

Kunststoffrohrsysteme im Betrieb

Einsatz von PE-HD-Rohren am Beispiel der Stadtentwässerung Göttingen

Dipl.-Ing. Manfred Fiedler
Stadtentwässerung Göttingen

1. Grundlagen

Die Stadt Göttingen hat 1988 mit der systematischen Untersuchung des 700 km langen Kanalnetzes (325 km SWK; 25 km MWK und 350 km RWK) begonnen. Parallel mit der Auswertung der Schadensbilder wurde das Kanalsanierungskonzept erarbeitet und schriftlich niedergelegt. Die Umsetzung dieses Konzeptes ist bis zum Jahr 2007 konzipiert.

2. Auswertung der TV-Untersuchungen bestehender Kanäle

Auf der Grundlage der bisher untersuchten Kanäle sind die Schadensbilder nach Materialien und Baujahren ausgewertet.

Bei der Sanierung in offener Bauweise wurden die Schadstellen teilweise vorsichtig in Handschachtung freigelegt, um die Schadensursachen zu erforschen. Bei über 75% der Schäden wurden verlegebedingte Mängel festgestellt.

Insbesondere bei den in der Vergangenheit verwendeten Rohrmaterialien (75% Stz und 10% Betonfalzrohre) ist die häufigste Schadensursache verlegebedingte Fehler im Muffenbereich, die als Axial- oder Horizontalverschiebungen aufgetreten sind. Diese Verschiebungen sind die Ursache für Undichtigkeiten, die damit verbundene In- und Exfiltration und für den Wurzeleinwuchs. Die zweitgrößte Gruppe der Schäden stellen nachträgliche Anschlüsse an die Rohrleitungen dar. Danach folgen fehlende oder unzureichende Rohraufleger und Rohrbettungen, die zu Rissbildungen und Rohrbrüchen geführt haben.

Auf der Grundlage der Schadensbilder, der Schadensanalysen und des überraschend schlechten Gesamtzustandes des Kanalnetzes wurde in Göttingen beschlossen, verstärkt andere als die bisher üblichen Rohrmaterialien im Entwässerungsbereich einzusetzen.

3. Anforderungen an Rohrmaterialien

Da selbst bei bester Bauleitung Verlegefehler auch in Zukunft nicht gänzlich auszuschließen sind, ist bei der Auswahl der Rohrwerkstoffe das Anforderungsprofil neu zu definieren. Auf eine Reduzierung der Rohrverbindungen durch längere Rohrschnitte und das flexible Anpassen auf veränderte Lastbedingungen muss besonderer Wert gelegt werden. Wichtig ist eine Produktpalette, die außer dem Rohr die Schachteinbindung und bei den Hausanschlüssen die Formstücke wie Bögen und Abzweige abdeckt. Denn jedes System ist nur so leistungsfähig wie das schwächste Glied in der Kette.

4. Auswahl der PE-HD - Rohre

Zielsetzung bei der Rohrauswahl war es, Rohrmaterialien einzusetzen die den Ursachen der ermittelten Schadensbilder durch ihre speziellen Materialeigenschaften gewachsen sind. Das PE-HD-Rohr konnte hierbei die meisten Anforderungen erfüllen.

Neben dem Einsatz von verschiedenen Werkstoffen wurde das Rohrmaterial PE-HD in größerem Umfang bei Kanalbaumaßnahmen alternativ zum Steinzeugrohr ausgeschrieben. Bei den

Submissionen waren die Preisdifferenzen zwischen den Rohrmaterialien gering. Für den Werkstoff PE-HD sprachen neben der Erfüllung des o.a. Anforderungsprofils, des annehmbaren Preises auch die guten Erfahrungen der Versorgungsbetriebe im Gas- und Wasserbereich.

Das PE-HD-Rohr besitzt eine glatte Rohinnenfläche und bietet somit nahezu keine Angriffspunkte für Abrieb. Die Rohre sind flexibel und passen sich deshalb veränderten Umgebungsbedingungen an, die im Erdreich im Laufe der Zeit entstehen können. Durch die Verformbarkeit der PE-HD-Rohre werden auftretende Lasten auf das umgebende Erdreich übertragen. Lagerungsbedingte Schäden oder Spröbruch sind nicht zu erwarten. Die verschweißten Rohrverbindungen sind wurzelbeständig.

Es ist ein weiter Weg von der grundsätzlichen Entscheidung bis zum tatsächlichen Einsatz neuer Rohrmaterialien. Bei den PE-HD-Rohren war zunächst problematisch, dass die Schachteinbindung mit den zur Verfügung stehenden Formteilen (Mauerdurchführung oder Mauerkragen) nach den von der Stadtentwässerung aufgestellten Anforderungen nicht ausreichend gelöst war.

Da die Stadtentwässerung der Stadt Göttingen an der Optimierung der Schachteinbindungen und weiteren Detailpunkten großes Interesse hatte, wurde mit einer Marktabfrage die Bereitschaft der Industrie an einer gemeinsamen Problemlösung eruiert. Lediglich die Firma FRIATEC gab ein positives Signal zur Zusammenarbeit. Diese Gemeinschaft zwischen der Stadtentwässerung und der Firma FRIATEC sollte sich in der Folgezeit als sehr innovativ und zielorientiert herausstellen.

Nach der Erstellung des Anforderungsprofils der Schachteinbindung und Festlegung der zeitlichen Perspektive konnte der Startschuss für die ersten Maßnahmen mit dem neuen Werkstoff fallen. Zugleich wurden die beiden auf dem Markt befindlichen Verbindungstechniken für den Abwasserbereich getestet.

5 Die Schweißung von PE-HD - Rohren im Abwasserbereich

Der Werkstoff PE-HD gehört zur Gruppe der Polyolefine; ein Vorteil dieses Werkstoffes liegt darin, dass er verschweißbar ist. Eine verschweißte Rohrverbindung ist dicht, homogen, längskraftschlüssig und wurzelfest.

Als Schweißverfahren bieten sich das Heizelementstumpfschweißen und das Heizwendelschweißen an.

5.1 Heizelementstumpfschweißen

Beim Heizelementstumpfschweißen werden die PE-HD - Rohre an den Stirnflächen mit Hilfe eines Heizelementes erwärmt. Nach einem zeitlich definierten Ablauf bildet sich an den Stirnflächen Schmelzgut. Die Rohre werden nach der Entfernung des Heizelementes unter Druck zusammengefügt. Hierbei entsteht ein Schweißwulst, der sich nach beiden Seiten (Rohrinnen- und Rohraußenseite) ausbildet.

Bei einem drucklosen Kanalsystem stellt die Schweißwulst im Rohrinernen jedoch ein Hindernis für Feststoffe dar. Damit besteht die Gefahr für den Aufbau von Verstopfungen. Außerdem werden die guten Fließigenschaften reduziert. Das Handling der Stumpfschweißmaschine stellt bei beengten Platzverhältnissen im Rohrgraben ein Problem dar.

Nach der ersten Erfahrung mit Heizelementstumpfschweißung wurde für den Einsatz im Kanalbau entschieden, nur noch das Heizwendelschweißen einzusetzen.

5.2 Heizwendelschweißen

Aufgrund der o.a. Argumente findet im Kanalbau das Heizwendelschweißen Anwendung. Hierbei werden PE-HD - Rohre mit Hilfe eines sogenannten Heizwendelschweißfittings verbunden.

An der Innenseite des Schweißfittings befindet sich eine Heizleiterwendel, die Wärmeenergie abstrahlt. Durch diese Wärmezuführung wird die Innenfläche des Fittings und die Außenfläche des zuvor eingesteckten Rohres plastifiziert. Die geschmolzenen Zonen verbinden sich unter eigenerzeugtem Fügedruck miteinander und stellen nach der Abkühlung eine längskraftschlüssige, homogene Verbindung her. Die hierfür notwendige Energie wird durch ein speziell dafür gefertigtes Schweißgerät erzeugt. In einem Barcode (Strichcode), der sich auf dem Schweißfiting befindet, sind die erforderlichen Schweißparameter enthalten. Nach Einlesen des Barcodes steuert das Schweißgerät die Verschweißung vollautomatisch. Bei Bedarf kann über das Schweißgerät auch ein Protokoll zur Kontrolle der Verschweißungen erstellt werden.

Die Oberflächen müssen vor der Schweißung gründlich gesäubert werden. Sie dürfen keine Riefen aufweisen, damit der Schweißserfolg sichergestellt werden kann.

5.3 Anforderungen an die Schweißung

In der Anfangsphase des Einsatzes von PE-HD - Rohren wurden die anbietenden Tiefbaufirmen der Region mit dem Problem der Schweißung konfrontiert. Die Baufirmen haben sich zunächst wie im Gas- und Wasserleitungsbau entsprechend vorgebildeter Subunternehmer bedient. Da aber anders als beim Bau von Versorgungsleitungen die Bauabschnitte im Kanalbau wesentlich kürzer ausfallen, ist ein hoher Kostenaufwand und Abstimmungsbedarf erforderlich.

Die Firmen haben daher inzwischen in ihren eigenen Reihen ausgebildetes Fachpersonal, das für diese Spezialaufgabe eingesetzt wird. Grundlage für die Ausbildung von Rohrschweißern für den erdverlegten Anwendungsbereich PE-HD - Kanalrohre ist das DVGW-Merkblatt GW 330 "Schweißen und Verlegen von Rohren und Rohrleitungsteilen aus PE-HD". In der Regel werden Lehrgänge zum PE-Schweißer von den Handwerkskammern der Länder durchgeführt. Die Lehrgangsdauer beträgt ca. eine Woche.

Es ist darauf zu achten, dass nach den Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften mit einer Sicherheitskleinspannung von 50 V im erdverlegten Bereich gearbeitet werden muss.

6. Produktpalette bei HDPE Rohren im Abwassersystem

Bei der Sondierung des Marktes konnte zunächst nur auf die in der Versorgungstechnik übliche Produktpalette mit ihren Formteilen zurückgegriffen werden.

Nach der Erstellung eines Anforderungskataloges für den Abwasserbereich entstanden die Forderungen der Entwicklung und der Optimierung für

- den Schachtanschluss
- die drucklose Abwassermuffe
- ein Anbohrsystem für nachträgliche Hausanschlüsse
- der Herstellung von Rohren mit heller (weißer) Innenfläche

Inzwischen sind alle Entwicklungen zusammen mit der Firma FRIATEC und den Rohrlieferanten abgeschlossen. Es liegt eine für den Abwasserbereich umfassende Produktpalette vor, die hier vorgestellt werden kann.

6.1 Das Abwasserschachtfutter (ASF)

Das Abwasserschachtfutter dient als Verbindungselement zwischen dem Beton-Fertigteilschacht und der Abwassereinschiebmuffe. Es besteht aus dem Werkstoff PE-HD und ist somit korrosionsbeständig; Verankerungsstege auf der gesamten Umfangsbreite sorgen für einen festen Sitz im Beton. Eine elastomeres Mittelstück dient zum Ausgleich von Spannungen (bis 5°) der eingebauten Rohre. Der Einbau des ASF ist an die DIN 4034 angelehnt und sichert einen bündigen Abschluss (innen und außen) im Betonschacht-Unterteil.

6.2 Die Abwassereinschiebmuffe (AEM)

Die Abwassereinschiebmuffe dient zur Einbindung von PE-HD - Rohren in Betonschächte nach DIN 4034 in Verbindung mit dem Abwasserschachtfutter.

Die Abwassereinschiebmuffe ist geeignet zur Verschweißung von Kanalrohren aus PE-HD nach DIN 8074/8075 und DIN 19537. Integrierte Heizwendel auf der Muffeninnenseite sorgen für optimale Wärmeübertragung bei der Verschweißung. Auf der Außenseite der AEM befinden sich zwei Dichtringe und auf Wunsch ein zusätzlicher wasserquellfähiger Dichtring in der Mitte. Die Dichtringe sorgen für eine optimale Verpressung der AEM zum Abwasserschachtfutter. Die elastomere Abdichtung dient gleichzeitig als Gelenkstück gegen das ASF. Jede AEM ist mit einem Barcode zur vollautomatischen Verschweißung ausgestattet.

6.3 Die Abwassermuffe (AM)

Die Abwassermuffe dient zur längskraftschlüssigen Verbindung von PE-HD - Rohren sowie zur nachträglichen Einbindung von Rohrleitungen in bestehende Leitungen. Integrierte Heizwendel auf jeder Verbindungsseite sorgen für optimale Wärmeübertragung bei der Verschweißung. Die Abwassermuffen sind so aufgebaut, dass sie nach Montageanleitung ohne Halteklammern bzw. Hilfseinrichtungen verlegt werden können. Somit stellen selbst beengte Raumverhältnisse bei der Verlegung kein Hindernis dar. Jede AM ist mit einem Barcode zur vollautomatischen Verschweißung ausgestattet. Gegenüber den Druckmuffen ist die AM wesentlich kostengünstiger.

6.4 Abwassersattel (ASA-TL)

Dieses letzte Glied in der Produktpalette ersetzt die bisherigen Abzweige, die mit jeweils zwei Abwassermuffen (Heizwendelfittings) verschweißt werden mussten.

Mit diesem Formteil ist es jetzt wie bereits seit langem bei Gas- und Wasseranschlüssen möglich, nachträglich an jeder beliebigen Stelle einen Abzweig zu installieren.

Der Abwassersattel für alle Rohrdurchmesser von DA 225 - DA 450 sowie für Abzweige DA 160 wird mittels des Aufspann- und Anbohrgerätes FWFIT auf dem Rohr fixiert, verschweißt und nach der Abkühlzeit angebohrt.

6.5 Rohre mit heller (weißer) Innenauskleidung

Nach den Erfahrungen bei der Abnahme der neu verlegten, innen schwarzen Leitungen wurde insbesondere von den Aufnahmeleitern der TV-Untersucher die Bitte laut, zukünftig hellere Rohre zur besseren Schadenserkenkung zu verwenden. Auch die eigenen Videobetrachtungen ergaben zwar verwertbare Bilder, aber eine dauerhafte Betrachtung des dunklen Hintergrundes ist mit einer erheblichen Anstrengung für die Augen verbunden. Der Wunsch zur Herstellung hellwandiger Rohre wurde an den Markt herangetragen und von der Firma EGEPLAST in die Tat umgesetzt. Somit konnte auch diese letzte Produkthanforderung erfüllt werden.

7. Rohrstatik und Abschreibungsdauer

Bei erdverlegten, drucklosen Abwasserleitungen muss die erforderliche Wanddicke nach der äußeren Belastung durch Erddruck und Verkehrslasten festgelegt werden. Bei diesen Beanspruchungen eines Rohres aus PE-HD sind die Besonderheiten eines viskoelastischen Werkstoffes zu berücksichtigen, auf den die gewohnten Berechnungsmethoden der Statik starrer Rohre (Steinzeug, Beton oder Faserzement) oder elastischer Rohre (Stahl) nicht ohne weiteres anwendbar sind.

Bei dem Scheiteldruckversuch geht das Rohr aus PE-HD nicht zu Bruch. Es verformt sich unter wachsendem Scheiteldruck so weit, dass schließlich der Rohrscheitel die Rohrsohle ohne Rissbildung berührt. Bei Überlegungen zur Festigkeit erdverlegter PE-HD-Rohre muss daher diesem Verhalten Rechnung getragen werden. Ein Teil der unter Last eintretenden Verformung ist elastisch (reversibel), ein anderer Teil plastisch (irreversibel). Der Scheiteldruckversuch lässt eigentlich nur erkennen, wie groß die Verformbarkeit des Materials ist. Er entspricht jedoch keineswegs den Belastungsbedingungen, denen das Rohr im verfüllten Rohrgraben tatsächlich unterworfen ist. Hier tritt eine wesentlich geringere Verformung ein als beim Scheiteldruckversuch, weil das Rohr seitlich vom Erdreich gestützt wird.

Grundsätzlich ist zu bemerken, dass auch bei Kanalrohren aus herkömmlichem Werkstoff der Boden in der Umgebung der Leitung nach DIN EN 1610 verdichtet werden muss. Bei Fehlen verdichtbarer Böden müssen verdichtungsfähige Materialien eingesetzt werden.

Die Berechnung von drucklosen erdverlegten Vollwandrohren aus PE-HD erfolgt nach ATV-Arbeitsblatt A127 "Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungskanälen und -leitungen. Es ist eine Berechnung der Rohrverformung (Verformungsnachweis) und eine Berechnung gegen Beulen (Stabilitätsnachweis) durchzuführen. Einzelheiten sind A127 zu entnehmen.

Da die Kunststoffe zum Kriechen neigen, vergrößert sich die Verformung im Laufe der Zeit. Man unterscheidet zwischen Kurzzeit- und Langzeitverformung. PE-HD-Rohre sollen so bemessen sein, dass die Langzeitverformung nach 50 Jahren nicht größer als 6% ist. Die Zeitspanne von 50 Jahren wird aus Gründen der unteren Amortisationszeit für Kanalsysteme gewählt. Die tatsächliche Lebensdauer der Rohre liegt voraussichtlich weitaus höher.

Nach Arbeitsblatt A127 ist bei Rohren aus PE-HD ein Langzeit-Elastizitätsmodul von 150 N/mm^2 (nach 50 Jahren / 20^0 C) einzusetzen. Der dazugehörige Kurzzeitwert dient der Nachprüfung unmittelbar nach dem Einbau.

Die Berechnungen für die Stadt Göttingen ergaben für den Großteil der Lastfälle Rohre der Reihe 2 (PN 3,2). Die erforderlichen Sicherheiten der Reihe 2 waren aber bei den Lastannahmen weitestgehend ausgeschöpft. Die Rohre der Reihe 3 (PN 4) werden im Regelfall nicht vorgehalten und nur auf Bedarf projektbezogen gefertigt. In Göttingen werden deshalb grundsätzlich nur PE-HD-Rohre der Reihe 4 (PN 6 bzw. SDR 17,6) eingesetzt. Mit dieser zusätzliche Sicherheit für die normalen Lastfälle wird das PE-HD-Rohr in der Gebührenberechnung in Göttingen zur Zeit auf 70 Jahre (evtl. auf 100 Jahre) abgeschrieben.

7.1 Verformungsmessungen

Zur Gewinnung von zusätzlichen Erkenntnissen wurden an verschiedenen Rohren unterschiedlicher Druckstufen Verformungsmessungen mit einem Präzisionsmessgerät durchgeführt. Die Verformung wurde an verlegten Rohren vorgenommen, die länger wie ein Jahr im Boden lagen und den Erd- und Verkehrslasten ausgesetzt waren. Bei den Rohren der Druckstufe PN 3,2 lagen die Verformungen exakt im vorher berechneten Bereich um ca. 6%. Die Rohre der Druckstufe PN 6 bzw. SDR 17,6 wiesen so gut wie keine Verformungen auf.

8. Erfahrungen mit PE-HD-Rohren in Göttingen

In Göttingen wurden PE-HD-Rohre seit 1988 für folgende Zwecke eingesetzt.

offene Bauweise

17 km Kanalneubaumaßnahmen (mit ca. 600 Hausanschlüssen),
10 km Kanalsanierungsmaßnahmen (in offener Bauweise mit ca. 250 Hausanschlüssen)
13 km Sickerwasser-Transportleitung (Verbindung zwischen zwei Deponien)
in PE-HD-Rohren DA 225 - DA 560.

geschlossene Bauweise

Kurzrohr-Relining,
U-Liner
Berstverfahren
mit einer Gesamtlänge von 1.200 m.

Sämtliche Baumaßnahmen wurden **ohne** Beanstandungen abgenommen. Bei allen Haltungen wurden Dichtheitsprüfungen ohne Druckverluste registriert.

Die untere Wasserbehörde der Stadt Göttingen schreibt bei Wasserschutzzone II, III a und III b den Einsatz von PE-HD-Rohren zwingend vor. (Arbeitsblatt ATV 142)

Die in der Stadt Göttingen mit der Firma FRIATEC konzipierten Gesamtlösungen der PE-HD Einbindung von Rohren und Schächten werden inzwischen in München (Oktoberfestwiese), Berlin und in vielen weiteren Städten, Gemeinden und Abwasserverbänden zum Einsatz gebracht.

9. Zusammenfassung der bisherigen Ergebnisse

Die gravierenden Schadensbilder die bei den TV-Untersuchungen an den in der Vergangenheit verlegten Rohrmaterialien aufgetreten waren haben zu neuen Überlegungen bei der Auswahl von Rohrmaterialien geführt.

In einer Marktanalyse der Stadtentwässerung, die auch die Versorgungsbranche und das Ausland einbezogen hat, schnitt das PE-HD-Rohr an besten ab. Fehlende wichtige Formteile konnten mit Hilfe der Innovation des Marktes (Firma FRIATEC) ergänzt werden. Mit diesen Formteilen insbesondere bei der Schachteinbindung beinhaltet der Werkstoff PE-HD alle für die Entwässerung erforderlichen Verbindungselemente. Aus hydraulischen Erfordernissen und aus Unterhaltungsgründen wird bei der Stadtentwässerung Göttingen nur das Heizwendelschweißen angewendet.

Bis heute sind über 50 km Hauptkanälen und über 65 km einschließlich der Hausanschlüsse schadensfrei verlegt worden. Über 2/3 der Leitungen liegen seit über 5 Jahren im Erdreich und haben die Gewährleistungsüberprüfung ebenfalls schadensfrei überstanden.

Anfängliche Bedenken gegenüber der Verbindungstechnik und des Verformungsverhaltens wurden durch die Praxis widerlegt. Das PE-HD-Rohr wird daher von der Stadtentwässerung Göttingen für alle Schmutzwasserleitungen bis DA 560 und seit kurzem ebenso für alle Regenwasserkanäle bis DA 560 als einziges Rohrmaterial eingesetzt.

10. Aktuelle Ergänzungen

Die Arbeit mit dem Werkstoff PE-HD eröffnet im Kanalbau völlig neue Perspektiven und Kosteneinsparungspotentiale. So wurden in den letzten 12 Monaten vier wesentliche Neuerungen fest eingeführt:

- Erstmalig wurde in drei Straßen die Verlegung der Entwässerungsleitungen parallel zu der Verlegung der Versorgungsleitungen in engen Bereichen im Bogen vorgenommen. Hierdurch wurden 10 Zwischenschächte eingespart. Neben dem wesentlich geringeren Unterhaltungsaufwand für Schachtabdeckungen konnten hierdurch rd. 40.000 DM (6% der Bausumme) eingespart werden.
- Durch die Verfügbarkeit der Abwassersättel wird in Baugebieten nur noch der Hauptstrang ohne Abzweige verlegt. Durch die ständige Anpassung der Bebauungspläne auf die Belange der Bauträger lagen in der Vergangenheit nicht selten 20% - 33% der Hausanschlüsse falsch. Neben nicht gewollten Rattennestern sind hier in der Vergangenheit erhebliche unnötige Baukosten angefallen. Das Einsparungspotential liegt durch diese Maßnahme ebenfalls bei rd. 6% der Baukosten.
- Bei den immer häufiger notwendigen Sanierungen im Bestand ist eine Forderung unseres QM-Kataloges, dass alle Baumaßnahmen auf Dichtheit überprüft werden. Bei der Sanierung von Streckenabschnitten mit Hausanschlusserneuerungen war diese Forderung mit den herkömmlichen Materialien nicht einlösbar. Mit PE-HD Leitungen und der Verwendung von Gassattelstücken mit Absperrblase an der Grundstücksgrenze ist die Erfüllung dieser Forderung unproblematisch gelöst worden. Ein wesentlicher Baustein zur Qualitätssicherung kann damit erfüllt werden.
- Durch die noch immer absolute Schadensfreiheit aller verlegten Abwasserleitungen wird bei der Gewährleistungsabnahme nur noch die selektive Methode angewandt. D.h. nach Ablauf der fünfjährigen Gewährleistungszeit wird bei größeren Gebieten nur noch ca. ¼ des Gebietes einer Untersuchung unterzogen. Die nächsten viertel werden bei den nächsten Routineuntersuchungen im Intervall von ca. 10 Jahren inspiziert. Die Einsparung in einem größeren Baugebiet lag bei ca. 35.000 DM und wird sich zukünftig bei rd. 50.000 DM – 75.000 DM (entspricht ca. 30% der Gewährleistungsuntersuchungen) einpendeln.
- Für die Schweißung wird nur noch Fachpersonal mit dem Schweißschein GW 330 zugelassen. Die Bauleiter der eingesetzten Ingenieurbüros und die eigenen Kräfte müssen einen Schweißlehrgang mit einer Einweisung in die Qualitätssicherung besucht haben.
- Für die Einschätzung der Schadenshäufigkeiten wurde ein Vergleich zwischen den Versorgern und Entsorgern durchgeführt:

Die Versorger rechnen mit Schäden / km * Jahr

Der Durchschnittswert liegt bei

PEHD-Rohren bei 0,03 Schäden / km * Jahr

Die Entsorger kennen diese Berechnungsmethode nicht. Es gilt jedoch das bei 50 Schäden / km und ca. 40 km alten Kanälen folgender Durchschnittswert resultiert:

herkömmliche Materialien bei 1,25 Schäden / km * Jahr

Der **Faktor 42** zwischen diesen beiden Zahlen spricht eine so deutliche Sprache, dass Netzbetreiber vor der Wahl des Rohrmaterials diesen Werkstoff mit in die Entscheidungsfindung einbeziehen sollten.