

Die Bedeutung des Stahlrohres in der Rehabilitation von Rohrleitungen

Hans-Jürgen Kocks

Wasserversorgung, Verteilungsnetz, Stahlleitungen, Rohrverbindungen, Korrosionsschutz

Aufgrund der mehr als einhundertjährigen Historie des Einsatzes von Stahlleitungsrohren in der Gas- und Wasserversorgung ergeben sich in den Rehabilitationsplanungen der Versorgungsunternehmen häufig zwei völlig unterschiedliche Blickwinkel. Einerseits werden Stahlleitungsrohre zur Rehabilitation vorhandener Leitungen überaus erfolgreich eingesetzt. Andererseits haben Stahlleitungen älterer Bauart heute ihre Nutzungsdauer erreicht und sind damit eher Gegenstand einer Rehabilitationsplanung. Im Rahmen einer solchen Rehabilitationsplanung müssen Altrohrleitungen zwangsläufig auf der Basis statistischer Daten beurteilt werden, wenn messtechnische Lösungen für eine permanente Überwachung fehlen. In diesem Beitrag ist eine Möglichkeit der Differenzierung technologischer Entwicklungsstufen von Stahlleitungsrohren aufgezeigt. Darüber hinaus werden, dem zweiten Blickwinkel folgend, Anwendungsbeispiele heutiger Stahlrohrausführungen in der grabenlosen Erneuerung von Leitungsnetzen beschrieben.

As a consequence of the fact that steel pipes have been used in gas and water pipelines for more than hundred years, the modernisation plans of the supply companies often reflect two completely different approaches. On the one hand, steel pipes have certainly been used successfully to bring existing pipelines into line with modern requirements. On the other, outdated pipelines have reached the end of their useful life and therefore have to be replaced. The planners of such modernisation projects inevitably have to assess aging pipelines on the basis of statistical data, in the absence of the measuring technology that would enable permanent monitoring to be carried out. This report describes a way of differentiating between the various stages of development of steel pipes. Examples of the use of modern steel pipes to bring pipelines up to modern standards are also described.

1. Einleitung

Unter dem Aspekt der Instandhaltung eines Leitungsnetzes muss dem Stahlleitungsrohr heute eine Doppelrolle zugesprochen werden. Aufgrund seiner über einhundertjährigen Vergangenheit in der Gas- und Wasserversorgung ist ein Stahlleitungsrohr nicht nur ein geeignetes Mittel für die Rehabilitation von Leitungsnetzen, sondern zwangsläufig auch Gegenstand von Rehabilitationsmaßnahmen. Rehabilitationsmaßnahmen sind neben der Reparatur wesentlicher Bestandteil der Instandsetzung und damit der Instandhaltung eines Versorgungsnetzes. Je nach Instandhaltungskonzeption sind bei Stahlrohren Leitungen bzw. Leitungsnetze mit und ohne kathodischem Korrosionsschutz zu unterscheiden [1].

Mit der Entwicklung des kathodischen Korrosionsschutzes für Stahlrohrleitungen wurde in den 50er Jahren ein wichtiges Werkzeug für eine zustandsorientierte Instandhaltung eingeführt. Mit Hilfe des kathodischen Korrosionsschutzes besteht die Möglichkeit einer Überwachung von Leitungen bzw. Leitungsnetzen und ggf. die exakte Lokalisierung von Fehlstellen. Da der kathodische Korrosionsschutz ein eigenständiges Korrosionsschutzverfahren dar-

stellt, können im Falle lokaler Beschädigungen Rehabilitationsmaßnahmen langfristig geplant werden. Hilfestellungen bieten dabei heute auch Softwarelösungen wie das WinKKS, das als Planungswerkzeug für die zustandsorientierte Instandhaltung eines Leitungsnetzes eingesetzt werden kann [2].

Die Kombination von kathodischem Korrosionsschutz und geschweißten Rohrleitungen aus Stahl hat sich speziell im Falle sicherheitsrelevanter Anlagen wie den Leitungen zum Transport grundwassergefährdender oder brennbarer Medien, aber auch zum Transport von Wasser oder Abwasser durchgesetzt. Insbesondere für die geschweißten Stahlrohrleitungen in der Gasverteilung unserer Städte werden diese Vorteile genutzt. Die Möglichkeit, den Zustand eines Leitungsnetzes an der Erdoberfläche messtechnisch zu erfassen und zu bewerten, erlaubt unabhängig von den eingesetzten Stahlrohrausführungen eine vollständige Nutzung der Leistungsreserven. Der damit erzielbare hohe Nutzungsgrad einer Rohrleitung trägt wesentlich zur Reduzierung der Betriebskosten eines Leitungsnetzes bei [3].

Stahlrohrleitungen ohne zusätzlichen kathodischen Korrosionsschutz unterliegen, wie alle anderen Rohrwerkstoffe, den intervallorientierten Strategien einer Rohrnetzinstandhaltung. Dabei ist zu berücksichtigen, dass heute Werkzeuge

Dr. Hans-Jürgen Kocks, Röhrenwerk Gebr. Fuchs GmbH, In der Steinwiese 31, D-57074 Siegen.

für Präventivstrategien erst entwickelt werden und mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Die in den letzten Jahren publizierten Entscheidungshilfen G 401 und W 401 für die Rehabilitation von Leitungsnetzen im Gas- und Wasserbereich geben einen Überblick der wesentlichen Aspekte einer solchen intervallorientierten Instandhaltung [4; 5]. In den Anhängen dieser Arbeitsblätter sind beispielhaft Nutzungsdauerstatistiken dargestellt. Es fällt auf, dass in diesen Statistiken die maximale Nutzungsdauer einen Zeitraum von bis zu 60 Jahren abdeckt. Diese große Zeitspanne ist auf netzspezifische Faktoren zurückzuführen, wie beispielsweise:

- Streustromeinflüsse
- Sorgfalt bei der Verlegung
- Bodenverhältnisse
- Verkehrsbelastungen
- Rohrausführungen
- Aktivitäten im Trassenbereich
- Rohrverbindungen und -ausführungen

Die Liste verdeutlicht, dass ohne eine sorgfältige Dokumentation der Leitungsnetze Entscheidungen für oder gegen eine Leitungserneuerung bzw. Sanierung oder Reparatur äußerst schwierig sind. In jedem Fall bleibt bei einer Entscheidung auf der Basis solcher Statistiken ein Restrisiko. Die in den Anhängen der Arbeitsblätter genannten materialspezifischen Nutzungsdauern sind für eine strategische Erneuerungsplanung keinesfalls ausreichend [6]. Der Nachteil wäre, dass u.U. noch völlig intakte Leitungsabschnitte ausgetauscht werden oder aber mit einem Austausch bzw. einer Sanierung u.U. zu lange gewartet wird und damit nicht nur primäre Kosten für Reparaturen, sondern auch sekundäre Kosten für die Beseitigung von Folgeschäden anfallen.

Wesentlich für eine Nutzungsdauerstatistik und damit die Beurteilung eines Leitungsnetzes aus Stahl sind neben den netzspezifischen Faktoren die jeweils eingesetzten Stahlrohrausführungen, die z.T. je nach Herstellungszeitraum in unterschiedliche Kategorien einzuteilen sind. Die folgenden Abschnitte geben einen Überblick der verschiedenen Stahlrohrausführungen in Vergangenheit und Gegenwart und bieten ein grobes Raster für entsprechende Netzanalysen. In einem weiteren Abschnitt werden die Möglichkeiten des Einsatzes von Stahlrohren in der Rehabilitation eines Leitungsnetzes anhand ausgewählter Beispiele vorgestellt.

2. Die technische Entwicklung des Stahlleitungsrohres

2.1 Die Stahlrohrherstellung

Die Geschichte des Stahlrohres in der Gas- und Wasserversorgung hat ihren Ausgangspunkt am Ende des 19. Jahrhunderts. Je nach Anwendungsbereich wurden zu diesem Zeitpunkt nahtlose und geschweißte Stahlrohre eingesetzt. Während das geschweißte Stahlrohr vorrangig zur Bewetterung und Entwässerung des Bergbaus bzw. in der Wasserver- und Abwasserentsorgung eingesetzt wurde, war der sicherheitsrelevante Anwendungsbereich der Gas- und Ölwirtschaft bis in die 60er Jahre dem nahtlosen Stahlrohr

vorbehalten. Erst mit der Verbesserung und Optimierung der Schweißverfahren wurde das nahtlose Stahlrohr verdrängt.

Zu den Meilensteinen der Stahlrohrentwicklungen zählt das erste Patent über die Herstellung nahtloser Stahlrohre der Gebr. Mannesmann aus dem Jahr 1886. Bereits 1845 wurde in Mauel in der Eifel die erste Fertigung geschweißter Stahlrohre aufgenommen. Die Stahlrohre wurden auf Schweißtemperatur gebracht und durch das Aufeinanderpressen der Bandkanten miteinander verschweißt. In den 20er Jahren wurden die ersten geschweißten Stahlrohre mit Hilfe der Lichtbogenschweißung hergestellt. Die Bandkanten der zum Rohr gebogenen Bleche wurden dabei unter Einsatz von Fremdwerkstoffen von Hand oder maschinell verschweißt. Auch heute werden insbesondere Großrohre unter Einsatz von Fremdwerkstoffen durch Lichtbogenschweißung hergestellt. Während des Schweißvorganges wird der Zutritt von Sauerstoff durch das Zuführen von Pulver in den Bereich des Lichtbogens und die damit verbundene Bildung einer Schlackendecke verhindert (UP-Schweißverfahren).

In den 50er Jahren wurden die ersten Stahlrohre im Induktionsschweißverfahren hergestellt. Beim Induktionsschweißverfahren wird mit Hilfe eines Ringinduktors der Schweißstrom in das zum Rohr gebogene endlose Stahlband induziert. Der Strom heizt die Bandkanten auf, die im Schweißpunkt miteinander verpresst werden. Durch diesen Stauchprozess werden die Bandkanten ohne Einsatz von Fremdmaterial verschweißt. Das beim Stauchvorgang innen und außen hervortretende Material wird durch Schaber auf die gewünschte Rohrwanddicke abgearbeitet. Dieses Schweißverfahren ist auf den Nennweitenbereich bis DN 600 beschränkt. Erst mit Hilfe der Induktionsschweißverfahren und UP-Schweißung war es möglich, auch hochfeste Rohrwerkstoffe miteinander zu verschweißen.

2.2 Die Verbindungstechnik

Bei den Verbindungstechniken der Stahlrohre sind die mechanischen Verbindungen von den Schweißverbindungen zu unterscheiden. Bis in die 30er Jahre hinein war die Stemmuffenverbindung die überwiegend an den Baustellen verwendete Rohrverbindung. Hier waren die verschiedensten Ausführungen im Gebrauch. Bei den nahtlosen Rohren wurde der an einem Ende anfallende Pilgerkopf zur Herstellung der verstärkten Muffe verwendet. Bei den geschweißten Rohren wurde das zuvor aufgeweitete Rohrende mit einem Doppelbördel oder mit einem zusätzlich angepassten Ring verstärkt (*Bild 1*). Aufgrund der nur relativ geringen zulässigen Axialbewegungen wurde speziell in Bergsenkungsgebieten die so genannte Schalker Muffe eingesetzt. Bei dieser Verbindung wurde das Spitzende in einen längeren Führungsteil der Muffe eingeschoben und konnte dadurch deutliche axiale Bewegungen aufnehmen. Auch eine Kugelstemmuffe war bekannt, die eine Abwinkelung von bis zu 8° zulässt.

Die Montage der Stemmuffenverbindungen erforderte einen relativ großen Aufwand. Zuerst musste ein Dichtungsstrick in der konisch ausgebildeten Muffe mit Strickeisen

und Fäustel verstemmt werden. Den Abschluss bildete entweder eingestemte Bleiwolle oder das Ausgießen der verbleibenden Muffenöffnung mit flüssigem Blei. Die Stemmuffenverbindung wurde sowohl in der Gas- als auch in der Wasserversorgung eingesetzt. Als in den alten Bundesländern um 1970 die Stadt- bzw. Ferngasversorgung auf Erdgas umgestellt wurden, trockneten die Dichtungsstricke aus und wurden vielfach undicht. Durch den Einsatz von Quellmitteln wurde damals versucht, diesem Effekt entgegenzuwirken.

Neben den Stemmuffen waren auch schon in den 30er Jahren bei Wasserleitungsrohren gummigedichtete Muffenverbindungen bekannt. Bei der so genannten Sigurmuffe (**S**icherheits-**G**ummi-**R**ingmuffe) wurde zur Montage eine Rollringdichtung auf das Spitzende geschoben (*Bild 2*). Das so vorbereitete Spitzende konnte dann in die trompetenartig geweitete Rohrmuffe eingeschoben werden. Diese Verbindungstechnik hatte jedoch bereits in den 70er Jahren keine Bedeutung mehr.

Anfang der 80er Jahre wurde das Stahlsteckmuffensystem mit der vom Gußrohr bekannten Tyton-Verbindung eingeführt. In der nach DIN 2460 genormten Standardausführung ist das Stahlsteckmuffenrohr bis 40 bar Innendruck einsetzbar [7] (*Bild 3*). Als längskraftschlüssige Systeme werden Tyton-Sit und DKM (**D**oppel-**K**ammer-**M**uffen)-Verbindungen angeboten. Mit diesen Verbindungsarten können in den Standardausführungen die Längskräfte bei Betriebsdrücken bis 40 bar aufgenommen werden (*Bild 4* und *5*). Diese längskraftschlüssigen Steckmuffensysteme werden heute auch in der grabenlosen Rohrverlegung bzw. Erneuerung von Rohrleitungen eingesetzt.

Neben den Steckverbindungen wurden in den 50er Jahren auch Schraubverbindungen im kleineren Nennweitenbereich bis DN 500 eingesetzt. Hier waren zwei Ausführungen für die Nennweiten von DN 40 bis DN 150 sowie von DN 200 bis DN 500 zu unterscheiden. Zur Montage der Schraubmuffe für den kleineren Nennweitenbereich wurde das Spitzende in den aufgeweiteten Teil des folgenden Rohres eingeführt. Dieses aufgeweitete Rohrende war mit einem Doppelbördel versehen, der als Abstützung für den zur Abdichtung erforderlichen Rundgummi diente (*Bild 6*). Bei der Montage wurde ein zuvor auf das Spitzende geschobener Muffenring mit dem muffenseitig hinter dem Doppelbördel platzierten Schraubring verbunden.

Bei den Schraubverbindungen für den größeren Nennweitenbereich fehlt der Doppelbördel. Bei der Montage wurde ein sich verjüngender Gummiring mit Hilfe eines Schraubrin-

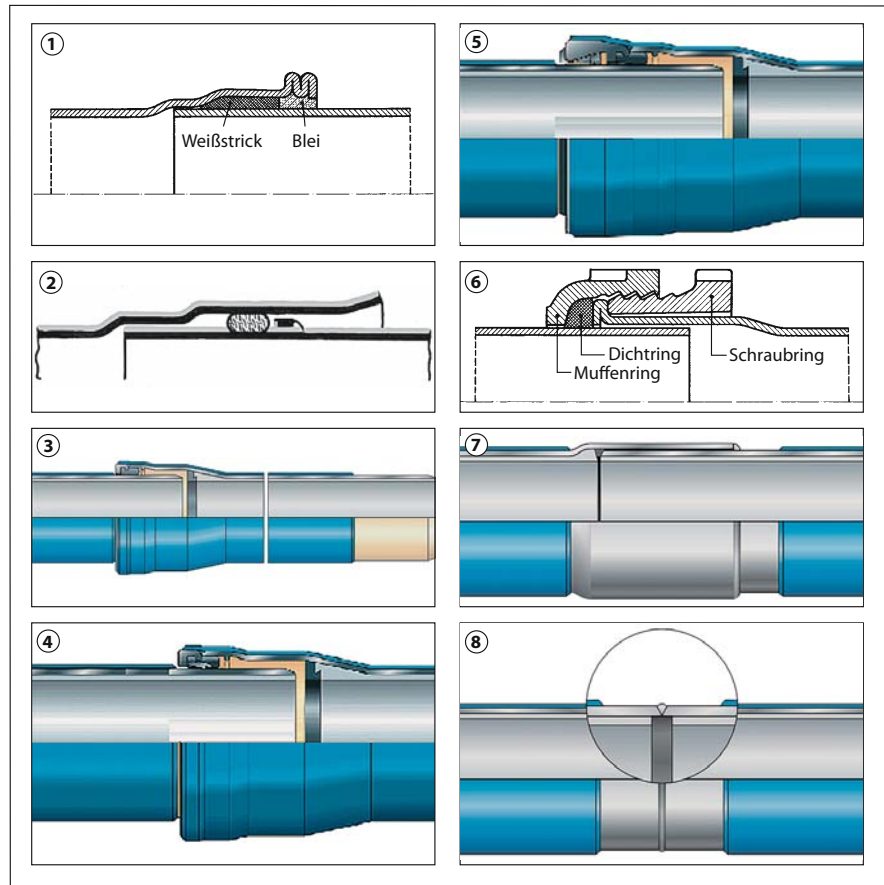


Bild 1. Längsnahtgeschweißte Rohre mit Stemmuffe und Doppelbördel als Verstärkung.
Bild 2. Sigurmuffenverbindung.
Bild 3. Stahlsteckmuffenverbindung System Tyton.
Bild 4. Stahlsteckmuffenverbindung System Tyton-Sit.
Bild 5. Stahlsteckmuffenverbindung System DKM.
Bild 6. Gewindeverbindung DN 40 bis DN 250.
Bild 7. Einsteckschweißmuffenverbindung.
Bild 8. Endenausführung für das Stumpfschweißen zementmörtel ausgekleideter Rohre (Endenausführung B nach DIN 2614).

ges in ein aufgeweitetes Rohrende verpresst. In die Muffe ist eine Stahlspirale als Gewinde eingeschweißt. Ein Gleitring zwischen Gummidichtung und Schraubring verhinderte das Verwürgen des Gummis während der Montage.

Die Schweißverbindungen wurden etwa seit den 20er Jahren alternativ zu den Stemmuffenverbindungen eingesetzt. Dazu wurden anfänglich Muffenkonstruktionen verwendet, um die Schweißnaht weitgehend zu entlasten. *Bild 7* zeigt die heute noch im Abwasserbereich übliche Ausführung der Einsteckschweißmuffe.

Stumpfschweißverbindungen galten zu dieser Zeit noch als Sicherheitsrisiko. Im Handbuch der Mannesmann Röhrenwerke aus dem Jahr 1936 hieß es dazu [8]:

„Die einfachste Schweißverbindung ist die Stumpfschweißung. Die Rohre werden hierbei, wenn erforderlich, an den Enden kalibriert und in einem für die Schweißung geeigneten Winkel abgeschrägt. Trotz großer Festigkeit gewährleistet diese einfache Stumpfschweißung in zahlreichen Betriebsfällen nicht die erforderliche Sicherheit. Man hat daher für solche Zwecke geeigneter Verbindungen konstruiert.“

Im Handbuch der Phönix Rheinstahl aus dem Jahr 1956 ist zu lesen [9]:



Bild 9. Tauchen von Stahlrohren in ein Bitumenbad.

„Die Stumpfschweißverbindung ist eine einfache Verbindung für Rohre mit glatten Enden und im eigentlichen Sinne keine Muffenverbindung. Für ihre einwandfreie Ausführung müssen die Rohrenden gut zentriert sein; sie eignet sich daher besonders für Rohre von guter Steifigkeit, die ein Unrundwerden der Rohre verhindert. ... Die Verbindung ist sehr einfach. Sie besitzt bei guter Schweißausführung eine ausgezeichnete Festigkeit, die annähernd der des vollen Rohrquerschnittes gleichkommt. Längskräfte können daher in hohem Maße von der Verbindung aufgenommen werden.“

In einer Studie des DVGW über die verschiedenen Verbindungen erdverlegter Trinkwasserleitungen wird die Stumpfschweißverbindung 1978 wie folgt beschrieben [10]:

„Diese Verbindung wird bevorzugt für alle Durchmesser und Wanddicken sowie für Rund- und Segmentnähte angewendet. Die Stumpfnäht ist die Idealverbindung in der Schweißtechnik. Sie ist relativ einfach herzustellen, gut zu prüfen und ergibt eine biegespannungsfreie Kraftübertragung.“

Mit der Verbesserung der Schweißtechnik, optimierten Schweißverfahren und engeren Fertigungstoleranzen der Stahlrohre wurde die Stumpfschweißverbindung bevorzugt im Rohrleitungsbau angewendet und ist heute in der Gas- und Wasserversorgung Stand der Technik (Bild 8).

2.3 Der Korrosionsschutz

2.3.1 Auskleidungen

Während die Gasleitungsrohre keines inneren Korrosionsschutzes bedürfen, ist für die Wasserleitungen aus Stahl eine Korrosionsschutzauskleidung obligatorisch. Die Bitumenauskleidung ist in Deutschland die wohl älteste Form des inneren Korrosionsschutzes von Wasserleitungen aus Stahl. Die Auskleidungsschichtdicke orientierte sich an der Aggressivität des zu fördernden Mediums. Die Rohre wurden standardmäßig entweder durch Tauchen oder durch Streichen mit einer dünnen Bitumenschicht versehen (Bild 9). Diese Form des Korrosionsschutzes wurde für Wässer gewählt, die eine Bildung passiver Deckschichten zulassen. Für aggressive Wässer wurden durch Wälzverfahren dichte, bis zu 2 mm dicke Schichten aus geblasenem Bitumen aufgebaut. Für

stark aggressive Medien konnte die Schichtdicke unter Verwendung eines Spezialbitumens auf 4 mm verstärkt werden. Diese Auskleidungen wurden in Deutschland ab Mitte der 60er Jahre nach und nach durch die Zementmörtelauskleidung verdrängt. Die Zementmörtelauskleidung ist den organischen Beschichtungen sowohl unter wirtschaftlichen als auch korrosionschemischen Gesichtspunkten weit überlegen.

Der Einsatz von Zementmörtel als Korrosionsschutz in Wasserleitungsrohren aus Eisenwerkstoffen wurde erstmalig in einer Publikation der französischen Akademie der Wissenschaften im Jahr 1836 beschrieben. Unter den verschiedenen dabei betrachteten Verfahren für den Innenschutz von Rohren wurde eine mind. 2,5 mm dicke Zementmörtelschicht als besonders wirtschaftliche Lösung dargestellt, die eine gute Handhabung und Schutz gegen Korrosionen und damit Inkrustationen gewährleistet. Es ist nicht auszuschließen, dass aufgrund dieser Publikation nur wenige Jahre später die ersten Zementmörtelauskleidungen in den Vereinigten Staaten zum Einsatz kamen. So wurde bereits 1845 die Verlegung zementmörtelausgekleideter Rohre in Jersey City, New Jersey, dokumentiert. In den Vorschriften der Stadt Brooklyn des Staates New York wird die Zementmörtelauskleidung bereits 1859 erwähnt.

Die frühen Verfahren zur Auskleidung von Rohren bereiteten noch außerordentliche Probleme. So wurden beispielsweise so genannte Durchziehverfahren entwickelt, um Zementmörtelauskleidungen mit Hilfe eines Dorns zu applizieren. Die Schichtdicken der Zementmörtelauskleidung unterlagen bei schlechter Zentrierung großen Schwankungen. Die heute noch üblichen Schleuderverfahren wurden im Zeitraum um 1920 entwickelt. Die Rohre werden nach dem Einbringen des Zementmörtels in Rotation versetzt, um glatte und gleichmäßig dicke Auskleidungen zu erzielen. Prinzipiell sind zwei Verfahren zur Auskleidung der Rohre zu unterscheiden:

Beim Rotationsschleuderverfahren wird ein wasserreicher Mörtel in das Rohr eingebracht und anschließend durch Rotation über den Rohrumfang verteilt, verdichtet und geglättet. Bei diesem Verfahren wird überschüssiges Wasser ausgetrieben. Zementmörtelauskleidungen nach diesem Verfahren zeichnen sich durch die Bildung einer deutlichen Schicht aus Feinanteilen aus, die im Wesentlichen aus Zement



Bild 10. Schleuderkopf zum Auskleiden der Rohre.

besteht. Beim Anschleuderverfahren wird der Mörtel in einem ersten Arbeitsgang an die Innenfläche des Rohres angeworfen. In einem zweiten Arbeitsgang folgt das Glätten und Verdichten des Mörtels durch die Rotation des Rohres. Je nach Rotationsgeschwindigkeit und Ausgangswassergehalt können dabei Auskleidungen mit homogener Kornverteilung hergestellt werden (*Bild 10*).

2.3.2 Umhüllungen

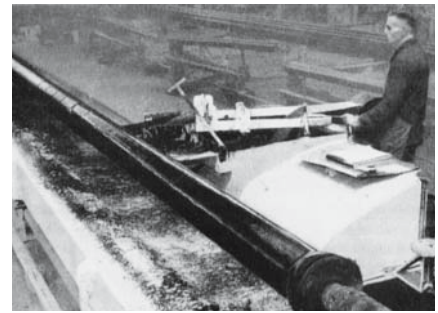
Wie bei den Auskleidungen wurde anfänglich das Bitumen auch für die Umhüllung der Stahlrohre eingesetzt. Zur Umhüllung der Stahlrohre mit Bitumen wurde im ersten Schritt eine Grundsicht i.d.R. durch das Tauchen der Rohre in ein Bitumenbad aufgebracht. Es folgte das Wickeln mit Bitumen getränkter Gewebepapen bis zur gewünschten Schichtdicke (*Bild 11*). Bei diesen Geweben handelt es sich bis in die 50er Jahre um Wickelbänder aus imprägnierter Pappe oder Jute. Später wurde alternativ ein Glasvlies eingesetzt. Das Glasvlies war im Gegensatz zur Pappe oder Jute deutlich beständiger. Des Weiteren fehlte die von organischen Materialien bekannte Dochtwirkung für Feuchtigkeit. Die fertig umhüllten Stahlrohre wurden abschließend mit einem Kalkanstrich versehen oder mit Talkum zum Schutz gegen die Sonnenstrahlung bestreut.

Die ersten Polyethylenumhüllungen wurden Ende der 50er Jahre im so genannten Sinterverfahren hergestellt. Die Rohre wurden zunächst mit Stahlkorn metallisch blank gestrahlt. Bei einer Oberflächentemperatur von etwa 300°C rieselte Polyethylenpulver auf das sich drehende Rohr und verschmolz bei Kontakt mit der Rohroberfläche zu einer homogenen Schicht. Diese Pulverbeschichtungen hatten im Vergleich zu den später im Schlauchextrusionsverfahren hergestellten Umhüllungen den Nachteil der geringeren Haftung und Reißdehnung. Das gesinterte Polyethylen verhält sich im Vergleich zu den heute üblicherweise extrudierten Materialien relativ spröde.

Die heute gebräuchlichen Schlauch- und Wickelextrusionsverfahren werden etwa seit Mitte der 60'er Jahre eingesetzt und haben das Sinterverfahren im Bereich der Rohrumhüllungen inzwischen vollständig verdrängt. So wurde anfänglich eine Zweischichtumhüllung bestehend aus Kleber und Polyethylen hergestellt. Ab Mitte der 80'er Jahre kamen hochwertige Dreischichtsysteme zum Einsatz. Diese Dreischichtumhüllungen verfügen über einen zusätzlichen Primer auf Epoxidharzbasis. Diese auf die Praxis ausgerichteten Systeme erzielen bei Raumtemperatur hohe Haftfestigkeiten und erlauben bei der Herstellung von Schnittrohren den problemlosen Rückschnitt des Polyethylens durch Erwärmen der Rohrenden. Als Materialien sind sowohl Polyethylen niedriger Dichte (LDPE) als auch Polyethylen hoher Dichte (MDPE und HDPE), beispielsweise für erhöhte Betriebstemperaturen, im Einsatz. Umhüllungen aus Polypropylen haben im Vergleich zum Polyethylen bisher nur geringe Bedeutung und werden überwiegend für Sonderanwendungen, wie die grabenlose Rohrverlegung, eingesetzt.

Die Anwendungsbereiche von Schlauch- und Wickelextrusionsverfahren sind i.d.R. auf unterschiedliche Dimensionenbereiche der Stahlrohre beschränkt. Das Wickelextrusions-

Bild 11. Wickeln der Rohre mit Bitumen getränkten Gewebepapen.



verfahren kommt vor allem bei Großrohren zum Einsatz. Nach dem Strahlen auf einen Reinheitsgrad von Sa 2 1/2 und Vorwärmen der Rohre auf etwa 200°C erfolgt die Epoxidharzprimerbeschichtung als Pulverapplikation, während Kleber und Polyethylen bzw. Polypropylen anschließend über Seitenextruder mit Hilfe von Anpressrollen aufgebracht werden. Bei der Schlauchextrusion werden Primer und Kleber in der Regel als Pulverbeschichtung appliziert. Im letzten Arbeitsgang erfolgt hier die Extrusion von Polyethylen oder Polypropylen als nahtloser Schlauch (*Bild 12*). Die Schlauchextrusion hat sich vor allem bei Rohren im Nennweitenbereich bis max. DN 600 durchgesetzt.

2.3.3 Ummantelungen aus Zementmörtel als mechanische Schutzmaßnahme

Kunststoffumhüllte Stahlrohre müssen entsprechend den technischen Regeln in steinfreies Material gebettet werden. Die mögliche Einsparung solcher Bettungen war Mitte der 80'er Jahre Auslöser für die Entwicklung einer Zementmörtelummantelung als Schutz gegen mechanische Beschädigungen der Polyethylenumhüllung. Die Zementmörtelummantelung bietet aus technischer Sicht Vorteile insbesondere durch die mechanische Schutzwirkung während der Verlegung und bei späteren Aufgrabungen im Trassenbereich. Die Nachteile einer Sandbettung, wie breitere Arbeitsstreifen für den Transport von Sand und Aushubmaterial sowie die gefürchtete Drainagewirkung in landwirtschaftlich genutzten Flächen und Naturschutzgebieten entfallen. Wirtschaftliche Vorteile ergeben sich nicht nur aufgrund der

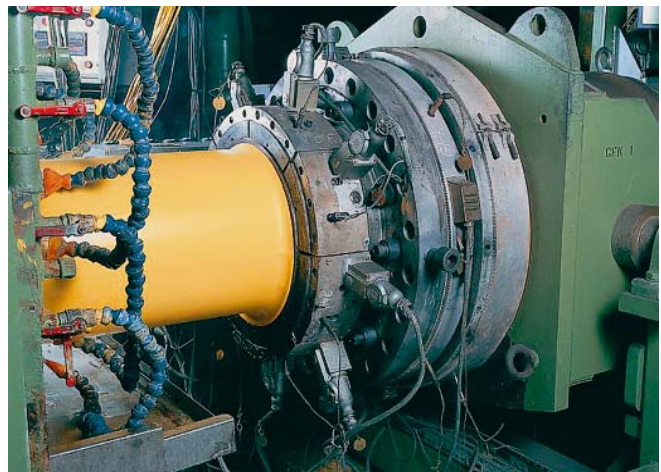


Bild 12. Das Schlauchextrusionsverfahren zur Herstellung der Polyethylenumhüllung.

eingesparten Sandbettung, sondern auch aufgrund entfallender Transportkosten für Sand und Aushub sowie evtl. erforderlicher Deponiekosten beim Bodentausch.

Das heute bevorzugte Herstellungsverfahren für die Zementmörtelummantelung ist mit der Wickelextrusion einer Polyethylenumhüllung vergleichbar. Der mit Kunststofffasern modifizierte Mörtel wird über eine Flachdüse auf das sich drehende Rohr aufgebracht. Für den Halt der frischen Mörtelschicht auf der kunststoffumhüllten Rohroberfläche sorgt eine gleichzeitig gewickelte Polyethylenbandage. Die Bandage wird leicht in die Mörteloberfläche eingearbeitet und übernimmt im ausgehärteten Zustand des Mörtels die Funktion einer Armierung. Die Zementmörtelummantelung der Stahlrohre wird nach DVGW-Arbeitsblatt GW 340 gefertigt. In diesem Arbeitsblatt sind zwei Ausführungen (FZM-N und FZM-S) beschrieben [11]. Die Ausführung N wird im konventionellen Rohrleitungsbau eingesetzt, während die Ausführung S in der grabenlosen Rohrverlegung Anwendung findet. Im Vergleich zur FZM-Ummantelung in der Normalausführung erhält die Ausführung für die grabenlose Verlegung einen Haftverbund zwischen Kunststoffumhüllung und FZM-Ummantelung.

2.4 Zusammenfassende Übersicht der Stahlrohrgenerationen

Die für ein präventiv ausgerichtetes Instandhaltungskonzept erforderliche Bewertung eines Leitungsnetzes aus Stahl muss zwangsläufig unterschiedliche Stahlrohrgenerationen berücksichtigen. Angesichts der Vielzahl von Entwicklungen und Erfahrungen in der Anwendung von Stahlrohren ist eine Zuordnung in ein sinnvolles, nicht zu kompliziertes Raster schwierig. Die Nutzungsdauer einer Rohrleitung aus Eisenwerkstoffen wird maßgeblich durch die Güte des eingesetzten Korrosionsschutzes bestimmt. Daher sollte bei der Festlegung von Stahlrohrgenerationen ein solches Raster trotz der unterschiedlichsten Stahlrohrausführungen in der Vergangenheit an der Entwicklung des Korrosionsschutzes ausgerichtet sein (Bild 13).

Bereits im 19. Jahrhundert wurden Rohre aus Eisenwerkstoffen zum Schutz gegen Korrosion beschichtet und ausgekleidet. Dies bedeutete jedoch nicht zwangsläufig, dass alle damals verlegte Rohrleitungen entsprechend ihres geplanten Einsatzbereiches nach heutigem Kenntnisstand ausreichend gegen Korrosionsangriffe geschützt waren. Dies bedurfte Erfahrungen, die sich für den Bereich der erdverlegten Rohrleitungen erst entwickeln mussten. Erst im Verlaufe der 30er Jahre wurden erdverlegte Rohrleitungen generell durch Bitumentumhüllungen und speziell im Bereich der Wasserver- und Abwasserentsorgung durch Bitumentumhüllungen gegen Korrosion geschützt. Die Stahlrohre bis 1940 kennzeichnen somit die erste Generation der Stahlrohrleitungen, die z. T. gar nicht oder oft unzureichend gegen Korrosionsangriffe geschützt waren.

Die Fortschritte in der Produktion geschweißter Stahlrohre, die Entwicklung der Polyethylenumhüllungen bzw. die Einführung der Zementmörtelauskleidung kennzeichnen wichtige Entwicklungsschritte der Stahlrohrleitungen für Gas und Wasser vor allem in den 60er Jahren. Solche Neu-

erungen setzten sich jedoch nur langsam durch. Mit Blick auf die Neuentwicklungen und Verbesserungen im Bereich des Korrosionsschutzes zeigte sich, dass die Bedeutung und das Verständnis rund um diese Thematik zugenommen haben. Die noch überwiegend eingesetzten Bitumentumhüllungen hatten sich bis zu diesem Zeitpunkt durch den Wechsel der Jute- und Wellpappewicklungen auf beständigere Glasvliesmaterialien erheblich verbessert. Der Zeitraum von 1940 bis 1980 ist daher der 2. Generation von Stahlleitungen zuzurechnen.

Etwa ab 1980 haben sich hochwertige Polyethylenumhüllungen als Korrosionsschutz erdverlegter Rohrleitungen endgültig durchgesetzt. Für Stahlrohrleitungen zum Transport von Wasser und Abwasser wurden standardmäßig Zementmörtelauskleidungen eingesetzt. Der Zeitraum nach 1980 kennzeichnet die 3. und derzeit letzte Generation von Stahlleitungsrohren für die Gas- und Wasserversorgung. Stahlrohre, die während der DDR-Zeit verlegt wurden, sind aufgrund des teilweise unzureichenden Korrosionsschutzes der 1. oder 2. Generation zuzurechnen.

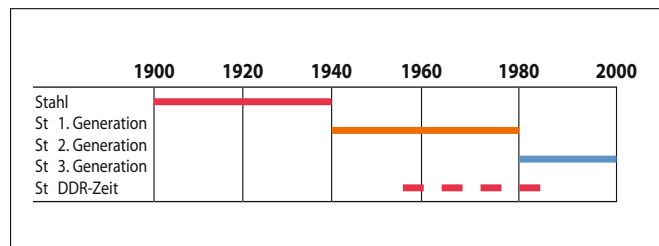


Bild 13. Stahlrohrgenerationen nach Roscher [12].

3. Stahlrohre für die Rehabilitation von Rohrleitungen

Bei der Rehabilitation von alten Rohrleitungen ist neben der Neuverlegung in konventioneller Technik auch das Einbringen einer neuen Stahlleitung in einer bereits vorhandenen Leitungstrasse bekannt. Auch für diese Verfahren gelten die Vorteile der grabenlosen Verlegetechniken wie:

- geringe Schädigung des Straßenunterbaus durch die Vermeidung von Setzungen.
- schnelle Verlegung, da die aufwändige Wiederherstellung der Oberflächen fehlt.
- keine Beeinträchtigung von Anwohnern und Verkehrsteilnehmern im Baustellenbereich. Behinderungen werden aufgrund kleiner Baugruben minimiert, es fehlen Baustellenlärm durch die Vermeidung von Baustellenverkehr und die bei konventioneller Verlegung üblichen Baustellenaktivitäten.
- kurze Bauzeiten.

Für Stahlleitungsrohre, die in grabenlosen Verlegeverfahren eingesetzt werden, gelten die im DVGW-Arbeitsblatt GW 321 bzw. 322 festgelegten max. Zugkräfte und Biegeradien [13; 14].

Für Stahlsteckmuffenrohre sind ergänzend je nach Ausführung die in den Tabellen 1 und 2 genannten maximalen Zugkräfte und Biegeradien zu beachten.

Tabelle 1. Zulässige Zugkräfte von Stahlsteckmuffenrohren mit DKM-Verbindung¹.

DN	d _a [mm]	Wanddicke [mm]	Zulässige Zugkraft [kN]
80	97	3,6	30
100	117,5	3,6	50
125	143,0	4,0	70
150	168,1	4,0	100
200	219,1	4,5	170
250	273,0	5,0	260
300	323,9	6,3	370

Tabelle 2. Zulässige Zugkräfte von Stahlsteckmuffenrohren mit Tyton-Sit-Verbindung¹.

DN	d _a [mm]	Wanddicke [mm]	Zulässige Zugkraft [kN]
80	97	3,6	20
100	117,5	3,6	29
125	143,0	4,0	43
150	168,1	4,0	60
200	219,1	4,5	102
250	273,0	5,0	107
300	323,9	6,3	152

¹ Die Verwendung von Rohren mit reibschlüssigen Muffenverbindungen kann nur bei geradlinig verlaufenden Trassen erfolgen, weil eine nachträgliche Abwinkelung dieser oder ähnlicher Muffenverbindungen nicht zulässig ist.

Da sich bei diesen Verfahren die Verlegung am Verlauf einer bereits vorhandenen Leitung orientiert, sind Gefährdungen anderer Gewerke trotz der im Allgemeinen hohen Leitungsdichte in den Straßen üblicherweise nicht zu erwarten. Hausanschlüsse müssen zuvor lokalisiert und demonitiert werden. Die gängigen Verfahrensweisen einer Sanierung vorhandener Leitungen mit Stahlrohren sollen an einigen Beispielen der Praxis erläutert werden.

3.1 Das Stahlrohr als Inliner

Bei den Inlinerverfahren muss im Allgemeinen zwischen den statisch tragfähigen und nichttragfähigen Systemen, wie sie beim Schlauchrelining zum Einsatz kommen, unterschieden werden. Konzeptionell zählen die Stahlleitungsrohre zu den statisch tragfähigen Systemen und finden häufig dort Anwendung, wo das Altrohr diese Anforderungen nicht mehr erbringt. Mit dem Einzug des neuen Rohrstranges in eine vorhandene Leitung ist zwangsläufig eine Reduzierung der Leitungsdimension verbunden.

In der Wasserversorgung wird in den letzten Jahren, entgegen vielen früheren Erwartungen, ein Rückgang der Verbrauchsmengen beobachtet. Der Wasserverbrauch je Haushalt, aber auch der Bedarf in der Industrie ist durch den Einsatz von Kreislaufsystemen eher rückläufig. Aus diesem Grunde kann insbesondere bei älteren zu rehabilitierenden Leitungen gleichzeitig über eine Querschnittreduzierung nachgedacht werden. In solchen Fällen bietet sich der Einzug neuer Leitungen in bereits bestehende Rohrleitungen

geradezu an. Beispielhaft ist hier das Rohreinzugverfahren der Gelsenwasser zu nennen, das seit etwa Anfang der 90er Jahre angewendet wird [15]. Für dieses Inlinerverfahren sind sowohl geschweißte Rohrverbindungen als auch längskraftschlüssige Steckmuffenverbindungen geeignet. Bei der Wahl der Verbindungstechnik spielt die erforderliche Rohrdimension eine wesentliche Rolle. Mechanische Verbindungen erfordern zwangsläufig mehr Platz als eine geschweißte Rohrverbindung. Die Anordnung der Gruben richtet sich nach den Trassengegebenheiten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass beispielsweise Bögen beim Einzug nicht durchfahren werden können. In Bergsenkungsgebieten sind ursprünglich gerade Rohrleitungen auf Krümmungen zu überprüfen, die im Laufe der Betriebszeit durch Bodenbewegungen entstanden sein können. Kamerabefahrungen erlauben auch die Lokalisierung zuvor unbekannter Einbauten, die u.U. den Einzug der neuen Leitung behindern.

Die vorhandene Leitung wird vor dem Einzug des neuen Stranges mit Kratzern und Gummischieben gereinigt. Der Einzug der Rohre erfordert die Koordination von Zugvorgang und Rohrmontage in der Startgrube. Der Strang wird dazu in der Startgrube Rohr für Rohr zusammengestellt. Bei Steckmuffenrohren werden die Verbindungsbereiche durch eine zusätzliche Blechmanschette vor Beschädigungen geschützt (Bild 14). Je nach Verbindungstechnik können Rohrstränge bis zu 400 m Länge eingezogen werden. Nach dem Einzug wird der verbleibende Hohlraum zwischen Altrohr und neuem Rohrstrang in der Regel mit einem Dämmverfüllt.

3.2 Ersatz vorhandener Leitungen

Nicht in allen Fällen können bei der Sanierung einer vorhandenen Leitung Querschnittreduzierungen in Kauf genommen werden. Mit der grabenlosen Sanierung ist dann entweder die Zerstörung oder das Entfernen einer vorhandenen Leitung verbunden. Der Austausch vorhandener Leitungen erfordert im Gegensatz zu den Inlinern generell den Einsatz statisch tragfähiger Rohrsysteme. Auch hier müssen die vorhandenen Leitungen auf Hausanschlüsse oder andere Einbauten hin kontrolliert werden. Solche Hindernisse sind zur Vermeidung von Problemen zuvor zu beseitigen.



Bild 14. Verlegung eines Stahlsteckmuffenrohres mit dem Rohreinzugverfahren.

3.2.1 Das Berstlining

Kennzeichen der Berstlining-Verfahren sind die im Boden verbleibenden Trümmer bzw. Reste des Altrohres. Das neue Rohr wird unter Zerstörung des Altrohres an dessen Stelle gezogen. Dabei können sowohl Rohre mit gleichem Durchmesser, aber ggf. auch größere Durchmesser eingezogen werden. Dazu muss der Boden durch einen Aufweitkopf nach Zerstörung des Altrohres verdrängt werden. Zum Auftrennen des Altrohres stehen für alle Rohrmaterialien entsprechende Werkzeuge zur Verfügung.

So wurde beispielsweise im Juni 2000 in Oberhäslich, Sachsen, für die Gaso, Dresden, eine Gasdruckleitung aus Stahl der Dimension DN 100 gegen eine neue polyethylenhüllte und zementmörtelummantelte Stahlleitung auf einer Länge von 405 m in zwei Teilstrecken ausgetauscht. Zwei Stahlrohrstränge von etwa 200 m Länge wurden verschweißt und nachgehüllt. Die vorhandene Altrohrleitung aus Stahl wurde aufgeschnitten, geweitet und die vorbereiteten Stahlrohrstränge eingezogen. Der Einbau gliederte sich in vier Arbeitsschritte. Nach dem Schneiden wurde das Altrohr zweimal geweitet. Erst beim dritten Aufweitvorgang wurde gleichzeitig die neue Stahlleitung eingezogen. Das häufige Aufweiten ist maßgeblich auf die rückfedernde Eigenschaft des geschnittenen Stahlrohres zurückzuführen.

3.2.2 Das Hydros-Verfahren

Speziell in Berlin wird seit mehr als 10 Jahren das Hydros-Verfahren eingesetzt (**Hydraulisches Rohrzug-Spalt-Verfahren**) [16]. Zielsetzung dieses Verfahrens ist der grabenlose Ersatz meist alter Graugussleitungen durch neue Stahlrohrleitungen. Im Gegensatz zum Berstlining verbleiben keine Reste oder Trümmer des Altrohres im Boden. In Berlin haben sich sowohl geschweißte als auch längskraftschlüssig ausgeführte Steckmuffenverbindungen mit diesem Verfahren bewährt.

Bei diesem Verfahren wird das Ziehgerät in der Zielgrube so eingebracht, dass es gleichzeitig Alt- und Neurohr ziehen und dabei über einen Dorn das alte Rohr zerstören kann. Das Zuggestänge wird dazu durch das Altrohr hindurch eingeführt und in der Startgrube mit dem Ende des Altrohres verbunden. Das neue Rohr wird an das Zuggestänge angehängt. Die Montage des einzuziehenden Rohrstranges erfolgt in der Startgrube. Zug- und Montagephasen sind somit während der Verlegung aufeinander abzustimmen. Das Ziehen des Altrohres ist meist auf kürzere Strecken begrenzt und hängt ganz wesentlich von der Festigkeit des Altrohrmaterials ab. Auf einer gesamten Ziehlänge von 60 bis 80 m befinden sich somit meist mehrere kleinere Baugruben, in denen jeweils Teilstränge der alten Leitung zertrümmert werden.

4. Schlussbemerkungen

Die Rohrleitungen eines Versorgungsunternehmens stellen etwa 60 bis 80 % seines Anlagevermögens dar. Auf der Basis der heute vorliegenden Analysen müsste für einen gleich bleibenden Standard in Bezug auf die Versorgungs- und Betriebssicherheit der Netze mit einer Erneuerungsrate von

1,5% gerechnet werden. Wenn die Versorgungswirtschaft aktuell von Erneuerungsraten im Bereich von 0,1 bis 0,5% berichtet, ergeben sich zwangsläufig immer größere Anforderungen an die Instandhaltung der Leitungsnetze.

Kathodisch geschützte Stahlleitungen bieten nicht nur die generelle Möglichkeit der Fehlstellenlokalisierung und der Qualitätskontrolle nach der Verlegung, sondern auch die Möglichkeit einer permanenten Überwachung der Leitung oder des Leitungsnetzes. Fehlen die Möglichkeiten zur Durchsetzung einer solchen zustandsorientierten Instandhaltung, bleibt für die Rehabilitationsplanung nur das eher intervallorientierte Instandhaltungskonzept mit der dazu erforderlichen Erstellung von Nutzungsdauerstatistiken. Die Aussagekraft einer solchen Statistik hängt maßgeblich davon ab, welche Anwendungsfälle, Verlege- und Betriebsbedingungen sowie Bauarten eines Rohrsystems auf einer gegebenen Datenbasis unterschieden werden können. Die hier beschriebenen technischen Entwicklungsstufen und deren zeitliche Zuordnung sollen dazu Hilfestellung bieten.

Das Stahlrohr ist jedoch nicht nur Gegenstand der Rehabilitation, sondern wird in den heute üblichen Ausführungen auch zur grabenlosen Erneuerung von Rohrleitungen eingesetzt. Die Flexibilität in der Gestaltung von Verbindungstechniken, die verschiedenen Ausführungen an Beschichtungen und Ummantelungen und vor allem die herausragenden mechanischen Eigenschaften erlauben den wirtschaftlichen Einsatz grabenloser Verfahren zur Rehabilitation von Rohrleitungen.

Literatur

- [1] Kocks, H.-J.: Betrieb und Instandhaltung von Stahlrohrleitungen. GWF-Gas/Erdgas 145 (2004) H. 3, S. 152–158.
- [2] Fröhling, D.: WinKKS – Das Führungssystem für den kathodischen Korrosionsschutz. 3R international 41 (2002) Nr. 6, S. 338–341.
- [3] VDI-Richtlinie 2888: Zustandsorientierte Instandhaltung, Dezember 1999.
- [4] DVGW-Arbeitsblatt W 401: Entscheidungshilfen für die Rehabilitation von Wasserrohrnetzen, September 1997.
- [5] DVGW-Arbeitsblatt G 401: Entscheidungshilfen für die Rehabilitation von Gasverteilungsnetzen, September 1999.
- [6] Hofer, P.: 3R international 33 (1994), S. 19–25.
- [7] DIN 2460: Stahlrohre für Wasserleitungen, Januar 1992.
- [8] Das Rohr im Dienst von Gas und Wasser. Handbuch der Mannesmannröhren-Werke Düsseldorf, 1938, S. 64.
- [9] Stahlmuffenrohre. Handbuch der Phoenix-Rheinrohr, Düsseldorf 1956, S. 54.
- [10] Studie über erdverlegte Trinkwasserleitungen aus verschiedenen Werkstoffen. Bericht III Rohrverbindungen, DVGW (Eschborn), Bonn 1978.
- [11] DVGW-Arbeitsblatt GW 340: FZM-Ummantelung zum mechanischen Schutz von Stahlrohren und -formstücken mit Polyolefinumhüllung, April 1999.
- [12] Roscher, H.: Sanierung städtischer Wasserversorgungsnetze. Verlag Bauwesen, Berlin, 2000, S. 46–49.
- [13] DVGW-Arbeitsblatt GW 321: Steuerbare, horizontale Spülbohrverfahren für Gas- und Wasserrohrleitungen. Gelbdruck, 4. Quartal 2000.
- [14] DVGW-Arbeitsblatt GW 322: Grabenlose Auswechslung von Gas- und Wasserrohrleitungen in einem Arbeitsgang mit dem Press-/Ziehverfahren. Gelbdruck 4. Quartal 2000.
- [15] Kleinau, A.: Leitungserneuerung durch Rohrzug von duktilen Gusseisen- und Stahlrohren. bbr 51 (2000) H. 9, S. 23–27.
- [16] Beyer, K.: bbr 31 (1992) H. 10, S. 423–430.

(Manuskripteingang: 29.12.2004.
Überarbeitete Fassung: 10.8.2005)