

www.dwa.de/KA

Grußwort zur DWA-
Bundestagung

DWA-Experten-
gespräch
GIS und GDI

100 Jahre
„Belebter Schlamm“

WorldSkills 2013

Demografischer
Wandel

EU-Rahmen-
programm
„Horizon 2020“

Bepflanzte
Bodenfilter für
Straßenabflüsse

Abwasserrohre
im Vergleich

Kleinkläranlagen

Beschaffung von
Flockungsmitteln



Abwasserrohre im Vergleich

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

Wolfgang Fischer^{*} (Regensburg)

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.

Schlagwörter: Entwässerungssysteme, Kanalisation, Rohr, Kunststoff, Polypropylen, Materialprüfung, Belastbarkeit, mechanisch, Schlagfestigkeit

DOI: 10.3242/kae2013.09.002

Abstract

A Comparison of Filled and Unfilled Polypropylene for Sewer Pipe Applications

A large number of materials and pipe designs are available for embedded sewage pipe applications. Polypropylene is commonly used in these applications, and is available in a range of grades of material (both filled and unfilled) and pipe designs. This study aims to establish the key properties of the pipes in order to support experts in choosing materials and designs for particular applications.

Key words: drainage systems, sewer network, pipe, plastics material, polypropylene, materials testing, resilience, mechanical, impact strength

1 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 den einschlägigen Materialprüfungen eine gute Materialfestigkeit, andererseits eine hohe Flexibilität.

Bei der 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 Baustellen-

bedingungen 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 das 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 (Abbildung 1):

^{*} Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Kunststoffe (Prüfung und Verarbeitung) und Kunststoffrohre (Herstellung, Verlegung, Sanierung, Beurteilung von Rohrschäden)



Abb. 1: Geprüfte Rohrarten

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.

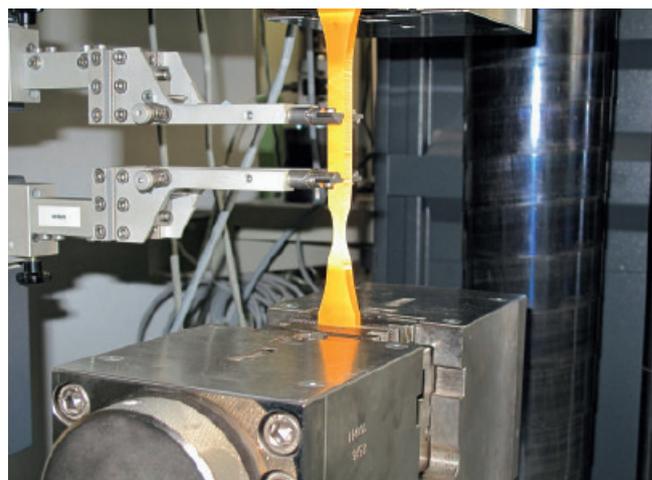
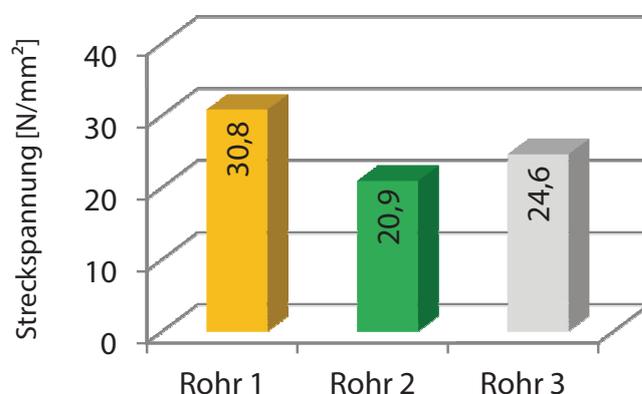
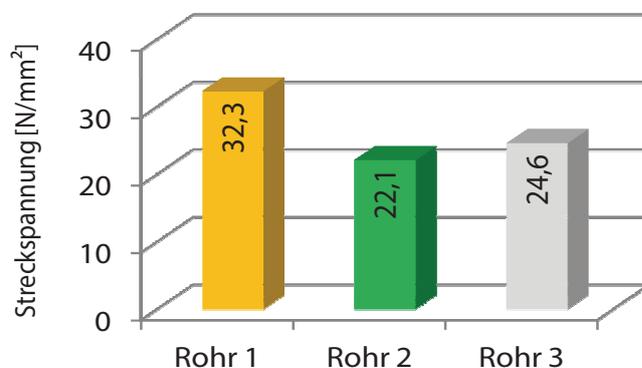


Abb. 2: Probekörper im Zugversuch



a) ungekerbt



b) gekerbt

Abb. 3: Zugversuch nach DIN EN ISO 527

3.2 Streckspannung an gekerbten und ungekerbten Probekörpern

Es wurden Zugversuche gemäß DIN EN ISO 527 an allen drei Rohrtypen durchgeführt, sowohl an ungekerbten als auch an gekerbten Probekörpern [1] (Abbildung 2). 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 aufweisen (Abbildung 3). 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.

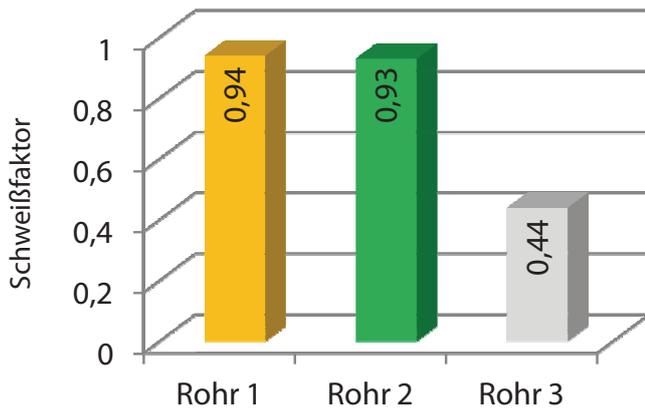


Abb. 4: Schweißfaktorprüfung nach DVS 2203-2

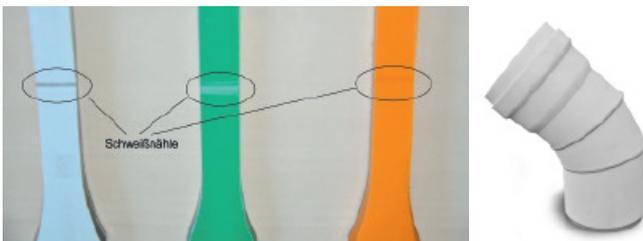


Abb. 5: Geschweißte Probekörper und geschweißter Bogen

3.3 Schweißfaktor

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 Festigkeit 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 (Abbildungen 4 und 5). Bei der Prüfung der Schweißverbindungen, die gemäß DVS 2207-11 ausgeführt wurden, zeigt sich, dass Rohr 1 und 2 offensichtlich sehr gut schweißbar sind. Für das Rohr 1 aus ungefülltem PP-Werkstoff ist das keine Überraschung, da deren Verschweißung seit vielen Jahren Stand der Technik ist.

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 Verstärkungstoffen offensichtlich nicht ordnungsgemäß mit ausreichender Festigkeit schweißbar ist.



Abb. 6: Prüfeinrichtung für Charpy-Schlageigenschaften

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.

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 (Abbildung 6). Aus Abbildung 7 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.

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 (Abbildung 8). Die Fallhöhe wird dabei schrittweise bis zu 2 m gesteigert.

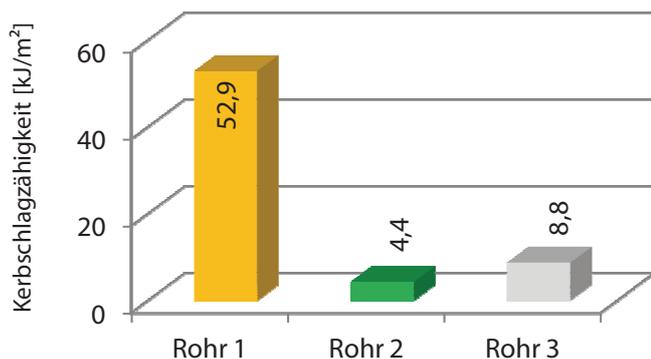


Abb. 7: Charpy-Schlageigenschaften nach DIN EN ISO 179-1



Abb. 8: Probekörper im Fallschlagtest

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).

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 Verstärkungsstoffen registriert. Vor allem bei sehr niedrigen Temperaturen zeigt sich hier eine erhebliche Herabsetzung der Schlagzähigkeit. Dies kann vor allem bei niedrigen Außentemperaturen ein höheres Schadenspotenzial bedeuten, sowohl vor der Verlegung

(Abladen von LKW, versehentliches Fallenlassen, Baustellen-transport etc.) als auch während der Verlegung (zum Beispiel durch bei der Überschüttung herabfallende Steine aus dem Grabenbereich).

5 Verhalten unter dynamischen Lasten

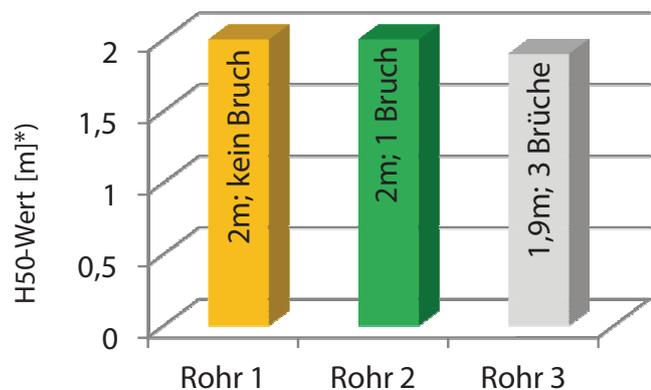
5.1 Zugschwellversuch

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 (Abbildung 10).

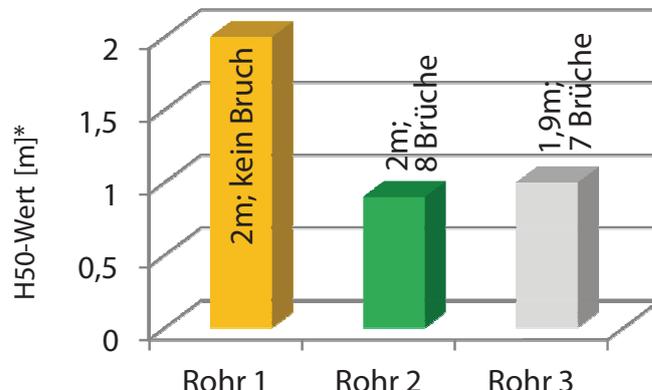
Die Vergleichsprüfungen wurden bei einer Spannung von 22 N/mm^2 , einer Lastwechselfrequenz von 3 Hz und einer Lastwechselanzahl von maximal einer Million durchgeführt, wobei sich enorme Unterschiede ergaben (Abbildung 11). Die Prüfkörper aus ungefülltem Polypropylen (Rohr 1) gingen innerhalb der eine 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] (Abbildungen 12 und 13) 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 (Abbildung 14). Bei diesem Rohr hat sich gezeigt, dass oberflächliche Verletzungen bis zur mittleren Schicht offensichtlich die Flexibilität spürbar herabsetzen.



a) bei -10 °C



b) bei -21 °C

^{*)} Definition des H_{50} -Wertes gemäß DIN EN 1411: Der H_{50} -Wert bezeichnet die Fallhöhe eines Fallhammers mit festgelegter Masse, bei der 50 % der Probekörper einer Rohrprobe, die aus einer Charge entnommen wurde, versagen.

Abb. 9: Fallschlagprüfung nach DIN EN 1411

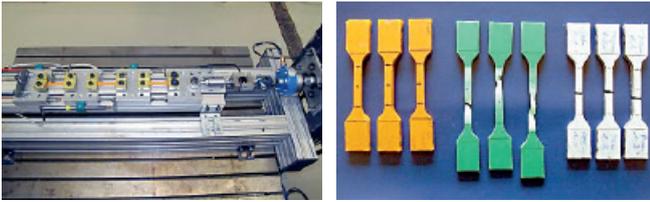
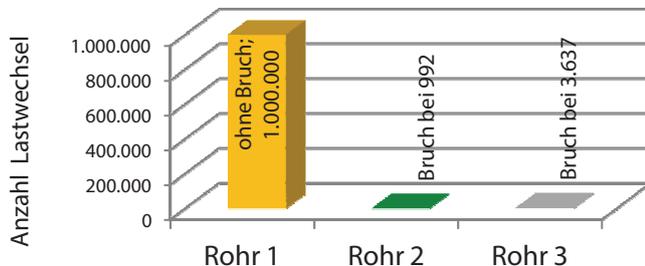


Abb. 10: Prüfeinrichtung und Prüfkörper beim Zugschwellversuch

Abb. 11: Zugschwellversuche (3 Hz, 22 N/mm², maximal eine Million Lastwechsel)

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 ungekerbten 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.

Der Vergleich dieser Spannungen verdeutlicht die erheblichen Unterschiede in der Belastbarkeit des Materials (Abbildung 15). 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] (Abbildung 16) wird die Dauerhaftigkeit des Rohrwerkstoffs überprüft. Die Versuche wurden gemäß DIN EN ISO 1167-1 an ungekerbten 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. Es wurden jeweils drei Rohrproben der Abmessung DN 160 und DN 315 geprüft.

Rohr 1 erfüllte die Anforderung der Norm von 1000 Stunden. Trotz der Forderung in der Norm für Rohr 2 von mindes-



Abb. 12: Aufbau einer Ringflexibilitätsprüfung

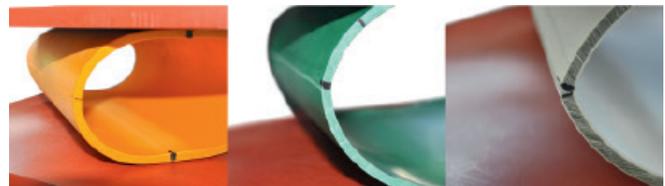


Abb. 13: Prüfkörper bei der Ringflexibilitätsprüfung

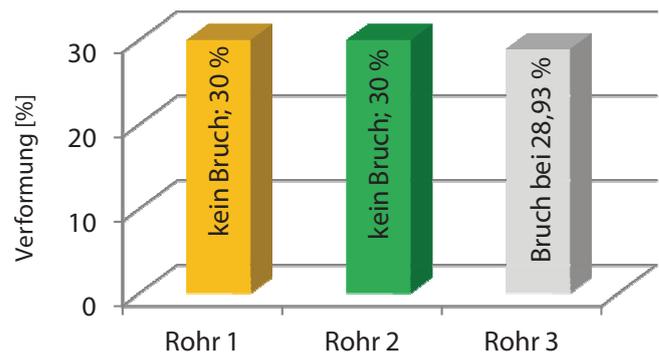
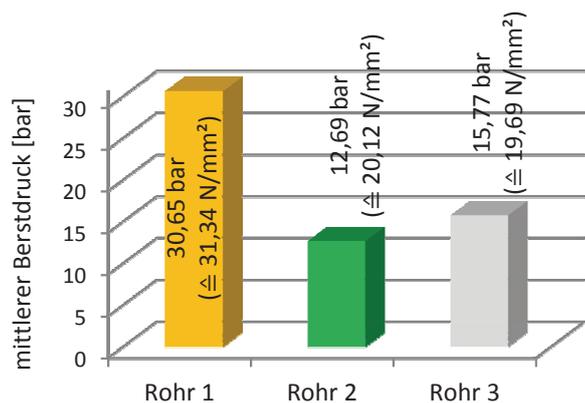


Abb. 14: Ringflexibilität mit Außerkerbe gemäß DIN EN ISO 13968

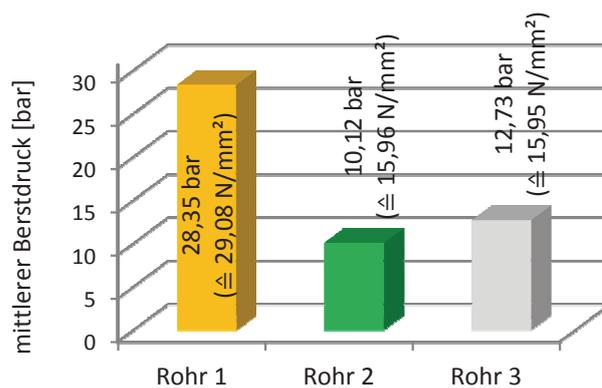
tens 1000 Stunden verfehlte Rohr 2 mit einer mittleren Standzeit von lediglich 262 Stunden und 704 Stunden dieses Ziel doch sehr deutlich. Rohr 3 erreichte hier ein positives Ergebnis.

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

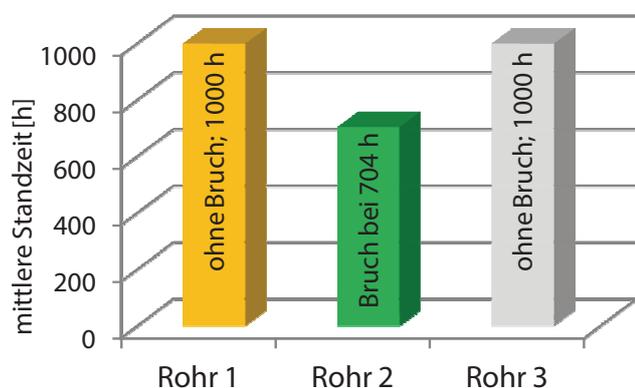


a) ungekerbt

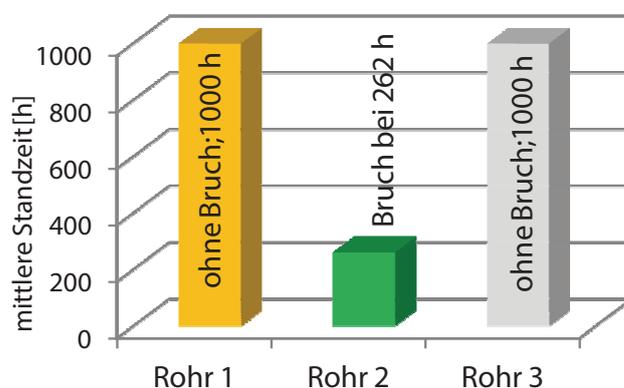


b) gekerbt

Abb. 15: Berstdruckprüfung



a) DN 160



b) DN 315

Abb. 16: Zeitstand-Innendruckprüfung gemäß DIN EN ISO 1167-1

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 1 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 562 und 6285 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.

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

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	8,8 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 %
Berstdruckprüfung	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)
Zeitstand- Innendruckprüfung	DN 160	1000 h, kein Bruch	704 h	1000 h, kein Bruch
	DN 315	1000 h, kein Bruch	262 h	1000 h, kein Bruch

Legende:

	bestes Prüfergebnis im Vergleich
	zweitbestes Prüfergebnis im Vergleich
	drittbestes Prüfergebnis im Vergleich

Tabelle 1: Ergebnisse der Untersuchungen zur Schlagfestigkeit und dynamischen Belastbarkeit

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

KA

Bitte beachten Sie folgende Hinweise:

- REHAU AG + Co hat sich an den Kosten der Erstellung des Artikels beteiligt.
- Die in dem Artikel zitierten Prüfberichte wurden von dem jeweiligen unabhängigen Prüfinstitut im Auftrag der REHAU AG + Co erstellt und durch die REHAU AG + Co Herrn Dr. Fischer überlassen.