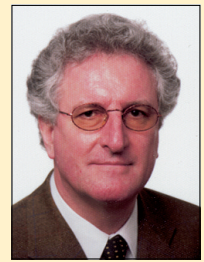


Der Einsatz von armierten Kunststoffrohren großen Durchmessers im Hochdruckbereich von 100 bar

The use of large-caliber armoured plastic pipes in the 100 bar high-pressure range

Durch die Entwicklung faserverstärkter Kunststoffrohre ergeben sich neue Einsatzbereiche in der Hochdrucktechnik. Mit aramidbewehrten PE-Rohren können im Durchmesserbereich bis DN 500 Druckstufen von über 100 bar erreicht werden. Diese aramidbewehrten Kunststoffrohre können nicht nur im Leitungsneubau sondern auch im Bereich der Sanierung von Hochdruckleitungen eingesetzt werden. Für den Einsatz dieser Produkte im Hochdruckbereich sind die Qualitäts- und Sicherheitsniveaus zu definieren und durch angemessene Untersuchungen zu garantieren.

The development of fiber-reinforced plastic pipes opens up new fields of application in high-pressure systems. Aramid-reinforced PE pipes make it possible to achieve pressure levels of above 100 bar in the diameter range up to DN 500. Such aramid-reinforced plastic pipes can be utilized not only in construction of new lines, but also for renovation of existing high-pressure pipelines. The quality and safety levels for use of these products in the high-pressure range must still be defined, and guaranteed by means of appropriate inspections.



Dr.-Ing. Manfred Veenker

Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH, Hannover; Tel. (0511) 284990.



Dipl.-Ing. Helmut Lührsen

Dr.-Ing. Veenker Ingenieurgesellschaft mbH, Leipzig; Tel. (0341) 21737-6.

Aufbau und Funktion bewehrter Kunststoffrohre

Bauteile aus Faserkunststoffverbunden sind bereits seit Jahrzehnten im Einsatz, beispielsweise als Sportgeräte, Segelflugzeuge, Boote, Hubschrauber- und Windkraftrotoren und Leitwerke von Großraumflugzeugen usw. Auch im Rohrleitungsbau, besonders im Bereich von Chemieanlagen, werden bereits glasfaserverstärkte Kunststoffrohre zum Transport aggressiver Medien eingesetzt. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit wurde im Bereich der Offshore-Technik entwickelt, in dem bewehrte Kunststoffrohre als flexibler Riser zur Förderung von Gas und Öl im Tiefseebereich eingesetzt werden. Für diesen Einsatzzweck werden Rohre mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Schichten in Wickeltechnik hergestellt. Hierbei werden beispielsweise auf ein inneres Kunststoffrohr mehrere Bewehrungslagen aus Stahlprofilen gewickelt. Zwischen die einzelnen Stahlprofilagen werden wiederum Kunststoffschichten aufgebracht, um eine innere und äußere Dichtungsfunktion sowie eine Trennfunktion zwischen den einzelnen Bewehrungslagen zu übernehmen. Bei diesen bewehrten Kunststoffrohren hat

jede Bewehrungslage ihre eigene Funktion. Die Bewehrungslagen dienen je nach Wickelwinkel der Aufnahme von Innendruck, Außendruck oder Längsbeanspruchungen. Die Herstellung dieser bewehrten Kunststoffrohre erfolgt je nach Anwendungsfall individuell.

Alternativ zur Verwendung von Stahlfasern zur Armierung der Kunststoffrohre können auch Hochleistungsfasern wie Glas, Kohle oder Aramidfasern verwendet werden. Für den Transport von hochkorrosiven Medien wie zum Beispiel Rohöl und Sauer gas bei Druckstufen im Bereich von 100 bar wurden sogenannte Reinforced-Thermoplastic-Pipes (RTP) entwickelt. Diese bewehrten Kunststoffrohre bestehen im Prinzip aus drei Schichten. Als innere Schicht wird ein herkömmliches PE-Rohr verwendet. Auf dieses PE-Rohr werden kreuzweise Aramidfaserlagen gewickelt, die anschließend wiederum mit einer äußeren Schutzschicht aus PE bedeckt werden (**Bild 1**).

Das PE-Innenrohr dient als Tragschicht für die Aramidfaserlagen und zur Aussteifung des Rohres gegen äußere Beanspruchungen wie zum Beispiel Erd- oder Verkehrslasten. Weiterhin dient das innen liegende Rohr als Abdichtung. Die Stüt-



Bild 1: Darstellung eines aramidbewehrten Kunststoffrohres (Werkbild der Firma Wellstream)

Fig. 1: View of an aramid-reinforced plastic pipe (Wellstream company photo)

Tab. 1: Exemplarische Produktpalette aramidbewehrter Kunststoffrohre (Firma Tubes d'Aquitaine)

Table 1: Typical aramid-reinforced plastic pipe product range (Tubes d'Aquitaine)

Typ	D_A [mm]	D_I [mm]	Betriebsdruck 20 °C [bar]
ZA 500	110	70	180
ZA 300	105	70	110
A 450	150	107	170
A 350	144	107	130
A 200	139	107	65
B 460	189	140	170
B 270	179	140	100
B 170	173	140	100
C 560	244	180	215
C 420	236	180	160
C 310	228	180	115
D 460	295	230	170
D 360	286	230	90
D 250	274	230	90
D 140	266	230	50
E 185	346	290	55
E 260	352	290	80
F 190	440	370	55
F 250	446	370	80
G 260	540	460	55
G 250	548	460	80
I 185	665	580	55
I 230	675	580	70

zung des Aramidfasersystems durch das Innenrohr ist erforderlich, da die Fasern lediglich Zugkräfte aufnehmen können.

Die Aramidfasern sind das tragende Element der bewehrten Kunststoffrohre für die Innendruckbelastung und werden in mehreren Lagen wechselweise auf das Innenrohr gewickelt. Die Anzahl der ein-

zusetzenden Aramidfaserlagen hängt von der aufzunehmenden Innendruckbeanspruchung des Rohres ab. Der Wickelwinkel der einzelnen Aramidfaserlagen wird in Richtung der Rohrachse gemessen und beträgt bei Innendruck beanspruchten Rohren $\pm 55^\circ$. Auf die Aramidfaserlagen wird anschließend noch eine

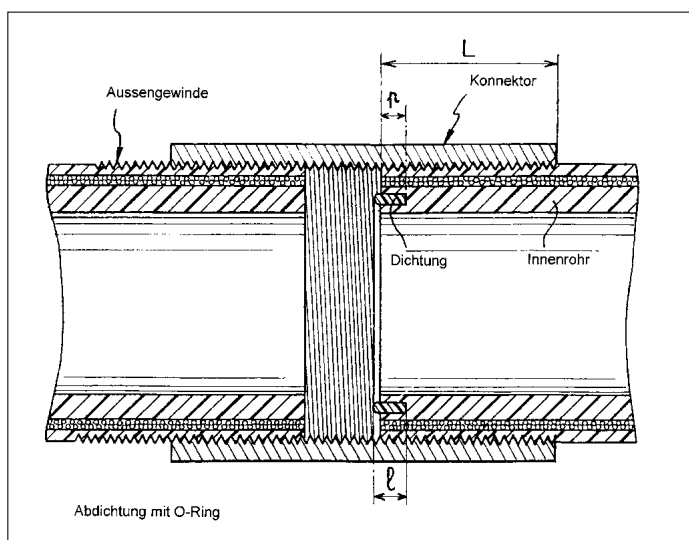


Bild 2: Darstellung der Rohrverbindung (Werkbild der Firma Tubes d'Aquitaine)

Fig. 2: View of pipe joint (Tubes d'Aquitaine works photo)

äußere Schutzschicht aus PE aufgebracht.

Aramidfasern gehören neben den Glas- und Kohlefasern zu den sogenannten Hochleistungsfasern. Aramid ist ein künstlich hergestelltes organisches Polymer (ein aromatisches Polyamid), das durch Spinnverfahren hergestellt wird. Nach der Herstellung werden die Fasern heiß verstreckt, um die besonders hohen Festigkeitseigenschaften zu erhalten. Die Zugfestigkeit von Aramidfasern beträgt etwa 2700 N/mm², die Bruchdehnung beträgt 3,3 %. Aramidfasern zeichnen sich zusätzlich durch eine besonders hohe Beständigkeit gegen organische Substanzen wie zum Beispiel Alkohol, Benzin und verschiedene Öle aus. Heiße konzentrierte Säuren und Alkalien wie Schwefelsäure oder Natronlauge zerstören die Aramidfasern. Ein Einfluss von Gasen wie beispielsweise CO₂ oder CH₄ auf die Festigkeit der Aramidfasern ist nicht gegeben.

Derzeit werden die aramidbewehrten Kunststoffrohre von drei verschiedenen Herstellern angeboten. Die Produktpalette umfasst die Nenndurchmesserstufen DN 50 bis DN 500, die zulässigen Betriebsdrücke liegen je nach Anzahl der Aramidfaserlagen und nach Rohrdurchmesser zwischen 35 und 140 bar (**Tabelle 1**). Abgesehen von der unterschiedlichen Produktpalette unterscheiden sich die einzelnen Hersteller noch durch die Art der Rohrherstellung und der Verbindungsmittel.

Zurzeit sind drei Verbindungstechniken am Markt vertreten:

- Schraubverbindung,
- Quetschverbindung,
- Kombination bewährter Verbindungstechniken.

Bei der Schraubverbindung (**Bild 2**) erhält die äußere PE-Schutzschicht des Rohres ein Gewinde und wird in eine Verbindungshülse eingeschraubt. Die Dichtigkeit wird durch Anordnung eines Dichtringes gewährleistet. Obwohl die Koppelkräfte in die relativ weiche PE-Schutzschicht eingeleitet werden, können hohe Zugkräfte von dieser Verbindungsart aufgenommen werden, da bei Beaufschlagung mit Innendruck das Rohr in die Metallhülse gepresst wird und somit große Längskräfte übertragen werden können.

Eine weitere Verbindungsart ist in **Bild 3** dargestellt und zeigt eine Quetschverbindung. Eine innere und eine äußere Metallhülse werden auf das Rohrende geschoben und dann plastisch so verformt, dass das Kunststoffrohr kraftschlüssig mit diesen Hülsen verbunden wird. Eine entsprechende Formgebung der Rohre unterstützt diesen Kraftfluss. Das innere Rohr wird als Endfitting ausgebildet, der verschraubt oder verschweißt werden kann.

Bild 4 zeigt eine Verbindungstechnik, die herkömmliche bewehrte Verbindungstechniken kombiniert. Nachdem das innen liegende PE-Rohr mittels einer herkömmlichen Spiegelschweißung verbunden worden ist, wird eine bewehrte Schweißmuffe vorher aufgeschoben und dann in Position gebracht. Diese Aufschweißmuffe sorgt mit der äußeren PE-Schutzschicht für die Aufnahme der Längszugkräfte. Bei allen Verbindungstechniken ist zu beachten, dass der volle Längskraftschluss nur gegeben ist, wenn eine Innendruckbeaufschlagung stattfindet.

Abhängig vom Durchmesser und der Rohrsteifigkeit können die aramidbewehrten Kunststoffrohre entweder endlos produziert und als Rohrbunde transportiert werden (bis ca. DN 150) oder als Rohrschüsse bis zu Längen von rund 24 m produziert und transportiert werden.

Einsatzmöglichkeiten bewehrter Kunststoffrohre

Durch die Bewehrung herkömmlicher PE-Rohre mit Aramidfasern ergeben sich Möglichkeiten, die aufnehmbaren Innendrucke der Rohre so zu erhöhen, dass der Einsatz dieser Rohre für Hochdrucktransportleitungen machbar ist. So ist es möglich, die besonderen Eigenschaften des Werkstoffs Polyethylen, wie zum Beispiel das geringe Gewicht, die chemische Widerstandsfähigkeit, die hohe Flexibilität, die hohe Zähigkeit und die geringen Reibungsbeiwerte im Bereich hoher Druckstufen technisch einsetzbar zu machen. Die Verlegung der aramidbewehrten Rohre ist aufgrund des geringen Gewichtes und der geringen Biegesteifigkeit der Rohre sehr einfach zu praktizieren. Die Anwendung aufwändiger Verlegetechnik wie zum Beispiel Seitenbäume, wie sie beim Stahlrohrleitungsbau erforderlich sind, entfällt (**Bild 5**). Durch das einfache und schnelle Verschrauben der Rohre entfällt das aufwändige Verschweißen der Rohre, wie es bei herkömmlichen PE-Rohren oder Stahlrohren erforderlich ist.

Kleinere Durchmesser der aramidbewehrten PE-Rohre werden als Ringbunde auf Trommeln geliefert. Für diese Produktform können noch einfachere Verlegetechniken wie beispielsweise der Einsatz von Kabelpflügen oder -fräsen angewandt werden. Ebenfalls aufgrund der geringen Biegesteifigkeit der Rohre können Richtungsänderungen durch elastische Bögen realisiert werden. Der Anschluss an weiterführende Anlagenteile erfolgt über Konnektoren, die mit herkömmlichen Flanschen versehen sind, oder das Verschweißen der Endfittings (**Bild 3**) mit den weiterführenden Stahlrohren. Aufgrund der temperatur-

Bild 3: Schnitt durch ein Endfitting (Werksbild der Firma Wellstream)

Fig. 3: Section through an end fitting (Wellstream works photo)

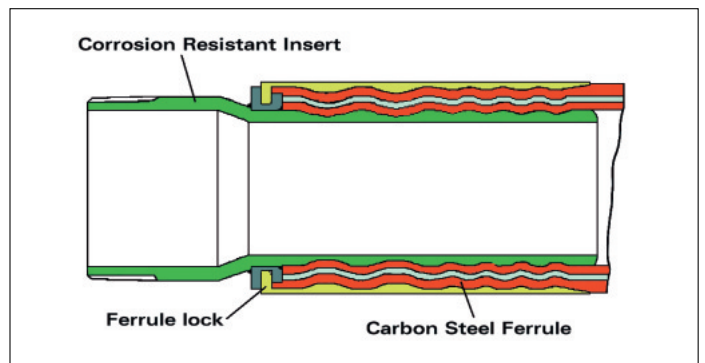
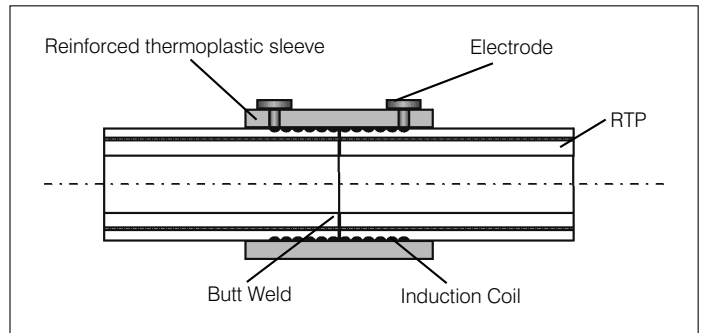


Bild 4: Aramidbewehrtes Elektroschweißfiting (Werksbild der Firma Wellstream)

Fig. 4: Aramid-reinforced electroweld fitting (Wellstream works photo)



abhängigen Festigkeitseigenschaften des Werkstoffes sind beispielsweise bei elastischer Verlegung die erforderlichen Mindestbiegeradien von der Einsatztemperatur abhängig. Hieraus resultiert, wie auch bei den herkömmlichen PE-Rohren, dass diese Rohre nicht bei Temperaturen unterhalb von 0 °C ohne geeignete Maßnahmen (z. B. Warmluftgebläse) eingebaut werden können.

Die Verlegung im offenen Graben kann in den üblichen Arbeitsschritten: Aushub des Grabens, Auslegen des Rohres, Verbinden der Rohrschüsse, Absenken der Leitung und Grabenverfüllung erfolgen. Neben der Verlegung im offenen Graben können diese Rohre wie herkömmliche PE-Rohre ebenfalls grabenlos verlegt werden. Hauptanwendungsgebiet hierbei ist das HDD-Verfahren.

Trotz der Bewehrung des Rohres ist die Eigensteifigkeit jedoch kaum höher als die eines herkömmlichen PE-Rohres, so dass auch das Einziehen dieser Rohre als Inliner in bestehende Leitungen möglich ist. Herkömmliche Inliner wie zum Beispiel PE-Rohre oder Gewebesschläuche können in Druckbereichen bis zu 10 bar eingesetzt werden. Der Einsatz der aramidbewehrten Rohre als Inliner ist im Druckbereich von über 100 bar möglich. Hierbei ist es sogar möglich, für die sanierte Leitung durch den eingezogenen Inliner eine höhere Druckstufe zu erreichen als die Druckstufe des Altrohres. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass nach dem Einziehen des aramidbewehrten

Rohres ein Ringraum zwischen dem Inliner und dem Produktenrohr verbleibt. Diese Querschnittsverringeringung würde bei gleicher Druckstufe zu einer Verringerung der Transportkapazitäten führen. Aufgrund der Tatsache, dass der Druck durch den Einsatz des aramidbewehrten Rohres signifikant angehoben werden kann, wird die Transportkapazität der sanierten Leitung erhöht.

Wie bei allen Sanierungsverfahren ist der eigentlichen Sanierung eine Rohrreinigung und Rohrinspektion vorzuschalten, um Hindernisse zu erkennen, die zu einer Beschädigung des Rohres beim Einziehen führen würden. Das Einziehen des Rohres durch vorhandene Bögen ist ebenfalls möglich, solange der Mindestbiegeradius der aramidbewehrten Rohre, der ca. 10 D beträgt, nicht unterschritten wird. Bei der Sanierung von Gashochdruckleitungen ist es möglich, Leitungsabschnitte wie beispielsweise Düker oder gesamte Leitungen zu sanieren. Die maximalen Einziehlängen für die aramidbewehrten Kunststoffrohre liegen in der Größenordnung von etwa 500 m bei geraden Strecken. Liegt eine große Anzahl von Bögen vor, verringert sich die mögliche Einziehlänge durch eine Erhöhung der Reibung zwischen dem einzuziehenden Rohr und dem vorhandenen Rohr. Somit ist es bei großen Sanierungslängen erforderlich, einzelne Einziehabschnitte zu bilden und die einzelnen Abschnitte nach dem Einziehen miteinander zu verbinden. Hierfür ist es erforderlich, in



Bild 5: Verlegung eines aramidbewehrten Kunststoffrohres (Werksbild der Firma Tubes d'Aquitaine)

Fig. 5: Installation of an aramid-reinforced plastic pipe (Tubes d'Aquitaine works photo)

den Endbereichen der einzelnen Einziehabschnitte sowie am Trassenanfang und -ende der zu sanierenden Strecke die vorhandene Leitung aufzutrennen und anschließend die Einziehabschnitte herzustellen. Nach dem Einziehen der einzelnen Rohrabschnitte erfolgt dann die Verbindung der Rohrstränge. Dabei werden ebenfalls die in Bild 2 bis Bild 4 dargestellten Konnektoren verwendet.

Sicherheitstechnische Aspekte

Wenn neue Werkstoffe, neue Werkstoffkombinationen oder neue Bautechniken eingesetzt werden, so ergeben sich erfahrungsgemäß Sicherheitsrisiken, die nie vollkommen ausgeschlossen werden können, jedoch durch sinnvolle Vorüberlegungen und Untersuchungen minimiert werden können.

Als Orientierungsmaßstab für diese Untersuchungen kann das Sicherheitsumfeld dienen, das bei der Herstellung, Prüfung, Verlegung und den Betrieb von Stahlhochdruckleitungen gegeben ist. Bei Stahl sind durch Liefer- und Bemessungsnormen einerseits, bewährte Verlege- und Prüftechniken andererseits bei der Erstellung von Leitungszweigen lückenlose Sicherheitsketten gewährleistet. Die Bestimmungen und Erfahrungen beim Betrieb und bei der Überwachung dieser Hochdrucknetze gewährleisten den Erhalt des einmal erreichten Sicherheitsniveaus. Sämtliche Vorschriften und Techniken

Tab. 2: Vergleichende Bewertung des Sicherheitsniveaus von aramidbewehrten Kunststoffrohren und Stahlrohren

Table 2: Comparative evaluation of the safety levels of aramid-reinforced plastic pipes and steel pipes

Kriterium	RTP
Rohrherstellung	
Materialzusammensetzung	--
Behandlungszustand	--
Fehlstellen	-
Festigkeit	±
Zähigkeit	±
Oberflächenbeschaffenheit	-
Maßhaltigkeit	-
Dimensionierung	
Sicherheitszahl	±
Sonstige Beanspruchungen in Umfangsrichtung	-
Sonstige Beanspruchungen in Längsrichtung	+
Verlegung	
Schutzstreifen	±
Abstand zu anderen Versorgungseinrichtungen	±
Rohrdeckung	--
Transport und Lagerung	±
Grabenherstellung und -verfüllung	±
Elastischer Bogen	-
Verbindung, Herstellung	±
Verbindung, Prüfung	-
Verlegung in geschlossener Bauweise	-
Druckprüfung	
± entspricht Stahl	
+ besser als Stahl	
- schlechter als Stahl	

sind so sehr bekannt, dass sie hier keiner weiteren Erläuterung bedürfen.

Ganz anders liegen die Verhältnisse bei den hier vorgestellten neuen bewehrten Kunststoffrohren. Die Herstellung und Verarbeitung der Ausgangsmaterialien (PE und Aramid) kann zwar als problemlos gelten und die Zusicherung eines hohen Qualitätsstandards ist realistisch, aber es fehlen durchgehende und wirksame Prüfverfahren, wie sie zum Beispiel bei der Herstellung von Stahlrohren durch die 100%-ige Ultraschall-Überwachung der verwendeten Bleche möglich ist. Auch für die Überprüfung und Überwachung der Verbindungstechnik, die in Bild 2 bis Bild 4 prinzipiell dargestellten Konnektoren, gibt es noch keine Verfahren, die einer Durchstrahlungsprüfung bei Stahlrohren gleichwertig wären. Auch die Frage der Dichtigkeit – insbesondere der Gasdichtigkeit – bei Konnektoren, die hohen Zugkräften in Rohrsträngen oder Biegebeanspruchungen in Rohrbögen ausgesetzt sind, bedarf der Entwicklung eines einfach anwendbaren Überwachungsverfahrens.

Die Frage der Verletzbarkeit des Rohrmaterials ist grundsätzlich nicht anders zu betrachten als bei heute schon üblichen PE-Leitungen. Bei den bewehrten Kunststoffrohren ist allerdings nicht so sehr die Frage der Verletzung der Oberfläche maßgeblich, da es sich hier nur um eine äußere Schutzhülle handelt. Wenn die Verletzung allerdings bis auf die Aramidfasern reicht, kann eine erhebliche Einschränkung der Tragsicherheit stattfinden. Insbesondere bei Einflüssen Dritter (Tiefpflügen oder Grabenfräsen) oder bei im Mantelrohr verbliebenen Hindernissen, in die ein RTP-Inliner eingezogen wird, ist ein besonderes Augenmerk auf dieses Thema zu richten.

Druckprüfungen, die die Festigkeit und Dichtigkeit von Rohrsträngen nachweisen sollen, haben bei Kunststoffrohren ebenfalls einen vollständig anderen Charakter als bei Stahlrohren. Bei Gas- oder Ölhochdruckleitungen wird im Zuge von Druckprüfungen grundsätzlich entweder 95 % der theoretischen Fließgrenze oder beim Stresstest die wirkliche Fließgrenze bereichsweise angefahren. Das heißt, die

in unserer Sicherheitsphilosophie als „gefährlich“ definierte Fließspannung, gegen die die Sicherheitszahlen gerechnet werden, wird wirklich dem System zugewiesen und damit ein vollständiger Integritätsnachweis des Rohrsystems erbracht. Bei Kunststoffrohren ist ein solcher Nachweis nicht üblich und auch nicht möglich. Kunststoffrohre haben eine Tragfähigkeit, die über die Zeit abnimmt, und die Bemessung einer Kunststoffleitung richtet sich nicht nach der Tragfähigkeit des Rohres zur Zeit des Einbaus, sondern nach der Tragfähigkeit des Materials am Ende der Standzeit. Druckprüfungen beziehen sich aber auf den zulässigen Nenndruck, der wiederum für das projektierte Ende der Standzeit ausgelegt ist. Wollte man nun bei Druckprüfungen von Kunststoffleitungen einen echten Integritätsnachweis erbringen, so müsste die Druckprüfung auf die erheblich höhere Tragfähigkeit der Leitung zur Zeit des Einbaus abgestellt werden und damit würden Prüfdrücke erforderlich, die ein- und angebauten Stahlteilen (z. B. Armaturen oder weiterführende Leitungsstränge), für die keine Lebensdauerbemessung gilt, nicht zugewiesen werden dürfen. Das Kriechverhalten der Kunststoffe ist ebenfalls ein zeitlich ablaufender Prozess und somit in einer Druckprüfung nicht abschließend zu bewerten. In **Tabelle 2** sind die wichtigsten Qualitäts- und Sicherheitsaspekte zusammengefasst und gegenüber der Vergleichsgröße für Stahlrohre qualitativ bewertet.

Diese kurze Beleuchtung der Sicherheitsfragen zeigt, dass bewehrte Kunststoffrohre als Gas- bzw. Ölhochdrucktransportleitungen keineswegs nur unter dem Aspekt der zulässigen Druckbeaufschlagung eingesetzt werden dürfen, sondern dass alle aufgezeigten Sicherheitsfragen einer Einzeluntersuchung bedürfen, solange keine gesicherten Erfahrungen oder gar Vorschriften vorliegen. Insbesondere bedürfen die Besonderheiten der geplanten Ausführung, wie hohe Zugkräfte in dem Leitungssystem, Kombination von Zug und Biegung, Schwell- oder Wechselbelastung und die Ausbildung der Verbindungsmittel, einer ausreichenden Untersuchung.

Die Permeation von Gasen ergibt sich bei bewehrten Kunststoffrohren analog zu der Permeation bei normalen PE-Leitungen. Im Allgemeinen stellen die Größenordnungen, die sich dabei ergeben, kein Problem dar, es ist allerdings zu beachten, dass beim Einsatz dieser Rohre als Inliner in der oben beschriebenen Weise der verbleibende Ringraum zwischen Inliner und alter Stahlleitung im Laufe der Zeit gasbeaufschlagt ist. Hier muss durch eine kontinuierliche Entlüftung, die am einfachsten durch eine Perforation des alten Rohres erreicht werden

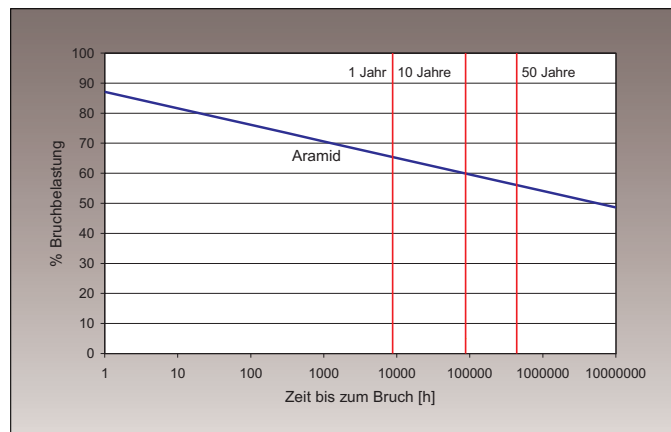


Bild 6: Festigkeit von Aramidfasern in Abhängigkeit der Beanspruchungszeit nach [1]

Fig. 6: Strength of aramid fibers as a function of load-exposure time after [1]

kann, für eine entsprechende Gasabfuhr gesorgt werden.

Bemessung von Kunststoffrohren

Für die Auslegung von Kunststofftragwerken gegen zulässige Beanspruchungen sind neben der bereits erwähnten Zeitstandfestigkeit auch der Einfluss der Temperatur, des beaufschlagten Mediums, der Belastungscharakteristik und des Trägermaterials zu berücksichtigen. Weitere Besonderheiten können im Einzelfall gültig sein. Die Nenntragfähigkeit F_N ergibt sich somit aus der Grenztragfähigkeit des Kurzzeitversuches F_{Gr} zu

$$F_N = F_{Gr} \cdot (a_m \cdot a_T \cdot a_t \cdot a_W \cdot a_P) / (S_m \cdot S_T \cdot S_t \cdot S_W \cdot S_P)$$

Für die Abminderungszahlen a_i gilt:

- a_m : Medium,
- a_T : Temperatur,
- a_t : Zeit,
- a_W : Werkstoff,
- a_P : Belastung.

Diese Abminderungszahlen sind kleiner oder gleich 1 und geben an, in welchem Maße die Tragfähigkeit des Materials gegenüber dem Laborversuch durch die angegebenen Einflüsse herabgesetzt wird. Die Sicherheitszahlen S_i beziehen sich auf

- S_m : Medium,
- S_T : Temperatur,
- S_t : Zeit,
- S_W : Werkstoff,
- S_P : Belastung

und legen fest, welche Sicherheiten bezüglich der Streuung der angegebenen Parameter anzusetzen ist. Die einzelnen Werte sind der Literatur zu entnehmen bzw. durch Versuche aufzuzeigen. Wenn keine außergewöhnlichen Einflüsse durch das beaufschlagte Medium vorliegen (insbesondere nicht die oben aufgezeigten Einflüsse von Schwefelsäure und Natronlauge auf Aramid), so ergibt sich für ein ΔT von 40 K und eine Standzeit

von 50 Jahren für aramidbewehrte Kunststoffrohre ein Verhältnis F_{Gr}/F_N von etwa 4. Das bedeutet keineswegs, dass diese Rohre eine „Tragsicherheit“ von rund 4 hätten, sondern dass die sichere Tragfähigkeit am Ende der projektierten Standzeit unter Berücksichtigung einer realistischen Temperaturbeaufschlagung einem Viertel der Tragfähigkeit des Rohres unter Kurzzeitbedingungen bei Raumtemperatur entspricht. Die Zeitstandskurve für Aramid ist in **Bild 6** angegeben.

Bewertung der bewehrten Kunststoffrohre

Die Ausführungen zeigen, dass mit den bewehrten Kunststoffrohren auch für größere Durchmesser bei Gas- und Ölhochdrucktransportleitungen eine attraktive Alternative zu Stahlrohren vorliegt, die insbesondere in Sonderfällen, die beim Transport korrosiver Medien oder besonderen Verlege- und Inlinertechniken zum Einsatz kommen kann. Der momentan noch hohe Preis für diese Rohre, der je nach Durchmesser, Druckstufe und Leitungslänge das Fünf- bis Zehnfache des Preises von vergleichbaren Stahlrohren beträgt, und die aufgezeigten zusätzlichen sicherheitstechnischen Überlegungen schränken den Einsatz dieser Rohre zurzeit auf Sonderfälle ein, aber es ist zu erwarten, dass sich hier ein neues, attraktives Marktsegment ergibt.

Literatur

- [1] Defraye, B. „Festigkeitsträger für Elastomer-Produkte“, aus Weiterbildungsstudium Kautschuktechnologie, Oktober 1996
- [2] Puck, A. „Festigkeitsanalyse von Faser-Matrix-Laminaten, Modelle für die Praxis“, Hanser Verlag München, 1996
- [3] Produktinformation Tubes d'Aquitaine: Reinforced Thermoplastic Pipes
- [4] Produktinformation Coflexip Stena Offshore: New Design Of Flexible Pipe For Onshore Applications
- [5] Produktinformation Wellstream: Reinforced Thermoplastic Pipe