



Mannesmann Line Pipe GmbH

## Leitungsrohre aus Stahl: Durch Innovation Effizienz und Sicherheit beim Rohrleitungsbau steigern

Die Entwicklung, Erprobung und letztlich der Einsatz innovativer Rohrleitungstechnologien ist ein fortlaufender Prozess. Ein Ziel ist die Steigerung der Effizienz bzw. der Wirtschaftlichkeit bei der Verlegung von Leitungen aus längsnahtgeschweißten Stahlrohren im Hoch-Frequenz-Induktions-(HFI)-Verfahren – Onshore wie auch Offshore. Betrachtet wird hierbei sowohl das Verbinden von Rohren bei der Verlegung mittels Laserstrahlschweißen, als auch mittels des rein mechanischen Zap-Lok-Verfahrens. Vorgestellt werden zudem zementausgekleidete Rohre für den Einsatz als Wasserinjektionsleitungen und als Ölsammelsysteme auf wassergefluteten Ölfeldern, zur Erhöhung der Lebensdauer und Sicherheit gegenüber ungeschützten Stahlrohren.

**Im Bereich der Transportleitungen, Ölfeldrohre und Konstruktionsrohre** ist die Verwendung von längsnahtgeschweißten Stahlrohren, gefertigt mittels HFI-Verfahren, seit Jahrzehnten bekannt und etabliert. Hierbei werden die Rohre in einem Endlosverfahren aus Bandmaterial kontinuierlich eingeformt, die Bandkanten durch das berührungslose Aufbringen von hochfrequentem Wirbelstrom erhitzt und durch Verpressen zusammengefügt. Das HFI-Verfahren zeichnet sich, neben der hohen Qualität der Schweißnaht, gegenüber anderen üblichen Schweißverfahren durch seine hohe Produktionsgeschwindigkeit aus, da ohne Schweißzusatzwerkstoff gearbeitet werden kann. Dadurch werden die Rohre den in den letzten Jahren immer weiter gewachsenen Anforderungen gerecht, ebenso wie dem Streben nach einer immer höheren Kosteneffizienz. Weiteres Potenzial zur Minimierung von Kosten sieht man im Bereich der Verlegung und des Einsatzes von Stahlrohrleitungen. So wird zum einen eine möglichst schnelle Verlegung angestrebt. Hierdurch lassen sich nicht nur Personal-, Maschinen- und Betriebskosten beim Leitungsbau, sondern auch die Projektvorlaufzeiten bis zum ersten Gewinn reduzieren. Zusätzlich besteht schon seit ein paar Jahren ein Mangel an qualifiziertem Fachpersonal im Bereich Schweißen und Prüfen von Rohrverbindungs nähten. Zum anderen sollen Lagerstätten von fossilen Energiequellen wie Öl und Gas immer länger ausgebeutet werden, da die Erschließung neuer Felder immer aufwändiger wird. Hierdurch werden die Rohrleitungen immer stärkeren Beanspruchungen ausgesetzt, was häufig zu Lasten der Lebensdauern geht. Daher beschäftigt sich die Mannesmann Line Pipe GmbH ständig sowohl mit der Weiterentwicklung der Werkstoffe für HFI-geschweißte Stahlrohre, als auch mit ergänzenden Systemen wie Schutzbeschichtungen oder der Eignung und Ertüchtigung der Rohre für alternative Verlegeverfahren. Einige der Innovationsthemen der letzten Jahre in genau diesen Bereichen werden im Folgenden näher beleuchtet. Im Einzelnen handelt es sich um die drei Themen Laserstrahlschweißen, Zap-Lok-Verfahren und Leitungen für Ölsammelsysteme und Wasserinjektionsleitungen in der sekundären Ölförderung.

### Laserstrahlschweißen

#### Herausforderung

Beim Bau von Pipelines für den Transport von gasförmigen oder flüssigen Medien

im Hochdruckbereich werden die zu verlegenden Stahlrohre üblicherweise durch Schweißen verbunden. Hierzu werden bei geringeren Durchmessern die Rundnähte meistens von Hand hergestellt, wohingegen im größeren Nennweitenbereich ab DN 600 speziell bei großen Distanzen vielfach auch automatisierte Schweißverfahren angewendet werden. Grundsätzlich beinhaltet die Herstellung einer vollständigen Rohrverbindung an der Baustelle die drei erforderlichen Arbeitsschritte Schweißen, Prüfen und Nachumhüllen, unabhängig vom gewählten Schweißverfahren. Diese sind eigenständige Prozesse, die zeitlich nacheinander ablaufen. Die Prozesse werden üblicherweise von verschiedenen Vertragspartnern durchgeführt, was einen erhöhten logistischen Aufwand für den Baustellenbetrieb und einen zusätzlichen zeitlichen Versatz bedeutet. So kann beispielsweise nach der Fertigstellung einer Schweißung mit mehreren Lagen, eine zerstörungsfreie Prüfung der Rundnaht nicht sofort erfolgen, da sich die Naht und das umgebende Rohr zu stark erhitzt haben. Außerdem wird der Dienstleister, der die Schweißnahtprüfung durchführt, erst mit der Prüfarbeit beginnen, wenn ausreichend Schweißnähte fertiggestellt sind. Das Gleiche gilt für die Nachumhüllungsarbeiten. Dieses war für Mannesmann Line Pipe die Motivation ein System zu entwickeln, welches sowohl eine schnellere Verlegung durch verringerte Schweißzeiten und eine erleichterte Baustellenlogistik ermöglicht, als auch eine höhere Unabhängigkeit von äußeren Störgrößen wie Witterung oder fehlenden Fachkräften.



**Abb. 1 –** Im Feld hergestellte lasergeschweißte Rohrverbindungsnaht – mit deutlich sichtbarer schmaler Naht und Wärmeintragzone

### Lösung

Zusammen mit der SLV Halle GmbH wurde in mehreren – zum Teil mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten – Teilprojekten das Laserstrahlschweißen mit einer sich direkt anschließenden zerstörungsfreien Prüfung der Naht entwickelt. Dieses Schweißverfahren bietet aufgrund des geringen Wärmeeintrages die neue Möglichkeit des Einsatzes einer kombinierten Schweiß- und Prüftechnologie (Abb. 1). Gleichzeitig reduzieren sich Nahtvolumen, Lagenzahl und Nahtbreite. Im Zuge der Entwicklung wurde in den für das Baustellschweißen relevanten Regelwerken – wie das DVGW Arbeitsblatt GW 350 [1] und das SGFW Arbeitsblatt FW 446 [2] – zumindest die Option geschaffen, das Laserstrahlschweißen einzusetzen. Erstellt und erprobt wurde eine automatische Orbitalschweißanlage, die eine zerstörungsfreie Prüfung mittels Ultraschall direkt im Nachgang der Nahtherstellung mit entsprechender Protokollierung der Schweißparameter und Prüfergebnisse beim Stahlrohr ermöglicht (Abb. 2).

### Laboruntersuchungen

Nach der Entwicklung eines ersten Prototyps wurden 2015 Verlegesimulationen auf einer ersten Testbaustelle auf dem Betriebsgelände der ONTRAS Gastransport GmbH zusammen mit der Köster GmbH vorgenommen und dabei weitere Entwicklungs- bzw. Optimierungsschritte erprobt sowie analysiert. Dazu erstellte man im Rahmen der Forschungsprojekte eine baustellentaugliche mobile Containerlösung für den Transport und die Lage-



**Abb. 2 –** Vorrichtung im Laborprüfstand für die Kombination aus Laserstrahlschweißen und Schweißnahtprüfung



Mannesmann Line Pipe GmbH

**Abb. 3 – Baustellenanordnung mit mobiler Containerlösung**

rung des Laserequipments (Abb. 3). Hierbei half die Verwendung eines Faserlasers, der prinzipbedingt eine räumliche flexible Trennung zwischen Laserquelle und Schweißoptik ermöglicht. Genutzt werden nicht nur dessen technologische Vorteile, wie hohe Leistungen bei exzellenter Strahlqualität und gutem Wirkungsgrad, sondern auch die Möglichkeit einer kompakten Bauweise. Auch die zerstörungsfreie Prüftechnologie wurde weiterentwickelt. So stellte sich heraus, dass der Einsatz der EMAT-Technologie (Electro Magnetic Acoustic Transducer, im deutschen Sprachraum auch als elektromag-

#### Industrielle Erprobung

Nach den Labor- und Vorversuchen kam im Jahr 2016 die Verbindungstechnologie zum ersten Mal bei einem echten Pipelineprojekt zum Einsatz. An einer Ferngasleitung der ONTRAS wurde ein Teilabschnitt im Süden von Greifswald mit einer Länge von ca. 1.100 m unter Einsatz der Laserorbitalschweißtechnik verlegt [5]. Dies geschah in Zusammenarbeit mit der PPS Pipeline Systems GmbH und dem TÜV SÜD Industrie Service GmbH. Eingesetzt wurden kunststoffummantelte HFI-Rohre der Mannesmann Line Pipe aus dem Werkstoff L245NE nach EN ISO 3183, Anhang

lief ein abschließender Stressdrucktest des Leitungsabschnittes erfolgreich.

Ziel der Optimierungen war es, beispielsweise mit einer angepassten Spann- und Prüftechnik beim Laserstrahlschweißen den Gesamtprozess auf 50 % der heute üblichen Verlegezeiten zu reduzieren, sowie den Durchmesser- und Wanddickenbereich zu erweitern. Durch Einsatz geeigneter schneller Beschichtungsverfahren für die Rohrverbindung wäre möglicherweise auch die Erstellung einer Rohrverbindung im Zuge des Rohreinzugs beim HDD denkbar. Aufgrund der höheren Schweißgeschwindigkeit sind kürzere Rohre einsetzbar, was kleinere Baugruben erlaubt. Außerdem sind keine Störzeiten beim Rohreinzug zu erwarten, da im Idealfall das Schweißen, die Verbindungsprüfung und Nachumhüllung zeitgleich mit der Demontage der Elemente des Zugestänges erfolgen kann. Der nächste Entwicklungsschritt befasst sich mit der Erweiterung des Durchmesserbereiches über 406 mm.

#### Zusammenfassung

In Kooperation zwischen der Mannesmann Line Pipe und der SLV Halle wurde eine teilautomatische Laserstrahlschweiß-Orbitalanlage mit integrierter Ultraschallprüfung der erzeugten Rundnaht entwickelt. Diese Technologie wurde in verschiedenen Laborversuchen und an Testleitungen geprüft, weiterentwickelt und letztlich im Feldeinsatz im Vergleich zur

## » In Kooperation zwischen der Mannesmann Line Pipe und der SLV Halle wurde eine teilautomatische Laserstrahlschweiß-Orbitalanlage mit integrierter Ultraschallprüfung der erzeugten Rundnaht entwickelt. «

netischer Ultraschallwandler (EMUS) bekannt) Vorteile hinsichtlich des Baustelleneinsatzes bietet [3]. Diese zerstörungsfreie Prüftechnologie generiert im Werkstück hochfrequente Schwingungen, die vergleichbar mit herkömmlich eingebrachtem Ultraschall sind. Das Besondere an der EMAT-Technik ist, dass sie koppelungsfrei angewendet wird. Im Laufe der Untersuchungen konnte die Prüftechnik in die Laserorbitalschweißvorrichtung der SLV Halle GmbH integriert und später für einen Einsatz im Feld optimiert werden. Nach der Entwicklung einer Prüfstrategie, fand eine erfolgreiche Validierung des Prüfsystems nach CEN/TR 14748 [4] in Kooperation mit der TÜV Nord Systems GmbH & Co. KG statt.

M [6], mit einem Durchmesser von 323,9 mm, einer Nennwanddicke von 6,3 mm und einer Länge von 18 m.

In einem Zeitraum von zwölf Arbeitstagen wurden insgesamt 60 Schweißnähte mit einer Rohrstranglänge von 1.152 m hergestellt und geprüft. Dabei wurden die verschiedensten Vorschriften und Normen im Rahmen der Verfahrensprüfung eingehalten, wie beispielsweise das AD 2000-Merkblatt HP 2/1, das VdTÜV-Merkblatt 1052, das DVGW-Arbeitsblatt GW 350, die DIN EN ISO 15614-11 und die DIN EN ISO 13919-1 Bewertungsgruppe B [1, 7-10]. Der TÜV bestätigte die gute Qualität u. a. durch eine Prüfung mit konventionellen Methoden des Ultraschalls und einer Röntgenprüfung. Zusätzlich ver-

konventionellen Lösung eingesetzt. Einige der wesentlichen technischen Vorteile gegenüber den konventionellen Schweiß- und Prüfverfahren sind:

- Vermeidung von Personalengpässen
- Schnellere Verlegung durch geringere Schweißzeiten und verbesserte Baustellenlogistik
- Witterungsunempfindlicher Schweißverfahren
- Geringerer Strömungswiderstand im Rohr aufgrund des fehlenden Wurzel-durchhanges
- Hundertprozentige Schweißnahtprüfung mit automatischer Dokumentation
- Vorteile für die grabenlose Verlegung (u. a. kleinere Baugruben, schnellerer Rohreinzugtakt, keine Vorstrecken)

## Zap-Lok-Verfahren

### Herausforderung

Die Herstellung zuverlässiger Verbindungen von Rohren auf der Baustelle ist ein wichtiger Schritt, der stets mit hohen Kosten und großem Zeitaufwand verbunden ist. Neben den Stumpf-Schweißverbindungen, bei denen die Rohrstirnseiten über eine Rundnaht miteinander verbunden werden, existieren im Niederdruckbereich verschiedene Alternativen wie Flansch- und Kupplungsverbindungen, oder auch Steckmuffenverbindungen, wie die Einstech- und Einstektschweißmuffe. Letztere kommen häufig bei aggressiveren Medien zum Einsatz, da mit dieser Technik auch der Verbindungsreich mit einer Innenbeschichtung geschützt werden kann. Für die Verwendung von HFI-geschweißten Rohren im Mittel- und Hochdruckbereich wurde somit eine Verbindungstechnologie gesucht, die ohne ein Schweißverfahren sowohl für den Onshore-, als auch für den Offshore-Bereich einsetzbar ist.

### Lösung

Das von der texanischen Firma NOV Tuboscope patentierte Zap-Lok-Verbindungs system wird bereits seit Jahrzehnten betriebssicher in vielen Ländern eingesetzt und kommt ohne Verschweißen der Rohre aus. Die Verbindung der Leitungsrohre erfolgt durch Presspassung und ist grundsätzlich für alle gängigen Pipeline-Anwendungen – Onshore im Gas-, Öl- und Wasserbereich sowie für Offshore- und Hochdruckverlegungen – geeignet. Im Zap-Lok-Verfahren können Rohre von 60,3 bis 406,4 mm verwendet werden. Bei der Weiterverarbeitung der Rohre auf den von NOV Tuboscope entwickelten Maschinen wird das eine Rohrende als Muffe (Bell End) ausgeformt, das andere als so genanntes Bolzen- oder Spitzenden (Pin End). Bei der Verlegung wird zunächst das Spitzende mit einer Zweikomponenten-Epoxymasse versehen. Dann werden die



Mannesmann Line Pipe GmbH



Mannesmann Line Pipe GmbH

Abb. 4a + b – Aufgeweitetes Muffenende (Bell End) der Zap-Lok-Verbindung vor (oben) und nach (unten) der Beschichtung

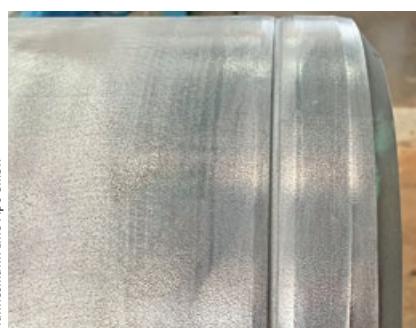
beiden Rohrenden mit speziell entwickelten Maschinen ineinander geschoben und anschließend mit dem Muffenende verpresst. Da auf ein Verschweißen und Röntgen der Schweißnähte verzichtet werden kann, ist die Verlegung im Zap-Lok-Verfahren schnell und wirtschaftlich. Durch das einfache Verfahren können bis zu 300 Rohre am Tag verlegt werden. Das Verfahren genügt auch den Anforderungen der Richtlinien ASME B31.4, DNV GL-ST-F101 und PD8010 [11-13].

### Erste Erprobung

Um die Enden der längsnahtgeschweißten HFI-Rohre für den Einsatz des Zap-Lok-Verfahrens zu ertüchtigen, investierte Mannesmann Line Pipe in die Rohrweiterverarbeitung, speziell im Bereich der Muffentaktstraßen. Hier mussten Antriebselemente, Hydraulikleitungen, Rohrförderereinrichtungen umgebaut und erneuert sowie Maschinensteuerungen geändert werden. Ein Großteil dieser Umbauten wurde notwendig, um die erforderlichen Umformkräfte aufzubringen. Bei der Herstellung der Muffenenden wird das Roh-

rende im kalten Zustand über einen Innen dorn aufgeweitet. Bis dato erfolgte die Herstellung von Muffen stets bei stark erwärmt Rohrenden. Aber auch im Bereich der Beschichtung der Rohre mit Muffenende musste der etablierte Umhüllungsprozess weiterentwickelt werden. Das Muffenende der Zap-Lok-Rohre muss für das Verlege- und Verbindungsverfahren mit einer ca. 10 mm langen Überlappung des Kunststoffes sowie einem Korrosionsschutz der Stahlrohphase versehen werden (Abb. 4 a + b). So wird ein Nachumhüllen letztlich überflüssig. An der gegenüberliegenden Seite mit Pin End hingegen wird mit einer entsprechenden Nut und Fase angearbeitet (Abb. 5).

In enger Zusammenarbeit mit NOV Tuboscope als Hersteller der benötigten Zap-Lok-Maschinen konnten erste Testverbindungen und umfangreiche Qualitätsprüfungen bezüglich der Presspassung durchgeführt werden. Anschließend wurden die Rohrverbindungen bei der Mannesmann Line Pipe Konzernschwester der Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH (SZMF) in Duisburg in umfangreichen Tests auf



Mannesmann Line Pipe GmbH

Abb. 5 – Nut und Fase an der Pin-End-Seite für die Zap-Lok-Verbindung



Abb. 6 – Für Berstversuche vorbereitete Zap-Lok-Verbindungen

ihre Druckbeständigkeit geprüft (Abb. 6). Die erreichten Berstdrücke überstiegen dabei wesentlich die Anforderungen der Kundenspezifikation.

#### Industrieller Einsatz

Im Jahr 2014 wurden die ersten Projekte abgewickelt. So wurden für den Kunden Perenco Kamerun etwa 11 km Rohre in der Abmessung 219,1 x 9,53 mm (Güte API 5LX52N [14]) für eine Onshore-Anwendung geliefert. Das durch das Zap-Lok-Verfahren ermöglichte große Zeit- und Kosteneinsparungspotenzial gegenüber der Pipeline-Verlegung im konventionellen Schweißverfahren macht dieses Verfahren auch für die Anwendung bei der Offshore-Verlegung attraktiv. Hier spielen die enormen Kosten der gemieteten Verlegeschiffe eine wichtige Rolle. So konnte

in der Stahlgüte L360 FBN geliefert. Bereits 2016 wurde von den Experten der Smart Engineering B.V. ein umfangreiches Versuchsprogramm zur Zulassungsprüfung erstellt. Innerhalb eines Jahres fanden die Probefertigungen der Rohre und Verbindungen, die Durchführung und Auswertung aller Tests statt. Hierzu durchliefen die Rohre und Verbindungen bei der Salzgitter Mannesmann Forschung verschiedene Resonanz-, Ermüdungs- und Berstversuche: Belastungsgrenzen wurden ermittelt, zyklische Wasserinnendruckversuche und Korrosionstests, die üblichen Kerbschlagversuche, Härteprüfungen sowie makroskopische Untersuchungen an Mustern aus den verschiedenen Versuchen wurden durchgeführt. Die axiale Zugspannung und das Epoxy-Aus härten der Innenbeschichtung wurden an

Rohrlieferung mit Zap-Lok-Technologie für den Offshore-Einsatz in Malaysia. Auftraggeber war ein Konsortium bestehend aus dem schottischen Verlegeunternehmen Cortez Subsea Ltd. und dem Partner Alam Maritim in Kuala Lumpur, die im April 2019 mit dem Engineering, der Beschaffung, dem Bau, der Installation und Vorinbetriebnahme einer neuen Pipeline beauftragt wurden. Cortez Subsea hat hierfür ein Modul entwickelt, welches an die Verbindungseinheit von NOV-Tuboscope angebunden und mit einem halben Tag Arbeitsaufwand auf Verlegeschiffen installiert werden kann. Die Verbindungseinheit wird dabei automatisiert bestückt und kann theoretisch rund um die Uhr arbeiten.

Vorgesehen waren die Rohre für das Tembikai-Öl- und Gasfeld, welches rund 150 km vor der Ostküste der malaiischen

» Das Zap-Lok-Verfahren eignet sich sowohl für die Verlegung an Land, als auch für den Offshore-Einsatz. «

ebenfalls mit Perenco Kamerun ein Auftrag über knapp 10 km Rohre in der Dimension 323,9 x 12,7 mm für die Offshore-Verlegung beliefert werden. 2018 konnte dann zusammen mit der Oranje-Nassau Energie B.V. – dem größten niederländischen Privatunternehmen im Bereich Exploration und Förderung von Öl und Gas – ein weiteres Projekt durchgeführt werden. Das Zap-Lok-Verfahren wurde erneut für die Offshore-Anwendung qualifiziert und hierfür von Mannesmann Line Pipe Rohre in der Abmessung 219 x 12,7 mm

der RWTH in Aachen getestet, die über eine besondere Prüfanlage verfügt. Nach der vollständigen Berichterstellung mit allen notwendigen Ergebnissen konnte so Mitte 2017 die Zulassung für die Offshore-Eignung unter festgelegten Randbedingungen durch die zertifizierende niederländischen Gesellschaft Bureau Veritas (B.V.) unter behördlicher Aufsicht der „Staatstoezicht op de Mijnen“ erteilt werden.

Nach den ermutigenden Ergebnissen zuvor erfolgte in den Jahren 2019/20 eine

Halbinsel liegt, und sich unter 70 m tiefen Gewässern befindet. Um das Feld zu erschließen, sollte es über eine 60 km lange Pipeline an eine bereits 2018/19 installierte Bohrplattform angeschlossen werden. Für dieses Projekt ergab sich bei den Berechnungen zur Pipeline-Dimensionierung allerdings die besondere Herausforderung, dass der Rohraußendurchmesser von 323,9 mm eine Wanddicke von 17,5 mm erforderte – eine Abmessung, die noch nie im Zap-Lok-Verfahren realisiert wurde. Die gefertigten 30 Testver-



Mannesmann Line Pipe GmbH

bindungen wurden deshalb wie zuvor bei der Salzgitter Mannesmann Forschung und an der RWTH in Aachen in umfangreichen Tests u. a. auf ihre Druckbeständigkeit geprüft. Ihnen wurde abermals eine hervorragende Eignung attestiert. Somit konnten die HFI-Rohre bei der Mannesmann Line Pipe produziert und ausgeliefert werden.

Die Installation der Pipeline mit insgesamt 5.100 Verbindungen konnte binnen 20 Tagen bei einer durchschnittlichen Verlegerate von 4,7 km pro Tag abgeschlossen werden. Alles in allem konnten rund 30 % der Kosten bei der Verlegung gegenüber dem Verfahren mit konventioneller Verschweißung eingespart werden.

### Zusammenfassung

Nach diversen Vorversuchen und Qualifizierungstests konnte Mannesmann Line Pipe mehrere Projekte mit längsnahtgeschweißten HFI-Rohren beliefern, welche mit Hilfe der von NOV-Tuboscope entwickelten und patentierten Zap-Lok-Technologie an der Verlegestelle miteinander mechanisch verbunden wurden. Durch die Zusammenarbeit mit Mannesmann Line Pipe konnte das Verfahren weiterentwickelt werden, sodass ein Einsatz mittlerweile für Rohrdurchmesser von bis zu 406,4 mm und für Wanddicken von bis zu 17,5 mm möglich ist. Die HFI-geschweißten Rohre können dabei je nach Kundenvorgabe und Spezifikationsanforderungen mit verschiedenen Umhüllungen und Innenbeschichtungen versehen werden. Individuelle Lösungen gehören auch in diesem Produktsegment zum Standard. Das Zap-Lok-Verfahren eignet sich sowohl für die Verlegung an Land, als auch für

den Offshore-Einsatz. Hier kann es in seichten Gewässern, aber auch in Wassertiefen von bis zu 300 m angewendet werden. Im Onshore-Einsatz zeichnet es sich durch die leichte Handhabung der Maschinen und den geringen Personalaufwand aus.

Das alternative System ermöglicht ein einfaches, halbautonomes Verlegeverfahren und führt zu einer höheren Arbeitssicherheit, da keine Schweißprozesse und Röntgenprüfungen notwendig sind. Es ist sogar möglich, die Rohre so zu verbinden, dass ein Nachumhüllen der Verbindungsbereiche nicht nötig ist. Weiterhin besticht das Verfahren durch zusätzliche Vorteile gegenüber den klassischen Schweißverfahren der Rohrverbindung. Es können ca. 3,5 bis 5 km Pipeline (Offshore) in 24 Stunden verlegt werden. Das ist etwa dreieinhalbmal so schnell wie im konventionellen Verfahren, wodurch sich die Arbeitskosten deutlich verringern. Bei einer Offshore-Verlegung reduziert sich zudem der finanzielle Aufwand für die Schiffscharter enorm. Auch bezüglich der Personalverfügbarkeit ergeben sich Vorteile. Wie beim Laserstrahlschweißen werden keine qualifizierten Schweißer oder ausgebildetes Personal für die zerstörungsfreie Prüfung benötigt. Alles in allem werden bei Verwendung dieser innovativen Verbindungstechnologie Kosteneinsparungen von bis zu 40 % gegenüber konventionellen Schweißverfahren möglich. Als weitere positive Aspekte sind zu nennen:

- Keine benötigte Nachumhüllung auf der Baustelle
- Kein Wärmeeintrag in das Rohrmaterial durch einen Schweißprozess

- Keine Wetterabhängigkeit bei Verlegung
- Elektrische Verbindung zwischen den Rohrsegmenten ist gewährleistet
- Molchbarkeit ist gegeben
- Die Rohre können direkt nach der Verbindungsprozedur verlegt werden

### Leitungen für Ölsammelsysteme u. Wasserinjektionen in sekundärer Ölförderung

#### Herausforderung

Bei der primären Rohölförderung wird das Medium allein durch den Druck in der Lagerstätte an die Erdoberfläche gepresst. Nimmt dieser Druck im Laufe der Zeit übermäßig ab, so wird eine weitere Förderung aufgrund sinkender Förderraten unwirtschaftlich. Bei der sekundären Ölförderung wird daher oft Wasser in die Lagerstätte gedrückt, um so den Druck und damit die Förderrate aufrecht zu erhalten. Hierbei benötigt man zum einen Rohrleitungen, die als Ölsammelleitungen dienen und die bei vergleichsweise niedrigem Druck bis etwa 40 bar betrieben werden. Zum anderen kommen sogenannte Injektionsleitungen zum Einsatz, über die Wasser bei Betriebsdrücken bis über 200 bar in das Ölfeld gepumpt wird. Diese Leitungen sehen sich somit einerseits einem erhöhten Druck, andererseits einer erhöhten korrosiven Belastung durch die Medienzusammensetzungen ausgesetzt. Neben einem hohen Wassergehalt von bis zu 95 %, zeichnet sich das typische Fördermedium durch einen hohen Grad der Mineralisierung und dem Vorhandensein von zum Teil hochabrasiven Feststoffen und gelösten Gasen wie Kohlendioxid CO<sub>2</sub> und Schwefelwasserstoff H<sub>2</sub>S aus. Dies führt bei der Verwendung von Stan-

dard-Leitungsrohren ohne Innenauskleidung zu einem frühzeitigen Versagen bei Nutzungszeiten von zum Teil deutlich weniger als einem Jahr. Somit bietet sich die Verwendung eines inneren Schutzes an. Dieser muss als wesentliche Eigenschaften den Korrosionsangriff auf das Stahlrohr verhindern, als beständige Schutzschicht gegen eine Vielfalt an chemischen Stoffen dienen und den Abriebwiderstand deutlich erhöhen. Diese Anforderungen gelten selbstverständlich auch für die Verbindungsbereiche.

### Lösung

Im Falle der Rohre „Mannesmann for water-oil-mix“ kommen Stahlrohre mit exakt auf die Zusammensetzung von Öl-wassergemischen abgestimmte und modifizierte Zementmörtelauskleidung sowie die bereits erwähnten Einstekschweißmuffen (EM)-Verbindung zum Einsatz. Die Verwendung einer Einstekschweißmuffe ermöglicht die Versiegelung der Verbindungsbereiche und damit einen durchgehenden Korrosionsschutz bei ausreichender Festigkeit. Dieses System wird seit

Langem zum Transport von Roh- und Trinkwässern, Brauch- und Salzwässern sowie Salzsoßen und zur Fortleitung von Abwässern verwendet und ist national in der DIN 2460 „Stahlrohre für Wasserleitungen“ genormt [15]. Je nach Dimension sind die Rohre und Muffen für hohe Betriebsdrücke bis über 200 bar und Betriebstemperaturen bis 130 °C dimensionsunabhängig einsetzbar. Die Auskleidung ist für flüssige, mit gelösten Salzen und Gasen oder Feststoffanteilen behaftete Medien geeignet und in basischen, neutralen und schwach sauren Umgebungen ( $\text{pH} > 6$ ) beständig. Aus diesen Gründen ist es naheliegend, die Eignung dieser Rohrausführung auch für die sekundäre Ölförderung zu testen. Im Verbindungsbereich wird ein elastisches, unter Feuchtigkeitseinwirkung aushärtendes Dichtungsmaterial als Schutz verwendet, welches vor dem Einschieben des Spitzendes in den Muffengrund aufgebracht wird. Dann erfolgt die Heftschweißung des Spitzendes: Überstehendes Dichtungsmaterial kann unter Zuhilfenahme eines Molches geglättet werden, bevor die Rohrverbindung verschweißt wird.

### Industrielle Erprobung

In einem ersten Praxistest an einer knapp 2 km langen Leitung wurden die Rohre acht Jahre unter realen Bedingungen eingesetzt, um die dauerhafte Beständigkeit der Auskleidung zu erproben. Hierbei kamen Rohre mit Außendurchmesser 168,3 mm und einer Wanddicke von 4 mm in der Stahlgüte L245MB (nach EN 10208-2) zum Einsatz. Dieser waren mit einer entsprechenden Zementmörtel-Innenauskleidung versehen und auf der Außenseite mit einer standardmäßigen 3-Lagen-PE-Beschichtung geschützt. Das transportierte Medium bestand aus einer Wasser-Öl-Mischung, die bis zu 92 % hochmineralisiertes Wasser (22000 mg/l) enthielt, welches bei einem Druck von 20 bar und einer Mediumtemperatur von 40 °C transportiert wurde. Die Rohre waren teilweise nicht eingedreht, sodass auf der Außenseite Temperaturunterschiede zwischen minus 50 und plus 25 °C zu verzeichnen waren. Bei der Verlegung wurde zum Zusammenfügen der Rohre eine an die Einstekschweißmuffe angepasste Einziehvorrichtung verwendet (Abb. 7). Untersuchungen während und nach dem Betrieb zeigten eine unveränderte Schichtdicke und eine niedrige Carbonatisierungsrate der Zementmörtel-Innenauskleidung. Am Stahlrohr selbst konnten die Bildung einer Passivierungsschicht, aber keine Korrosionsspuren auf



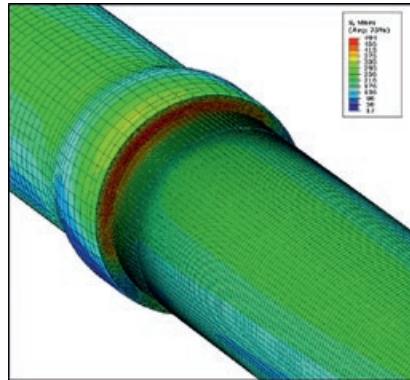
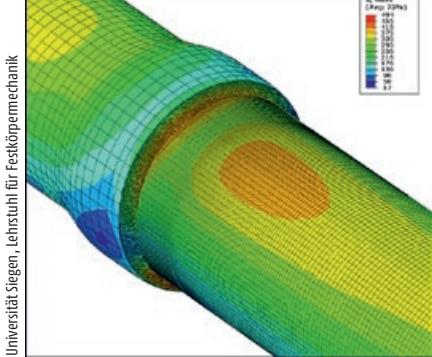
Abb. 7 – Verlegevorrichtung für die Wasserinjektionsleitungsrohre mit Innenzementauskleidung



Abb. 8 – Biegeversuche im Testportal der Firma FORM+TEST



Abb. 9 – Rohr nach dem Biegeversuch bei 500 Da



**Abb. 10 a + b** – Spannungsverteilung [in MPa] an der Oberseite (links) und der Unterseite (rechts) der Rohrverbindung bei kombinierter Belastung (Innendruck 200 bar, Durchbiegung 500 Da) in FEM-Simulationen

der inneren Stahloberfläche nachgewiesen werden. Dementsprechend wurde keine Änderung der Wanddicke gefunden. Auch die Außenoberfläche der Rohre und der Kunststoffbeschichtung war in einem ausgezeichneten Zustand. Die positive Erfahrung bei vergleichsweise niedrigen Betriebsdruck und die rechnerisch festgestellte Annahme, dass die Rohre in solcher Ausführung auch im Hochdruckbereich eingesetzt werden können, bildeten die Grundlage für die Laborversuche unter den für Wasserinjektionsleitungen typischen Betriebsbedingungen.

#### Labortests

Die typischen Auslegungsmerkmale und Mindestanforderungen wie beispielsweise bei statischer Belastung durch den Innendruck und die hierfür benötigten Wanddicken und Güten sind – wie auch die Berücksichtigung von Verlegetiefe, Verkehrslasten, Druckschwankungen etc. – in der DIN 2460 abgebildet. Um die Verwendbarkeit dieser Rohrausführung in der für hohe Drücke erforderlichen Wanddicke zu verifizieren, wurden Laborversuche und unterstützende Finite-Elementebetrachtungen (FEM) durchgeführt. Dabei lag der Fokus auf dem Verhalten des Systems unter einer Biegebelastung. Diese ergibt sich beim Absenken des Rohrstranges bei der üblicherweise verwendeten Strangverlegung. 3-Punkt-Biegeversuche am Rohr (Abb. 8) mit 219 x 12 mm in Güte L235, zum Teil mit Innendrücken bis 200 bar, zeigen, dass die im Standardfall zulässige Biegung von 500 Da (Außendurchmesser) keinen Einfluss auf die Zementmörtelauskleidung hat (Abb. 9). Weiterhin konnte mit Hilfe von FEM gezeigt werden, dass der für das eingesetzte Stahlrohr mit Zementinnenauskleidung in Verbindung mit einer Einstekschweißmuffen-Verbindung Mindestbiegeradius auch bei

den für Injektionsleitungen erforderlichen Wanddicken von über 10 mm realisierbar ist [16] (Abb. 10 a + b).

#### Zusammenfassung

Laborergebnisse und begleitende FEM-Simulationen bestätigen die nahezu uneingeschränkte Eignung der „Mannesmann for water-oil-mix“ Rohre mit modifizierter Zementmörtel-Innenauskleidung und der passenden Einstekschweißmuffen-Verbindung – auch bei dickwandiger Rohrausführung für den vorgesehenen Anwendungsbereich im Rahmen der Wasserinjektions- und Ölsammelleitungen in der sekundären Ölförderung unter Standardverlegebedingungen. Die Zuverlässigkeit solcher Rohrausführungen wurde unter realen Bedingungen in einem achtjährigen Betrieb bei moderatem Innendruck von 20 bar erfolgreich bestätigt.

#### Literatur

- [1] DVGW Arbeitsblatt GW 350: Schweißverbindungen an Rohrleitungen aus Stahl in der Gas- und Wasserversorgung; Herstellung, Prüfung und Bewertung. Ausgabe 2015-06
- [2] AGFW-Arbeitsblatt FW 446 „Schweißverbindungen an Rohrleitungen aus Stahl in der Fernwärmeversorgung – Herstellung, Prüfung und Bewertung“. Ausgabe 2020-11
- [3] Trensch, G.; Kocks, H.-J.; Keitel, S.: Anwendung des Laserstrahlschweißens für Baustellenschweißungen – Prüfung der Schweißnähte mit dem EMAT-Verfahren. IRO 2020
- [4] DIN-Fachbericht CEN/TR 14748: Zerstörungsfreie Prüfung – Vorgehensweise zur Qualifizierung von zerstörungsfreien Prüfungen. Ausgabe: 2005-01
- [5] Keitel, S.; Neef, H.; Kocks, H.-J.; Raschke, A.: Laserstrahlschweißen einer Pipeline im Raum Greifswald. bbr 69 (2018) 3, S. 24/9
- [6] DIN EN ISO 3183: 2020-02 “Petroleum and natural gas industries – Steel pipe for pipeline transportation systems”

[7] AD 2000-Merkblatt HP2/1 „Verfahrensprüfung für Fügeverfahren – Verfahrensprüfung für Schweißungen“ (2012-07)

[8] VdTÜV-Merkblatt 1052 „Richtlinie für Verfahrens- und Schweißprüfungen und für Prüfung von Testnähten bei der Errichtung von Fern- und Verbindungsleitungen zum Befördern gefährdender Flüssigkeiten; Rohrleitungen 1052“

[9] DIN EN ISO 15614-11 „Anforderung und Qualifizierung von Schweißverfahren für metallische Werkstoffe – Schweißverfahrensprüfung – Teil 11: Elektronen- und Laserstrahlschweißen“ (2002-10)

[10] DIN EN ISO 13919-1 „Schweißen – Elektronen- und Laserstrahlschweißverbindungen, Leitfaden für Bewertungsgruppen für Unregelmäßigkeiten – Teil 1: Stahl“ (1996-09)

[11] ASME B31.4:2019 „Pipeline Transportation Systems for Liquids and Slurries“

[12] DNV GL-ST-F101: 2017-12 "Submarine Pipeline Systems"

[13] PD 8010-4:2012-07-31 „Pipeline systems. Steel pipelines on land and subsea pipelines. Code of practice for integrity management“

[14] API SPEC 5L 46th ED: 2018-05  
“Line Pipe”

[15] DIN 2460 „Stahlrohre und Formstücke für Wasserleitungen“, 06-2006

[16] Dally, T.; Nötzel, R.; Weinberg, K.; Kocks, H.-J.; Rosen, J.: Innovative Lösung für Wasserinjektionsleitungen bei sekundärer Ölförderung. 3R 3 (2017), S. 112-120

#### Autoren

Dr. Holger Brauer  
Mannesmann Line Pipe GmbH  
Kissinger Weg  
59067 Hamm  
Tel.: 02381 420-447  
Fax: 02381 420-454  
[www.mannesmann-linepipe.com](http://www.mannesmann-linepipe.com)  
[holger.brauer@mannesmann.com](mailto:holger.brauer@mannesmann.com)

Dr. Hans-Jürgen Kocks  
Juri Rosen  
Nils Schmidt  
Mannesmann Line Pipe GmbH  
In der Steinwiese 31  
57074 Siegen

