

Reststyrolgehalt in Schlauchlinerproben – auf der Suche nach dem passenden Grenzwert

Von Mark Kopietz und Michael Hoffmann

Getrieben durch jüngst in der Branche entstandene Entwicklungen hinsichtlich der Festsetzung von Grenzwerten zum Reststyrolgehalt in Schlauchlinerproben beschäftigt sich dieser Fachbericht mit den Hintergründen und Zusammenhängen zwischen (un-)vollständiger Polymerisation und Langzeiteigenschaften styrolhaltiger Schlauchliner. Dafür wurden die ermittelten Reststyrolgehalte und 24h-Kriechneigungen von insgesamt 176 realen Baustellenproben analysiert. Die Evaluation der Daten soll zu einem tieferen Verständnis dieser komplexen Thematik beitragen. Der Fachbericht versteht sich daher nicht als Anweisung, sondern als Denkanstoß.

Einleitung

Aufgrund ihrer Material- und Verarbeitungseigenschaften, wie auch aus Kostengründen, haben sich ungesättigte Polyesterharze (UP) in der Sanierung von Hauptkanälen mittels vor Ort härtendem Schlauchlining etabliert. Im Falle erhöhter Ansprüche gegenüber Chemikalienbelastung kommen alternativ Vinylesterharze (VE) zum Einsatz. Beide normativ geregelten Harzklassen vereint die Gemeinsamkeit mittels eines ungesättigten Monomers, meist Styrol, zum dreidimensional vernetzten, duroplastischen Polymer zu reagieren. Die sogenannte radikalische Polymerisation findet bekanntermaßen nicht unter optimalen Laborbedingungen statt und muss mit diversen Störeffekten auskommen. Dies führt zwangsläufig zu einer mehr oder minder unvollständigen Quervernetzung, die in geminderten Kurz- oder auch Langzeiteigenschaften resultieren kann, und somit übergeordnet die Qualität des finalen Bauproduktes beeinflusst.

Zur Qualitätssicherung ist eine nach Einbau stattfindende Beprobung und Überprüfung relevanter Parameter unumgänglich. Darunter kann neben den mechanischen Kurzzeiteigenschaften bei UP- und VE-harzbasierten Schlauchlinersystemen auch die Ermittlung des Reststyrolgehaltes, also die Quantifizierung des nicht reagierten Styrols, fallen. Bei Indizien unvollständiger Aushärtung wird zusätzlich die 24h-Kriechneigung zur Indikation herangezogen.

Zur Bewertung ermittelter Istwerte erfolgt für gewöhnlich ein Abgleich mit systemspezifischen Sollwerten. Diese sind u. a. für mechanische Analysen (z. B. Dreipunktbiegeversuch, 24h-Kriechneigung) in produkteigenen Eignungsnachweisen (z. B. allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (abZ) oder Konformitätsbeurteilungen) zu finden und gelten als Maß zum Erreichen definierter Qualitätsstandards.

Im Gegensatz zu systemspezifischen Kennwerten wird sich für den Reststyrolgehalt auf übergeordnete Grenzwerte bezogen. Dabei rät die AVK – Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e. V. im *Handbuch Faserverbundwerkstoffe* [1] zu einem Maximum des Massenanteils von 2 %, bezogen auf den reinen Reaktionsharzformstoffanteil. Das Merkblatt DWA-M 144-3 legt einen maximalen Reststyrolgehalt, bezogen auf die Gesamtprobenmasse (inklusive Träger- bzw. Verstärkungsfasern), von 4 % fest [2].

Kriechneigung

Werkstoffe tendieren unter konstanter Spannung (Kraft pro Fläche) zum sogenannten Kriechen, auch Retardation genannt. Dabei führt eine externe Last zu einer zeit- und temperaturabhängigen Verformung (siehe **Bild 1**).

Dieser Effekt ist bei duroplastischen Kunststoffen u. a. vom Vernetzungsgrad abhängig und muss bei der Auslegung

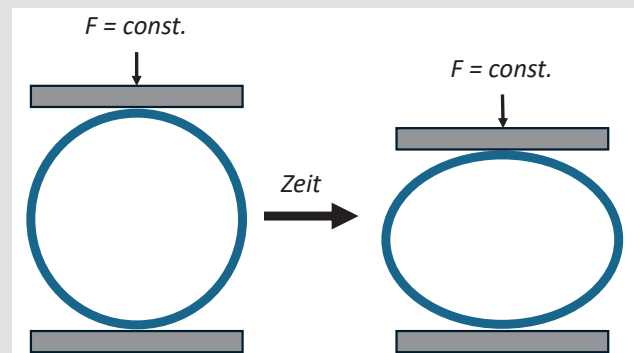


Bild 1: Schematische Darstellung der zeitlichen Rohrverformung unter konstanter Last

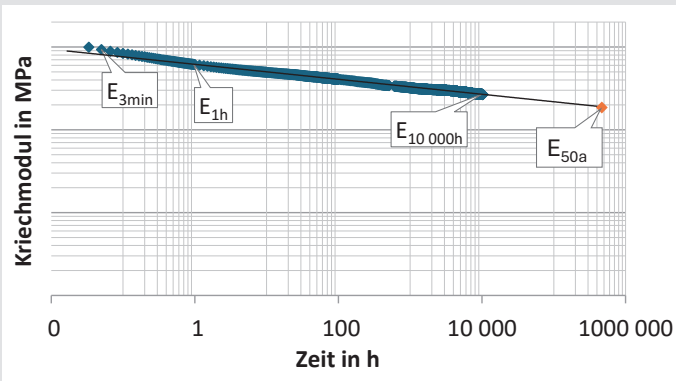


Bild 2: 10.000h-Zeitstandkriechversuch mit 50-Jahres-Extrapolation

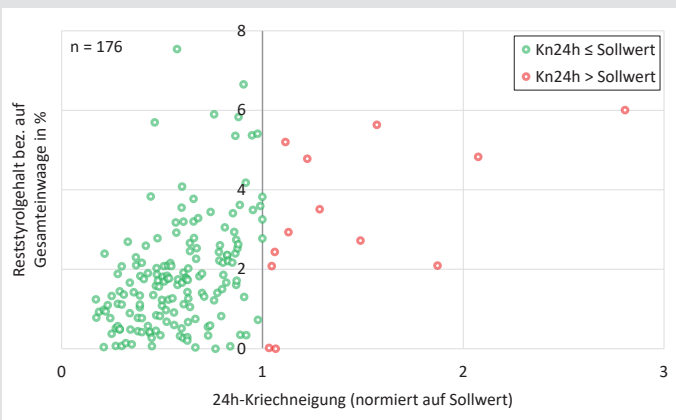


Bild 3: Reststyrolgehalt gegen 24h-Kriechneigung (normiert auf Sollwert gem. abZ), n = 176

beachtet werden. Für Schlauchlinersysteme existieren systemspezifische Abminderungsfaktoren für dauernde Lasten A1, die im Rahmen der Eignungsnachweise anhand von Zeitstandversuchen über 10.000 h ermittelt und auf 50 Jahre (438.000 h) Auslegungszeit extrapoliert werden (siehe Bild 2). Die Versuchsprozedere sind normativ in DIN EN ISO 11296-4 (Annex C) [3], DIN EN 761 [4] bzw. DIN EN ISO 899-2 [5] und DIN EN ISO 10468 [6] geregelt.

Für eine kurzfristige Abschätzung der Gültigkeit werden zusätzlich Kennwerte für die 24h-Kriechneigung definiert, und regelmäßig im Rahmen der Qualitätssicherung an Baustellenproben überprüft. Eine Überschreitung der Grenzwerte gilt als Indiz für eine unzureichende Aushärtung, was letztlich die statischen Langzeiteigenschaften in Frage stellt.

Auswirkungen des Reststyrols auf die Kriechneigung

Der Theorie nach sollte ein erhöhter Reststyrolgehalt zwangsläufig auch in geminderten mechanischen Kennwerten resultieren, und andersherum. Der Fakt, dass es sich bei Schlauchlinerproben naturgemäß nicht um perfekte Laborlamine handelt, lässt jedoch jegliche Korrelation ins Straucheln kommen.

Auf der Suche nach dem passenden Grenzwert für den Reststyrolgehalt wurden 176 Ergebnisse realer Baustellenproben gegenübergestellt (siehe Bild 3). Die farbliche Codierung beschreibt dabei die Unter- (≤ 1 , grün) bzw. Überschreitung (> 1 , rot) der auf den produktabhängigen Sollwert normierten 24h-Kriechneigung nach DIN EN ISO 899-2 (x-Achse). Gegenübergestellt ist der an gleicher Baustellenprobe nach DIN 53394-2 [7] ermittelte Reststyrolgehalt bezogen auf die Gesamteinwaage (y-Achse).

Hinweis: Sonstige Artefakte, bauseits bedingte Parameter, Linertyp, Aushärteverfahren, Wanddicke, o. ä. finden in der Darstellung keinerlei Beachtung. Ferner gilt es zu beachten, dass die beiden hier gegenübergestellten Prüfverfahren nicht zur Standardanalytik gehören und oftmals erst eingesetzt werden, wenn die Kurzzeiteigenschaften auffällig sind.

Auswertung der grafischen Gegenüberstellung:

- » Die deutliche Mehrzahl der untersuchten Probekörper (93 %) unterschreitet den vorgegebenen Maximalwert für die 24h-Kriechneigung (normiert ≤ 1). In diesen Fällen ist davon auszugehen, dass der Abminderungsfaktor für dauernde Lasten A1 gültig ist.
- » Die deutliche Mehrzahl der untersuchten Probekörper (91 %) unterschreitet einen Reststyrolgehalt bezogen auf die Gesamtprobenmasse von 4 %. Die Mehrzahl (60 %) unterschreitet sogar einen Schwellenwert von 2 %.
- » Es lässt sich keine signifikante Korrelation zwischen erhöhtem Reststyrolgehalt (> 4 %) und einer überschrittenen 24h-Kriechneigung (normiert > 1) erkennen.

Fazit

Die Auswertung der Ergebnisse zeigt keinen kausalen Zusammenhang zwischen den ermittelten Reststyrolgehalten und der zur Verifikation des Abminderungsfaktors A1 dienenden 24h-Kriechneigung. Hinsichtlich der titelgemäßen „Suche nach dem passenden Grenzwert“ für den Reststyrolgehalt, der datenbasiert wie auch branchenrealistisch gewählt sein sollte, lässt sich hingegen ablesen, dass aus materialwissenschaftlicher Sichtweise ein Schwellenwert von 4 %, wenn nicht sogar höher, akzeptabel zu sein scheint. Etwaige Überschreitungen der 24h-Kriechneigung lassen sich faktisch nicht mit dem Reststyrolgehalt korrelieren, da auch Matrixeffekte die mechanische Leistungsfähigkeit beeinflussen.

Nichtsdestotrotz stellt die Restmonomeranalytik im Allgemeinen, unabhängig von den Materialauswirkungen, aus Gründen des Wasser- und Umweltschutzes einen elementaren Bestandteil dar. Dieser Aspekt findet hier keine Betrachtung, gilt es aber näher zu untersuchen.

Tipp: Durch system- und bauseitig bedingte Schwankungen des Harzanteils kommt es bei der Ermittlung des Reststyrolgehaltes bezogen auf die Gesamtprobenmasse zu einem möglicherweise verzerrten Bild, insbesondere im Vergleich verschiedener Linertypen mit unterschiedlichen Faser-/Harz-Anteilen. Im Zweifelsfall kann genau dieser Faktor den Unterschied zwischen „bestehen“ und „nicht bestehen“ machen. Die Interpretation eines bereinigten Reststyrolgehaltes,

bezogen auf den Reaktionsharzformstoffanteil statt auf die Gesamtprobenmasse, könnte hier Abhilfe bei der Interpretation und der Beurteilung schaffen. Im Falle glasfaserverstärkter Schlauchliner ließe sich der Harzanteil, parallel zur Reststyrolanalytik, ohne großen Mehraufwand im Kalzinierungsverfahren bestimmen.

Literatur

- [1] AVK, Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe (Hrsg.): Handbuch Faserbundkunststoffe: Grundlagen, Verarbeitung, Anwendungen (2010)
- [2] Merkblatt DWA-M 144-3 „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen (ZTV) für die Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 3: Renovierung mit Schlauchliningverfahren (vor Ort härtendes Schlauchlining) für Abwasserkanäle“ (2012-11, ergänzt 2018-12)
- [3] DIN EN ISO 11296-4 „Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Renovierung von erdverlegten drucklosen Entwässerungssystemen (Freispigelleitungen) – Teil 4: Vor Ort härtendes Schlauch-Lining (2021-11)doi: 10.31030/3274790
- [4] DIN EN 761 „Kunststoff-Rohrleitungssysteme – Rohre aus glasfaserverstärkten duroplastischen Kunststoffen (GFK) – Bestimmung des Kriechfaktors im trockenen Zustand“ (1994-08) doi: 10.31030/2627652
- [5] DIN EN ISO 899-2 „Kunststoffe – Bestimmung des Kriechverhaltens – Teil 2: Zeitstand-Biegeversuch bei Dreipunkt-Belastung (2015-06) doi: 10.31030/2268123
- [6] DIN EN ISO 10468 „Rohre aus glasfaserverstärkten duroplastischen Kunststoffen (GFK) – Ermittlung der Ringkriecheneigenschaften unter feuchten oder trockenen Bedingungen (2023-10) doi: 10.31030/3485257

- [7] DIN 53394-2 „Prüfung von Kunststoffen; Bestimmung von monomerem Styrol in Reaktionsharzformstoffen auf Basis von ungesättigten Polyesterharzen; Gaschromatographisches Verfahren“ (1993-12) Verfügbar unter: <https://www.beuth.de/de/norm/din-53394-2/2198119>

SCHLAGWÖRTER: Reststyrolgehalt, Kriechneigung, Grenzwert

AUTOREN



Dr.-Ing. **MARK KOPIETZ**
SBKS GmbH & Co. KG, St. Wendel
Tel. +49 6851 80008-30
m.kopietz@sbks.de



Dr. rer. nat. **MICHAEL HOFFMANN**
SBKS GmbH & Co. KG, St. Wendel
Tel. +49 6851 80008-30
m.hoffmann@sbks.de