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

Teil 2 – Ergebnisse des Prüfprogramms und Schlussfolgerungen

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 (insbesondere dem DVGW-Arbeitsblatt G 466-3) eine technische Nutzungsdauer von mehreren Jahrzehnten (mindestens 30 Jahre) über die ursprünglich angenommenen 50 Jahre hinaus zu erwarten ist. Nachdem der erste Teil des Beitrags [1] die Motivation des Forschungsthemas sowie die Klassifizierung der im Betrieb befindlichen Versorgungsleitungen aus PVC-U umfasst, werden im vorliegenden zweiten Teil die Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus dem umfangreichen Prüfprogramm vorgestellt.

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

Die untersuchten Rohre weisen auch nach langjährigem Einsatz immer noch Eigenspannungen sowohl in axialer als auch in tangentialer Richtung auf. Diese durch den Extrusionsprozess initiierten Spannungen wurden im Rahmen des Prüfprogramms untersucht, um Erkenntnisse über die Anfangsqualität der Rohre gewinnen zu können.

Die Untersuchungen zum Ausdehnungsverhalten sowie die Ermittlung der Eigenspannungen in axialer Richtung erfolgten mithilfe von Warmlagerungsversuchen gemäß DIN 8061. Bei diesem Versuch sind die Rohrproben über einen Zeitraum von 60 Minuten einer Umgebungstemperatur von 150 °C ausgesetzt. Dadurch werden die Eigenspannungen im Rohr abgebaut, was sich in einer Längenänderung der Rohre äußert. Die so ermittelten Ergebnisse der untersuchten Rohre zeigen, dass die heute zulässigen Grenzwerte der Längenänderung von fünf Prozent überwiegend eingehalten werden. Es ist daher davon auszugehen, dass die zum Herstell- bzw. Einbauzeitpunkt gültigen Normanforderungen an die Rohre erfüllt wurden.

Mithilfe des Janson-Tests [2] lassen sich die Eigenspannungen der Rohre in tangentialer Richtung bestimmen. Hierfür wird jeweils ein 50 mm breiter Streifen in Längsrichtung aus einem Rohrsegment entnommen. Herstellungsbedingte Eigenspannungen führen in diesem Fall zu einer Verformung (Zusammenziehen) des Rohres. Das Ausmaß der dadurch generierten Überlagerung der Schnittkanten wird zur Berechnung der tangentialen Eigenspannung herangezogen. Die dadurch an 18 Rohrproben ermittelten Janson-Spannungen liegen mit 3,9–6,6 MPa in einem für den Werkstoff PVC-U normalen Bereich. Grundsätzlich gilt jedoch, dass sich höhere tangentiale Spannungen tendenziell negativ auf das Schlagverhalten von entsprechenden Rohren auswirken können.

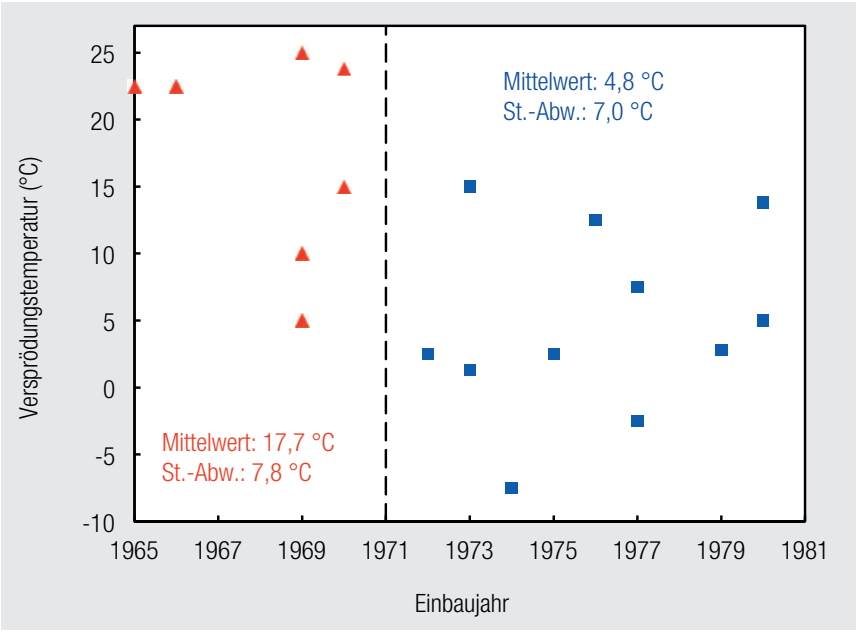
Verhalten der Rohre unter Schlagbeanspruchung

Das in der Vergangenheit häufig diskutierte Versprödungsverhalten von PVC-U-Rohren wird in der Literatur [3, 4] auf physikalische Alterungsprozesse zurückgeführt. Etwaigen derartigen kausalen Zusammenhängen wurde ebenfalls im Rahmen des Forschungsprojektes nachgegangen, indem die Duktilität der ausgebauten Rohre in Abhängigkeit des Alters (Nutzungsdauer) untersucht wurde. Hierfür wurden aus den Rohren Probekörper entnommen und diese auf 80 Prozent Restwanddicke gekerbt. Anschließend wurden die Probekörper Schlagbiegeversuchen nach DIN EN ISO 179-1 unterzogen. Die Ergebnisse aus den Kerbschlagbiegeprüfungen zeigen qualitative Unterschiede an den Gas- und Wasserversorgungsleitungen auf (Kerbschlagzähigkeit: 4,66–8,35 kJ/m²), jedoch korrelieren diese weder mit dem Betriebsmedium noch mit der Nutzungsdauer der Rohre. Die festgestellten

Unterschiede sind folglich im Wesentlichen durch die Ausgangsqualität im Rahmen der Rohrherstellung bedingt.

Darüber hinaus erfolgte an den Gasversorgungsrohren die Untersuchung des Widerstands gegenüber Schlagzugbeanspruchungen. Mithilfe von Schlagzugprüfungen [5–7] wurde bei unterschiedlichen Temperaturen gemessen, wie viel mechanische Energie zum Bruch benötigt wird. Anhand des Bruchbildes ließ sich feststellen, ob die Probekörper spröde oder zäh versagten. Auf diese Weise ließ sich die Übergangstemperatur der Gasrohre von spröd auf zäh feststellen. Rohre mit niedriger Versprödungstemperatur gelten im Zusammenhang mit niedrigen Außentemperaturen als weniger bruchempfindlich als Rohre mit hohen Versprödungstemperaturen. Die in **Abbildung 1** dargestellten Ergebnisse machen deutlich, dass die Rohre, die vor dem Jahr 1971 eingebaut wurden, tendenziell eine höhere Versprödungstemperatur aufweisen und somit als empfindlicher anzusehen sind als jüngere Rohre.

Ein Zusammenhang der Versprödungstemperatur mit der Alterung konnte jedoch in Versuchen an künstlich gealterten Probekörpern nicht festgestellt werden [8]. Demnach lassen die Ergebnisse vermuten, dass das Sprödverhalten der Rohre weniger auf die Alterung, sondern vielmehr auf Unterschiede in der Anfangsqualität (Herstellung) zurückzuführen ist.



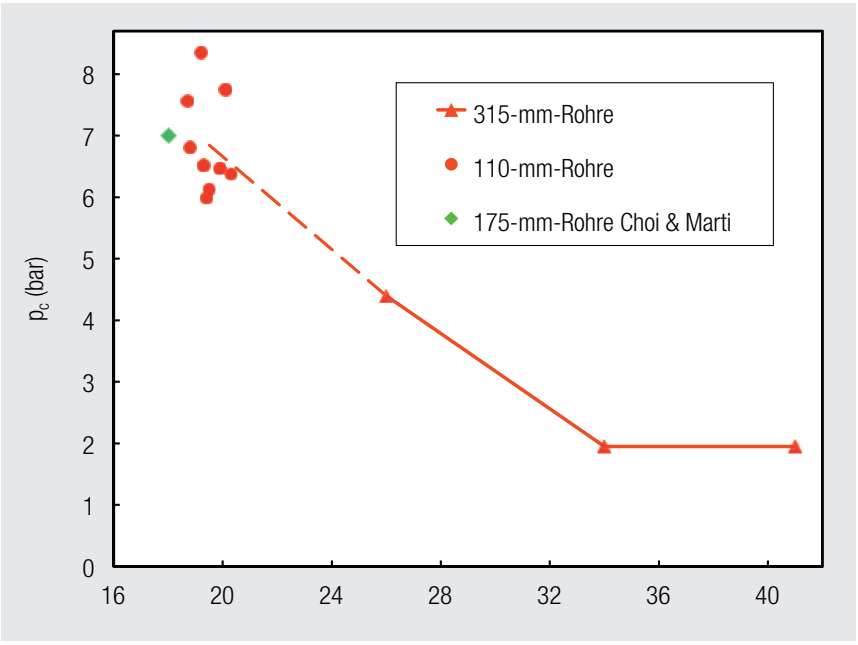
Quelle: KIWA

Abb. 1: *Einfluss des Einbaujahres auf die Versprödungstemperatur*

Im Gegensatz zu den Gasrohren wurde bei den Trinkwasserversorgungsleitungen die Neigung zum schnellen Rissfortpflanzung (Rapid Crack Propagation, RCP) untersucht. Dabei handelt es sich um ein Versagen infolge einer schlagartige Rissfortpflanzung, die sich mit Geschwindigkeiten von 450–600 m/s hauptsächlich in Längsrichtung des betroffenen PVC-U-Rohres ausbildet **(Abb. 2)**. RCP kann bei im Betrieb befindlichen Wasserrohren durch Schlagbeanspruchung (Druckstoß, Fremdeinwirkungen von außen etc.) ausgelöst werden. Bei den entsprechenden Untersuchungen wurde der kritische statische Wasserdruck (p_c) an den Rohrproben ermittelt. Dabei gilt, dass Netze aus PVC-U, die einem Betriebsdruck größer p_c unterliegen, im Falle einer entsprechenden Schlagbeanspruchung einem höheren RCP-Risiko ausgesetzt sind als Rohr-


Quelle: KIWA

Abb. 2: *Ein langer, durch RCP entstandener Riss*



Quelle: KIWA

Abb. 3: *Einfluss von SDR auf den kritischen Druck (P_c), basierend auf drei Studien*

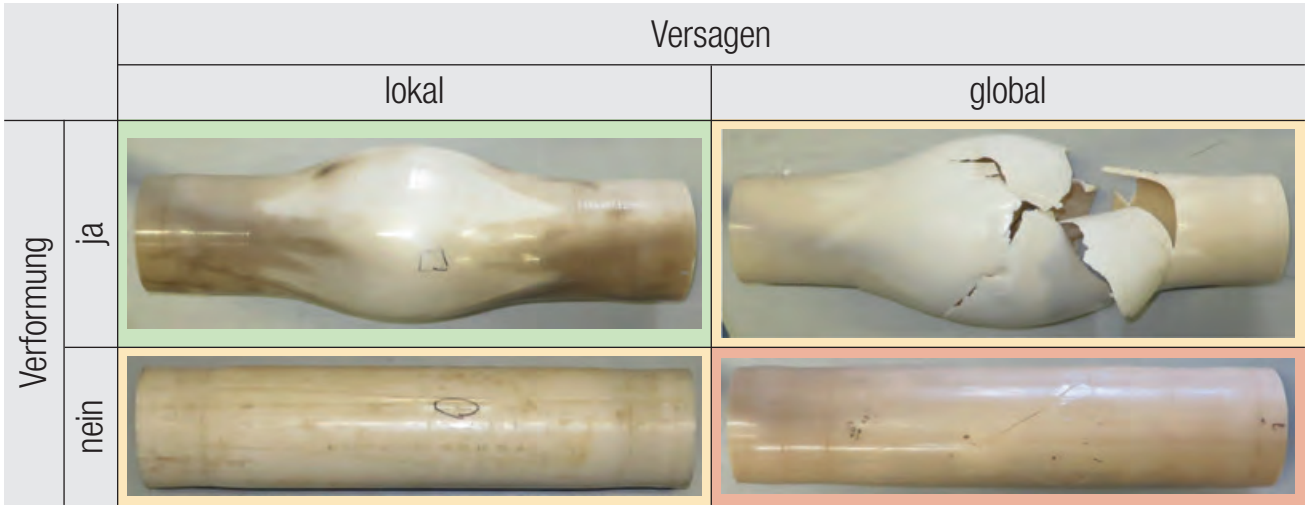


Abb. 4: *Bewertung der Versagensarten in Drucksteigerungsversuchen: gut (grün), mittel (gelb) und schlecht (rot)*

leitungen, deren Betriebsdruck kleiner als p_c ist. Im Vergleich zu Ergebnissen vorangegangener Untersuchungen [8] wurde deutlich, dass das Wanddickenverhältnis (SDR) einen starken Einfluss auf den p_c-Wert des Rohres nimmt **(Abb. 3)**. So zeigen die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung (SDR 21) einen wesentlich höheren p_c-Wert (5,9–8,3 bar) als dünnwandigere (und sogar neue) Wasserrohre, die im Ausland eingesetzt werden (2–4,4 bar).

Analog zu den Schlagzugprüfungen an den Gasrohren wurden auch an künstlich gealterten Wasserrohren RCP-Untersuchungen durchgeführt. Dabei wurde ebenfalls festgestellt, dass die Alterung keinen Einfluss auf den p_c-Wert hat.

Verhalten unter Innendruckbeanspruchung

Im Netzbetrieb unterliegen die Rohrleitungen einer Innendruckbeanspruchung durch das Betriebsmedium. Die DIN 8061 fordert daher den Nachweis mittels Zeitstand-Innendruck-Versuchen für den Werkstoff. Zur Überprüfung der Rohre ist die Erfüllung bestimmter Mindeststandzeiten bei definierten Prüftemperatur-Spannungs-Kombinationen nach DIN 8061 üblich. Die Rohre übertrafen unter Umfangsspannungen von 10 MPa (bei 60 °C) bzw. 42 MPa (bei 20 °C) die Anforderungen an Neuware von 1.000 h bzw. 1 h. Dies ist ein sehr gutes Ergebnis und in Einklang mit früheren Studien [3, 9, 15].

Da sich aufgrund von möglichen Alterungseffekten die Steigung der Zeitstand-Kurven verändern könnte, wurde diese mithilfe von Drucksteigerungsversuchen [10] betrachtet. Dabei wurden Rohre bei einer konstanten Prüftemperatur von 60 °C einer kontinuierlichen Drucksteigerung mit definierten Drucksteigerungsraten ausgesetzt, wodurch ein Versagen innerhalb relativ kurzer Zeiten herbeigeführt werden konnte. Die Brüche erfolgten im Vergleich zur konventionellen Prüfung mit konstantem Druck bei höheren Umfangsspannungen und längeren Zeiten. Der Versuch erlaubt aufgrund des in jedem Fall eintretenden Bruchereignisses zum einen einen quantitativen Vergleich und zum anderen – über die Betrachtung der Versagensart – eine qualitative Bewertung. So ist eine große makroskopische Verformung – als Indiz für die Fähigkeit des Materials, vor einem möglichen Versagen große Energien aufzunehmen – ebenso positiv zu bewerten wie die Beschränkung des Versagensbereichs auf einen kleinen Bereich **(Abb. 4)**. Die Prüfergebnisse liefern keinen Hinweis auf eine altersbedingte Veränderung der Umfangsspannung-Standzeit-Korrelation. Die beobachteten qualitativen Unterschiede zeigten keine signifikante Abhängigkeit vom Einbaujahr.

Verhalten unter äußerer dynamisch-zyklischer Beanspruchung

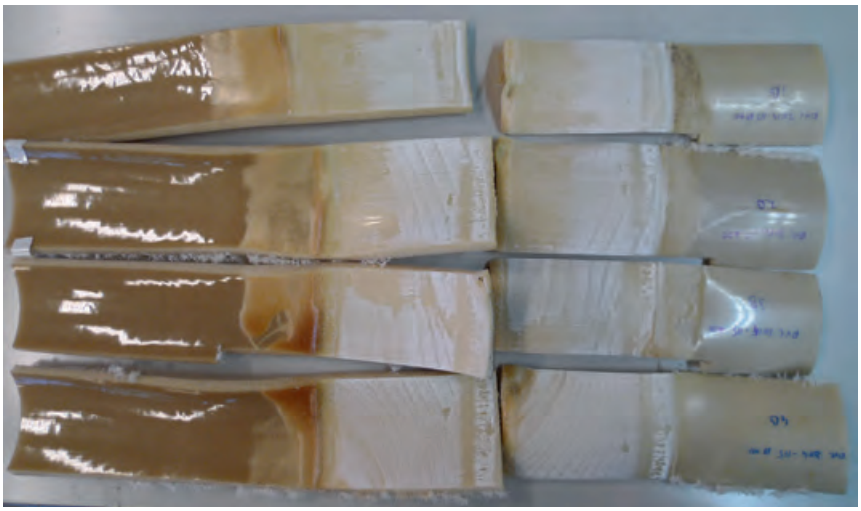
Im Betrieb können, beispielsweise im Falle ungünstiger Bettungsbedingungen (z. B. zu geringer Überdeckung), möglicherweise zusätzliche dynamische Beanspruchungen infolge von Verkehrslasten auf die Rohrleitung wirken. Daher wurden dynamisch-zyklische Versuche zum Ermüdungsverhalten der Rohre durchgeführt. Um die zur Charakterisierung benötigten Rohrleitungslängen möglichst gering zu halten, wurden statt des in der Regel genutzten Wöhlerversuchs Laststeigerungsversuche [11] durchgeführt. Bei diesen wird anstelle einer konstanten Mittellast diese stufenweise erhöht. Damit ist ein Versagen in endlicher Zeit sichergestellt und ein quantitativer Vergleich in jedem Fall möglich. Die ermittelten Lastspielzahlen bis zum ersten Durchriss (24.200–48.000 Zyklen) sind z. T. vergleichbar mit den erzielten Lastspielzahlen eines exemplarisch untersuchten neuen Rohres (ca. 40.000 Zyklen) – eine systematische Abhängigkeit der Ermüdungsfestigkeit vom Einbaujahr konnte nicht detektiert werden.

Verhalten der Klebeverbindungen

Die Integrität eines Rohrleitungsnetzes hängt neben der Rohrqualität auch von der Qualität der Klebeverbindungen ab. Dabei ist zum einen die Homogenität der Klebstoffverteilung maßgeblich, welche nach DVS 2221-1 beurteilt wur-

de. Klebeverbindungen werden bei dieser Methode in vier Segmente zerteilt, in einem Ofen auf 125 °C erwärmt und anschließend mit zwei Zangen getrennt. Die Bewertung der Klebeflächen erfolgt anschließend visuell (**Abb. 5**).

Das mechanische Verhalten der Klebeverbindungen wurde nach DVS 2203-6 reproduzierbar mittels maschinellen Linearscherversuchen beurteilt. Dabei wurden aus der Klebeverbindung schmale Segmente entnommen, in einer Vorrichtung eingespannt und die Fügeebene linear geschert. Aus den Messwerten kann die Scherfestigkeit berechnet werden,



Quelle: KIWA

Abb. 5: *Vier völlig getrennte Segmente aus einer Klebeverbindung. Auf den weißen Stellen sind noch Klebstoffreste vorhanden. Vor allem bei den beiden oberen Verbindungen war ursprünglich nicht überall Klebstoff aufgebracht.*

ICS®

POWERGRIT®
PIPE CUTTING CHAIN

DIE EINFACHSTE UND SICHERSTE ART ROHRE ZU TRENNEN

Weniger Aushub | Zugang von einer Seite | Reduziert den Kraftaufwand | Kein Rückschlag



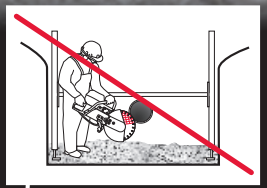
Wenn Sie eine Vorführung oder Beratung vor Ort wünschen, kontaktieren Sie uns bitte unter:

Dirk Ristau Tel: +49 173.3918759, dirkr@icsbestway.com

Ausführliche PowerGrit Informationen und Videos finden Sie auf
icsdiamondtools.com



PowerGrit Methode



PowerGrit schneidet:
» Duktile Gussrohre
» Gusseisenrohre
» Tonrohre
» PVC-Rohre

die einen quantitativen Vergleich erlaubt. Die Untersuchungen der ausgebauten Klebeverbindungen zeigen teilweise deutliche Unterschiede hinsichtlich Klebstoffverteilung und Festigkeit im Linearscherversuch (7,4–16,7 MPa). Aufgrund einer fehlenden systematischen Abhängigkeit von der Leitungsart, dem Betriebsmedium oder dem Einbaujahr sind die Unterschiede vermutlich auf die damalige Herstellung der Klebeverbindungen (und damit auf die Anfangsqualität) zurückzuführen.

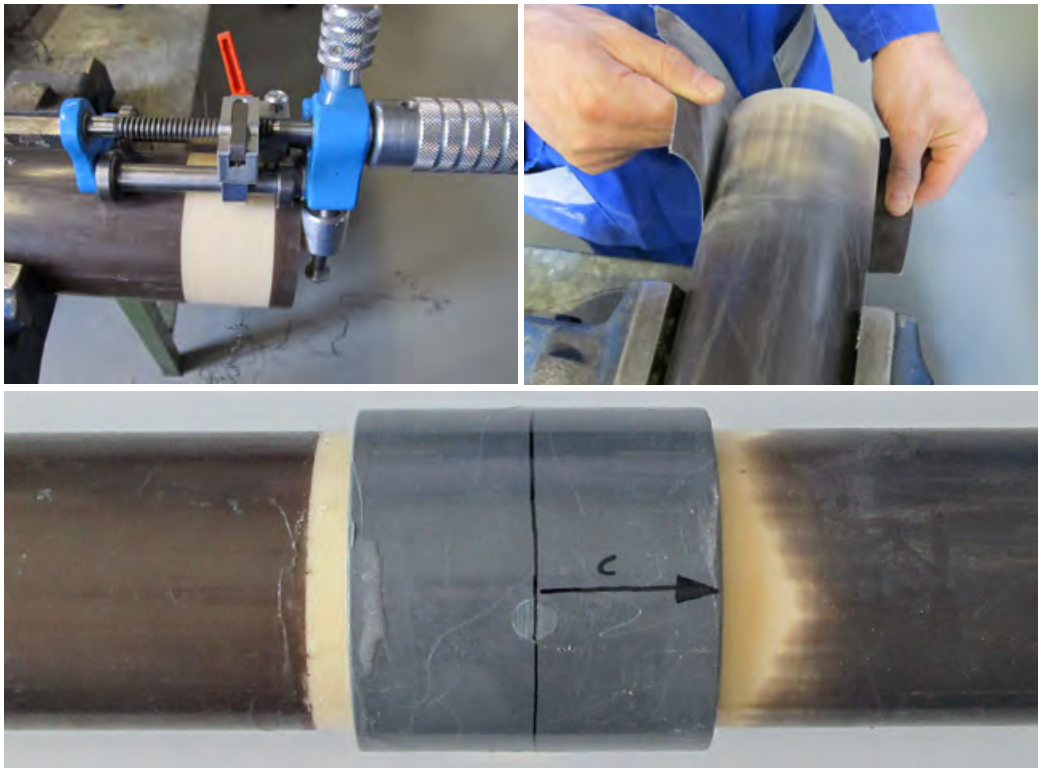
Die ausgebauten Gasrohrleitungen sind zum Teil an der Außenoberfläche dunkel verfärbt [1]. Daher wurde exemplarisch an einem Rohr eine neue Verklebung ohne und mit vorheriger mechanischer Entfernung **(Abb. 6)** der dünnen verfärbten Außenschicht vorgenommen. Die anschließende Untersuchung hinsichtlich Klebstoffverteilung und Linearscherversuchen zeigte, dass die für eine neue Verklebung notwendige Anlösung der Oberfläche in allen betrachteten Fällen (gut) möglich war.

Einfluss der Bettungssituation und Alterung

Ein systematischer Einfluss der Bettungs- und Betriebsbedingungen auf die Eigenschaften der untersuchten, ordnungsgemäß eingebauten und betriebenen Rohrleitungen wurde nicht gefunden. Auch wenn die PVC-U-Rohrleitungen die damals angenommene Lebensdauer von 50 Jahren zum Teil erreicht haben, erfüllen sie größtenteils noch die heutigen Qualitätsanforderungen an Neuware. Die umfangreichen Untersuchungen liefern keine Indizien, dass die betriebsrelevanten Eigenschaften des Rohrwerkstoffes PVC-U sowohl in der Gas- als auch in der Wasserversorgung signifikanten Veränderungen während der Nutzungsdauer durchlaufen. Etwaige Schwachstellen können demzufolge einer mangelnden Anfangsqualität aus der Rohrproduktion, der Verbindungstechnik und der Installation zugeordnet werden. Als grundsätzlich lebensdauerbegrenzend gelten rohrwerkstoffübergreifend Überlastungen des Materials, ausgelöst beispielsweise durch Überschreitung des zulässigen Betriebsdruckes oder durch von außen wirkende Störungen in der Rohrleitungszone (Fremdeinwirkungen).

Zusammenfassung und Fazit

Die untersuchten deutschen PVC-U-Rohrleitungen erfüllen sowohl generations- als auch spartenübergreifend (Gas und Wasser) die wesentlichen Anforderungen an Neuware. Im Rahmen des DVGW-Forschungsvorhabens GW 3-01-13 wurden keine systematischen Alterungserscheinungen an den untersuchten Rohrproben (inklusive der Klebeverbin-



Quelle: SKZ

Abb. 6: *Mechanische Entfernung der verfärbten Außenschicht mittels Schälen (links) und Schleifen (rechts) sowie die resultierende Verklebung (unten)*

dungen) festgestellt – Unterschiede sind daher vermutlich auf die Anfangsqualität zurückzuführen. Die Ergebnisse bestehender (inter-)nationaler Studien [9, 12, 13] wurden damit für die untersuchten deutschen PVC-U-Rohrleitungen bestätigt. Verwendete Untersuchungsmethoden und Ergebnisse können von den Unternehmen als Benchmark zum Monitoring ihrer Rohrnetze herangezogen werden. Bei ordnungsgemäß eingebauten PVC-U-Rohrleitungen mit DVGW-Zertifizierung ist daher unter normalen Betriebsbedingungen und unter Berücksichtigung des geltenden Regelwerks (insbesondere des DVGW-Arbeitsblattes G 466-3) eine technische Nutzungsdauer von mehreren Jahrzehnten über die ursprünglich angenommenen 50 Jahre hinaus zu erwarten.

Danksagung

Die präsentierten Arbeiten erfolgten im Rahmen des DVGW-Forschungsvorhabens GW 3-01-13. Die Forschungsstellen bedanken sich an dieser Stelle beim DVGW und den mitfördernden Unternehmen (Avacon AG, EWE NETZ GmbH, Rhein-Energie AG, Thüga Aktiengesellschaft) und den 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] Böge, M., Gerets, B., Wenzel, M., Scholten, F., van der Stok, E.: Bewertung der Integrität von in Betrieb befindlichen Gas- und Wasserleitungsnetzen aus PVC-U, Teil 1 – Motivation, Rohrprobenentnahme und -charakterisierung, in: DVGW energie | wasser-praxis, Heft 6/7 2017, S. 52–57.

[2] Janson, L. E.: Plastics Pipes for Water Supply and Sewage Disposal, 3rd Edition, Borealis, Sven Axelson AB / Fäldts Grafiska AB, 1999.

[3] Hermkens, R., Wolters, M., Weller, J., Visser, R.: Plastics Pipes XIV, Budapest, 22–24 September 2008.

[4] Scholten, F. L., Wolters, M.: Physical Ageing of uPVC Gas and Water Pipes, PVC 2011, 12–14 April 2011, Brighton (GB), British Plastics Federation.

[5] Weller J., Hermkens R. J. M.: Plastic Pipes 17, Chicago, 2014.

[6] Weller J., Hermkens, R. J. M.: Plastic Pipes 18, Berlin, 2016.

[7] Weller, J., Van der Stok, E. J. W., Hermkens, R. J. M.: Tensile Impact Experiments of PVC-U at a Wide Range of Temperatures, Plastic Pipes XVI Conference – Barcelona, 20–22 September 2012.

[8] 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, Plastics Pipes 18, Berlin, September 2016.

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

[10] Hessel, 3R international (48), 11/2009.

[11] Ehrenstein, G. W.: Mit Kunststoffen konstruieren, Carl Hanser Verlag, München, 2007, S. 35–41.

[12] Breen, J.: TNO rapport MT-RAP06-18659/mso, online unter www.bureauleiding.nl/kennisdossier/artikel/tno-onderzoek-levensduurverwachting-bestaande-pvc-leidingen/, abgerufen am 19. Oktober 2017.

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

[14] KRV: Das Langzeitverhalten von PVC-U-Rohren mit unterschiedlicher Stabilisierung, Bonn 2005.

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

PRIMUS LINE



Grabenlose Sanierung von Druckrohrleitungen



- Kostenersparnis von bis zu 40%
- Einzug durch Bögen bis 45°
- Schnelle Wiederinbetriebnahme
- Geringer Eingriff in die Landschaft
- Große Einzugslängen von bis zu 2.500 m

Rädlinger primus line GmbH
Kammerdorfer Straße 16
93413 Cham
Tel.: +49 9971 4003 - 100
primusline@raedlinger.com

RÄDLINGER GRUPPE

www.primusline.com