



Quelle: wgw mbH

Prüfgrenzen bei Wasserleitungen aus PE-Rohren

Die DVGW-Arbeitsblätter W 400, Teil 1 & 2 behandeln die Planung, den Bau und die Prüfung unterirdischer Wasserleitungen verschiedener Werkstoffe, einschließlich Polyethylen. Worauf gründen die Festlegungen zur Druckprüfung und welchen Grenzen unterliegen PE-Rohre? Dabei geht es nicht nur um den Einsatz von PE 100 SDR 17 im Ortsnetz.

W 400-1, Abschnitt 3.1.1, und Abschnitt 15.2, Tabelle 7, ergeben **Tabelle 1** für PE. Dabei ist DP (Design Pressure – Systembetriebsdruck) bzw. MDP (Maximum Design Pressure – höchster Systembetriebsdruck) der höchste vom Betreiber festgelegte Betriebsdruck des Systems oder einer Druckzone unter Berücksichtigung zukünftiger Entwicklungen, bei DP ohne bzw. bei MDP mit Berücksichtigung von Druckstößen.

Eine Fußnote der erwähnten Tabelle 7 verweist auf W 400-2, deren Abschnitte 3.1.1 und 16.4 folgende Optionen ergeben für STP (System Test Pressure – Systemprüfdruck) den hydrostatischen Druck, der für die Prüfung der Unversehrtheit und Dicht-

heit einer neu verlegten Rohrleitung angewandt wird:

$STP = MDP_c + 1,0 \text{ bar}$
 („c“ steht für „calculated“: MDP_c hat einen berechneten Druckstoßanteil)

Der niedrigere Wert von
 $STP = MDP_a \times 1,5$ bzw.
 $STP = MDP_a + 5,0 \text{ bar}$
 („a“ steht für „allowance for surge“: MDP_a hat einen pauschalen Druckstoßanteil)

W 400-1, Abschnitt 10.1.1 fordert für Ortsnetze $MDP \geq 10 \text{ bar}$ und $DP \leq MDP - 2 \text{ bar}$. So bleibt für die Druckprüfung in Ortsnetzen ohne Druckstoßberechnung: $STP = MDP_a + 5,0 \text{ bar}$. Für $MDP_a = 10 \text{ bar}$ ergibt sich $STP = 15 \text{ bar}$.

W 400-2, Abschnitt 16.4, legt aber fest, dass PE 100 SDR 17 höchstens mit 12 bar geprüft werden darf. PE 100 SDR 17 wird folglich nur für Leitungen zugelassen, für die eine Druckstoßberechnung vorliegt, sodass $STP = MDP_c + 1,0 \text{ bar}$ gesetzt werden darf und damit die Grenze von 12 bar einzuhalten ist. Eine Druckstoßberechnung für Ortsnetze ist nicht ausgeschlossen, aber keine Option im Rahmen des Üblichen. Insofern scheidet PE 100 SDR 17 für Ortsnetze faktisch aus.

Kritische Fragen

Im Zusammenhang mit dieser Situation stellen sich folgende Fragen:

- Warum wird der Einsatz von PE 100 SDR 17 in dieser Weise eingeschränkt?

Tabelle 1: Betriebsdruck abhängig von PE-Typ und SDR			
MDP	PE 100	PE 80	PE-Xa
SDR 7,4	–	20 bar	20 bar
SDR 11	16 bar	12,5 bar	12,5 bar
SDR 17	10 bar	–	–

Quelle: DVGW

- Wie aussagefähig ist eine Druckprüfung bei Leitungen aus PE-Rohren?
- Inwieweit sind Druckstöße für Leitungen aus PE-Rohren beachtlich?
- Welche spezifischen Grenzen hat PE, wie groß sind die Reserven?

W 400-2, Abschnitt 16.3.2, sagt: „Insbesondere bei Kunststoffleitungen ist darauf zu achten, dass die Temperatur an der Rohraußenwand während der gesamten Dauer der Druckprüfung 20 °C nicht übersteigt.“ Vergegenwärtigt man sich die Baustellensituation, stellen sich diese Gegenfragen:

- Verschiebt man die Druckprüfung, wenn die Rohrwandtemperatur 20 °C übersteigt?
- Beträgt der Prüfdruck genau $MDP_a + 5,0$ bar oder ist er nicht doch höher?
- Was ist kritischer: höhere Prüftemperatur, höherer Prüfdruck, längere Prüfzeit?
- Darf das Regelwerk bis an die Grenzen gehen, wenn es voraussetzen muss, dass ausführende Personen diese Grenzen gelegentlich notgedrungen überschreiten?

Das Regelwerk muss für eine unbegrenzte Zahl von Anwendungen eine pragmatische, robuste Vorgehensweise anbieten und eine große Spannbreite von Kenntnissen und Verhaltensweisen seitens der betroffenen handelnden Personen berücksichtigen. Schließlich wird das Regelwerk von einem repräsentativen Querschnitt dieser Personen verfasst. Es kann also nur einen Kompromiss mit praxisnahen Sicherheitsabständen bilden. Wer fachlich trittsicher ist und sich eigenverantwortlich zu rechtfertigen weiß, kann insofern weiter gehen und sich vorsichtig den eigentlichen Grenzen nähern. Wo aber liegen die tatsächlichen Versagensgrenzen, wie groß sind jene Sicherheitsabstände im Regelwerk?

Zugesicherte Mindesteigenschaften

Pauschal ist das nicht zu beantworten. Man erfährt nur individuelle Grenzwerte, wenn man Druckfestigkeitsprüfungen bis zu Ende führt und damit gleichzeitig die betroffenen Rohre zerstört. Für Zulassungszwecke im Vorfeld ist das die geeignete und akzeptierte Methode.

Entsprechend klassifiziert ein Hersteller sein Granulat: Er lässt Rohrproben fertigen und diversen Spannungen und Temperaturen unterwerfen – liegen 97,5 Prozent der Versagenszeiten jenseits einer gewissen Grenzlinie, fällt das Granulat unter „PE 100“ (DIN EN ISO 9080 nennt Details).

Rohrproben können derselben Hersteller-marke entstammen und dennoch in den Versagenszeiten beim selben Spannungs-/Temperaturpunkt um mehrere Größenordnungen (Zehnerpotenzen) auseinanderliegen (siehe Bild 2 in „Restlebensdauer von Kunststoffrohren nach einer Betriebszeit von 41 Jahren“ von Ulrich Schulte und Dr. Joachim Hessel in 3R international (45) Heft 9/2006 S. 482 ff.).

Versagensursachen (Schwankungen der Polymerisation, Rohrextrusion, Zeitstandprüfung und sonstigen Handhabung, etwaige Verunreinigungen), Versagensbilder (zähe und spröde Brüche, meist sind es Übergangsformen und z. T. hängt die Einstufung an der Bildauflösung) und die Frage der Reversibilität (bis wohin verlaufen Spannungen „glimpflich“, ab wann hinter-

lassen sie dauerhafte Schwächungen im Werkstoffgefüge) mögen die Innovationsfront interessieren. Produktanwender – Rohrleitungsbauunternehmen und Leitungsbetreiber – können sich nur auf zugesicherte Mindesteigenschaften stützen.

Lineare Schadensakkumulation

Es ist nicht gesichert, inwieweit ein PE-Rohr bis zu gewissen Spannungen keiner laufenden, belastungsbedingten Schädigung unterworfen ist, ob also seine Lebensdauer in diesem Rahmen ausschließlich durch die innere Qualität des Werkstoffs und seiner Stabilisatoren bestimmt ist. Auch an Druckstöße wäre hier zu denken. Spätestens ab einer gewissen Höhe und Dauer muss Spannung jedoch unweigerlich zu bleibenden Schäden führen.

Ist ein Übergang von umkehrbarer Streckung (reversibel) zu unumkehrbarer Überdehnung (irreversibel) nicht bekannt, erscheint der Ansatz der linearen Schadensakkumulation konservativ und plausibel: Versagt ein Rohr bei konstanter Temperatur und Spannung nach einer gewissen Zeit – der Lebensdauer unter diesen ►

WILHELM EWE GmbH & CO. KG
 Telefon: 05 31 - 37 00 50 · www.ewe-armaturen.de

EWE-Standrohr-Prüfanlage

- zur Prüfung und Desinfektion von Standrohren
- für einen hygienisch einwandfreien Umgang mit Trinkwasser-Standrohren

Besuchen Sie uns:
**Halle A5
 Stand 328**

**IFAT
 ENTSORGA**





... bewährt bis ins Detail!

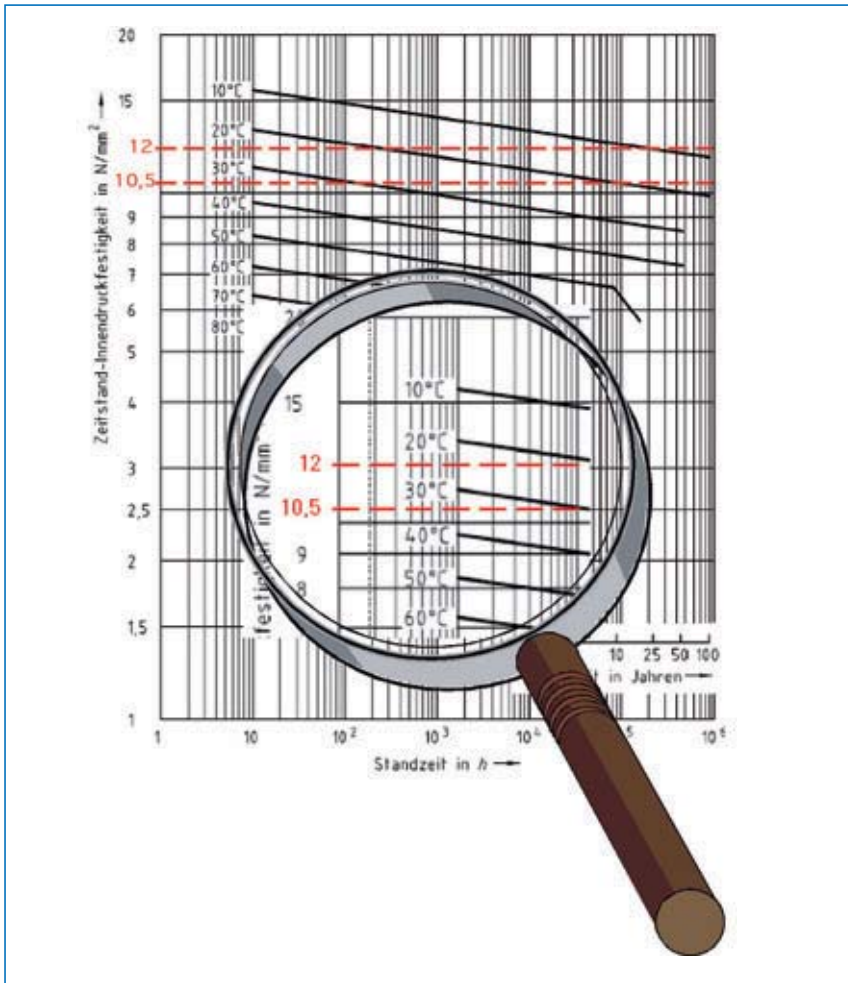


Abb. 1: Mindestkurven nach DIN 8075 für PE 100

Quelle: DIN 8075

Güteeanforderungen, Prüfungen“ vom August 1999 enthält Referenzkennlinien der Zeitstandfestigkeit. Diese Referenzkennlinien beschreiben das Versagensverhalten dieser Rohre in Abhängigkeit von den Parametern Spannung, Zeit und Temperatur. Danach gilt:

$$\lg t = A + (C / T) + D \times \lg \sigma$$

Dabei ist

- t Standzeit (Lebensdauer) in Stunden
- T konstante Rohrwandtemperatur in Kelvin (0 °C = 273,15 K; 20 °C = 293,15 K)
- σ konstante Materialspannung in N/mm²
- A/C/D dimensionslose Koeffizienten
- lg Zehnerlogarithmus

Für PE 100 haben die Koeffizienten folgende Werte (in ihnen steckt gewissermaßen die nicht näher bekannte Festkörperphysik):
 A = - 38,9375
 C = + 24482,4670
 D = - 38,9789

Dies sind nur die Koeffizienten des „flachen“ Asts, da der „steile“ Ast bei den hier zu betrachtenden Prüfzeiten nicht erreicht wird.

Bedingungen –, so unterstellt man, dass bloße Unterbrechungen der Spannung keine Lebensdauerverlängerung bewirken (abgesehen von den Unterbrechungszeiten). Versagt z. B. ein Rohr nach 100 Tagen, erwartet man für ein vergleichbares Rohr, dass es nach zwei entsprechenden Spannungsphasen von je 50 Tagen ebenso versagt. Allgemein:

$$\sum_{i=1}^n \frac{t_{\sigma,i}}{t_{\sigma,grenz,i}} \stackrel{!}{=} 1$$

Dabei ist

- $t_{\sigma,i}$ die Dauer, für die das Rohr der Spannung σ_i unterworfen ist
- $t_{\sigma,grenz,i}$ die Dauer, nach der das Rohr versagen würde, wenn es bis zum Versagen der Spannung σ_i ausgesetzt wäre
- n die Anzahl der verschiedenen Spannungsphasen

Der Ansatz lautet mit anderen Worten: Das eine Leben (rechte Seite der Gleichung) kann zwar in unterschiedlich viele Spannungsphasen (der jeweiligen Dauer $t_{\sigma,i}$) geteilt werden (linke Seite der Gleichung), aber die Gesamtsumme dieser Lebensabschnitte bleibt unverändert eins – das Rohr verliert unter Spannung laufend an Integrität und regeneriert sich nicht bei Spannungsunterbrechungen.

Zeitstandverhalten

DIN 8075 „Rohre aus Polyethylen (PE) – PE 63, PE 80, PE 100, PE-HD – Allgemeine

Quelle: DVGW

Bei der Prüfung eines PE-100-Rohrs bis zum Versagen muss das betreffende (σ , t)-Wertepaar auf oder oberhalb der Referenzkennlinie liegen (daher „Mindestkurve“ – sie entspricht den nachgewiesenen und zugesicherten Mindesteigenschaften).

Druck und Spannung im PE-Rohr sind über die Kesselformel wie folgt umzurechnen:

$$\sigma = p \times (SDR - 1) / 20$$

Dabei ist:

- p (Prüf-)Druck in bar
- SDR Durchmesser-Wanddicken-Verhältnis

Würde man $p = STP = MDP_a + 5,0$ bar ansetzen, ergäbe sich bei 20 °C für

PE 100 SDR 11 und $MDP_a = 16$ bar:
 $\sigma = 10,5$ N/mm² und $t = 59274$ h (6,8 a)

PE 100 SDR 17 und $MDP_a = 10$ bar:
 $\sigma = 12,0$ N/mm² und $t = 325$ h (13,5 d)

d. h. für SDR 17 eine deutlich höhere Spannung als für SDR 11 und vor allem

Tabelle 2: Werte auf den Mindestkurven			
	t	T	p
PE 100 SDR 11	16 h	20 °C	25,9 bar
PE 100 SDR 11	16 h	33,1 °C	21 bar
PE 100 SDR 11	3 h	35,9 °C	21 bar
PE 100 SDR 17	16 h	20 °C	16,2 bar
PE 100 SDR 17	16 h	24,7 °C	15 bar
PE 100 SDR 17	3 h	27,3 °C	15 bar

eine um mehr als zwei Zehnerpotenzen geringere Mindeststandzeit (Abb. 1).

Reserven

Die obigen konkreten (σ , t)-Paare bilden den Ausgangspunkt der folgenden Betrachtung. Auf Basis der linearen Schadensakkumulation lässt sich abschätzen, wie sich unterschiedliche Prüfzeiten und Abweichungen des Prüfdrucks bzw. der Prüftemperatur auswirken.

Unter der Annahme, dass die sonstigen Prüfbedingungen unverändert bleiben, ist jede im Rohrgraben vertretbare Prüfzeit bei PE 100 SDR 11 vernachlässigbar: Selbst einige Tage fielen bei knapp sieben Jahren Mindeststandzeit nicht ins Gewicht. Bei PE 100 SDR 17 hingegen wären Baustellenprüfzeiten bereits prozentual bemerkbar: 3 Stunden würden knapp 1 Prozent der Mindeststandzeit „kosten“, 16 Stunden schon knapp 5 Prozent.

Zweifellos bilden 16 Stunden keine Prüfzeit gemäß W 400-2, aber klingt es abwegig, etwa im Rahmen einer Vorprüfung von Arbeitsende (4 Uhr nachmittags) bis Arbeitsanfang (8 Uhr morgens) so vorzugehen („mal gucken, ob die ordentlich geschweißt haben“)? Wie wirken sich zudem höhere Prüfdrücke oder Prüfzeiten aus? Tabelle 2 liefert Beispiele für Werte auf den Mindestkurven.

Auf Basis der angegebenen Gleichungen lassen sich sonstige Grenzwerte bzw. Reserven bestimmen sowie Kombinationen auswerten (man denke an Vor- und Hauptprüfung). Vorsicht! Es handelt sich um Mindestwerte. Die tatsächlichen Werte einer individuellen Prüfung können – müssen aber nicht – erheblich darüber liegen.

Konkret!

Wie sind diese Werte nun zu verstehen? Z. B. muss man damit rechnen, dass eine Leitung aus PE 100 SDR 17, die bei einer Rohrwandtemperatur von $T = 25\text{ °C}$ (laue



Abb. 2: Praktischer Versagensfall, 1. Ansicht



Abb. 3: Praktischer Versagensfall, 2. Ansicht

Quelle: EnBW Regional AG

Sommernacht) mit einem Prüfdruck von $p = 15\text{ bar}$ belastet wird, nach einer Standzeit von $t = 16\text{ h}$ versagt. Oder dass eine Leitung aus PE 100 SDR 11, die bei $T = 36\text{ °C}$ (heißer Mittag) mit $p = 21\text{ bar}$ belastet wird, nach $t = 3\text{ h}$ versagt. Und selbst wenn kein Versagen einträte – durchaus wahrscheinlich, da „nur“ Mindeststandzeiten betrachtet werden –, wäre eine erhebliche, unwiderrufliche Vorschädigung anzunehmen, oder platt verkürzt: Leitung „positiv“ geprüft, aber (fast) kaputt. **Abbildung 2 und 3** belegen ein Versagen in der Praxis bei einem Rohr PE 100, SDR 17, $d_n = 450\text{ mm}$, $e_n = 26,7\text{ mm}$.

Fazit

Die Druckprüfung von Wasserleitungen aus PE-Rohren nach W 400-2 gilt als unverzichtbarer Baustein des Nachweises einer ordnungsgemäßen Bauausführung (Dichtheit, Zugfestigkeit u. dgl.). Sie ist aber keine umfassende Festigkeitsprüfung (eine solche zerstört zwingend die Leitung und kommt somit im Rohrgraben nicht in Betracht). Sie bildet auch keine vollständige Verbindungs- bzw. Schweißnahtprüfung. Sie kann also eine sorgfältige, kontrollierte Materialwahl und -verarbeitung nur ergänzen.

Die vorangegangenen Betrachtungen verdeutlichen den besonderen Einfluss der Umgebungstemperatur, der durch eine regelrechte Erdüberdeckung, bzw. provisorische Maßnahmen im Rahmen der Prüfung, im zulässigen Rahmen gehalten werden kann. Diese Betrachtungen bestätigen somit das DVGW-Regelwerk zur Druckprüfung von Wasserleitungen aus PE-Rohren: Wer die Vorgaben des Regelwerks einhält, bewegt sich auf gesichertem Terrain und kann eventuelle prüfbedingte Lebensdauereinbußen vernachlässigen.

Verschärfte Prüfbedingungen (höhere Drücke/Temperaturen, längere Zeiten)

sind kontraproduktiv! Sie stärken NICHT die Aussagefähigkeit der Prüfung. Aber sie bergen die Gefahr einer nachhaltigen, wenn auch zunächst nicht auffälligen Materialschädigung.

PE 100 SDR 17 kann – außerhalb des Regelwerks! – mit STP = 15 bar geprüft werden. Je nach individuellen Umständen besteht das Risiko einer mehr oder weniger beachtlichen Lebensdauereinbuße. Entsprechend wäre eine Festlegung von MDP < 10 bar ebenfalls nur eine Option außerhalb des Regelwerks.

Doch auch PE 100 SDR 11 hat Grenzen, die – gerade auf Baustellen im Sommer – zu beachten sind. Es erfordert jedoch keine „Samthandschuhe“ (Toleranzen im einstelligen Prozentbereich bei Prüfdruck und -temperatur fallen nicht ins Gewicht) und kann also – im Rahmen des Regelwerks – problemlos eingesetzt werden.

Würdigung

Wesentliche Inhalte dieses Aufsatzes wurden bereits bei verschiedenen Tagungen vorgetragen, insbesondere durch Dipl.-Ing. Ralf Nothdurft, EnBW Regional AG, Stuttgart: „Druckprüfung nach DVGW W 400-2 an PE 100/SDR 17-Rohren – Ein Beitrag zur Versachlichung“, Wiesbadener Kunststoffrohrtage 2008.

Autor:

Dipl.-Phys. Dipl.-Wirtsch.-Phys.
Klaus Büschel
DVGW Deutscher Verein des
Gas- und Wasserfaches e. V.
Josef-Wirmer-Str. 1-3
53123 Bonn
Tel.: 0228 9188-861
Fax: 0228 9188-988
E-Mail: bueschel@dvgw.de
Internet: www.dvgw.de