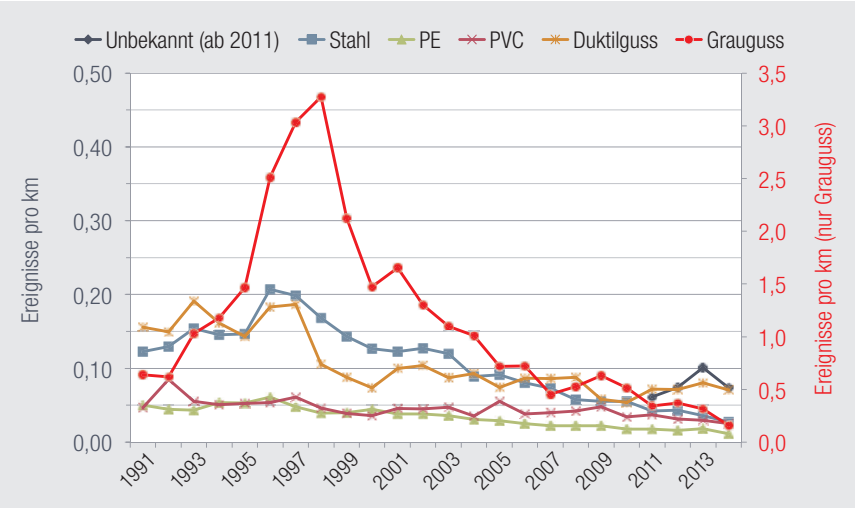
Bewertung der Integrität von in Betrieb befindlichen Gas- und Wasserleitungsnetzen aus PVC-U

Teil 1 – Motivation, Rohrprobenentnahme und -charakterisierung

Im Rahmen des DVGW-Forschungsvorhabens GW 3-01-13 sollte die Integrität von in Gas- und Wasserversorgungsnetzen verlegten PVC-U-Rohrleitungen (inkl. der Verbindungen) bewertet werden. Hierzu wurden entsprechende Rohrabschnitte aus dem Netz der projektbegleitenden Versorgungsunternehmen entnommen und an den Forschungsstellen iro, SKZ und KIWA untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen, dass bei ordnungsgemäß eingebauten PVC-U-Rohrleitungen mit DVGW-Zertifizierung unter normalen Betriebsbedingungen und unter Berücksichtigung des geltenden Regelwerks (insb. DVGW Arbeitsblatt G 466-3) eine technische Nutzungsdauer von mehreren Jahrzehnten (mind. 30 Jahre) über die ursprünglich angenommenen 50 Jahre hinaus zu erwarten ist. Die strukturellen Abläufe der Studie sowie die Ergebnisse aus dem umfangreichen Prüfprogramm, die letztlich zu dem Integritätsnachweis führten, werden in zwei Fachartikeln vorgestellt.

von: Mike Böge (iro), Britta Gerets, Dr. Mirko Wenzel (beide: SKZ), Frans Scholten & Ernst van der Stok (beide: KIWA)

Die überwiegende Anzahl von Rohrleitungen aus dem Werkstoff PVC-U wurde in Deutschland ab den 1950er-Jahren im Verteilungsnetz der deutschen Gas- und Wasserversorgungsunternehmen eingebaut. Seit den 1980er-Jahren finden im Ausbau und der Rehabilitation von deutschen Kunststoffrohrnetzen fast ausschließlich Rohre aus Polyethylen (PE) Anwendung. Aus der aktuellen Bestands- und Ereignisdatenerfassung Gas aus den Erhebungsjahren 2011 bis 2014 [1] geht hervor, dass derzeit ein bundesweiter Anteil von PVC-Leitungen von ca. 4 Prozent im Verteilnetz der Gasversorgungsunternehmen vorhanden ist. Hausanschlüsse werden laut [1] nur mit einem PVC-Anteil von 1,4 Prozent beziffert. Anders sieht es in den Wasserversorgungsnetzen aus: Der bundesweite Bestand von Rohrleitungen aus PVC ist hier mit rund 21 Prozent deutlich größer als in der Gasversorgung [2]. Der jeweilige PVC-Anteil kann sowohl im Gas- als auch im Wasserbereich je nach Versorgungsgebiet erheblich vom bundesdeutschen Durchschnitt abweichen.



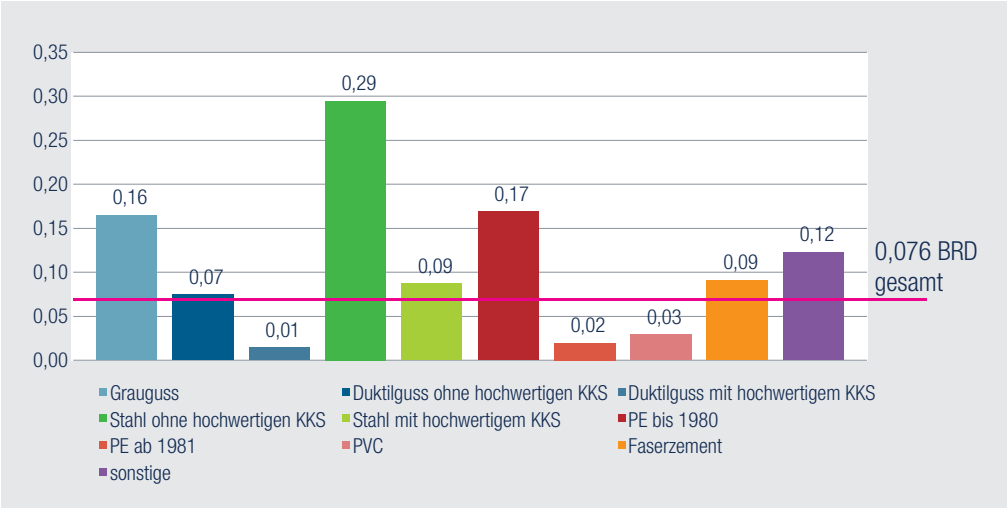
Quelle: [1]

Abb. 1: Ereignisentwicklung zwischen 1991 und 2014 an allen Gasleitungen nach Werkstoffgruppen

Ausgehend von der durch die Bundesnetzagentur veröffentlichten Gasverteilnetzlänge von 481.103 km und der vom Umweltbundesamt (UBA) geschätzten Gesamtlänge des Trinkwasserverteilnetzes von ca. 500.000 km ist derzeit von einem PVC-Leitungsbestand von ca. 19.000 km im Gasverteilungsnetz und ca. 105.000 km im Wasserverteilungsnetz auszugehen. Im Gegensatz zum Gasnetz sind im Wassernetz keine nennenswerte Anteile von Hausanschlussleitungen in PVC zu vermerken.

Mit fortschreitender Betriebsdauer haben einige dieser Rohrleitungen die damals angenommene Nutzungsdauer von 50 Jahren mittlerweile erreicht. Die bisherigen Schadens- und Versagensfälle an PVC-U-Leitungen sind jedoch singulär und ein altersbedingtes werk-

stoffspezifisches Versagen von PVC-U-Rohrleitungen in den Schadenstatistiken der Netzbetreiber ist nicht erkennbar. Vielmehr liegen die festgestellten Ereignis- bzw. Schadensraten an PVC-U-Rohrleitungen im Vergleich zu anderen Rohrwerkstoffen spartenübergreifend in einem niedrigen Bereich (**Abb. 1 + 2**). Verschiedene nationale und internationale Studien kamen in der Vergangenheit zu dem Schluss, dass Rohrleitungen aus PVC-U kein alterungsbedingtes Versagen aufweisen und ihnen daher eine Lebensdauer von mehr als 50 Jahren zuzuschreiben ist [3–8].



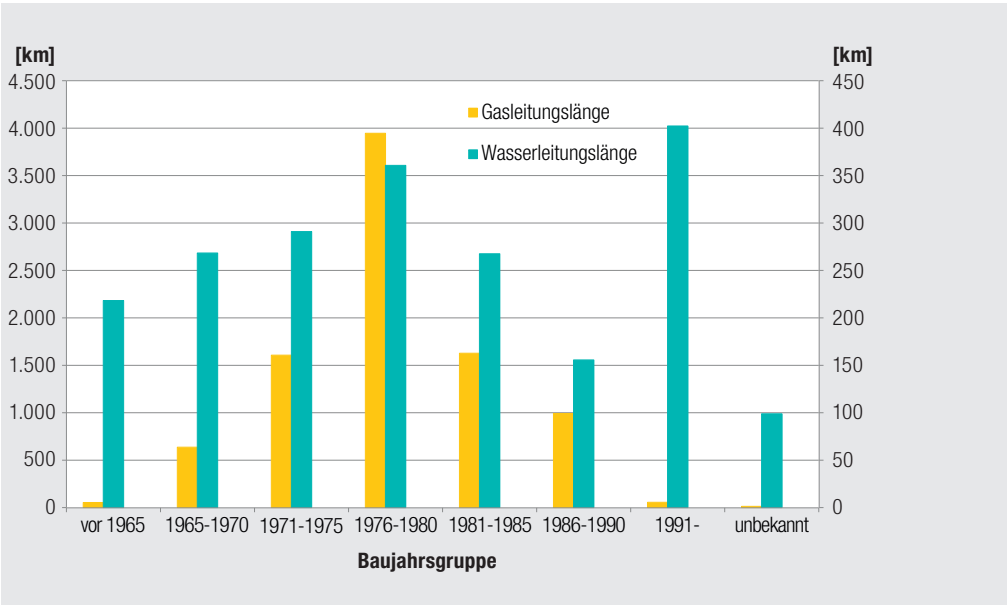
Quelle: [2]

Abb. 2: *Schadensraten an Wasserversorgungsleitungen nach Materialart in den Erhebungsjahren 2013 bis 2015*

Für Netzbetreiber stellt sich daher die Frage nach der Integrität dieser Rohrleitungen und dem zukünftigen Umgang mit dem historisch gewachsenen Netz. Angeregt von den in den DVGW-Technischen Komitees „Gasverteilung“ und „Bauteile Wasserversorgungssysteme“ mitwirkenden Unternehmen erfolgte im Jahr 2014 gemeinsam mit den Forschungsstellen iro, SKZ und KIWA die Initiierung des DVGW-Forschungsvorhabens GW 3-01-13 „Bewertung der Integrität von im Betrieb befindlichen Gas- und Wasserleitungsnetzen aus PVC U“. Ziel des kürzlich abgeschlossenen Projektes war die Untersuchung, ob und ggf. in welchem Ausmaß Alterungserscheinungen an PVC-U-Rohrleitungen und ihren Klebeverbindungen festzustellen sind und welche Auswirkungen diese auf die Integrität des betroffenen Netzes haben. Inhaltlich wurden die folgenden Schwerpunkte gesetzt:

- Bewertung des Zustands der Rohre im Hinblick auf die zum Einbauzeitpunkt und aktuell gültigen Normen und Richtlinien,
- Bewertung des aktuellen PVC-U-Bestandes hinsichtlich Einschränkungen der zu erwartenden Nutzungsdauer sowie
- Ableitung von Handlungsempfehlungen für die Überwachung und Sanierung des PVC-U-Bestandes.

Die Probenentnahme erfolgte durch die mitfördernden Unternehmen.



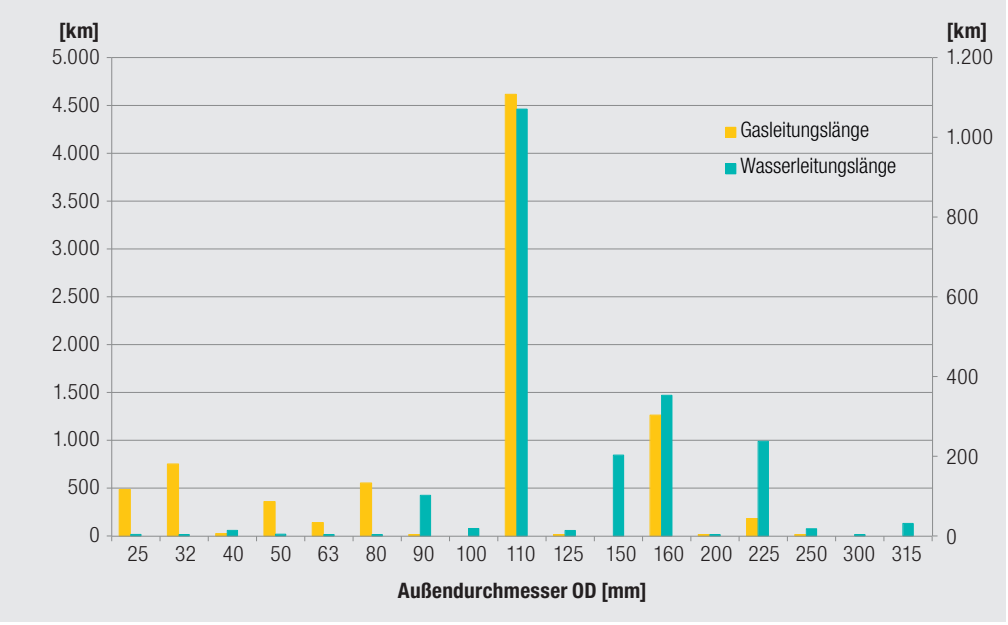
Quelle: iro

Abb. 3: *Einbaujahrverteilung der im Betrieb befindlichen PVC-U-Leitungen (km) im Netz der befragten Gas- und Wasserversorgungsunternehmen*

Bestandsdatenerfassung und Klassifizierung von Leitungsabschnitten

Heute werden in Deutschland kaum noch Rohrleitungen aus PVC-U eingebaut. Nur einzelne Wasserversorger im norddeutschen Raum verwenden das Material für den Neubau. International ist die Verwendung von PVC-Rohren hingegen weiterhin üblich, wobei es sich dabei zunehmend um von PVC-U abweichende Werkstofftypen wie den schlagfesten PVC-CPE und PVC-Butylakrylat für Gasnetze und orientierten PVC-O für Wassernetze handelt. Begründet durch die unterschiedlichen Anforderungen an die Rohre werden beispielsweise in den Niederlanden andere SDR-Klassen (Verhältnis zwischen Rohraußendurchmesser zu Wanddicke) als in Deutschland verwendet. Unterschiede in der Leitungsauslegung, Einbaukriterien, Betriebsbedingungen und Zusammensetzung des Mediums sind Gründe dafür, dass sich Erfahrungen aus dem Ausland für die Beurteilung deutscher PVC-U-Leitungen nicht ohne eine deutschlandspezifische Betrachtung heranziehen lassen.

Als Grundlage einer für die an dem Projekt beteiligten Unternehmen repräsentativen Beprobung der PVC-U-Rohrnetze erfolgte zunächst eine Klassifizierung der Rohrleitungen nach Einbaujahr und Rohrdimension. **Abbildung 3** zeigt, dass spartenübergreifende Versorgungsunternehmen insbesondere in den Jahren 1976 bis 1980 ihre Netze mit dem Werkstoff PVC-U ausgebaut haben. Eine deutliche zeitliche Abgrenzung ist insbesondere an den Beständen der beteiligten Gasversorgungsunternehmen zu erkennen. Während hier kaum noch Rohrleitungen aus PVC-U in den Baujahren vor 1965 und ab 1991 vorhanden sind, weist das Trinkwassernetz entsprechende Bestände auf.



Quelle: iro

Abb. 4: *Rohrdimensionsverteilung der im Betrieb befindlichen PVC-U-Leitungen (km) im Netz der befragten Gas- und Wasserversorgungsunternehmen*



Quelle: iro

Abb. 5: *Rohrprobenentnahme an einer Gasversorgungsleitung*

Die Auswahl der zu entnehmenden Rohrdimensionen fiel bei den Versorgungsleitungen spartenübergreifend auf den Rohraußendurchmesser (OD) = 110 mm (SDR 21) (**Abb. 4**). Abweichend zu den Trinkwassernetzen finden sich im Gasnetz der befragten Unternehmen auch nennenswerte Umfänge von Rohrleitungen kleineren Durchmessers, die dem Hausanschlussleitungsbereich zuzuordnen sind. Aus diesem Grund wurden Gashausanschlussleitungen mit (OD) = 32 mm (SDR 13,6) ebenfalls in dem Prüfprogramm berücksichtigt.

Eine generationsspezifische Einteilung von Rohrprodukten – wie sie beispielsweise für metallische Rohrwerkstoffe und für PE-Rohre Anwendung findet – ist für PVC-U-Rohrleitungen nicht üblich [9]. Zudem variiert die Mischungsrezeptur bei der Produktion von PVC-U-Rohrleitungen je nach Rohrhersteller, da im Unterschied zu anderen Werkstoffen kein fertiges Produkt vom Materialhersteller für die Extrusion geliefert wird. Auch bei im Rahmen des Projektes betrachteten Klebemuffen ist keine generationenspezifische Differenzierung etabliert.

Für die Klassifizierung der Leitungsabschnitte wurde daher auf technologische Entwicklungsstufen des Rohrstoffs und der Rohrproduktion zurückgegriffen [10] (**Tab. 1**). So wurde bis Mitte der 1960er-Jahre für die PVC-Synthese die Emulsionspolymerisation angewandt. Abgelöst wurde dieses Verfahren durch die bis heute im PVC-U-Bereich übliche Suspensionspolymeri-

Tabelle 1: Zeitliche Klassifizierung der PVC-U-Rohrleitungen

Generation	Herstellungs- bzw. Einbaujahr	wahrscheinliche Technologie
1	bis 1965	Emulsionspolymerisation/Granulat
2	1965 – 1970	Suspensionspolymerisation/Granulat
3	1971 bis heute	Suspensionspolymerisation/Pulver

Quelle: projekteigene Darstellung



Quelle: iro

Abb. 6: *Verteilung der Probenentnahme an Gasversorgungsleitungen*



Quelle: iro

Abb. 7: *Verteilung der Probenentnahme an Gashausanschlussleitungen*



Quelle: iro

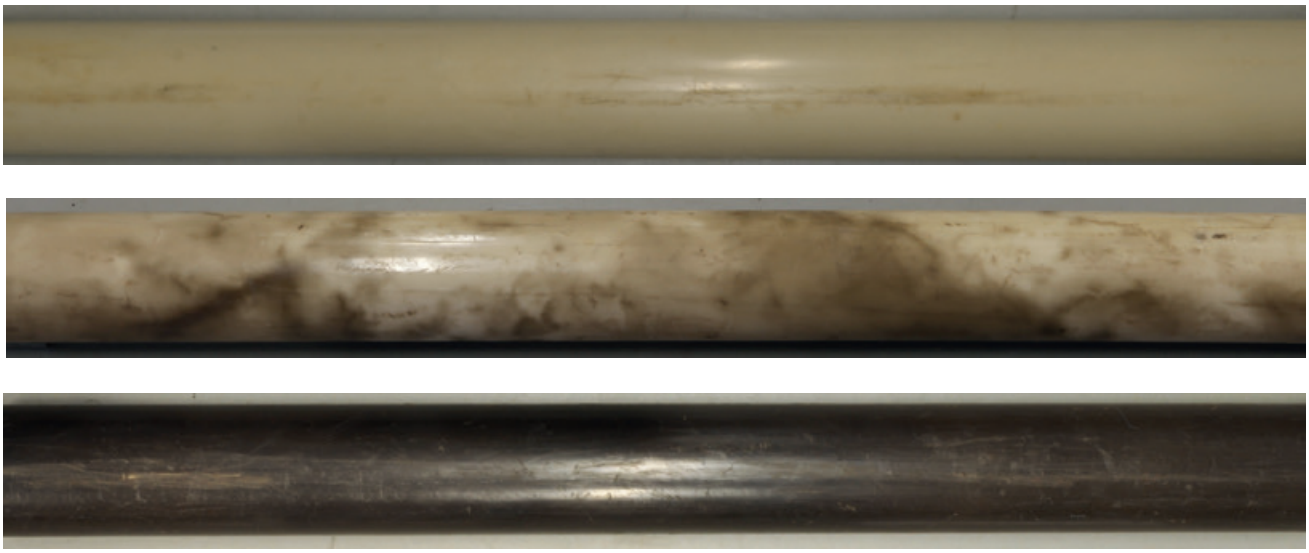
Abb. 8: *Verteilung der Probenentnahme an Wasserversorgungsleitungen*

sation. Durch Fortschritte in der Rohrextrusionstechnologie wurde ab Anfang der 1970er-Jahre die Produktion von Rohren ausgehend von Pulver möglich, sodass Rohrhersteller ihre eigene (firmenspezifische) „One-pack-Mischung“ von Stabilisatoren und Additiven anwenden konnten. Aufgrund des geringen Bestands an Rohrleitungen vor 1960 wurden diese im Rahmen des Forschungsvorhabens nicht betrachtet.

Rohrprobenentnahme und -erfassung

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden zu jeder PVC-U-Generation nach **Tabelle 1** Gas- und Wasserversorgungsleitungen sowie Gashausanschlussleitungen an jeweils drei unterschiedlichen Stellen aus bislang unauffälligen Netzbereichen der Versorgungsunternehmen entnommen. Die ausgebaute Leitungslänge unterschied sich dabei je nach Rohrdimension und Betriebsmedium, abhängig vom für die jeweilige Leitungsart vorgesehen Untersuchungsprogramm. **Tabelle 2** gibt einen Überblick über den Beprobungsumfangs sowie die Benennung der jeweiligen Entnahmen.

Abbildung 5 zeigt exemplarisch eine Baustelle zum Rohrausbau einer Gasversorgungsleitung. Die geborgenen Leitungsabschnitte wurden vor Ort gereinigt und in 1,2 Meter lange Rohrsegmente geschnitten und fortlaufend gekennzeichnet. In dem jeweiligen Leitungsabschnitt aufgefunde-



Quelle: SKZ

Abb. 9: Typisches Aussehen der ausgebauten Gasversorgungsleitungen (von oben nach unten: ohne Verfärbung, mit marmor-/wolkenartiger Verfärbung und globaler Verfärbung)

ne Rohrverbindungen (zumeist Klebeverbindungen) wurden ebenfalls erfasst und geborgen. Begleitend zur Rohrprobenentnahme wurden vom anwesenden Personal Angaben zum Boden, der Bettungssituation (Leitungslage, Oberfläche, Überdeckung, Grundwasser, Boden und Verkehrsbelastung) sowie Angaben zum Rohr (Hersteller, Herstelldatum, Einbaujahr, Außendurchmesser, Leitungsart, Betriebsmedium und -druck) in einem Entnahmeprotokoll dokumentiert.

Da PVC-U-Rohrleitungen heute hauptsächlich im nordwestdeutschen Gasverteilnetz vorhanden sind, fanden die Rohrprobenentnahmen in dieser Region statt **(Abb. 6 + 7)**. Die Rohrprobenentnahme an den Wasserversorgungsleitungen erfolgte durch die mitfördernden Versorgungsunternehmen im westlichen Teil Deutschlands **(Abb. 8)**.

Charakterisierung

Die ausgebauten Rohrabschnitte wurden zunächst optisch und maßlich charakterisiert. Es zeigte sich, dass die Anforderungen der DIN 8061 bzw. DIN 8062 bezüglich der von Neurohren einzuhaltenden Grenzmaße (Außendurchmesser, Wandstärke und Ovalität) auch nach mehrjährigem Betrieb überwiegend erfüllt werden. Eine Veränderung der Rohre scheint daher bei ordnungsgemäßer Installation und Einhaltung der zugelassenen Betriebsbedingungen nicht aufzutreten – detektierte Unterschiede sind somit auf Schwankungen der anfänglichen Rohrqualität zurückzuführen.

Die Rohre weisen zum Teil Verfärbungen der Außenoberfläche auf **(Abb. 9)**, die auf bodenbedingte chemische Reaktionen durch sulfatreduzierende Mikroorganismen zurückzufüh-

Tabelle 2: Umfang der Probenentnahme

Einbaujahr	Baujahrs-gruppe	Leitungsart	Anzahl der Entnahmen	Mindestlänge der Probenentnahme [m]
1965–1970	I	Gas-Versorgungsleitung (VL)	3	20
		Gas-Hausanschluss (HAL)	3	15
		Wasser-Versorgungsleitung (VL)	3	30
1971–1975	II	Gas-Versorgungsleitung (VL)	3	20
		Gas-Hausanschluss (HAL)	3	15
		Wasser-Versorgungsleitung (VL)	3	30
1976–heute	III	Gas-Versorgungsleitung (VL)	3	20
		Gas-Hausanschluss (HAL)	3	15
		Wasser-Versorgungsleitung (VL)	3	30
		Summe	**27**	**585**

Quelle: projekteigene Darstellung

ren sind. Dadurch sind – mehr oder weniger intensive – marmorartige, wolkenartige oder globale Verfärbungen möglich. Diese Verfärbungen betreffen jedoch nur eine sehr dünne Schicht (0,05 mm) auf der Rohraußenoberfläche. Dass dabei das PVC selbst nicht angegriffen wird, konnte in (früheren) analytischen und mechanischen Untersuchungen nachgewiesen werden [11]. Diese Verfärbungen können daher als unbedenklich eingestuft werden.

Des Weiteren fanden Untersuchungen zur werkstoffliche Charakterisierung der ausgebauten Rohre statt. So ist beispielsweise der Geliergrad einer der wichtigsten Parameter zur Einschätzung der Extrusionsqualität bei PVC-U-Rohren. Mithilfe der dynamischen Differenzialkalorimetrie (DSC) und dem Dichlormethan-Temperatur-Test (DCMT) konnten die untersuchten Rohrproben vier Geliergradstufen (sehr niedrig geliert, mäßig geliert, optimal geliert und übergeliert) zugeordnet werden [12]. Dabei zeigten sich baujahrunabhängige Unterschiede.

Wesentliche Eigenschaften des PVC-Rohmaterials werden durch das mittlere Molekulargewicht (mittlere Länge der Molekülketten) bestimmt, welches durch den sogenannten K-Wert ausgedrückt wird – je größer der K-Wert, desto größer sind das mittlere Molekulargewicht und die mittlere Kettenlänge der PVC-Moleküle. Aus den Messungen geht hervor, dass sämtliche Rohrproben einen K-Wert von 69 ± 0,2 aufweisen. Dieses entspricht den Anforderungen der damaligen DVGW-Richtlinien [13] und ist verglichen mit anderen Ländern als hoch zu bewerten.

Der Kreideanteil der Rohrproben wurde mittels Infrarotspektroskopie (FTIR) ermittelt. Entsprechende Zusatzstoffe wurden zwischen 1960 und 1990 immer häufiger bei der Rohrproduktion verwendet, um die Steifigkeit und den Widerstand gegenüber Schlagbeanspruchung zu verbessern.

Die Ergebnisse der im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführten mechanischen Charakterisierung der ausgebauten PVC-U Rohrleitungen sowie die Schlussfolgerungen in Bezug auf die eingangs formulierten Studienschwerpunkte werden im zweiten Teil des Beitrags dargestellt, dieser wird voraussichtlich in der August-Ausgabe der „DVGW energie | wasser-praxis“ erscheinen. ■

Danksagung

Die präsentierten Arbeiten erfolgten im Rahmen des DVGW-Forschungsvorhabens GW 3-01-13. Die Forschungsstellen bedanken sich beim DVGW und den mitfördernden Unternehmen Avacon AG, EWE NETZ GmbH, RheinEnergie AG, Thüga Aktiengesellschaft und die Beteiligungen (Wasserversorgung Rheinhessen-Pfalz GmbH, GEW Wilhelmshaven GmbH, e-rp GmbH, Rheinhessische Energie- und Wasserversorgungs-GmbH), Vereinigte Gas- und Wasserversorgung GmbH und WESTNETZ GmbH

Literatur

[1] Maler P., Dietzsch F., Lange R., Schmidinger J., Dr. Steiner M, Bestands- und Ereignisdatenerfassung Gas- Ergebnisse aus den Jahren 2010-2014, DVGW energie | wasser-praxis 1/2016, Bonn.

[2] Maler P., Dietzsch F., Netz- und Schadensstatistik Wasser – Ergebnisse aus den Jahren 2013 bis 2015, DVGW energie | wasser-praxis 3/2017 Bonn.

[3] Breen, J., TNO rapport MT-RAP06-18659/mso (in Dutch). See: www.bureauleiding.nl/kennisdossier/Duurzaamheid/LevensduurverwachtingProzent20vanProzent20bestaandeProzent20PVCProzent20leidingen.pdf. Visited on 20-9-2013.

[4] Folkman, S., PVC pipe longevity report, May 2014.

[5] Gons, J., Naaktgeboren, A. J., Holloway, L. R., Klinkenberg, W., Louw, R., 35 Years of PVC water distribution pipes in the Netherlands, H2O, 1995.

[6] Hermkens R., Wolters M., Weller J. and Visser R., Plastics Pipes XIV, Budapest, 22-24 September 2008.

[7] KRV: „60 Jahre Erfahrungen mit Rohrleitungen aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC U)“, Bonn (DE), 1995.

[8] Stahmer, M. W., Whittle, A. J., Long Term Performance of PVC Pressure Pipes in a Large Rural Water Supply Scheme, XI. Plastic Pipes Conference, 3rd - 6th September 2001.

[9] Roscher, Rehabilitation von Rohrleitungen, Sanierung und Erneuerung von Ver- und entsorgungsnetzen, 2. Auflage, Universitätsverlag Weimar.

[10] Alferink F., Holloway L. and Janson L. E., „Old PVC Water Pressure Pipes: an Investigation into the Design and Durability”, Proc. „PVC 1996”, Brighton, 23-25 April 1996, Seite 87-96.

[11] KIWA-Informationen, Untersuchungen an Probestäbchen.

[12] Scholten F. L., van der Stok E. J. W., Gerets B., Wenzel M., Boege M., „Residual Quality Of Excavated uPVC Gas and Water Distribution Pipelines”, presented at Plastics Pipes 18, Berlin, September 2016, paper 36.

[13] DVGW-Arbeitsblatt G 470, Richtlinie für die Herstellung, Gütesicherung und Prüfung von Rohren, Rohrverbindungen und Rohrleitungsteilen aus PVC hart (Polyvinylchlorid hart) für Gasleitungen mit einem Betriebsdruck bis max. 1 bar (1 kp/cm²), 1971-08.

Die Autoren

Dipl.-Ing. Mike Böge ist Projektingenieur in der iro GmbH Oldenburg.

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Britta Gerets ist wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Forschung und Entwicklung am SKZ - Das Kunststoff-Zentrum.

Dr. rer. nat. Mirko Wenzel ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Forschung und Entwicklung am SKZ - Das Kunststoff-Zentrum.

Dipl.-Ing. (TU) Frans Scholten ist Senior Consultant und Materialexperte für Kunststoffrohrsysteme bei Kiwa Technology

Dipl.-Ing. (TU) Ernst van der Stok ist Consultant und Materialexperte für Kunststoffrohrsysteme bei Kiwa Technology

Kontakt:
Mike Böge
iro GmbH Oldenburg
Ofener Str. 18
26121 Oldenburg
Tel.: 0441 361039-17
E-Mail: boege@iro-online.de
Internet: www.iro-online.de

