



Quelle: SKZ

Mehrschicht-Kunststoffrohre für die Gasversorgung

Deutschland verfügt mit seinem engmaschigen Erdgasnetz über eine gut ausgebaute Infrastruktur zum Transport von Gas bis hin zum Endverbraucher. Die Länge des Erdgasnetzes beträgt inklusive der Hausanschlussleitungen über 600.000 km. Um die Potenziale von Wasserstoff in allen Anwendungsbereichen optimal nutzen zu können, müssen die Transport- und Verteilinfrastrukturen zu wasserstofftauglichen Systemen weiterentwickelt werden. Dazu sind der Um-, Aus- und Zubau von Netzen als wesentliche Schritte notwendig. Aufgrund ihrer guten Verlegeeigenschaften und der guten Druck- und Langzeitbeständigkeit werden heute bei Neubau- und Sanierungsmaßnahmen im Druckbereich < 10 bar vor allem Rohrleitungen aus Polyethylen (PE) eingesetzt. Vor diesem Hintergrund haben das Kunststoff-Zentrum SKZ und die DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH gemeinsam mit den Herstellern in dem durch den DVGW geförderten Forschungsvorhaben „KuGas – Mehrschicht-Kunststoffrohre für die Gasversorgung“ Mehrschichtrohre für die Verteilung von Wasserstoff und Methan untersucht und bewertet.

von: Dr. Mirko Wenzel (SKZ – KFE gGmbH), Andreas Bilsing (DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH) & Werner Weißing (Office for Green Gas)

Während die Eignung („Wasserstoffintegrität“) von Rohren aus PE 100 und PA-U12 als gegeben gilt [1], lassen sich durch den Einsatz von Mehrschichtkonstruktionen weitere Verbesserungen der Bar-

riereigenschaften gegen Gaspermeation gegenüber den Vollwandrohren erzielen. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden verschiedene Mehrschichtrohre für den Transport von Gas untersucht und umfassend bewertet. In

Tabelle 1: Übersicht über die betrachteten Rohrkonstruktionen

Nr.	Rohrwerkstoff	Sperrschicht	Schichtdicke	Rohrdimensionen
01	PE 100-RC	-	-	D = 110 mm, SDR 11
02	PE 100-RC	PA	500 µm	D = 110 mm, SDR 11
03	PE 100-RC	Al	80 µm	D = 110 mm, SDR 11
04	PE 100	EVOH	500 µm	D = 110 mm, SDR 11
05	PA-U12	-	-	D = 110 mm, SDR 11
06	PA-U12	EVOH	400 µm	D = 110 mm, SDR 11
07	HexelOne	-	-	D = 110 mm, SDR 11

Quelle: SKZ

Tabelle 1 findet sich eine Übersicht über die im Rahmen des Projektes betrachteten Rohrkonstruktionen. Neben dem Vollwandrohr aus PE 100-RC als Referenz wurden PE-Rohre mit Sperrschichten aus Polyamid (PA), Aluminium (Al) und Ethylen-Vinylalkohol-Copolymer (EVOH) untersucht.

Zusätzlich wurden auch Kunststoffrohre zum Transport für Gas bei höheren Anwendungsdrücken bewertet. Dabei handelte es sich um Vollwandrohre aus PA-U12 und Rohre aus PA-U12 mit EVOH-Sperrschicht. Außerdem wurden HexelOne-Rohre betrachtet. Diese sind durch eine Mittelschicht aus gestrecktem PE zur Erhöhung der Festigkeit verstärkt.

Durch eine umfassende Betrachtung wurden die verschiedenen Rohrkonstruktionen hinsichtlich ihres Langzeitverhaltens, des betrieblichen Umgangs und der Klimawirksamkeit (d. h. der Effektivität der Reduktion der Gasverluste für Methan und Wasserstoff) bewertet.

Zeitstand-Innendruckversuche

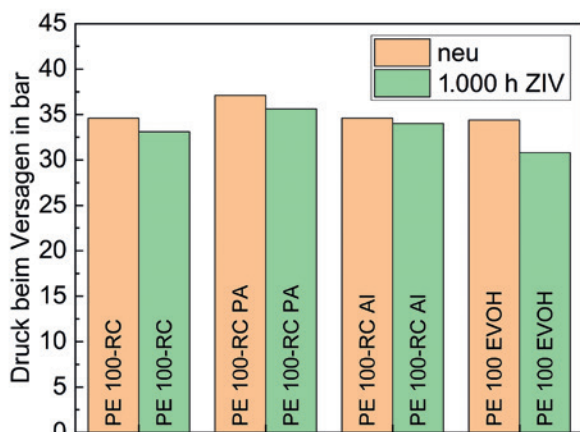
An den Rohren der Werkstoffgruppe PE 100 wurden Zeitstand-Innendruckversuche (ZIV) bei 80 °C in Dreifachbestimmung durchgeführt. Für die Rohre PE 100-RC-Vollwandrohr, PE 100-RC-Rohr mit PA-Sperrschicht, PE 100-RC-

Rohr mit Al-Sperrschicht und PE 100-Rohr mit EVOH-Sperrschicht wurden die Anforderung an die Standzeit nach DIN EN 1555-2 [2] von 165 h im Zeitstand-Innendruckversuch bei 80 °C und 5,4 MPa mit mehr als 1.000 h von allen Rohrkonstruktionen deutlich erfüllt. Die Rohre aus PA-U12 ohne Sperrschicht und die PA-U12-Rohre mit EVOH-Sperrschicht wurden im Zeitstand-Innendruckversuch entsprechend ISO 16486-2 [3] bei 80 °C mit einer Umfangsspannung von 11,5 MPa geprüft. Die Anforderung an die Standzeit von 165 h wird von beiden mit mehr als 1.000 h deutlich erfüllt. Für HexelOne gibt es keine analoge Anforderung im ZIV bei 80 °C. Stattdessen werden in einem aufwendigen Verfahren Zeitstandkurven mithilfe der Drucksteigerungsmethode [4] ermittelt. Stichpunktartig bei Umfangsspannungen zwischen 13 MPa und 14,2 MPa ermittelte Standzeiten liegen zwischen 191 h und 3.890 h und damit deutlich höher als bei einem klassischen PE 100-Rohr.

Um die verschiedenen Rohrkonstruktionen vergleichen zu können, wurden Drucksteigerungsversuche [5] bei 20 °C und einer Drucksteigerungsrate von 1 bar/h sowohl an den neuen Rohren als auch an solchen, die zuvor für 1.000 h bei 80 °C im ZIV geprüft wurden, durchgeführt. Die Rohrkonstruktionen mit Sperrschicht zeigen für die Werkstoffgruppe PE 100 ähnliche Werte für den Versagensdruck wie das PE 100-RC-Vollwandrohr. Drucksteigerungsversuche an Rohren, die vorher für 1.000 h im ZIV bei 80 °C vorbelastet wurden, zeigten nur eine geringfügige Reduktion des Versagensdrucks (**Abb. 1**).

Betriebliche Aspekte

Das Abquetschen ist eine Absperr- und Sicherungsmethode, welche im Netzbetrieb häufig angewendet wird [6]. An den Rohren wurden gemäß dem DVGW-Arbeitsblatt G 452-2 [7] und dem DVGW-Merkblatt G 452-3 [8] Versuche an je drei Rohren zum Abquetschen und Rückrunden durchgeführt. Die Rohre wurden bei 5 °C mit einem nominellen Abquetschgrad von 0,8 abgequetscht und anschließend rückgerundet. Die maximale Abquetschgeschwindigkeit betrug dabei 50 mm/min und die maximale Geschwindigkeit beim Rückrunden 12 mm/min. Es zeigte sich, dass sämtliche Proben ein Übermaß bei der Wanddicke aufwiesen. Bei einem ▶



Quelle: SKZ

Abb. 1: Vergleich der mittleren Versagensdrücke im Drucksteigerungsversuch für neue und zuvor im ZIV belastete Rohre der Werkstoffgruppe PE 100

Gasrohr ist es im Betrieb nicht praktikabel, die Wanddicke vor dem Abquetschen zu ermitteln. Bei einem Übermaß wird es daher immer zu einer stärkeren Abquetschung (entspricht einem kleineren Abquetschgrad) kommen als vorgesehen. Dennoch war das Abquetschen für alle untersuchten Rohre möglich. Im Anschluss daran durchgeführte Zeitstand-Innendruckversuche belegen die vorhandene Innendruckfestigkeit auch nach dem Abquetschen. Für Rohre aus HexelOne sind aufgrund des Schichtaufbaus die vom Hersteller vorgegebenen Reparaturklammern aus Metall zu verwenden.

Zur Beurteilung der für Mehrschichtrohre wichtigen Verbundhaftung wurden Prüfungen zur strukturellen Unversehrtheit nach DIN EN 12201-2 Anhang B.8 [9] durchgeführt. Dazu wurde zunächst die anfängliche Ringsteifigkeit des Rohres nach DIN EN ISO 9969 [10] bestimmt. Die Ringsteifigkeit beschreibt den Widerstand eines Rohrsystems gegen Verformung durch eine äußere Kraft. Die Ringsteifigkeit wird durch Messen von Kraft und Verformung des Rohres bei konstanter Verformungsgeschwindigkeit bestimmt. Sie ist eine Flächenlast und wird als Funktion der Kraft errechnet, die für eine diametrale Verformung des Rohres von 3 Prozent erforderlich ist. Die Prüfung erfolgte bei 23 °C auf einer Druckprüfmaschine zwischen parallelen Platten mit einer Deformationsgeschwindigkeit von 5 mm/min an jeweils drei Probekörpern.

Anschließend erfolgte die Prüfung der Ringflexibilität des Rohres nach EN ISO 13968 [11] mit einer Verformung von 30 Prozent des Rohraußendurchmessers. Dazu wurde die vorherige Prüfung der Ringsteifigkeit fortgesetzt, bis die entsprechende Verformung erreicht war. Nach einer Rückstellzeit von einer Stunde wurde erneut die Ringsteifigkeit ermittelt. Nach DIN EN 12201-2 muss dabei mindestens 80 Prozent der Ausgangsringssteifigkeit erreicht werden. Die resultierenden prozentualen Restringsteifigkeiten sind in **Abbildung 2** dargestellt. Die PE-Rohre ohne Sperrschicht (PE 100-RC und HexelOne) und das PE 100-Rohr mit

EVOH-Sperrschicht zeigen vor der Belastung Ringsteifigkeiten im Bereich von über 100 kN/m². Die Ringsteifigkeiten für die PE 100-RC-Rohre mit PA- und Al-Sperrschicht sowie für das PA-U12-Rohr mit EVOH-Sperrschicht liegen im Bereich von 150 kN/m². Nach der Deformation um 30 Prozent des Rohraußendurchmessers zeigen alle Rohre eine niedrigere Ringsteifigkeit. Dies spiegelt die irreversible Schädigung des Werkstoffs bei einer Belastung über die Streckgrenze hinaus wider. Nach DIN EN 12201-2 muss dabei jedoch mindestens 80 Prozent des Ausgangswertes erreicht werden. Dies ist für alle Rohrkonstruktionen mit Ausnahme des PE 100-RC-Rohres mit Al-Sperrschicht der Fall. Dieses Rohr erreicht eine Reststeifigkeit von 76 Prozent. Grund dafür sind Risse in der Al-Sperrschicht infolge der Deformation des Rohres. Betrachtet man jedoch den Absolutwert der Ringsteifigkeit für diese Rohrkonstruktion nach der Belastung, so liegt dieser mit 112,7 kN/m² noch über dem Wert des PE 100-RC-Vollwandrohres im unbelasteten Zustand (102,8 kN/m²). Im Hinblick auf die Ringsteifigkeit ist dieser Abfall also als unkritisch zu bewerten. Eine Beeinträchtigung der Verbundhaftung konnte während der Versuche nicht festgestellt werden. Auch zusätzlich durchgeführte Versuche zum Anbohren zeigten durchgehend positive Ergebnisse und keine Ablösung der jeweiligen Sperrschichten.

Um zu untersuchen, ob die untersuchten Rohrkonstruktionen mit Sperrschichten ohne Einschränkungen stumpfgeschweißt werden können, wurden Stumpfschweißungen durchgeführt und anschließend der Kurzzeit-Schweißfaktor im Zugversuch in Anlehnung an DVS 2203-2 [12] bestimmt. Diese Untersuchungen wurden an den Rohrkonstruktionen mit PA- und EVOH-Sperrschichten durchgeführt. Für die PE 100-RC-Rohre mit PA-Sperrschicht ist wegen der unterschiedlichen Schmelzpunkte von PE und PA ein Zurückschälen der PA-Innenschicht um ca. 3 mm als Schweißvorbereitung notwendig. Aus den geschweißten Rohren wurden anschließend über den Umfang verteilt sechs geschweißte Prüfkörper und als Referenz sechs ungeschweißte Prüfkörper (Probekörper Form 1 mit Lochkerbe nach DVS 2203-2) entnommen. Aus den arithmetischen Mittelwerten der Maximalspannung der geschweißten Probekörper (σ_w) und den arithmetischen Mittelwerten der Bezugsprobekörper ohne Schweißung (σ_r) wurde der Kurzzeit-Schweißfaktor nach (1) bestimmt.

$$f_z = \frac{\sigma_w(\text{Schweißung})}{\sigma_r(\text{Grundmaterial})} \quad (1)$$

Die **Tabelle 2** gibt die Mittelwerte ($n = 6$) der Maximalspannungen für die geschweißten Prüfkörper und die Bezugsproben mit den Standardabweichungen und den daraus resultierenden Kurzzeit-Schweißfaktor an. Der Schweißfaktor f_z liegt für die untersuchten Rohre bei $f_z = 1$. Die Mindestanforderung von $f_z = 0,9$ für PE 100 nach DVS 2203-1 Beiblatt 1 bzw. für PA-U12 nach DVS 2207-16 wird somit klar erfüllt.

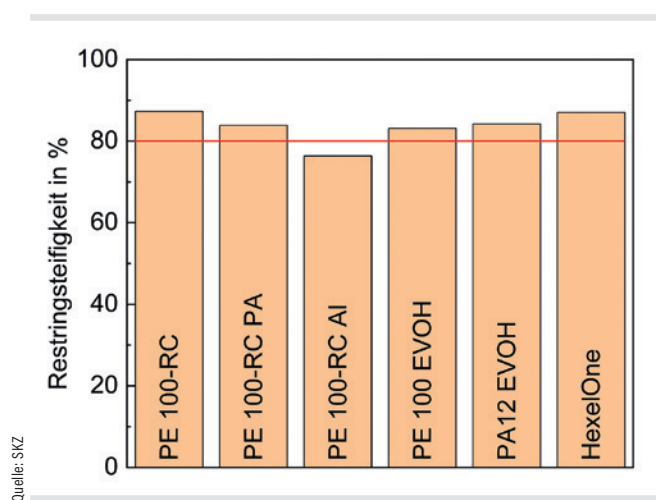


Abb. 2: Restringsteifigkeit der untersuchten Rohrkonstruktionen nach einer Deformation um 30 Prozent des Außendurchmessers

Tabelle 2: Maximalspannungen (Prüfkörper mit Schweißungen und Referenzprüfkörper) und resultierender Kurzzeit-Schweißfaktor nach DVS 2203-2 für die Rohre mit Sperrschichten aus PA und EVOH

Nr.	Rohrwerkstoff	Sperrschicht	σ_w in MPa	σ_r in MPa	f_z
02	PE 100-RC	PA	$26,5 \pm 0,7$	$26,4 \pm 0,4$	1,0
04	PE 100	EVOH	$28,1 \pm 0,1$	$27,1 \pm 0,2$	1,0
06	PA-U12	EVOH	$46,1 \pm 0,7$	$45,1 \pm 0,5$	1,0

Quelle: SKZ

Quelle: DBI

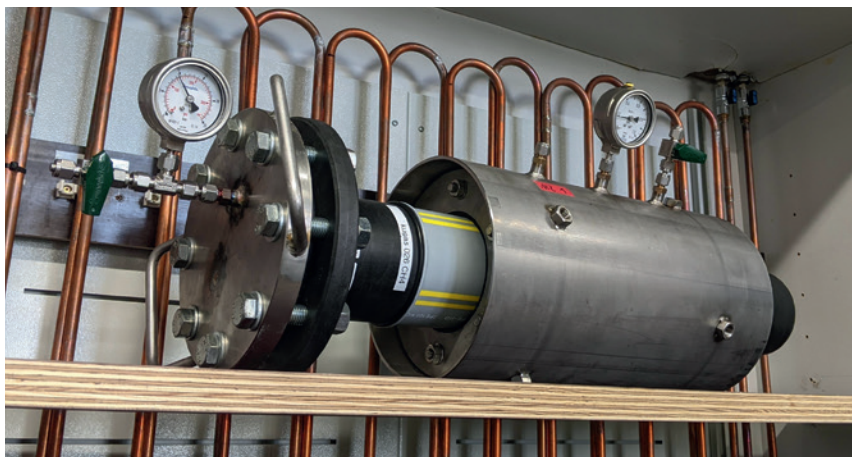


Abb. 3: Permeationsmesszelle mit eingespanntem Rohr

Permeation und Klimawirksamkeit

Zur Bestimmung des Permeationsverhaltens der Mehrschichtrohre gegenüber den Gasen Methan (CH_4) und Wasserstoff (H_2) wurden die jeweiligen Permeationskoeffizienten $P(\text{CH}_4)$ und $P(\text{H}_2)$ bei Raumtemperatur (ca. 20°C) ermittelt. Die Prüfrohren wurden über einen Zeitraum von ca. acht Wochen konditioniert. Bei der Konditionierung wird der Kunststoff so lange mit dem Permeat gesättigt, bis sich eine stationäre Phase und damit eine konstante Permeationsrate einstellt. Für die Konditionierung wurden die Rohre mit dem Prüfdruck von 10 bar mit dem Prüfgas (Methan bzw. Wasserstoff) gefüllt. Nach Abschluss der Konditionierung wurden die Prüfrohren in spezielle Permeationsmesszellen eingespannt (Abb. 3). Die Messzellen wurden mit Stickstoff gespült und auf einen Druck von 100 mbar eingestellt. Der Konzentrationsanstieg von Methan bzw. Wasserstoff in der Messzelle gleicht einer ►

CARBON MANAGEMENT

CO₂ als Teil der Lösung denken

Carbon Management ist keine Nischenstrategie, es ist Bestandteil unseres zukünftigen Energiesystems. Einen fundierten Überblick zum aktuellen Stand bietet das **Sonderheft Carbon Management** aus der Themenreihe kompakt der DVGW energie|wasser-praxis.



Jetzt kostenlos lesen



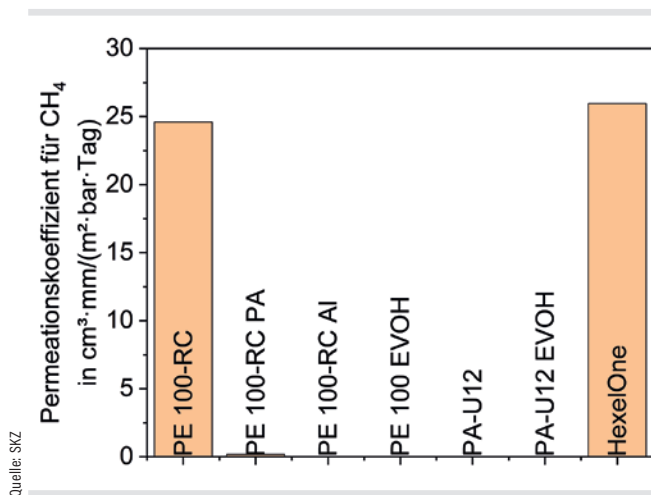


Abb. 4: Permeationskoeffizienten der verschiedenen Rohrkonstruktionen für Methan bei Raumtemperatur und 10 bar

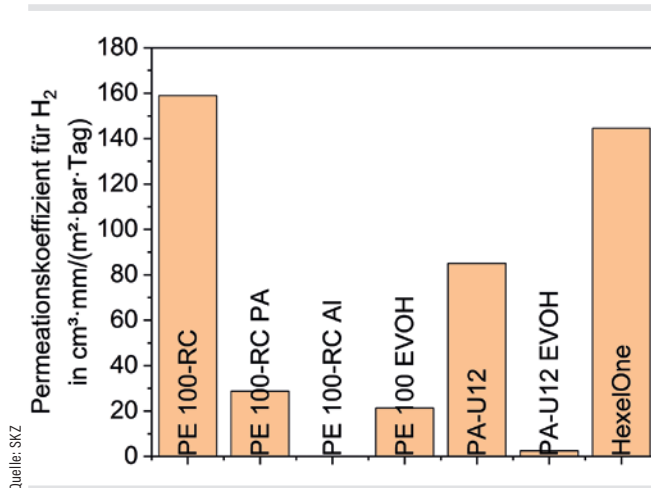


Abb. 5: Permeationskoeffizienten der verschiedenen Rohrkonstruktionen für Wasserstoff bei Raumtemperatur und 10 bar

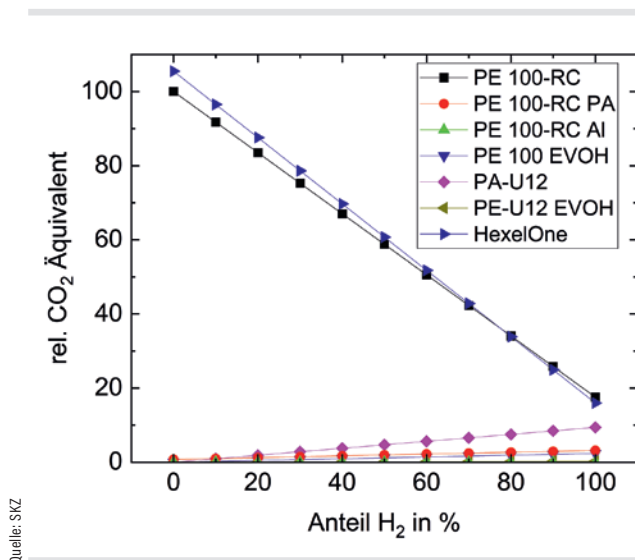


Abb. 6: Relatives CO₂-Äquivalent (bezogen auf 100 Prozent CH₄ und PE 100-RC) für die verschiedenen Rohrkonstruktionen in Abhängigkeit der Gaszusammensetzung

linearen Funktion und spiegelt die Permeationsrate wider. Aus der Permeationsrate werden die Gasdurchlässigkeit D und unter Zuhilfenahme der Wanddicke der Rohre der Permeationskoeffizient P berechnet [13]. **Abbildung 4** zeigt die Permeationskoeffizienten der untersuchten Rohrkonstruktionen für Methan in Form eines Balkendiagramms. Für Methan zeigen nur die Rohre aus Polyethylen ohne zusätzliche Sperrschichten eine nennenswerte Permeation. Dabei liegen die Rohre aus PE 100-RC und HexelOne mit Mittelwerten von $P(\text{CH}_4) = 24,6 \text{ cm}^3 \cdot \text{mm}/(\text{m}^2 \cdot \text{bar} \cdot \text{Tag})$ und $P(\text{CH}_4) = 26,0 \text{ cm}^3 \cdot \text{mm}/(\text{m}^2 \cdot \text{bar} \cdot \text{Tag})$ ungefähr auf gleichem Niveau. Für die Rohre aus PE 100-RC mit PA-Sperrschicht ergibt sich ein Wert knapp oberhalb der Nachweisgrenze von $P(\text{CH}_4) = 0,2 \text{ cm}^3 \cdot \text{mm}/(\text{m}^2 \cdot \text{bar} \cdot \text{Tag})$. Die Rohre aus PE 100-RC mit Al-Sperrschicht und aus PE 100 mit EVOH-Sperrschicht zeigen ebenso wie die Rohre aus PA-U12 mit und ohne EVOH-Sperrschicht keine nachweisbare Permeation von Methan. Die Permeationskoeffizienten der verschiedenen Rohrkonstruktionen für Wasserstoff sind in **Abbildung 5** ebenfalls als Balkendiagramm dargestellt. Die Permeationskoeffizienten für Wasserstoff sind größer als für Methan, da Wasserstoffmoleküle kleiner und leichter sind als Methanmoleküle. Dies führt zu höherer Mobilität und schnellerer Diffusion durch Materialien. Für Wasserstoff zeigen die PE-Werkstoffe eine auf das Volumen bezogen deutlich größere Permeation als für Methan. Für die PE-Rohre ohne Sperrschicht aus PE 100-RC und HexelOne ergeben sich für Wasserstoff Mittelwerte des Permeationskoeffizienten von $P(\text{H}_2) = 159 \text{ cm}^3 \cdot \text{mm}/(\text{m}^2 \cdot \text{bar} \cdot \text{Tag})$ und $P(\text{H}_2) = 145 \text{ cm}^3 \cdot \text{mm}/(\text{m}^2 \cdot \text{bar} \cdot \text{Tag})$. Diese Werte sind bezogen auf das Volumen um einen Faktor 6 größer als für Methan. Der Wert für das PE 100-RC-Rohr mit PA-Sperrschicht ist deutlich geringer und liegt bei $P(\text{H}_2) = 28,7 \text{ cm}^3 \cdot \text{mm}/(\text{m}^2 \cdot \text{bar} \cdot \text{Tag})$. Mit $P(\text{H}_2) = 21,4 \text{ cm}^3 \cdot \text{mm}/(\text{m}^2 \cdot \text{bar} \cdot \text{Tag})$ liegt der Wert für das PE 100-Rohr mit EVOH-Sperrschicht in einer ähnlichen Größenordnung. Das PE 100-RC-Rohr mit Al-Sperrschicht zeigt auch für Wasserstoff keine Permeation. Für das PA-U12-Rohr ohne Sperrschicht ergibt sich ein Mittelwert von $P(\text{H}_2) = 85 \text{ cm}^3 \cdot \text{mm}/(\text{m}^2 \cdot \text{bar} \cdot \text{Tag})$. Dieser ist etwa halb so groß wie für das PE 100-RC-Rohr. Die Permeation kann durch eine zusätzliche EVOH-Sperrschicht deutlich reduziert werden. Für dieses Rohr liegt der Permeationskoeffizient bei $P(\text{H}_2) = 2,5 \text{ cm}^3 \cdot \text{mm}/(\text{m}^2 \cdot \text{bar} \cdot \text{Tag})$ und damit knapp über der Nachweisgrenze.

Methan und Wasserstoff zählen zu den Treibhausgasen. Um die Klimawirksamkeit verschiedener Treibhausgase zu vergleichen, erfolgt eine Umrechnung mittels des Global Warming Potential (GWP). Zur Bestimmung des relativen CO₂-Äquivalents wurden nach [13] Werte von $\text{GWP}_{\text{CH}_4, 100a} = 27 \text{ kg/kg CO}_2$ und $\text{GWP}_{\text{H}_2, 100a} = 6 \text{ kg/kg CO}_2$ für das GWP sowie $\rho_{\text{CH}_4, 20^\circ\text{C}, 10\text{bar}} = 7,44 \text{ kg/m}^3$ und $\rho_{\text{H}_2, 20^\circ\text{C}, 10\text{bar}} = 0,91 \text{ kg/m}^3$ für die Dichte verwendet. **Abbildung 6** zeigt das relative CO₂-Äquivalent für die verschiedenen Rohrkonstruktionen als Funktion der Gaszusammensetzung (H₂-Anteil in einem Methan-Wasserstoff-Gemisch). Der Wert von 100 bezieht sich auf das PE 100-RC-Rohr mit 100 Prozent Methan. Das

HexelOne-Rohr besitzt ein ähnliches Permeationsverhalten wie das PE 100-RC-Rohr. Die Klimaschädlichkeit wird wegen des höheren GWP und der größeren Dichte vor allem durch Methan bestimmt. Mit zunehmendem Wasserstoffanteil zeigt das PE 100-RC-Rohr eine geringere Klimaschädlichkeit. Alle untersuchten Mehrschichtrohre und das PA-U12-Vollwandrohr zeigen ein im Vergleich zum PE 100-RC-Vollwandrohr über den gesamten Bereich der Gaszusammensetzung deutlich günstigeres Verhalten.

Fazit

Die im Forschungsvorhaben untersuchten Mehrschicht-Kunststoffrohre sind geeignet für den Einsatz in der Gasversorgung, insbesondere für den Transport von Methan und Wasserstoff. Sie erfüllen die relevanten Anforderungen hinsichtlich Druckbeständigkeit, Schweißbarkeit, Verbundhaftung und betrieblicher Handhabung. Besonders hervorzuheben ist die signifikante Reduktion der Gaspermeation durch den Einsatz von Sperrschichten, was zu einer geringeren Klimaschädlichkeit führt. Einschränkungen gegenüber bestehenden Regelwerken sind auf Basis der Ergebnisse nicht erforderlich, sodass die Mehrschichtrohre eine zukunftsfähige Lösung für wasserstofftaugliche Infrastrukturen darstellen. ■

Literatur

- [1] Redmann, A.: Einfluss von Wasserstoff auf Kunststoffrohre und Formteile untersucht: Wasserstoffintegrität belegt, in: 3R, Ausgabe 4-5/2021, S. 92-95.
- [2] DIN EN 1555-2: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Gasversorgung – Polyethylen (PE) – Teil 2: Rohre, 2021.
- [3] ISO 16486-2:2024 – Plastics piping systems for the supply of gaseous fuels – Unplasticized polyamide (PA-U) piping systems with fusion jointing and mechanical jointing – Part 2: Pipes, 2024.
- [4] DVGW-Technische Prüfgrundlage GW 335-A5: Kunststoff-Rohrleitungssysteme in der Gas- und Wasserverteilung; Anforderungen und

- Prüfungen; Teil A5: PE-Mehrschichtrohre mit Verstärkung (PE gestreckt) sowie zugehörige Verbinder und Verbindungen, Bonn 2015.
- [5] Hessel, J.: Kosten- und zeitsparendes Verfahren zur Erzeugung von Zeitstandkurven für Rohre aus Kunststoffen, in: 3R International, Bd. 48, Nr. 11/2009.
 - [6] Müller-Syring, G., Bilsing, A., Wenzel, M., Postma, P. J., Weßing, W.: Zum Abquetschen und Rückrunden von Kunststoffrohren, in: DVGW energie | wasser-praxis, Ausgabe 1/2018, S. 27-33.
 - [7] DVGW-Arbeitsblatt G 452-2: Anbohren und Absperren; Teil 2: Abquetschen von Kunststoffrohrleitungen für Gas mit Drücken bis 5 bar und Außendurchmesser bis 315 mm, Bonn 2020.
 - [8] DVGW-Merkblatt G 452-3: Anbohren und Absperren; Teil 3: Abquetschen von Kunststoffrohrleitungen für Gas mit Drücken über 5 bar bis 16 bar und Außendurchmesser bis 225 mm, Bonn 2021.
 - [9] DIN EN 12201-2: Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Wasserversorgung und für Entwässerungs- und Abwasserdruckleitungen – Polyethylen (PE) – Teil 2: Rohre, 2025.
 - [10] DIN EN ISO 9969: Thermoplastische Rohre – Bestimmung der Ringsteifigkeit, 2016.
 - [11] DIN EN ISO 13968: Kunststoff-Rohrleitungs- und Schutzrohrsysteme – Rohre aus Thermoplasten – Bestimmung der Ringflexibilität, 2009.
 - [12] DVS 2203-2: Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermoplastischen Kunststoffen – Zugversuch, 2010.
 - [13] van Laak, H., Janko, K., Schütz, S., Schütt, C.: Permeabilität von Polyamid 12-Druckrohrleitungen, in: gwf Gas + Energie, Ausgabe 2-3/2023, S. 52-57.

Die Autoren

Dr. Mirko Wenzel ist Expert Scientist in der Forschung und Entwicklung am SKZ – Das Kunststoff-Zentrum.

Andreas Bilsing war Projektingenieur bei der DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH.

Werner Weßing ist Projektingenieur im Office for Green Gas.

Kontakt:

Dr. Mirko Wenzel
SKZ – KFE gGmbH
Friedrich-Bergius-Ring 22
97076 Würzburg
Tel.: 0931 4104-347
E-Mail: m.wenzel@skz.de
Internet: www.skz.de



Die **SHT Sanitär- und Heizungstechnik, Ausgabe 8**, enthält Beiträge zu den Themen Sanitär-, Heizungs- sowie Lüftungstechnik und stellt Referenzobjekte sowie neue Produkte und Normen aus diesen Bereichen vor. Lesen Sie darüber hinaus u. a. mehr zu den Themen:

- **Sanitär**
Smarte Bäume rufen nach Wasser
- **Heizung**
Erdwärme für das Rheinische Revier
- **Klima/Lüftung**
Surf & Work zu jeder Jahreszeit

Weitere Nachrichten, Termine und Informationen unter www.sht-online.de.
Kostenloses Probeheft unter vertrieb@krammerag.de.

08