

Langzeiterfahrung mit Nachumhüllungs-systemen von Schweißnähten

Die vorrangige Aufgabe des passiven Korrosionsschutzes ist der Schutz von Stahlrohrleitungen vor Korrosion durch eine Ummantelung oder Umhüllung. In diesem Beitrag werden die aktuellen Anforderungen an Werkstoffe für Nachumhüllungen für Schweißnähte im Überblick vorgestellt. Der Fokus des Beitrages liegt dabei auf den gemachten Langzeiterfahrungen mit Nachumhüllungssystemen. Diese werden durch eine E.ON Ruhrgas-Untersuchung aus dem Jahre 2008 sowie den Erfahrungen aus den Aufgrabungen der ESB-Leitung „Isarschiene“ nach über 27 Jahren Betriebsdauer und einer aktuellen Untersuchung eines Nachumhüllungssystems nach 20-jähriger Betriebsdauer auf der STEGAL-Pipeline der Wingas/Gascade Transport GmbH im Jahre 2012 dokumentiert.

EINFÜHRUNG

Nach einer zweijährigen Untersuchung der NACE (Vereinigung der Korrosionsschutzingenieure in den USA) aus dem Jahre 2002 verliert die US-Wirtschaft jedes Jahr Bausubstanz im Wert von mehr als 276 Milliarden Dollar durch Korrosionsschäden. Diese Zahl soll sich im vergangenen Jahrzehnt noch deutlich erhöht haben. Weltweit geht man derzeit von einem Verlust von mehr als 1 Billion Dollar pro Jahr durch Korrosionsschäden aus. Eine neue weltweite Studie wird im Jahre 2014 erwartet. Davon betroffen sind auch unterirdisch verlegte Stahlrohrleitungen. Deshalb muss ein vorrangiges Ziel sein, diese Leitungen bestmöglich gegen Korrosion und mechanische Beschädigungen zu schützen. Nach den Schäden durch den Einfluss Dritter wie Baggerschäden o. ä, stellen Korrosionsschäden die zweithäufigste Schadensursache dar. Seit den 1920er Jahren werden Stahlleitungen vor Korrosion durch eine Ummantelung oder Umhüllung geschützt. Einem korrosiven Medium soll der Zugang zu der Stahloberfläche verwehrt werden. Dies ist die vorrangige Aufgabe des passiven Korrosionsschutzes. Der kathodische Schutzstrom als aktiver Korrosionsschutz soll Korrosion bei Verletzungen des passiven Korrosionsschutzes begegnen. Der passive Korrosionsschutz für die Nachumhüllung der Schweißnähte und der aktive Korrosionsschutz durch den Kathodenschutz bilden daher die komplementären beiden Seiten eines umfassenden Schutzes der Stahlrohrleitung. Diese Funktionen wurden und werden gewährleistet durch den Einsatz von wasserabweisenden und nahezu diffusionsdichten Werkstoffen, die gleichzeitig die Anforderungen an eine ausreichende mechanische Belastbarkeit sowie eine sichere und leichte Applizierbarkeit aufweisen müssen.

Seit den 1960er Jahren werden technische Kunststoffe, vor allem Polyethylen für den Korrosionsschutz von Rohrleitungen und Nähten verwendet. Diese Werkstoffe ersetzen in zunehmendem Maße die bis dahin verwendeten Teer- und späteren Bitumenumhüllungen.

Neben der stetigen Verbesserung der Werkstoffe waren die erhöhten Anforderungen für die grabenlose Verlegung sowie erhöhte Dauerbetriebstemperaturen ein Motor für die Entwicklung der Werkstoffe.

Bis in die späten 1950er Jahre wurde die Leitung ausschließlich mit Umhüllungen (passiv) geschützt. Seit Anfang der 1960er Jahre werden die Leitungen zusätzlich durch einen kathodischen Schutzstrom (aktiv) gesichert.

Man unterscheidet bei den Werks umhüllungen in thermoplastische (Polyethylen und Polypropylen) und duroplastische Umhüllungen (Epoxidharze und Polyurethane). In geringem Umfang werden vereinzelt noch Umhüllungen aus Bitumenbändern eingesetzt.

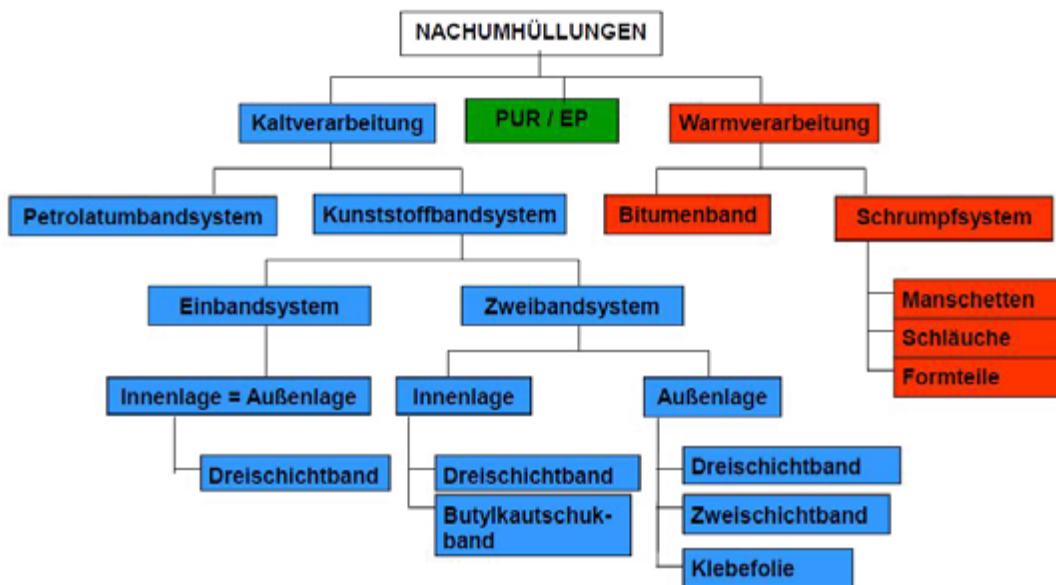


Bild 1: Klassifizierung von Nachumhüllungen

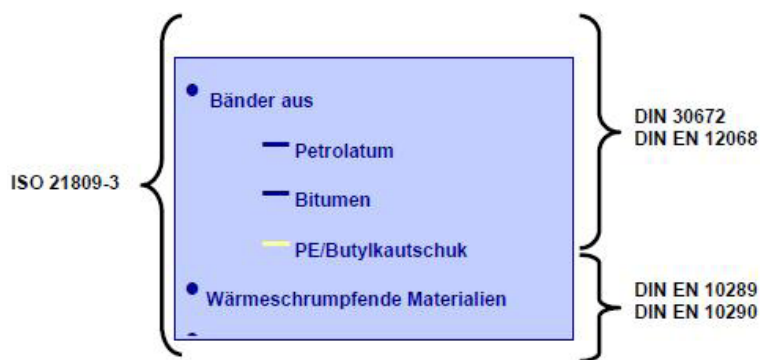


Bild 2: Korrosionsschutz-Nachumhüllungen



Bild 3: Belastungen, die auf Rohrumhüllungen wirken

NACHUMHÜLLUNGEN

Der größte Unterschied der Nachumhüllungen (siehe **Bild 1**, **Bild 2**) zu den Werksumhüllungen besteht in der Forderung, dass diese Materialien auf Baustellen möglichst einfach und fehlerverzeihend angewendet werden müssen. Während Werksumhüllungen unter nahezu idealen Bedingungen im Werk vorgenommen werden, müssen Nachumhüllungen unter teilweise extrem schwierigen und wechselnden Bedingungen vor Ort an der Baustelle aufgebracht werden. Die Nachumhüllungssysteme müssen nicht denselben Grad an mechanischer Widerstandsfähigkeit wie die Werksumhüllungen aufweisen, da die meisten Quellen einer möglichen Beschädigung beim Transport und Lagerung der Rohre auf sie nicht zutreffen. Eine Untersuchung der IPLOCA-Forschungsgruppe für innovative Konzepte im Rohrleitungsbau ermittelte 2009/2010, dass vom Verlassen des Rohrwerkes bis zur Verfüllung im Graben, die Rohre bis zu 39-mal bewegt werden und damit einer entsprechend hohen Wahrscheinlichkeit von Beschädigungen in der Werksumhüllung ausgesetzt sind. In erster Linie ist die Aufgabe der Nachumhüllungssysteme, den Stahl vor Medien und Korrosionsangriffen von außen zu schützen. Bei der Verlegung der Rohrleitung und später im Betrieb der Rohrleitung muss dieses Umhüllungsmaterial aber

auch den mechanischen Angriffen durch Verkehrslasten und Rohrbewegungen standhalten. Gepaart mit den teilweise sehr unterschiedlichen klimatischen und sonstigen Einsatzbedingungen ergibt sich daraus ein sehr weitgefächertes Eigenschaftsprofil, das die Materialien zu erfüllen haben (**Bild 3**).

Folgende Hauptanforderungen haben Nachumhüllungen zu erfüllen:

- » leichte und sichere Verarbeitung der Umhüllung auf Baustellen
- » mechanische Widerstandsfähigkeit in Bezug auf die Verbindung des Umhüllungsmaterials zur Rohroberfläche – Nachweis durch Schälwerte oder Scherfestigkeit
- » mechanische Widerstandsfähigkeit in Bezug auf Resistenz gegen Beschädigungen der Umhüllung – Nachweis durch Eindruckfestigkeit, Schlagbeständigkeit, Reißbeständigkeit
- » Alterungsbeständigkeit (Nachweis durch Langzeiterfahrung an Baustellen)
- » chemische Beständigkeit (aggressive Böden, Elektrolyte)
- » keine Beeinträchtigung des aktiven Korrosionsschutzes
- » geprüfte Qualität nach den höchsten internationalen Normen wie EN, DVGW, ISO etc.

Diese aktuellen Trends in der Entwicklung von Nachumhüllungssystemen bestehen:

- » das Erreichen höherer Dauerbetriebstemperaturen
- » der Aufbau eines analog zur Werksumhüllung aufgebauten Nachumhüllungssystems
- » starke Diversifizierung der Umhüllungssysteme und der darin verwendeten Materialien
- » Verbesserung der mechanischen Eigenschaften bei grabenloser Verlegung und Einsatz des Paddingverfahrens
- » ein Nachweis der Qualität der aufgetragenen Nachumhüllung an der Baustelle muss gesichert sein
- » das Aufbringen der Nachumhüllung während des Betriebs der Rohrleitung muss gewährleistet sein

Die Anforderungen an die Verarbeitung und die Qualitätssicherung bei Umhüllungen regelt das Technische Merkblatt GW 15 in der aktuellen Ausgabe von 2007.

Die Anwendung dieses Merkblattes stellt sicher, dass die Schulung und Prüfung des Fachpersonals nach GW 15 nach einheitlichen Verfahren und Inhalten durchgeführt wird und das Fachpersonal nach bestandener Prüfung die für eine qualitätsgerechte Ausführung und Kontrolle der Arbeiten erforderlichen Fachkenntnisse besitzt.

Coextrudierte Dreischichtenbänder

Seit Einführung coextrudierter, dreischichtiger Verbundbänder mit selbstverschweißenden Butylkautschukschichten in den 1980er Jahren, gewährleisten diese Kunststoffbandsysteme den Langzeit-Korrosionsschutz (Praxisbeispiele ESB-Leitung, E.ON Ruhrgas und STEGAL-Pipeline siehe unten).

Dreischichtige Verbundbänder haben ihre hervorragenden technischen Qualitäten auf zahllosen Baustellen welt-

weit in den letzten 40 Jahren bewiesen. Im Falle wechselnder Witterungsbedingungen oder bei kalten oder sehr windigen klimatischen Bedingungen werden Bandsysteme aufgrund ihres weitgefächerten Anwendungsbereichs von -35 °C bis +60 °C in der Anwendung bevorzugt.

Die bei Zweischichtenbändern als Korrosionsschutzband aufgrund von Kleberermüdung und nachfolgendem Sauerstoff- und Feuchtigkeitseintritt eintretende Spiralkorrosion tritt bei Verwendung von Dreischichtenbändern nicht auf. Unvollständig versiegelte Bandüberlappungen der Zweischichtenbänder führen unvermeidlich zu schweren Spiralkorrosionsschäden (**Bild 4**). Die meisten der wenigen bekannten negativen Erfahrungen mit Bändern sind durch den Einsatz von Zweischichtenbändern als Korrosionsschutz bedingt, da diese über keinen Selbstverwachsungseffekt verfügen.

Der Selbstverwachsungseffekt und ein Schutz der Stahloberfläche ohne Hohlräume sind auf eine wesentliche Eigenschaft des Butylkautschuks zurückzuführen. Vom physikalischen Gesichtspunkt ist Butylkautschuk mehr ein flüssiger als ein fester Stoff. Der Aufbau dieser dreischichtigen Verbundbänder besteht aus einer Trägerfolie aus stabilisiertem Polyethylen, die auf beiden Seiten mit einer Butylkautschukschicht beschichtet wird. Diese Trägerfolie wird in einem speziellen Coextrusionsverfahren hergestellt, wodurch eine stoffliche und feste Einheit aus Träger- und Beschichtungsmaterial sichergestellt wird. Hierdurch kommt es nicht zu einer Delamination der verschiedenen Funktionsschichten, wie diese bei laminierten Bändern zu beobachten sind. Bei der spiralförmigen Wicklung der dreischichtigen Verbundbänder um das Rohr verwachsen die Butylklebeschichten in den Überlappungsbereichen und schaffen damit eine homogene, schlauchartige Umhüllung ohne jegliche Trennschicht. Im Überlappungsbereich der Lagen wandern die Moleküle von einer Butylkautschuklage zu der anderen. Nach bereits kurzer Zeit, maximal aber nach fünf Tagen, ist dieser Verwachsungsprozess abgeschlossen. Deshalb sollte zwingend die Innenlage eines Korrosionsschutzsystems aus einem selbstverwachsenden, coextrudierten Dreischichtenband bestehen.

Aufgrund der einzigartigen Produktionstechnologie wird der bekannte Delaminationseffekt und die Gefahr der langfristig bestehenden Durchlässigkeit der Trennschicht

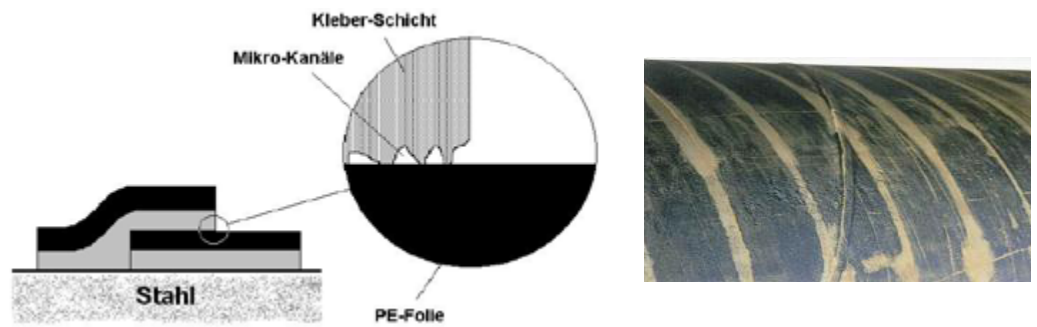


Bild 4: Keine Verwachsung im Überlappungsbereich bei der Verwendung von reinen 2-Schicht Bändern als Innenband – Gefahr der Bildung von Mikrokanälen und Entstehung von Spiralkorrosion

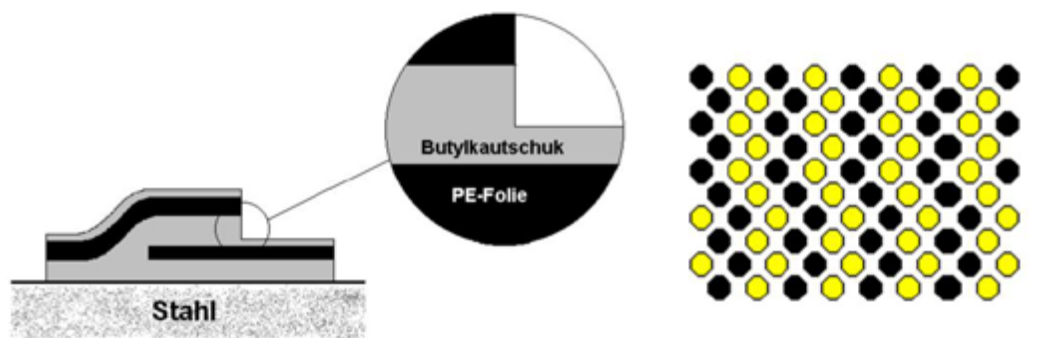


Bild 5: Selbstverwachsungseffekt bei Dreischichtenbändern

zwischen Trägerfolie und Beschichtung durch den Bandaufbau, wie in **Bild 5** gezeigt, vermieden.

Mechanischer Schutz von Nachumhüllungen

Bei schwierigem Einsatz in felsigen Böden oder mangelnden Möglichkeiten einer kompletten Einsandung des Rohrbettes, ist ein zusätzlicher Schutz der Nachumhüllung sinnvoll oder notwendig:

- » bei fasorzementummantelten Rohren können wahlweise Gießmörtel oder zementbeschichtete Bänder verwendet werden.
- » eine weitere Möglichkeit der Verbesserung des mechanischen Schutzes ist der Einsatz von Rohrschutzmatten aus Polypropylenvliesen.
- » Schutz der Werks- und Nachumhüllung mit einer zusätzlich aufgetragenen GFK-Beschichtung.

LANGZEITERFAHRUNGEN ANHAND VON PRAXISBEISPIELEN

Kein Korrosionsschutzsystem auf der Welt kann ein längeres und erfolgreicher Langzeitverhalten nachweisen als dreischichtige PE-/Butylkautschuk-Verbundbänder.

ESB-Leitung „Isarschiene“

Im Herbst 2003 erfolgte im Bereich der Erdgas Südbayern (ESB) im Zuge des Neuaufbaus des BMW-Motorenwerkes Dingolfing die teilweise Umverlegung einer 27 Jahre alten Leitung DN 300: Leitung Moosburg-Straubing „Isarschie-



Bild 6: Ausgrabung Isarschiene



Bild 7: Schweißnaht nach 27 Betriebsjahren

ne“ (**Bild 6**). Dieser Umstand ermöglichte die einzigartige Gelegenheit, die Werksumhüllung wie die Nachumhüllung auf Ihren Zustand nach dieser langen Betriebsdauer zu untersuchen.

Die Schweißnähte der mit einer Polyethylen-Werksumhüllung versehenen Leitung wurden mit DENSOLEN®-Bändern beim Bau der Leitung im Jahre 1976 geschützt (**Bild 7**). Zum Zeitpunkt der Konstruktion entsprach das verwendete System der DVGW-Richtlinie GW 7, die zum damaligen Zeitpunkt die gültigen Richtlinien für Schweißnahtumhüllungen aufstellte. Als die Schweißnähte 2003 aufgedeckt wurden, konnten keine Schäden gefunden werden und die Stahloberfläche zeigte sich in einem absolut neuwertigen Zustand. Dies war ein bemerkenswerter Beweis für die Langzeitqualität und Wirksamkeit eines passiven Korrosionsschutzes über eine Betriebsdauer von über 27 Jahren.

Obwohl zu diesem Zeitpunkt die erhöhten Anforderungen der EN 12068, die erst im Jahre 1999 eingeführt wurde, noch nicht galten, erfüllten die gemessenen Werte auch alle Anforderungen der aktuellen Norm bzw. übertrafen diese sogar in etlichen Fällen.

Das verwendete System war das DENSOLEN®-1-Band System S 40. Ein 1-Band System bedeutet, dass die Innenlage für den Korrosionsschutz und die Außenlage für den mechanischen Schutz mit demselben Bandtyp ausgeführt wird. In zwei Wickelvorgängen mit je 50 % Überlappung aufgebracht, wird eine Gesamtdicke der Umhüllung von 3,2 mm erreicht.

Langzeituntersuchung E.ON Ruhrgas

Im Jahre 2007 veröffentlichte E.ON Ruhrgas, heute Open Grid Europe, eine Untersuchung, die einen repräsentativen Querschnitt der verwendeten Umhüllungsmaterialien bei knapp 2.000 km ihres gesamten Leitungsnetzes darstellte. Das gesamte Leitungsnetz der E.ON ist ungefähr 12.000 km lang, in einem sehr guten Erhaltungszustand, aber beinhaltet auch Leitungsabschnitte, die bis zu 90 Jahre alt sind. Die vorherige Untersuchung dieser Lei-

tungsabschnitte erfolgte durch intelligente Molchung. Die verwendeten Nachumhüllungssysteme schlossen Petrolatum- und Wachssysteme, diverse Bitumenbeschichtungen, 2-Schichten-PE-Bänder und letztlich auch dreischichtige PE-/Butylkautschuk-Verbundbänder mit ein. In diesen Untersuchungen bewiesen diese Verbundbänder hervorragende Korrosionsschutzeigenschaften. Diese Bänder, die seit 1981 als bevorzugte Nachumhüllungssysteme im Leitungsbau von E.ON eingesetzt wurden, wiesen keinerlei elektrische Durchschläge auf oder zeigten eine Veränderung der hohen mechanischen Festigkeit. Diese Aussage der E.ON stützt sich auf Erkenntnissen, die nach 25 Jahren praktischen Erfahrungen des Einsatzes dieser Systeme bei Gasleitungen gewonnen wurden.

Langzeiterfahrungen STEGAL-Pipeline

Gazprom und Wintershall/Wingas, jetzt Gascade Transport GmbH, pflegen einen engen technischen Austausch in diversen Expertengremien für vielfältige Themen des Leitungsbaus. Ein häufig besprochenes Thema ist die Auswahl der geeigneten Werks- und Nachumhüllungssysteme bei Rohrleitungen, die starken thermischen Belastungen ausgesetzt sind.

Bis heute verwendet WINGAS/Gascade Transport GmbH als Nachumhüllungssystem mit großem Erfolg dreischichtige Verbundbänder bei allen bislang gebauten Transitleitungen.

Im November 2012 wurden zwei Abschnitte der STEGAL-Pipeline, die 1991/1992 mit einem Durchmesser von DN 900 erbaut wurde, aufgedeckt und untersucht (siehe **Bild 8**, **Bild 9**). Mit großem Interesse wurde diese Untersuchung von Spezialisten der Gazprom verfolgt, die mit einem Leitungsnetz von mehr als 500.000 km eines der größten Netze weltweit betreibt.

Nach 20 Jahren in Betrieb zeigten sich die Nachumhüllungen der Schweißnähte, die mit einem dreischichtigen Verbundbandsystem geschützt wurden, an beiden Aufgrabungen in einem exzellenten Zustand und die bei den Untersuchungen ermittelten Werte übertrafen alle



Bild 8: Ausgrabung STEGAL-Pipeline



Bild 9: Restdickenmessung der Schweißnaht

in der EN 12068 Klasse C 50 geforderten Werte zum Teil sehr deutlich .

Besonders die Übergangswerte von der Nachumhüllung zum Werksmantel wurden von den Experten kritisch untersucht. Dabei zeigten sich keinerlei Ablösungen der Bänder von der Werksumhüllung noch konnten Falten oder Luft einschüsse in der Umhüllung festgestellt werden.

Die Ingenieure von Wingas/Gascade Transport GmbH und Gazprom zeigten sich anschließend von der hohen technischen Leistung und den herausragenden Langzeitergebnissen überzeugt.

SCHLUSSFOLGERUNG

Es zahlt sich immer aus, die für ein Projekt geltenden spezifischen Anforderungen gründlich zu prüfen und die bestgeeignete Beschichtung für die Werksumhüllung als auch die Nachumhüllung zu wählen. Bei der Wahl der Nachumhüllungsmaterialien sollte auch berücksichtigt werden, dass die Kosten für ein hochwertiges System maximal 0,03 % der gesamten Projektkosten betragen, die Nähte aber die Schwachstellen der Leitung sind und durch die Wahl von minderwertigen Materialien hohe Folgekosten durch Reparaturen entstehen können, die in keinem Verhältnis zu den höheren Kosten eines technisch hochwertigen Systems stehen.

Jede Kette ist nur so stark wie ihr schwächstes Glied. Deshalb ist es fahrlässig, bei den Kosten für die Nachumhüllung an Qualität zu sparen. Für fast alle Anforderungen gibt es sehr gute, langlebige Lösungen. Ein System, das alle Anforderungen abdeckt, gibt es leider derzeit noch nicht und wohl auch nicht in absehbarer Zeit. Jeder Betreiber hat für seine Belange das dafür bestmögliche System auszuwählen. Dreischichtige Verbundsysteme bieten aufgrund ihres sehr variablen Einsatzes die beste Lösung, um auf die vielfältigen Anforderungen von Einsatzgebieten von – 35 °C bis + 60°C einzugehen.

Es zahlt sich langfristig zur Werterhaltung und längeren Betriebsdauer des Leitungsnetzes aus, hochwertige und langlebige Materialien für die Umhüllungen der Rohrleitungen auszuwählen.

Dabei sind Zulassungen der Systeme nach international gültigen Normen wie EN 12068 und DVGW-Prüfungen mit begleitender Fremdüberwachung der Produktion höher zu bewerten als noch nicht verifizierte Garantieverprechungen einiger Hersteller in Zukunft.

LITERATUR

- [1] Quast, M.: Long term experiences with DENSOLEN-Tapes. 3R international 43 (2004); No.13, p. 69-72
- [2] Quast, M: Aspects of corrosion protective tape technology, 3R international 1/2006, p. 53-57
- [3] Heim, T: Entwicklung von Korrosionsschutz-Nachumhüllungsmaterialien für Stahlrohre, 3R international 44 (2005) Nr. 11, p. 625-633
- [4] Kompetenzzentrum E.ON Ruhrgas AG: Korrosionsschutz erdverlegter Rohrleitungen, 2. Auflage Vulkan Verlag Essen 2008
- [5] Ahlers, M; Brecht, M; Schöneich, H.G.: Long term experiences with corrosion protection performance of field joint coatings, 3R international 46 (2007) Special 2, p. 549-553
- [6] Brecht, M.; Kocks, H. J.; Entwicklung des passiven Korrosionsschutzes von Stahlrohrleitungen, gwf Jubiläumsausgabe 2009, p. 15-29
- [7] NACE Studie zusammen mit US Federal Highway Administration, 2002. Abrufbar unter www.nace.org.
- [8] IPLOCA- The Road to Success-Onshore Pipelines, Geneva, 1st edition September 2009

AUTOR



MICHAEL SCHAD

DENSO GmbH, Leverkusen
Tel. +49 214 2602-260
E-Mail: schad@denso.de