterqueren, Sanierungs- und Instandhaltungskonzepte stehen ebenfalls unter günstigeren finanziellen Rahmenbedingungen. Die hohe Flexibilität und augenscheinliche Robustheit von Polyethylen hat diesen Werkstoff zum Werkstoff Nr. 1 für grabenlose Verlegetechniken gemacht. Schnell unterschätzt wird dabei, dass ein grabenloser Rohreinzug im Gegensatz zur offenen, bewusst präparierten Bauweise höhere Anforderungen an die verwendeten Rohre stellt. In den bisherigen Normanforderungen werden diese erhöhten Ansprüche nicht rechtsverbindlich abgebildet. Daher sind an die Beteiligten hohe Anforderungen bezüglich der Auswahl der Materialien gestellt. Planer, Verarbeiter und Netzbetreiber haften ggfs. bis zu 30 Jahre. Ein in 2009 vom Beuth Verlag publizierter Industriestandard, die PAS 1075, fasst nun die prüftechnischen Erkenntnisse der letzten zehn Jahre zusammen und beschreibt erstmalig die Anforderungen, um auch bei alternativer Verlegung 100 Jahre Betriebsdauer bei auslegungsbedingtem Betriebsdruck auf Grundlage neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse abzusichern.

Alternative installation methods offer both ecological and economic benefits. They produce significant time advantages and also reduce disruption to traffic and noise nuisance. Natural obstacles can be negotiated at rational cost, and repair and maintenance concepts also become more financially rational. The high flexibility and readily apparent robustness of polyethylene has made it the No. 1 material for use in trenchless installation procedures. Quickly forgotten in this context, however, is the fact that trenchless pipe pulling and jacking processes make greater demands on the pipes used than open-cut and consciously prepared methods. These higher demands are not set down in legally binding form in the specifications contained in standards up to now. The participating parties are therefore subjected to high demands in the selection of materials. Planners, contractors and system operators may bear liability for as long as thirty years. The PAS 1075 industrial standard published by Beuth Verlag now summarizes the results of and conclusions derived from testing during the last ten years and, for the first time, defines the requirements for assurance of one hundred years of service-life at design pressure on the basis of the most recent scientific knowledge.

Haftungsrisiken bei grabenloser Bauweise

Zurzeit liegen keine (rechts-)verbindlichen Normen vor, in denen detaillierte technische Regelungen für die Rohrauswahl bei alternativen Verlegeverfahren sowie die Anforderungen an die Verlegung selbst beschrieben sind.

Daher sind an die Beteiligten hohe Fachkenntnis bezüglich der Auswahl der Materialien und Verfahren gestellt, um den allgemein formulierten Anforderungen aus den geltenden Gesetzen, Richtlinien und Verordnungen zu genügen. Eine der haftungsträchtigsten Fehlerquellen für Planer, Verarbeiter und Netzbetreiber liegt in der Auswahl ungeeigneter



Bild 1: Alternative Verlegetechniken stellen höchste Anforderungen an die verwendeten Rohre

Fig. 1: Alternative installation methods make maximum demands on the pipes used

Materialien bzw. Verlegeverfahren. Das technische Regelwerk fordert als Grundsatz und Ziel der Planung:

„Erdverlegte Versorgungsleitungen sind von hohem Wert. ...Bei der Auswahl der Bauteile (Rohre, Rohrleitungsteile und Armaturen) ist deshalb eine gesicherte Mindestnutzungsdauer von 50 Jahren zu fordern. ...“ [1]

Dieser Grundsatz muss auch für neue Anwendungen wie alternative Verlegemethoden gelten.

Für den Rohrleitungsbau ist beispielsweise Ziffer 5.4.2 des DVGW-Arbeitsblattes GW 321 maßgeblich, wonach bei bestimmten Bodenverhältnissen ein zusätzlicher Rohraußenschutz, z. B. eine Polyolefinumhüllung, zu verwenden ist. Es kann somit nur Rohrsysteme eingesetzt werden, bei denen die Eignung und mängelfreie Verlegung aus fachtechnischer Sicht zweifelsfrei nachvollzogen und dokumentiert werden kann. Sofern der Schaden nicht früher entstanden ist, haften Planer, Verarbeiter und Netzbetreiber ggf. bis zu 30 Jahre.

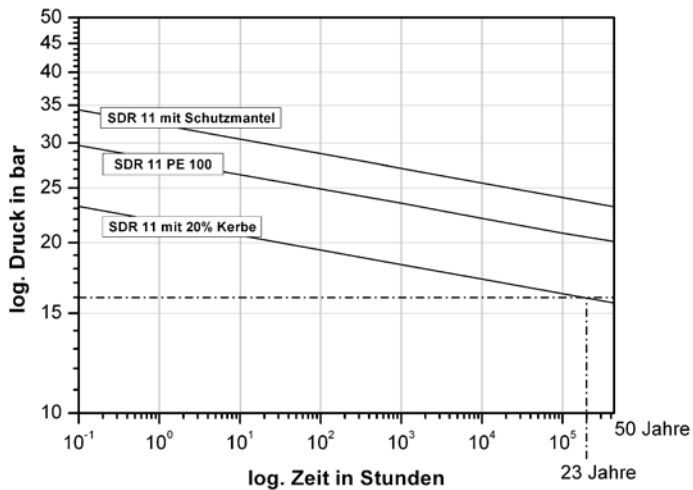


Bild 2: Druckzeitstandfestigkeit eines PE 100 Rohres (OD 110 mm) bei 20 °C gemäß DIN 8075 im Vergleich zu einem um 20 % geschwächtem Rohr und einem Rohr mit Schutzmantel

Der Werkstoff Polyethylen – heute ein Standard im Rohrleitungsbau

PE-Rohrsysteme werden nunmehr seit 50 Jahren eingesetzt. Die Erfahrung zeigt, dass geeignete Rohrsysteme aus dem Werkstoff PE bei richtiger Verlegung und Montage zuverlässig und wirtschaftlich über viele Jahrzehnte in den Einsatzgrenzen betrieben werden können. Die Normung geht für PE 100 heute von mindestens 100 Jahren, Hessel sogar von einer deutlich längeren Betriebsdauer aus [2, 3].

Da sich in der Praxis gezeigt hat, dass es bei Rohren aus PE der ersten Generation durch lokale Spannungskonzentrationen bei Bettungsfehlern zu Spannungsrissen, also Brüchen wie im zweiten Ast der Zeitstandkurve gekommen ist, ist die Verwendung von

PE-Rohren in den Vorgaben zur Verlegung wie z. B. dem DVGW-Arbeitsblatt W 400 heute eingeschränkt auf die offene Verlegung im Sandbett mit genauer Definition der Leitungszone [4].

Doch durch neue Anwendungen sind auch neue Fragen und andere, höhere Anforderungen an die Werkstoffe hinzugekommen. Sind diese Anforderungen durch verbesserte Rohstoffqualität abgesichert? Sind andere, neue Versagensmechanismen zu befürchten? Sind diese abgesichert?

Alternative Verlegetechniken bieten ökologische und ökonomische Vorteile, stellen aber auch höchste Anforderungen an die verwendeten Rohre.

Grabenlose Verlegemethoden bestimmen seit Jahren den Alltag im Rohrleitungsbau. Um

den steigenden Anforderungen im Rohrleitungsbau gerecht zu werden, entwickelte egeplast bereits in den 1990er Jahren die erste Generation von Schutzmantelrohren [5, 6]. Die schützende „harte Schale“ bewahrt das innen liegende Polyethylen-Rohr konsequent vor Kratzern und Riefen, die das neue Rohr schwächen und Auslöser für Spannungsrisse werden könnten [7]. Der Schutzmantel verhindert während der Verlegung systematisch eine Vorschädigung des neuen Rohres, so dass dieses ohne Reduzierung des Sicherheitsfaktors ($c = 1,25$ für Trinkwasserrohre) in Betrieb genommen werden kann. Da die genormte Wanddicke genau – allerdings um den Sicherheitsfaktor erweitert – auf den Betriebsdruck abgestimmt ist, bedeutet jede Schwächung die Reduzierung des ingenieurtechnischen Sicherheitsfaktors oder bei deutlicher Beschädigung sogar eine direkte Reduzierung der Druckfestigkeit der neuen Rohrleitung und somit eine Verkürzung der Nutzungsdauer.

Bei einer Beschädigungstiefe von 20 % reduziert sich an dieser Stelle die Wanddicke, dadurch erhöht sich die Spannung örtlich auf $10,20 \text{ N/mm}^2$. Zur Vereinfachung der Rechnung werden die Kerbgeometrie und die Auswirkungen auf das Bauteil hier nicht berücksichtigt. Die Auswirkung auf die Nutzungsdauer lässt sich in den Referenzkurven (Mindestkurven nach DIN 8075) von Rohren aus PE 100 ablesen [8]. Daraus ergibt sich eine verbleibende Restnutzungsdauer von nur 23 Jahren. Diese Betrachtung anhand des flachen, also duktilen Astes der Zeitstandkurve, gilt nur für die spannungsrissbeständigen PE 100-RC Werkstoffe gemäß dem kürzlich publizierten Industriestandard PAS 1075, dessen Wichtigkeit im folgenden Kapitel diskutiert wird [9]. Bei kerbempfindlicheren Standardqualitäten des PE 100 ist bei einer solchen Beschädigung ein noch früheres Versagen durch Sprödbrüche zu befürchten.

Ein zusätzlicher Schutzmantel hingegen schützt nicht nur beim Rohreinzug vor diesen Beschädigungen, auch die Sicherheit durch eine erhöhte Druckfestigkeit im Betrieb wird erhöht. Bild 2 zeigt die Zeitstanddruckfestigkeit eines Rohres mit Schutzmantel im Vergleich zur Druckfestigkeit eines Normrohres bzw. eines um 20 % beschädigten Rohres. Da die Werkstofffestigkeiten des Schutzmantels nicht normiert sind, wurde die Druckfestigkeit des Schutzmantelrohres experimentell mit Hilfe der Drucksteigerungsmethode ermittelt [10, 11].

Steine in der Leitungszone verursachen lokale Spannungsspitzen, die insbesondere bei Druckrohren zu Spannungsrissen führen können [12]. Der Schutzmantel reduziert den Einfluss der Spannungsüberhöhung anliegender Punktlasten auf das Innenrohr [13]. Mittels Innendruckversuch mit zusätzlicher

rez. abs. Temperatur in 1/K

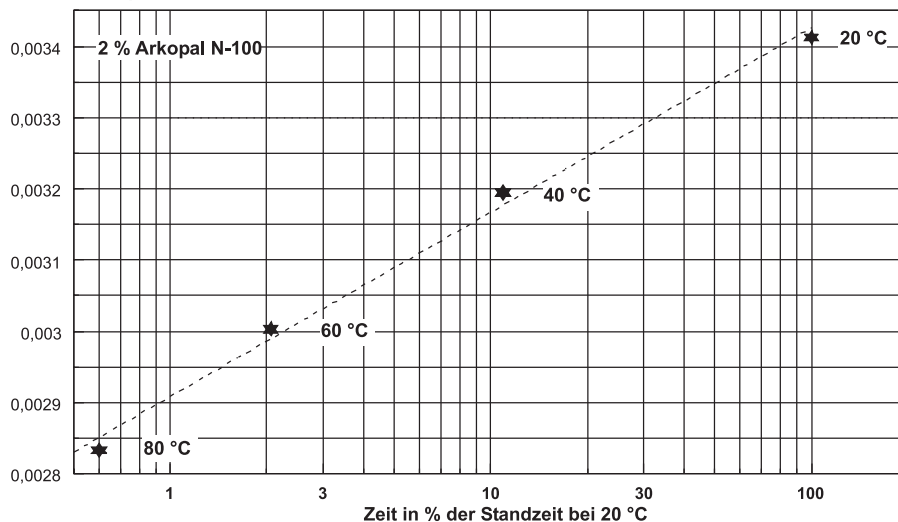


Bild 3: Zeitstandinnendruckversuche von PE-Rohren unter Innendruck (Umfangsspannung 4 N/mm^2) mit zusätzlicher äußerer Punktlast

Fig. 3: Long-term hydrostatic strength tests on PE pipes under exposure to internal pressure (circumferential stress 4 N/mm^2) with additional external punctiform load

Punktlast lässt sich dieser Lastfall simulieren [14]. Trägt man die Ergebnisse von PE-Rohren im Arrhenius-Diagramm auf, so findet man einen linearen Zusammenhang, das Zeitstandverhalten unter Punktlast folgt somit einer konstanten Aktivierungsenergie [15]. Somit kann für Prüfungen bei hohen Temperaturen der zeitliche Beschleunigungsfaktor zur Lebensdauerbestimmung für Anwendungen bei 20 °C genutzt werden. Der Nachweis von einem Jahr Prüfzeit bei 80 °C bestätigt eine Nutzungsdauer von 100 Jahren bei 20 °C.

Der umhüllende Schutzmantel reduziert die Dehnung des unter Druck stehenden Rohres. Dieses hält bei 20 °C, also der angestrebten Nutzungstemperatur, doppelt so lange wie Rohre ohne Schutzmantel [15].

Da die Spannungsrisse immer durch das Überschreiten der Streckgrenze auf der Rohrinneiseite ausgelöst werden, diese dann durch langsames Risswachstum bis zur Außenseite wandern, ist die Qualität des verwendeten PE-Materials entscheidend für die Zeit bis zum Versagen eines Rohres unter Punktlast. Eine geeignete Methode der Bauteilprüfung stellt somit der Innendruckversuch mit zusätzlicher Punktlast dar. Die Verwendung eines Netzmittels, welches die Rissgeschwindigkeit beschleunigt, stellt einen zeitlichen Sicherheitsfaktor dar [16].

Es versteht sich von selbst, dass Prüfzeiten von einem Jahr zur Qualitätskontrolle nicht praktikabel sind. Eine geeignete, schnellere Prüfung der Werkstoffeigenschaft des langsamen Risswachstums stellt der Full Notch Creep Test (FNCT) dar. Hessel hat Mindestwerte für die Standzeiten im FNCT bei 80 °C, 4 N/mm² in 2 % Arkopal N-100 berechnet. Diese Standzeiten stellen die notwendigen

werkstoffbezogenen Voraussetzungen zur Absicherung der zusätzlichen lokalen Spitzenlasten bei sandbettlosen Verlegung dar [17, 18].

Weitere Untersuchungen zeigten, dass die Absicherung der Spannungsrissebeständigkeit der verwendeten RC-Werkstoffe zwar ein notwendiges, aber kein hinreichendes Qualitätskriterium darstellt. Die Dehnung über die Streckgrenze auf der Rohrinneiseite unterhalb der Punktlast ermöglicht auch einen schnelleren thermischen Abbau der Stabilisatoren, so dass Rohre, deren FNCT-Prüfungen längere Prüfzeiten erwarten ließen, im Punktlastversuch frühzeitig versagten. Bruch auslösend ist der thermische Abbau des Polyethylens [19, 20].

PAS 1075 – ein publizierter Industriestandard

Da in den Regelwerken lange Zeit keine Qualitätsanforderungen beschrieben waren, hat egeplast auf Basis der beschriebenen Erkenntnisse zusammen mit HESSEL Ingenieurtechnik einen geschlossenen Qualitätszyklus (Full Quality Testing Cycle) entwickelt, um den hohen Anforderungen der alternativen Verlegetechniken gerecht zu werden [21]. Aufgebaut ist das Konzept wie das DVGW-Arbeitsblatt GW 335 aus regelmäßigen Chargenprüfungen, Bauteilprüfungen als Lebensdauernachweis unter der maximal anzunehmenden Realbelastung, aber auch Kontrolle der thermischen Alterung und der Herstellungseinflüsse [22].

Seit Mitte Juni 2009 ist die PAS 1075 „Rohre aus Polyethylen für alternative Verlegetechniken – Abmessungen, Technische Anforderungen und Prüfung“ vom Beuth Verlag veröffentlicht [9]. Die Bezeichnung



Bild 4: egeplast 9010 RCplus-Rohr nach einem Jahr Punktlastprüfung ohne Bruch (80°C, $\sigma = 4$ MPa)

Fig. 4: egeplast 9010 RCplus pipe following one year exposure to punctiform-load testing, with no fracture (80°C, $\sigma = 4$ MPa)

PAS (PAS = Publicly Available Specification) legt erstmals als allgemein verfügbare Spezifikation Eigenschaften, Anforderungen und Prüfverfahren für Rohre aus Polyethylen für alternative Verlegetechniken fest. Diese Anforderungen gehen deutlich über die in DIN EN-Normen und in den DVGW-Regelwerken festgeschriebenen Eigenschaften für Rohre für die offene Bauweise hinaus und sichern auch für alternative Verlegetechniken eine Nutzungsdauer von mindestens 100 Jahren ab. Öffentlich verfügbar bedeutet, dass der Konsens über technische Lieferbedingungen, den die Mitglieder verschiedener Interessengruppen fixiert haben, dann über den Beuth Verlag allen Interessierten außerhalb der ursprünglichen Interessengruppe öffentlich zugänglich gemacht wird. Im Fall der PAS 1075 wurde die Interessengruppe gebildet aus Teilnehmern der Versorgungsbranche,

Standzeit Rohr mit Punktlast (h)

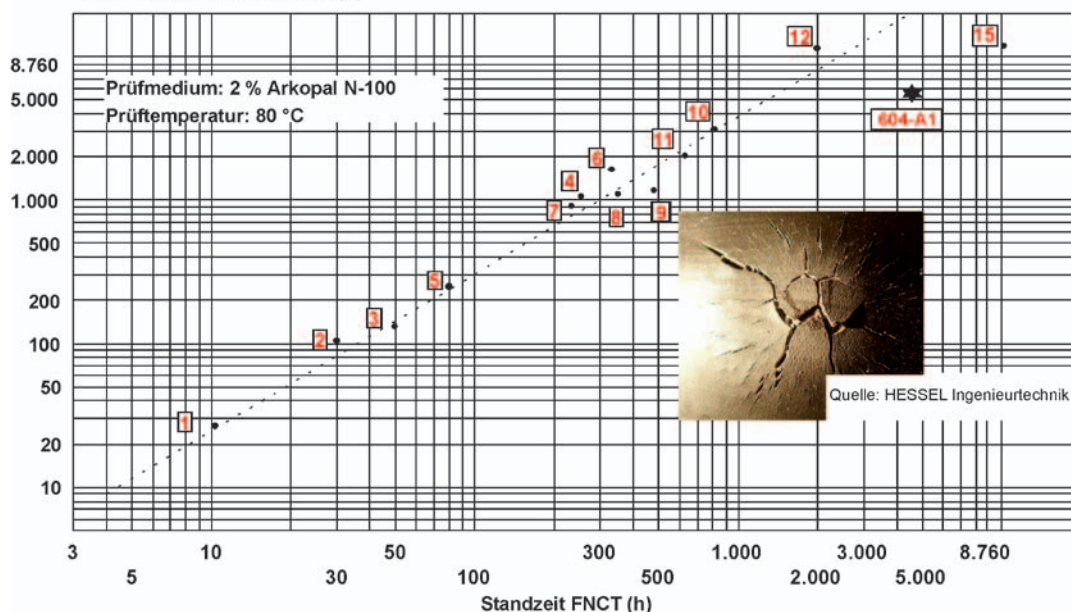


Bild 5: Gemessene Standzeit eines Rohres unter Punktlast und FNCT-Prüben aus dem Rohr mit der in [14] publizierten Regressionsgeraden

Fig. 5: Measured service-life of a pipe under exposure to punctiform load and FNCT specimens from the pipe with the regression lines published in [14]

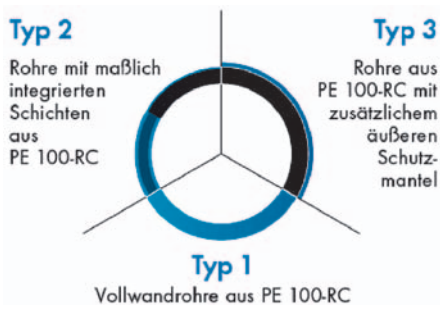


Bild 6: In der PAS 1075 wird zwischen drei Typen unterschieden. Typ 1 sind Vollwandrohre aus PE 100-RC, Typ 2 Rohre mit maßlich integrierten Schutzschichten aus PE 100-RC und Typ 3 Rohre mit Abmessungen gemäß DIN 8074/ISO 4065 aus PE 100-RC mit zusätzlichem äußeren Schutzmantel.

Fig. 6: Differentiation is made in PAS 1075 between three types; Type 1 are solid-walled PE 100-RC pipes; Type 2 are pipes with dimensionally integrated protective layers of PE 100-RC; Type 3 pipes have dimensions in accordance with DIN 8074/ISO 4065 and consist of PE 100-RC with an additional external protective sheath.

Rohrleitungsbauern, Rohstofflieferanten, Rohrherstellern und Prüfinstituten.

Als einer der Verfasser halten wir es für unabdingbar, dass die Produkte, die wir mit diesen Qualitätsmerkmalen für unsere Kunden produzieren, ohne Widerspruch alle gestellten Mindestanforderungen dieser PAS erfüllen. Die PAS 1075 schildert die Verantwortung der Verfasser schon in der Einleitung: „Deshalb haben sich die Verfasser zur Aufgabe gestellt, ein Qualitätsniveau für Rohre aus Polyethylen für alternative Verlegetechniken zu definieren, deren Nutzungsdauer mindestens 100 Jahre beträgt... Die für PE 100 genormte Dimensionierung bei Innendruckbelastung der Rohre gilt auch für alternativ verlegte Rohre.“

Die PAS 1075 gruppiert die am Markt angebotenen Rohrsysteme herstellerunabhängig in drei Typen und gibt den Anwendern damit die Möglichkeit zwischen den Rohrkonstruktionen gemäß den Praxisanforderungen zu differenzieren (**Bild 6**).

Bei den Prüfungen nach PAS 1075 wird nach der Zulassungs- und den produktionsüberwachenden Prüfungen auch zwischen Werkstoffprüfungen und Bauteil (Rohr-)prüfungen unterschieden.

Werkstoffprüfungen

Eine neue Werkstoffklasse, die seit etwa fünf Jahren auf dem Markt ist, sind Werkstoffe aus der PE 100-Klasse mit besonders hohem Widerstand gegen Spannungsrisse: Resistance to Crack PE 100-RC. Diese Werkstoffe müssen eine Standzeit im FNCT (Full Notch Creep Test) bzw. im Punktlastversuch (80 °C; $\sigma = 4 \text{ N/mm}^2$; 2 % Arkopal N-100) von mindestens 8.760 Stunden nachweisen. Damit ist eine genaue Definition getroffen, die Werkstoffe als PE 100-RC nach PAS 1075 bezeichnet werden dürfen. Diese hohen Qualitätsanforderungen bringen den Netzbetreibern die notwendige Sicherheit, dass Schäden durch Spannungsrisse konsequent ausgeschlossen werden können (**Tabelle 1**).

Bauteil (Rohr-)Prüfungen

Die Zertifizierung allein des Werkstoffs (Rohstoffgranulat) reicht nicht, um Rohrleitungssysteme nach PAS 1075 zertifizieren zu lassen. Um diese Anforderungen an das neue, alternativ verlegte Rohr festzulegen, definiert die PAS 1075 alle notwendigen Prüfungen für aus PE 100-RC produzierte Rohre und fordert auch eine unabhängige Zertifizierung der Bauteile.

Vielfach diskutiert ist das potentielle Durchbohren einer grabenlos verlegten Leitung durch anliegende spitze Steine oder scharfe Graugusscherben. Dieser Schaden ist nicht durch den Punktlastversuch mit der simulierten stumpfen Punktlast abgesichert. Einen Ansatz, diesen Versagensmechanismus durch eine Baumusterprüfung auszuschließen, bietet der Penetrationstest [23]. Es ist nachzuweisen, dass die Penetration eines spitzen Gegenstandes (z. B. Graugusscherbe beim Berstlining) durch die Wand eines unter Innendruck stehenden Rohres bei den höchstmöglichen Betriebsdrücken innerhalb der vorgesehenen Betriebszeit des Rohres nicht zu erwarten ist. Die egeplast Schutzmantelrohre erfüllen diese Anforderung. Rohre, die diese Anforderung nicht erfüllen, in der Regel ohne Schutzmantel, dürfen bei potentiell in der Rohrzone vorhandenen scharfen Steinen oder Scherben nicht mit dem normalen Auslegungsbetriebsdruck MDP betrieben werden. Der Betriebsdruck muss abgemindert werden. Zertifikate von DIN CERTCO enthalten für solche Rohrkonstruktionen daher den Hinweis: „Zurzeit ohne Angabe Betriebsüberdruck Berstlining“. egeplast beteiligt sich im Rahmen eines Industrieforschungsvorhabens an der Ermittlung der Abminderungsfaktoren und gibt das 9010 RC^{plus} Rohr, das außer dem Penetrationsversuch alle Anforderungen

Tab. 1: Prüfanforderungen an PE 100-RC Werkstoffe [9]

Table 1: Test requirements for PE 100-RC materials [9]

| FNCT | Punktlastversuch | Notch Test | Alterungsnachweis |
|---|---|---|---|
|  |  |  |  |
| Prüfanforderung: 1 Jahr bei 80°C = [^] 100 Jahre bei 20°C | Prüfanforderung: 1 Jahr bei 80°C = [^] 100 Jahre bei 20°C | Prüfanforderung: 1 Jahr bei 80°C = [^] 100 Jahre bei 20°C | Keine Thermische Alterung bei Betriebsbedingungen |

Tab. 2: Prüfanforderungen an Rohre für alternative Verlegerverfahren [9]

Table 2: Pipe testing requirements for alternative installation methods [9]

| Ritzprüfung | Punktlasttest | Penetrationstest |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Prüfanforderung: Ritzprüfung des zusätzlichen äußeren Schutzmantels: Mind. 25 % Restdicke | Prüfanforderung: 1 Jahr bei 80 °C = [^] 100 Jahre bei 20 °C | Prüfanforderung: 50% Restwanddicke bei MDP |

der PAS 1075 erfüllt, nicht für die grabenlosen Verlegeverfahren frei.

Das Schadensbild von äußeren Beschädigungen des drucktragenden Kernrohrs durch Kratzer und Riefen soll durch eine Verschleißschicht ausgeschlossen werden. In einer Ritzprüfung der additiven Schutzschicht muss eine Restwanddicke des äußeren Schutzmantels von mind. 25 % gewährleistet sein. Weitere Anforderungen an das Bauteil Rohr, um 100 Jahre Mindestnutzungsdauer bei normativen Betriebsdruck MDP (Maximum Design Pressure) zu gewährleisten, sind in der PAS 1075 wie folgt dargestellt (siehe **Tabelle 2**).

Nur Rohre des Typs 3, also mit zusätzlichem Schutzmantel erfüllen alle Anforderungen und sollten folgerichtig bei „Black-Box“ Verlegungen in geschlossener Bauweise eingesetzt werden (**Tabelle 3**).

Alle Schutzmantelrohrsysteme, die für die grabenlose Verlegung von egeplast empfohlen werden, werden mit der unabhängigen Zertifizierung vom TÜV Süd nach PAS 1075 angeboten.

Die PAS 1075 schafft einen Qualitätsstandard, der durch normierte bzw. akkreditierte Prüfmethode verifiziert werden kann. Damit ist sie eine ideale Ergänzung der bewährten Standards des DIN und DVGW. Zertifizierte Produkte, die auch die Bauteilzulassungsprüfungen erfüllen und deren gleichbleibende Qualität überwacht und bestätigt wird, können bei den Zertifizierern angefragt bzw. auf den Websites eingesehen werden.

Literatur

- [1] DVGW-Arbeitsblatt W 400 „Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen – Teil 1: Planung“ (2004)
- [2] DIN 8074 „Rohre aus Polyethylen (PE); PE 63, PE 80, PE 100, PE-HD Maße“ (1999)
- [3] Hessel, J.: 100 Jahre Nutzungsdauer von Rohren aus Polyethylen, 3R international (46) Heft 4/2007
- [4] DVGW-Arbeitsblatt W 400 „Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen – Teil 2: Bau und Prüfung“ (2004)
- [5] Schröder, G.: Safety-Line – Die neue Generation von PE-HD-Rohrleitungen, bbr 4/1995

Tab. 3: Einsatzempfehlung

Table 3: Recommendations for use

| | Offene Bauweise, Pflügen, Fräsen | Geschlossene „Black Box“ Bauweise, Spülbohren, Berstlining |
|---|----------------------------------|--|
| Notwendige Bauteilprüfung zusätzlich zu den Anforderungen an Rohre für die offene Bauweise gemäß GW 335 A2 [20] | Punktlast | Ritzprüfung Penetrationstest Punktlast |
| Rohrtyp gemäß PAS 1075 [9] | Typ 1 Typ 2 Typ 3 | Typ 3 |

- [6] Wolter, R.: Flexibel und doch widerstandsfähig, gwf (140) S. 130-131, 1999
- [7] Bericht MPA Hannover: Ermittlung der Widerstandsfähigkeit gegenüber Ritzung der Oberfläche in Abhängigkeit des verwendeten Werkstoffes, EGE 93-1 (02.02. 1993)
- [8] DIN 8075 „Rohre aus Polyethylen (PE); PE 63, PE 80, PE 100, PE-HD Allgemeine Güteanforderungen, Prüfung“ (1999)
- [9] PAS 1075 „Rohre aus Polyethylen für alternative Verlegetechniken – Abmessungen, Technische Anforderungen und Prüfung Beuth Verlag (Ref.Nr. PAS 1075: 2009-04)
- [10] Hessel J.: „Kosten- und zeitsparendes Verfahren zur Erzeugung von Zeitstandkurven für Rohre aus Kunststoffen“ 3R international (48) Heft 11/2009
- [11] Stranz, M.: „HexelOne® Hochdruckrohre im Praxiseinsatz – Nachweis der Druckfestigkeit und Anwendungsbeispiele“, Tagungsband Wiesbadener Kunststoffrohrtage 2010
- [12] Hessel, J.: Zeitstandverhalten von Polyethylen unter dem Einfluss lokal konzentrierter Spannungen, 3R international (34) Heft 10-11/1995
- [13] Falter B.: Bericht FEM „Rohre unter einer Punktlast“ 1989
- [14] Uhl, I.; Haizmann, F.: Punktbelastungen an Kunststoffrohren gwf (141) S. 141-144, 2000
- [15] Bericht HESSEL Ingenieurtechnik R01 04 460-1 (03.12.2001)
- [16] Hessel, J. u. Grieser, J.: Verfahren zum Nachweis des Sicherheitsfaktors für Rohre aus Polyethylen unter komplexer Beanspruchung, 3Rinternational (44) Heft 5/2005; S. 277 – 283
- [17] Hessel J.: Mindestlebensdauer von erdverlegten Rohren aus Polyethylen ohne Sandeinbettung, 3R international (40) Heft 4/2001
- [18] Hessel J.: Mindestlebensdauer von erdverlegten Rohren aus Polyethylen ohne Sandeinbettung, 3R international (40) Heft 6/2001
- [19] Bericht HESSEL Ingenieurtechnik R02 04 604 (06.08.2002)
- [20] Bericht HESSEL Ingenieurtechnik R03 04 749 (12.06.2004)
- [21] Späth, T.: Intelligente und sichere Rohrsysteme für grabenlose Verlegeverfahren Theoretische Betrachtungen und Erfahrungsberichte, Wiesbadener Kunststoffrohrtage 2006, Vulkan Verlag GmbH, Essen
- [22] DVGW-Arbeitsblatt GW 335-A2 „Kunststoff-Rohrleitungssysteme in der Gas- und Wasserverteilung; Anforderungen und Prüfungen – Teil A2: Rohre aus PE 80 und PE 100“ (2005-11)
- [23] Hessel J.: Qualitätssicherung für grabenlos verlegbare Rohre aus Polyethylen, Tagungsband Zweites Deutsches Symposium für die grabenlose Leitungserneuerung, Universität Siegen 09/2007

Autor:

Dr.-Ing. Thorsten Späth
egeplast Werner Strumann GmbH
& Co. KG, Greven

Tel. +49 2575 9710-266
E-Mail: thorsten.spaeth@egeplast.de

