

Unterschiede von Rohren aus gefülltem und ungefülltem Polypropylen in Prüfung und Anwendung

Wolfgang Fischer

Schlagwörter: Entwässerungssysteme, Kanalisation, Rohr, Kunststoff, Polypropylen, Materialprüfung, Belastbarkeit, mechanisch, Schlagfestigkeit DOI: 10.3242/kae2013.09.002

Zusammenfassung

Für erdverlegte Abwasserrohre wird heute eine Vielzahl von Werkstoffen und Rohrkonstruktionen angeboten. Insbesondere auf Basis Polypropylen existieren mittlerweile zahlreiche Rohrsysteme, die für die gleiche Anwendung eingesetzt werden, sich jedoch bezüglich Material (ungefüllt - gefüllt) und Wandaufbau (Einschicht - Mehrschicht) zum Teil erheblich unterscheiden. Um dem Fachmann Entscheidungshilfen zu geben, wird innerhalb dieser Studie gezeigt, ob und inwieweit praxisrelevante Eigenschaften durch die Verwendung unterschiedlicher Werkstoffmischungen bzw. Rohrkonstruktionen beeinflusst werden.

Einleitung

In den letzten Jahren und Jahrzehnten wurden Rohrsysteme für die Abwasserentsorgung stetig weiterentwickelt. Dabei berücksichtigen die Hersteller wie auch die einschlägigen Normungsgremien sowohl technische als auch wirtschaftliche Aspekte. Im Bereich der Kunststoffkanalrohre hat sich Polypropylen (PP) als Werkstoff herauskristallisiert, der für diese Anwendung einige sehr gute Eigenschaften aufweist. Einerseits zeigt PP in allen einschlägigen Materialprüfungen eine gute Materialfestigkeit, andererseits eine hohe Flexibilität,

Bei einer Erdverlegung als Kanalrohr ergeben sich deshalb ausgezeichnete Eigenschaften, die eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen äussere und innere Belastungen sicherstellen. Der Werkstoff weist darüber hinaus eine ausgezeichnete Robustheit auf, um rauen Baustellenbedingungen zu trotzen. Dies wird einerseits durch eine Steifigkeit erreicht, die es möglich macht, die Rohre auch bei hohen statischen und dynamischen Belastungen zu verlegen oder den Einfluss schwieriger Baustellenbedingungen zu kompensieren. Andererseits ist der Werkstoff so flexibel, dass er sich durch geringfügige Verformungen Belastungsspitzen entziehen kann, ohne dabei Schaden zu nehmen.

Am Markt werden heutzutage unterschiedlichste Rohrkonstruktionen angeboten, sodass es auch für Fachleute schwierig ist, die verschiedenen Wandaufbauten und Werkstoffmodifikationen hinsichtlich ihrer Anwendungen und Eigenschaften einzuschätzen. Rohre aus gefülltem PP werden gleichwertig neben Rohren aus ungefülltem PP angeboten. Man gibt an, dass erstere durch mineralische Zugaben verstärkende Wirkung erzielen.

Inwiefern dies eine zutreffende Aussage ist und welche Vor- und Nachteile der verschiedenen Polypropylen-Rohre es gibt, ist Ziel der vorliegenden Studie. Zusätzlich reflektiert sie die Unterschiede und die geeigneten Praxiseinsätze der verschiedenen Rohrtypen.

2 Untersuchte Kanalrohrsysteme

Es wurden drei verschiedene Rohrarten bei anerkannten, europäischen Prüfinstituten untersucht (Bild 1):

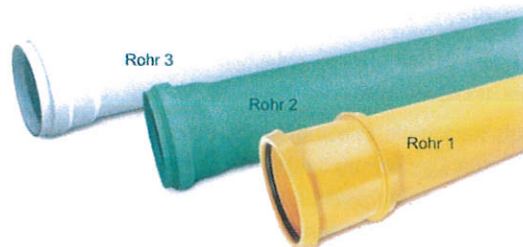


Bild 1: geprüfte Rohre

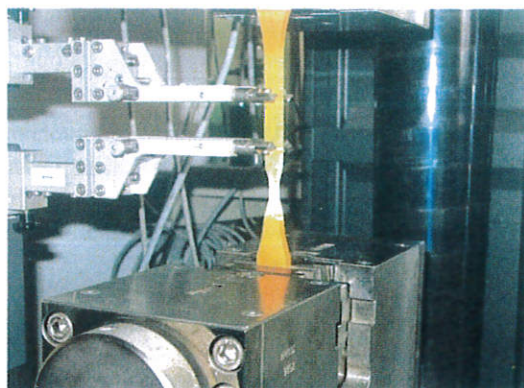


Bild 2: Probekörper im Zugversuch

Rohr 1

- Vollwandrohr, einschichtig, ungefülltes Polypropylen
- Farbe gelb-orange nach DIN EN 1852-1
- Produktionsdatum: DN 160 (19.04.2011); DN 315 (29.03.2011)

Rohr 2:

- Vollwandrohr, einschichtig, gefülltes Polypropylen
- Farbe grün nach DIN EN 14758-1
- Produktionsdatum: DN 160 (17.11.2011); DN 315 (31.08.2011)

Rohr 3:

- Drei-Schicht-Wandaufbau, Aussen- und Mittelschicht aus gefülltem Polypropylen, Innenschicht aus ungefülltem Polypropylen
- Farbe weiss - grau - grau gemäss allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung
- Produktionsdatum: DN 160 (08.11.2011); DN 315 (13.09.2010)

Die folgenden Kapitel erläutern die durchgeführten Prüfungen und zeigen die Ergebnisse auf. Die Bewertung der Ergebnisse erfolgt in Kapitel 7.

3 Werkstoffeigenschaften und Kennwerte

3.1 Elementaranalyse / Füllstoffanteil

Als Grundlage für den Vergleich von ungefülltem und gefülltem Polypropylen der drei Kanalrohrarten wurde eine Elementaranalyse an den jeweiligen Werkstoffen durchgeführt und daraus der Füllgrad ermittelt [1],

- Rohr 1: Es wurden keine Füllstoffe festgestellt.
- Rohr 2: Der Rohrwerkstoff weist einen Füllstoffanteil von ca. 40 % auf. Der Füllstoff ist Kreide.
- Rohr 3: Die Mittelschicht des Rohres 3 weist einen Füllstoffanteil von ca. 40 % auf, die Aussenschicht ca. 20 %. In der Innenschicht wurde kein Füllstoff festgestellt. Der Anteil der Mittelschicht beträgt ca. zwei Drittel der Gesamtwanddicke. Bei den mineralischen Zusätzen in Mittel- und Aussenschicht handelt es sich im Wesentlichen um Talkum und Kreide. Zusätzlich weist die Aussenschicht einen faserartigen Füllstoff auf.

3.2 Streckspannung an gekerbten und ungekerbten Probekörpern

Es wurden Zugversuche gemäss DIN EN ISO 527 an allen drei Rohrtypen durchgeführt, sowohl an nicht gekerbten als auch an gekerbten Probekörpern [1] (Tabelle 1). Diese technischen Standardversuche ergeben mechanische Werte, die ein Mass für die Festigkeit und Verformbarkeit der Rohre sind. Es ist zu erkennen, dass die Rohre 2 und 3 gegenüber Rohr 1 um ca. 20 bis 30 % niedrigere Streckspannungswerte (Tabelle 1). Das bedeutet, dass die Kraft bis zum Bruch, die das Material unabhängig von der Rohrwanddicke aushält, bei Rohr 1 deutlich höher sein kann als bei den Rohren 2 und 3.

Prüfkörper	Rohr 1	Rohr 2	Rohr 3
Nicht gekerbt	30.8 N/mm ²	20.9 N/mm ²	24.6 N/mm ²
Nicht gekerbt	32.3 N/mm ²	22.1 N/mm ²	24.6 N/mm ²

Tabelle 1: im Zugversuch nach DIN EN ISO 527 erreichte Streckspannungen

Im Regelfall erfolgt die Verbindung von Kanalrohren mittels Steckmuffe. Es kommt in der Praxis jedoch immer wieder vor, dass auch Abwasserrohre verschweisst werden müssen. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn entsprechende Formteile fehlen oder eine zugfeste Verbindung ohne zusätzliche Auszugssicherung erstellt werden soll. Eine weitere Anwendung des Schweißens im Kanalrohrbereich liegt in der Verschweißung von Rohrsegmenten bei der Herstellung von Formteilen.

Zweck der Prüfung ist es, festzustellen, ob die Festigkeit der Schweißnaht bei einer Schweißung der Rohre im Vergleich zum übrigen Rohr abnimmt. Der Schweißfaktor drückt hierbei die Schweißgüte aus, indem die im Zugversuch festgestellte Zugfestigkeit an der Schweißverbindung mit der Festigkeit ausserhalb ins Verhältnis gesetzt wird. Bei einer idealen, in der Praxis aber nicht erreichbaren Schweißverbindung, wäre der Schweißfaktor demnach 1.

Wird allerdings an der Schweissverbindung nur 50 % der Zugfestigkeit erreicht, liegt der Faktor f bei 0,5.

Die Schweissfaktorprüfung [1] wurde entsprechend der Richtlinie des Deutschen Verbandes für Schweißen und verwandte Verfahren nach DVS 2203-2 durchgeführt. Bei der Prüfung der Schweissverbindungen, die nach DVS 2207-11 ausgeführt wurden, zeigt sich, dass Rohr 1 und 2 offensichtlich sehr gut schweisbar sind. Für das Rohr 1 mit ungefülltem PP-Werkstoff ist das keine Überraschung, da diese Verschweissung seit vielen Jahren Stand der Technik ist.

Rohr 1	Rohr 2	Rohr 3
0.94	0.93	0.44

Tabelle 2: Schweissfaktorprüfung nach DVS 2203-2

Ebenfalls ein gutes Ergebnis lieferte das Rohr 2 mit einem Schweissfaktor von 0,93. Trotz mineralischer Anteile in der Materialmischung konnte auch hier eine sehr gute Schweissverbindung hergestellt werden. Hingegen zeigte sich bei Rohr 3, dass diese Drei-Schicht-Konstruktion durch die Modifikation mit Füll- und Verstärkungsstoffen offensichtlich nicht ordnungsgemäss mit ausreichender Festigkeit schweisbar ist. Es wurde ein Schweissfaktor von nur 0,44 festgestellt. Damit stellt diese Schweissverbindung eindeutig eine Schwachstelle dar.

4 Untersuchung der Schlagzähigkeit

4.1 Kerbschlagzähigkeit nach Charpy

Zweck dieser Prüfung [1] ist die Simulation schlagartiger Belastungen auf das Rohr. Das Ergebnis dieser Prüfung ist ein Mass für die im Rohr vorhandenen Sicherheitsreserven bei Schlagbeanspruchung, wie dies auf der Baustelle immer wieder vorkommt, insbesondere wenn das Rohr durch oberflächliche Kratzer und Riefen vorgeschädigt ist.



Bild 3: Charpy-Schlagprüfung



Bild 4: Probekörper nach/beim Fallschlagtest

Es wurden Kerbschlagbiegeversuche nach Charpy gemäss DIN EN ISO 179-1 an allen drei Rohrtypen durchgeführt. Hierbei wird eine längliche Rohrprobe aus den Rohren entnommen, diese gekerbt und dann in einem Pendelschlagwerk geschlagen (Bild 3). Aus Tabelle 3 ist zu erkennen, dass die Charpy-Kerbschlagzähigkeit des Rohres 1 um den Faktor 12 höher lag im Vergleich zu Rohr 2 bzw. um Faktor 6 gegenüber Rohr 3.

Rohr 1	Rohr 2	Rohr 3
52.9 kJ/m ² (100%)	4.4 kJ/m ² (8%)	8.8 kJ/m ² (17%)

Tabelle 3: Charpy-Schlagprüfung nach DIN EN ISO 179-1

4.2 Widerstandsfähigkeit gegen Schlagbeanspruchung

Die Prüfung [1] dient dazu, eine Aussage zur Verlegbarkeit der Rohre bei niedrigen Temperaturen zu erhalten. Dafür wurde im sogenannten Falltest der Widerstand gegen äussere Schlagbeanspruchung bei Temperaturen von - 10 °C und - 21 °C ermittelt. Dazu fällt ein definiertes Gewicht auf den Probekörper (Tabelle 4). Die Fallhöhe wird dabei schrittweise bis zu 2 m gesteigert.

Der Falltest nach DIN EN 1411 wird üblicherweise bei -10 °C durchgeführt. Zwar erfüllen alle drei Rohre die normative Basisanforderung von einem Meter Fallhöhe, es offenbaren sich aber auch hier Unterschiede, die beim Baustellenhandling spürbar sein werden (Abbildung 9),

Prüftemperatur	Rohr 1	Rohr 2	Rohr 3
-10°C	2m; kein Bruch	2m; 1 Bruch	1.9m; 3 Brüche
-21°C	2m; kein Bruch	2m; 8 Brüche	1.9m; 7 Brüche

Tabelle 4: erreichter H50-Wert in der Fallschlagprüfung nach DIN EN 1411

Definition des H50-Wertes gemäss DIN EN 1411: Der H50-Wert bezeichnet die Fallhöhe eines Fallhammers mit festgelegter Masse, bei der 50 % der Probekörper einer Rohrprobe, die aus einer Charge entnommen wurde, versagen

Während Rohr 1 keinerlei Brüche bis zur maximal möglichen Fallhöhe von 2 m zu verzeichnen hatte, wurde eine Reihe von Brüchen bei den Rohren mit Füll- und Verstärkungstoffen registriert. Vor allem bei sehr niedrigen Temperaturen zeigt sich hier eine erhebliche Herabsetzung der Schlagzähigkeit. Dies kann vor allem bei niedrigen Ausstemperaturen ein höheres Schadenspotenzial bedeuten, sowohl vor der Verlegung (Abladen von LKW, versehentliches Fallenlassen, Baustellentransport etc.) als auch während der Verlegung (zum Beispiel durch bei der Überschüttung herabfallende Steine aus dem Grabenbereich).

5 Verhalten unter dynamischen Lasten

5.1 Zugschwellversuch

Im Rahmen der Untersuchungen wurden auch dynamische Prüfungen an den Rohren durchgeführt [1]. Zweck dieser Simulation ist es zu untersuchen, ob die Rohre gegenüber den wechselnden Be- und Entlastungen im Boden, wie sie zum Beispiel unter befahrenen Strassen oder Gleisen auftreten können, beständig sind, oder ob mit Alterungserscheinungen zu rechnen ist. Hohe Belastungen treten hierbei besonders dann auf, wenn schlechte Bodenverhältnisse, niedrige Überdeckungshöhen oder grosse Verkehrslasten vorhanden sind. Zur Prüfung wurden Prüflinge aus den Rohren entnommen und in eine Zugprüfmaschine eingespannt.

Rohr 1	Rohr 2	Rohr 3
Ohne Bruch bei 1'000'000 Lw	Bruch bei 992 Lw	Bruch bei 3637 Lw

Tabelle 5: Zugschwellversuch (3 Hz, 22 N/mm², max. 1 Million Lastwechsel (Lw))

Die Vergleichsprüfungen wurden bei einer Spannung von 22 N/mm², einer Lastwechselfrequenz von 3 Hz und einer Lastwechselfrequenz von maximal einer Million durchgeführt, wobei sich enorme Unterschiede ergaben (Tabelle 5). Die Prüfkörper aus ungefülltem Polypropylen (Rohr 1) gingen innerhalb der einen Million Schwingungen nicht zu Bruch, während diejenigen aus gefülltem Polypropylen (Rohr 2) bei einem Mittelwert von nur 992 Schwingungen versagten. Die Prüfkörper aus den Rohren 3 (mehrschichtig) brachen bei durchschnittlich 3627 Schwingungen, also bei etwa 0,4 % der Schwingungen von Rohr 1.

5.2 Ringflexibilität mit Aussenkerbe

Bei dieser Prüfung [1] ermittelte man die Verformungsfähigkeit bei gleichzeitiger oberflächlicher Beschädigung (Riefen, Kratzer). Solche Beschädigungen können im rauen Baustellenalltag nicht ausgeschlossen werden. Während Rohr 1 und 2 übliche Werte > 30 % erreichten, hat das Rohr 3 bei einer Verformung von weniger als 30 % versagt. Bei diesem Rohr hat sich gezeigt, dass oberflächliche Verletzungen bis zur mittleren Schicht offensichtlich die Flexibilität spürbar herabsetzen.

Rohr 1	Rohr 2	Rohr 3
Ohne Bruch; 30%	Ohne Bruch; 30%	Bruch bei 28.93%

Tabelle 6: Ringflexibilität mit Aussenkerbe nach DIN EN ISO 13968

6 Untersuchung der Kurz- und Langzeitfestigkeit

6.1 Kurzzeitfestigkeit im Berstdruckversuch

Es handelt sich hier um sogenannte Berstdruckprüfungen [2-4], die die kurzzeitige Belastbarkeit der Rohrkonstruktion überprüfen. Diese wurden in Anlehnung an DIN EN ISO 1167-1 an nicht gekerbten und gekerbten Rohren durchgeführt. Die Rohre wurden unabhängig von ihren Wanddicken unter einen definierten Anfangsdruck gesetzt, der einer Spannung in der Rohrwand von 16 N/mm² entspricht. Nach einer Stunde steigerte man bei Raumtemperatur den Druck alle 2-3 Minuten um 0,5 bar; bis die Rohre brachen oder undicht wurden. Aus diesem Enddruck errechnete sich eine resultierende Spannung in der Rohrwand.

Prüftemperatur	Rohr 1	Rohr 2	Rohr 3
nicht gekerbt	30.65 bar / 31.34 N/mm ²	12.69 bar / 20.12 N/mm ²	15.77 bar / 19.69 N/mm ²
gekerbt	28.35 bar / 29.08 N/mm ²	10.12 bar / 15.96 N/mm ²	12.73 bar / 15.95 N/mm ²

Tabelle 7: Berstdruckprüfung

Der Vergleich dieser Spannungen verdeutlicht die erheblichen Unterschiede in der Belastbarkeit des Materials. Bei den Versuchen mit ungekerbten Probekörpern brachen die Rohre 2 und 3 bei einer Spannung in der Rohrwand von etwa 20 N/mm². Damit erreichten sie nur 65 % der Spannung von Rohr 1 mit 31 N/mm². Der Unterschied bei gekerbten Probekörpern war noch deutlicher. Hier erreichten die Rohre 2 und 3 nur 55 % der Spannung von Rohr 1.

Somit wurde für Rohr 1 ein deutlich höheres Sicherheitspotenzial bei auftretenden Belastungen nachgewiesen, insbesondere wenn oberflächliche Beschädigungen vorhanden sind.

6.2 Langzeitfestigkeit mittels Zeitstand-Innendruckprüfung

Bei dieser Prüfung [5-9] (Tabelle 8) wird die Dauerhaftigkeit des Rohrwerkstoffs überprüft. Die Versuche wurden gemäß DIN EN ISO 1167-1 an nicht gekerbten Rohren durchgeführt. Hierzu erzeugt man eine Spannung in der Rohrwand von 2.5 N/mm² durch Innendruck, der sich in Abhängigkeit von den Wanddicken errechnet. Um eine Aussage zur Langzeitfestigkeit innerhalb vernünftiger Zeiten zu erhalten, wird die Prüfung bei erhöhter Temperatur (95 °C), wie in den Normen vorgegeben, durchgeführt. Man erfasst die Zeit bis zum Bruch der Rohre, jedoch max. 1000h. Es wurden jeweils drei Rohrproben der Abmessung DN 160 und DN 315 geprüft.

Prüftemperatur	Rohr 1	Rohr 2	Rohr 3
DN160	Ohne Bruch; 1000h	Bruch bei 704h	Ohne Bruch; 1000h
DN315	Ohne Bruch; 1000h	Bruch bei 262h	Ohne Bruch; 1000h

Tabelle 8: Innendruck-Zeitstands-Prüfung

Rohr 1 erfüllte die Anforderung der Norm von 1000 Stunden. Trotz der Forderung in der Norm für Rohr 2 von mindestens 1000 Stunden verfehlte Rohr 2 mit einer mittleren Standzeit von lediglich 262 Stunden und 704 Stunden dieses Ziel doch sehr deutlich. Rohr 3 erreichte hier ein positives Ergebnis,

7 Zusammenfassung und Bewertung

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden auf dem Markt verfügbare Kanalrohre aus gefülltem und ungefülltem Polypropylen hinsichtlich praxisrelevanter Eigenschaften miteinander verglichen. Besonderes Augenmerk legte die Untersuchung auf die Robustheit beim Baustellenhandling und die Widerstandsfähigkeit im erdverlegten Zustand.

Neben den reinen Werkstoffkennwerten ermittelte man in umfangreichen Testreihen einerseits die Schlagfestigkeit, andererseits die dynamische Belastbarkeit. Alle Testergebnisse sind für den besseren Vergleich in Tabelle 9 aufgeführt.

Der Falltest bei niedrigen Temperaturen zeigte, dass Rohr 1 aus ungefülltem Polypropylen deutlich höhere Schlagenergien ohne Bruch überstehen kann als die Rohrtypen 2 und 3 aus gefülltem Polypropylen. Auch bei der durch die Prüfeinrichtung begrenzten, maximalen Fallhöhe von 2 m und einem Fallgewicht von 8 kg haben alle Rohre aus ungefülltem Polypropylen den Test unbeschadet überstanden, während die Rohre 2 und 3 aus gefülltem Polypropylen bei einer Fallhöhe von 0,7 m bis 2 m immer wieder zu Bruch gingen.

Bestätigt wurde dieses Bild beim Vergleich im Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy. Hier erzielte das ungefüllte Rohr 1 im direkten Vergleich eine um den Faktor 12 bzw. 6 höhere Kerbschlagzähigkeit. Damit wurde eine erhöhte Widerstandsfähigkeit gegen Bruch nachgewiesen, insbesondere wenn die Rohre oberflächlich durch Riefen oder Kratzer beschädigt waren,

Zur Simulation der Belastungen im erdverlegten Zustand wurden sogenannte Zugschwellversuche durchgeführt, bei denen die Probekörper einer ständigen Be- und Entlastung unterzogen wurden. Bei einem Lastniveau von 22 N/mm² haben die Probekörper des ungefüllten Rohres 1 eine Million Lastwechsel ohne Bruch überstanden, während die Rohre 2 und 3 zwischen 992 und 3637 Lastwechseln zerbrachen. Auch hier zeigte sich bei den letztgenannten Rohren durch die eingesetzten Füll- und Verstärkungstoffe die deutlich herabgesetzte Zähigkeit.

Bei der Verformungsfähigkeit mit oberflächlicher Kerbe wurde nachgewiesen, dass die Drei-Schicht-Konstruktion des Rohres 3 mit den vollwandigen Ausführungen der Rohre 1 und 2 nicht mithalten kann, während eine 30%ige Verformung beim Rohr 1 und 2 ohne Aufreißen der Kerbe möglich war, brach das Rohr 3 bei einer Verformung von unter 30 %.

Zusätzlich hat sich gezeigt, dass bei letztgenanntem Drei-Schicht-Rohr Verbindungen mittels Heizelement-Stumpfschweißung Schwachstellen bedeuten, da die Festigkeit im Bereich der Schweißnaht auf weniger als die Hälfte reduziert wird (Schweißfaktor 0,44), Dies bedeutet auch, dass bei diesem Rohrtyp im Gegensatz zu den Rohren 1 und 2 die Herstellung von Formteilen mit dem genannten, in der Industrie üblichen Schweißverfahren nach DVS-Richtlinie keinesfalls zu empfehlen ist.

Prüfung		Rohr 1 (ungefüllt)	Rohr 2 (gefüllt)	Rohr 3 (mehrschicht)
Zugversuch	ungekerbt	30,8 N/mm ²	20,9 N/mm ²	24,6 N/mm ²
	gekerbt	32,3 N/mm ²	22,1 N/mm ²	24,6 N/mm ²
Prüfung Schweißfaktor		0,94	0,93	0,44
Kerbschlagversuch (Charpy)		52,9 kJ/m ²	4,4 kJ/m ²	6,8 kJ/m ²
Fallschlagprüfung (- 10°C)		kein Bruch	1 Bruch	3 Brüche
Fallschlagprüfung (- 21°C)		kein Bruch	8 Brüche	7 Brüche
Zugschwellversuch		1 Mio. Lastwechsel	992 Lastwechsel	3637 Lastwechsel
Prüfung Ringflexibilität		kein Bruch	kein Bruch	Bruch bei 28,93 %
	ungekerbt	31,34 N/mm ² (≙ 30,65 bar)	20,12 N/mm ² (≙ 12,69 bar)	19,69 N/mm ² (≙ 15,77 bar)
	gekerbt	29,08 N/mm ² (≙ 28,35 bar)	15,96 N/mm ² (≙ 10,12 bar)	15,95 N/mm ² (≙ 12,73 bar)
	DN 160	1000 h, kein Bruch	704 h	1000 h, kein Bruch
DN 315	1000 h, kein Bruch	262 h	1000 h, kein Bruch	

Tabelle 9: Ergebnisse der Untersuchungen zur Schlagfestigkeit und dynamischen Belastbarkeit (grün ausgelegt: bestes relatives Prüfergebnis, gelb ausgelegt zweitbestes relatives Prüfergebnis, braunrot ausgelegt: schlechtestes relatives Prüfergebnis)

Auch zeigen die Ergebnisse der Zeitstand-Innendruckprüfungen, dass bezüglich der Dauerhaftigkeit des Rohrwerkstoffes das gefüllte Rohr 2 mit dem ungefüllten Rohr 1 und dem dreischichtigen Rohr 3 nicht mithalten kann und sogar die gültige Normanforderung nicht erfüllt.

Unter Berücksichtigung aller untersuchten Eigenschaften kann daher festgehalten werden, dass das vollwandige Rohr 1 aus ungefülltem PP im direkten Vergleich die grössten Sicherheitsreserven aufweist, um sowohl den in der Praxis auftretenden Belastungen während der Montage und der Verarbeitung zu widerstehen als auch eine möglichst lange Nutzungsdauer zu erreichen.

Literatur

- (1) Prüfbericht Nr. B41.12.202.01, Materialforschungs- und Prüfanstalt an der Bauhaus-Universität Weimar, 16. August 2012
- (2) Prüfbericht TGM-VA KU 24385, TGM-Technologisches Gewerbemuseum, Staatliche Versuchsanstalt, Wien, 2. April 2012
- (3) Prüfbericht TGM-VA KU 24386, TGM-Technologisches Gewerbemuseum, Staatliche Versuchsanstalt, Wien, 2. April 2012
- (4) Prüfbericht TGM-VA KU 24384, TGM-Technologisches Gewerbemuseum, Staatliche Versuchsanstalt, Wien, 30. März 2012
- (5) Ergebnisbrief 99114/11, SKZ-TeConA GmbH, Würzburg, 2. Februar 2012
- (6) Prüfbericht TGM-VA KU 24289/1, TGM-Technologisches Gewerbemuseum, Staatliche Versuchsanstalt, Wien, 5. März 2012
- (7) Prüfbericht TGM-VA KU 23924/1, TGM-Technologisches Gewerbemuseum, Staatliche Versuchsanstalt, Wien, 6. September 2011
- (8) Prüfbericht TGM-VA KU 24289, TGM-Technologisches Gewerbemuseum, Staatliche Versuchsanstalt, Wien, 17. Februar 2012
- (9) Prüfbericht TGM-VA KU 24290, TGM-Technologisches Gewerbemuseum, Staatliche Versuchsanstalt, Wien, 11. Januar 2012

Autor

Fischer Ingenieurtechnik GmbH & Co. KG Dr. Dipl.-Ing. (FH) Wolfgang Fischer, Utastrasse 72 93049 Regensburg, E-Mail: Fischer@Fischer-Ingenieurtechnik.de, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Kunststoffe (Prüfung und Verarbeitung) und Kunststoffrohre (Herstellung, Verlegung, Sanierung, Beurteilung von Rohrschäden)