

VII/3 Neue Polyurethan-Korrosionsschutzsysteme für den grabenlosen Rohrleitungsbau

Dr. rer. nat. Dipl.-Chem. Michael Quast

Zusammenfassung

Passiver Korrosionsschutz von Stahlrohrleitungen in Form von Umhüllungen erfordert Materialeigenschaften, die nur Kunststoffe zu leisten im Stande sind. Thermoplastische Elastomere wie Polyethylen oder Polypropylen besitzen exzellente Isolationseigenschaften gegenüber korrosiven Medien und eine hervorragende mechanische Widerstandsfähigkeit, wodurch sie die am häufigsten verwendeten Materialien für Werksumhüllungen sind. Die Baustellenapplikation eines der Werksumhüllung ebenbürtigen Korrosionsschutzes aus thermoplastischen Elastomeren wie PE oder PP ist jedoch sehr aufwendig und schwierig, weshalb Baustellenumhüllungen eine geringere mechanische Widerstandsfähigkeit besitzen als Werksumhüllungen. Speziell bei grabenlosen Verlegeverfahren wirken jedoch mechanische Belastungen auf die Umhüllung, die über die Widerstandsfähigkeit konventioneller Baustellenumhüllungssysteme hinausgehen.

Eine neue Generation duroplastischer Kunststoffe auf der Basis Polyurethan bietet nun auf die jeweilige Anwendung maßgeschneiderte extreme mechanische Widerstandsfähigkeit gepaart mit baustellengerechten Verarbeitungseigenschaften.

Anforderungen an Korrosionsschutzumhüllungen

Beim passiven Korrosionsschutz durch Umhüllung einer Stahlrohrleitung mit organischen Polymeren muß die Umhüllung zwei Anforderungsfeldern gerecht werden. Zum einen muß sie weitestgehend undurchlässig für Sauerstoff, Wasserdampf und Elektrolyte als die wesentlichen Korrosion verursachenden Medien sein. Dazu gehört ebenfalls die vollständige elektrische Isolierung der Rohrleitung zur Vermeidung der Bildung galvanischer Elemente oder von Streustromkorrosion [1].

Darüber hinaus muß eine Korrosionsschutzumhüllung widerstandsfähig gegenüber einer ganzen Reihe mechanischer und thermischer Belastungen sein, um die oben genannte Isolationswirkung über die gesamte Lebensdauer der Stahlrohrleitung zu erhalten. Beispiele der geforderten Eigenschaften mit den dazugehörigen Belastungen sind in **Tabelle 1** aufgeführt [1].

Arten von Korrosionsschutzumhüllungen

Nur Kunststoff-Polymere sind in der Lage, alle Anforderungen an eine Korrosionsschutzumhüllung zu erfüllen. Bei den für den Korrosionsschutz geeigneten Materialien unterscheidet man dabei zwischen thermoplastischen und duroplastischen Kunststoffen.

Unter den Thermoplasten sind Polyethylen und Polypropylen in Form von 3-Schicht-Umhüllungen die am weitesten verbreiteten Materialien für die Werksumhüllung von Stahlrohrleitungen. Im molekularen Aufbau enthalten PE und PP langkettige, weitestgehend lineare Moleküle, die in ungeordneten amorphen Bereichen sowie in geordneten kristallinen Bereichen angeordnet sind (**Bild 1**). Die amorphen Anteile garantieren dabei eine gewisse Flexibilität und damit Stoßbelastbarkeit, während die kristallinen Anteile für die Grundfestigkeit,

Die Domäne von Epoxidharzen sind extrem harte, dünne Beschichtung mit sehr guter Haftung auf Stahl, hoher Resistenz gegen Chemikalien und hoher Diffusionsdichtheit. Demgegenüber kann die Aushärtung nicht beliebig beschleunigt werden, was zusammen mit einer gewissen Feuchteempfindlichkeit zu einer bedingten Witterungstoleranz führt, bei Werksbeschichtungen jedoch keine Rolle spielt.

Polyurethane dagegen können in ihrem Aushärtungsverhalten nahezu beliebig beschleunigt werden [2]. Sie sind unter anderem deshalb deutlich witterungstoleranter als Epoxide und somit prädestiniert für Baustellenummhüllungssysteme. Nicht zuletzt wird durch diese geringere Empfindlichkeit der verwendeten Substanzen das Risiko von Verarbeitungsfehlern minimiert und die Wirtschaftlichkeit einer Baumaßnahme erhöht. In den isolierenden und mechanischen Eigenschaften stehen Polyurethane in Form von Dickbeschichtungen den Epoxidharzen in nichts nach [2].

DENSO hat auf der Basis dieser Materialeigenschaften eine Reihe neuer Korrosionsschutzsysteme speziell für die Anwendung im grabenlosen Rohrleitungsbau entwickelt. In der DENSO-SOLID-Produktreihe wurden latente Leistungsreserven von Polyurethanbeschichtungen hinsichtlich mechanischer Widerstandsfähigkeit und Verarbeitungsfreundlichkeit für die jeweilige Anwendung voll nutzbar gemacht.

Schweißnahtschutz bei Rohrverlegung mittels Ramm- und Preßverfahren

Bei der Rohrverlegung mittels Ramm- und Preßverfahren wirken mechanische Belastungen, insbesondere Eindruck-, Abrasions- und Scherbelastungen auf die Korrosionsschutzummhüllung ein, denen konventionelle Schweißnahtummhüllungen nicht gewachsen sind. Insbesondere ist durch unvermeidliche Stufen im Übergang zwischen Werks- und Nachummhüllung immer die Gefahr des Abscherens gegeben (**Bild 2**).

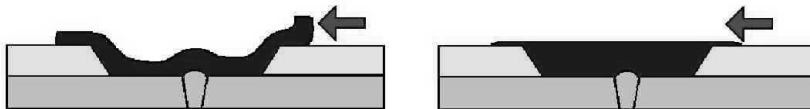


Bild 2: Einwirkung von Scherbelastungen auf konventionelle und neue PU-Schweißnahtummhüllung bei grabenloser Rohrverlegung

Für diesen Anwendungsbereich ist DENSOLID TLC, eine dickschichtige zweikomponentige Polyurethan-Spachtelmasse, besonders geeignet. Spezielle anwendungstechnisch relevante Eigenschaften sind:

- Die Spachtelmasse ist von Hand mit einfachen Geräten (Spachtel, Raketel) verarbeitbar und tropft auch in dicken Schichten (1cm) nicht vom Rohr ab.
- DENSOLID TLC ist sehr witterungstolerant. Lediglich die Forderung nach Niederschlagschutz muß beachtet werden, eine Klimatisierung ist nicht erforderlich. DENSOLID TLC kann bei Luftfeuchtigkeiten zwischen 0 und 90 % verarbeitet werden, allerdings darf die Temperatur der Rohroberfläche und der Spachtelmasse nicht unterhalb des Taupunkts liegen.
- Die Topfzeiten zwischen 5 min bei 40 °C und 20 min bei 15 °C ermöglichen sowohl die Verarbeitung von Hand als auch die Einhaltung kurzer Taktzeiten bei der Pressung.
- Speziell durch die Möglichkeit der Flammenhärtung (DENSOLID TLC ist nicht brennbar) verkürzt die Taktzeiten bei der Rohrdurchpressung verglichen mit konventionellen Ummhüllungssystemen.

- Die Spachtelmasse ist geruchlos und setzt keine gesundheitsschädlichen Dämpfe frei.
- Die glatte, harte Oberfläche setzt dem Erdboden einen besonders geringen Reibungswiderstand entgegen.
- Bei entsprechender Stahloberflächenrauigkeit tolleriert DENSOLID TLC auch eine Oberflächenvorbereitung nach ST2.

Neben der obligatorischen Erfüllung aller relevanten Anforderungen der entsprechenden Normen für Nach- [3] und Polyurethanumhüllungen [4] sind bei den Eigenschaften der ausgehärteten Beschichtung (**Tabelle 2**) insbesondere die große Härte, die hohe Abriebfestigkeit, die extrem gute Haftung auf Stahl sowie die gute Haftung auf PE hervorzuheben, Eigenschaften, die beim grabenlosen Rohrvortrieb unerlässlich sind und in Summe von konventionellen Umhüllungssystemen nicht erreicht werden.

Eigenschaft	Typischer Wert	Erläuterung/Prüfbedingungen	Norm
Härte Shore D (23°C)	71±5	nach Heißhärtung, 110 °C, 5 min	ISO 858
Eindruckwiderstand- Abnahme der Schicht- dicke	27 %	nach 48 h, 70 °C	DIN 30671
	2 %	Änderung 24 h/48 h	
Schlagbeständigkeit	> 10 J	23 °C	DIN 30671
Abriebfestigkeit	0,064 g	1kg Auflast, CS10, 1000 Umdrehungen	ASTM 4060
Haftfestigkeit auf Stahl	> 15 N/mm ² *		DIN 53232
Haftfestigkeit auf PE	4 N/mm ²	auf angerauhtem PE	DIN 53232
	5 - 7 N/mm ²	auf vortemperiertem PE	DIN 53232
Zugscherfestigkeit (Stahl/PE)	> 100 N/cm ²		DIN 30672
Spezifischer Umhüllungswiderstand	> 10 ⁹ Ωm ²	nach 100 Tagen; 23 °C; 2,5 mm Schichtdicke	DIN 30671
Durchschlagfestigkeit	> 25 kV	bei 1 mm Schichtdicke	
Alterungsbeständigkeit	Keine Fehlstellen	Wärmealterung bei 100 °C, 90 Tage	DIN 30671
Kathodische Enthaftung	< 2 mm	30 Tage, 23 °C	ASTM-G8
	< 1 mm	2 Tage, 65 °C	DIN 30671
	< 2 mm	30 Tage, 23 °C	BS 3900
Unterrostung	keine	Salzsprühtest ISO 9227, 1000 h	DIN 53167
	1-2 mm	30 Tage in Salzlösung, 23 °C	DIN 53209
Blasenbildung	keine	Salzsprühtest ISO 9227, 1000 h	

* Bis zu dem angegebenen Wert erfolgte kein Abriss

Tabelle 2: Eigenschaften der ausgehärteten DENSOLID TLC-Beschichtung

DENSOLID TLC wird zweischichtig ohne eingelagerte Armierungen auf die Rohroberfläche aufgebracht. Dabei wird die zweite Schicht in einem dünnen Film über die Werksumhüllung ausgezogen, woraus ein fluchtbindiger, dem Erdboden wenig Widerstand entgegengesetzter Übergang erreicht wird. Neben der Anwendung bei normalen PE- und PP-umhüllten Stahlrohren kann TLC auch bei Faserzement-Mantelrohren eingesetzt werden und hier im Bereich der Schweißnaht sowohl den primären Korrosionsschutz bilden als auch den fehlenden Faserzement-Mantel ersetzen (**Bild 3**).

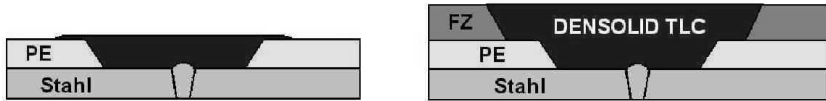


Bild 3: Schematischer Schweißnahtaufbau bei Verwendung von DENSOLID TLC bei PE-umhüllten Stahlrohren und bei PE-umhüllten Faserzementmantelrohren

Fehlstellenumhüllung bei grabenloser Verlegung und Grabenbauweise

Wann immer umhüllte Stahlrohre verlegt werden, kann es trotz der sehr guten mechanischen Widerstandsfähigkeit der Werksumhüllung durch unsachgemäße Behandlung während des Transports und Einbaus zu Umhüllungsschäden kommen. Beim grabenlosen Rohrvortrieb, insbesondere bei Rohrdurchpressungen, wurden solche beschädigten Rohre bislang oft nicht mehr verwendet, da für konventionelle Fehlstellenausbesserungssysteme beim Rohrvortrieb das Gleiche gilt wie bei der Schweißnahtumhüllung: Stufen im Übergang zwischen Werksumhüllung und Fehlstellenausbesserung bedeuten beim Grad der Haftung konventioneller Nachumhüllungssysteme ein erhöhtes Abscherisiko. Die Verwendung nur unbeschädigter Rohre zieht jedoch erhöhte Kosten und einen erhöhten logistischen Aufwand nach sich. Darüber hinaus war es zur Ergänzung des Schweißstellenumhüllungssystems DENSOLID TLC unerlässlich, ein kompatibles System zur Fehlstellenausbesserung bereitzustellen.

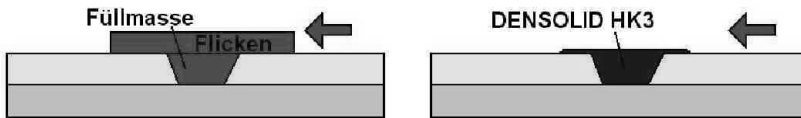


Bild 4: Schematischer Aufbau konventioneller Systeme zur Fehlstellenausbesserung und von DENSOLID HK3

Anhand dieser Anforderungen wurde mit DENSOLID HK3 eine zweikomponentige Polyurethan-Spachtelmasse entwickelt, die für die Fehlstellenausbesserung in Werksumhüllungen aus PE, PP, Epoxidharz und PU geeignet ist und sowohl bei grabenloser Rohrverlegung als auch bei Grabenbauweise systembedingte Vorteile bietet (**Bild 4**).

Für DENSOLID HK3 gelten grundsätzlich die gleichen anwendungstechnischen Eigenschaften und Vorteile wie bei DENSOLID TLC, mit der Ausnahme, daß eine Flammenhärtung bei DENSOLID HK3 aufgrund der extrem kurzen Topfzeit von ca. 3 Minuten bei 20 °C nicht notwendig ist. Hier zeigt sich erneut der Vorteil von Polyurethan-basierenden Spachtelmassen, die nahezu beliebig schnell vernetzend eingestellt werden können. Abhängig vom Katalysatorsystem sind entweder ein schneller Start der Vernetzungsreaktion oder eine schnelle Durchhärtung oder bei Kombination verschiedener Katalysatorsysteme beides gegeben. Damit kann, wie bei DENSOLID HK3, eine auf die Größe kleinerer Fehlstellen abgestimmte, möglichst geringe Topfzeit erreicht werden.

Neben schneller und einfacher Verarbeitbarkeit müssen Materialien zur Fehlstellenausbesserungen eine sehr gute Haftung zum Stahl wie zur Werksumhüllung besitzen. Die entsprechenden in DIN 30672 [3] geforderten Werte werden von DENSOLID HK3 erfüllt (**Tabelle**

Eigenschaft	Typischer Wert	Erläuterung/Prüfbedingungen	Norm
Haftfestigkeit auf Stahl	> 10 N/mm ²		DIN 53232
Haftfestigkeit auf PE	> 2 N/mm ²	auf angerauhtem PE	DIN 53232
	> 4 N/mm ²	auf vortemperiertem PE	DIN 53232
Zugscherfestigkeit	> 100 N/cm ²	auf Stahl	DIN 30672
	> 25 N/cm ²	auf vortemperiertem / angerauhtem PE	DIN 30672

Tabelle 3: Haftfestigkeit von DENSOLID HK3

3). Die optimale Haftung zum PE wird dabei durch vorheriges Anflämmen der angrenzenden Werksumhüllung erreicht. Bei diesem Vorgang, der durch das obligatorische Trocknen der Fehlstelle mit einer kleinen Propangasflamme automatisch erfolgt, wird offensichtlich die PE-Oberfläche partiell oxidiert. Die dabei gebildeten, teils peroxidischen OH-Gruppen können dann mit der Polyurethan-Härterkomponente chemisch abbinden, wodurch eine deutlich verbesserte Adhäsion erreicht wird.

Schweißnahtschutz bei Verlegung von Faserzementmantelrohren mittels HDD

Obwohl vom Grundsatz her ebenfalls ein grabenloses Verlegeverfahren, gelten für den Korrosionsschutz von Schweißnähten beim Horizontal Directional Drilling grundsätzlich andere Anforderungen als bei Rohrdurchpressungen. Während bei Pressungen der direkte Kontakt mit dem Boden eine hohe Härte und Abrasionsfestigkeit erfordert, sind beim HDD die von außen einwirkenden mechanischen Belastungen durch die permanente Umspülung des Rohres mit Bentonit-Lösung eher geringer. Dennoch wird beim HDD die Korrosionsschutzumhüllung aufgrund der teils recht großen Bohrlängen in Summe ähnlich belastet, was vor allem bei steinigem Böden den Einsatz eines zusätzlichen Schutzmantels in Form von Faserzement oder armiertem GfK erforderlich macht. Zusätzlich sollte der primäre Korrosionsschutz einer Schweißstellenumhüllung beim HDD aufgrund der teilweise starken Biegeradien eine deutliche Elastizität und damit Biegebarkeit besitzen.

Im Schweißnahtbereich von Faserzementmantelrohren wird mit einer Systemlösung aus bewährter Korrosionsschutztechnologie und DENSOLID TLC ein effektiver Korrosionsschutz erzielt. Den primären Korrosionsschutz bildet eine 4-lagige Wicklung aus DENSOLEN PE-Butylkautschuk-Dreischichtenbändern, die zu einer schlauchartigen Umhüllung verwachsen. Durch Verwendung von DENSOLID TLC als Schutzmantel in der Schichtstärke des Faserzement-Mantels erhält die Umhüllung die bei der HDD-Verlegung erforderliche mechanische Widerstandsfähigkeit (**Bild 5**).



Bild 5: Schematischer Aufbau einer Schweißnahtumhüllung für Faserzementmantelrohre bei HDD-Verlegung

Mechanischer Schutz des Schweißnahtbereichs bei doppelwandigen Kunststoffrohren

Nicht nur PE-umhüllte Stahlrohre, auch die im Gas- und Wasserbereich vermehrt eingesetzten PE-Rohre werden aufgrund wirtschaftlicher Notwendigkeiten vermehrt grabenlos, vor allem mit Hilfe von Pflügeverfahren, verlegt. Darüber hinaus bietet das Kunststoffrohr-Relining in bestehende Leitungen aus Gußrohr oder Stahl eine effiziente Möglichkeit zur Altrohrsanie- rung [5].

Noch stärker als bei PE-umhüllten Stahlrohren kommt es dabei darauf an, daß das PE-Rohr bei der Verlegung nicht beschädigt wird, da Einkerbungen spätere Spannungsrisse und min- destens eine aufwendige Sanierung zur Folge haben können. Eine hervorragende Möglichkeit zur Vermeidung solcher Schäden am bietet die Verwendung doppelwandiger Kunststoffrohre, z. B. SLM-Rohre der Firma *egeplast*. Hier schützt ein Mantel aus mechanisch widerstandsfä- higem Polymer das Produktrohr vor Beschädigung. Allerdings muß im Bereich der Stumpf- schweißnaht, in dem der Schutzmantel zurückgeschnitten ist, ein neuer mechanischer Schutz aufgebracht werden, damit Boden- oder Altleitungsfragmenten kein Angriffspunkt geboten wird.

Ein effektiver Schutz des Schweißnahtbereichs von doppelwandigen Kunststoffrohren kann mit der zweikomponentigen PU-Spachtelmasse DENSOLID HK7 erreicht werden. Die Spachtelmasse ist dickschichtig, wird in einem Arbeitsgang auf die gereinigte und aufge- rauhte Schweißnaht aufgebracht und härtet dort innerhalb von wenigen Stunden aus. Bei un- günstiger Witterung sollte die noch nicht durchgehärtete Masse mit Hilfe einer dünnen PE- Folie vor Niederschlägen geschützt werden. Eine weitere Schutzmaßnahme ist nicht notwen- dig. Hinsichtlich der Applikationstemperaturen muß lediglich die bei allen zweikomponenti- gen Polyurethanen geltende Forderung, daß keine Umgebungsfeuchte auf der Masse oder dem Untergrund kondensieren darf, beachtet werden. Der Schweißwulst sollte vor der Applikation von DENSOLID HK7 idealerweise vollständig entfernt werden (**Bild 6**).

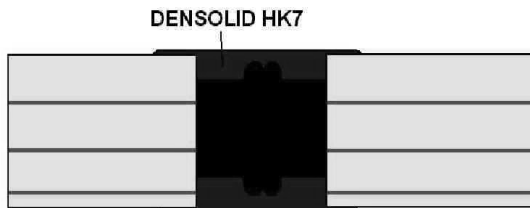


Bild 6: Mechanischer Schutz des Schweißnahtbereichs doppelwandiger Kunststoffrohre mit DENSOLID HK7

Eigenschaft	Typischer Wert	Erläuterung/Prüfbedingungen	Norm
Härte Shore D (23 °C)	67 ± 5	nach 24 h, 23 °C	ISO 858
Eindruckwiderstand- Restschichtdicke	> 80 %	nach 48 h, 50 °C	DIN 30672
Schlagbeständigkeit	10,5 J	23 °C	DIN 30671
Abriebfestigkeit	0,071 g	1kg Auflast, CS10, 1000 Umdrehungen	ASTM 4060
Haftfestigkeit auf PE	4 N/mm ²	auf angerauhtem PE	DIN 53232
Zugscherfestigkeit	> 100 N/cm ²	auf angerauhtem PE	DIN 30672

Tabelle 4: Eigenschaften der ausgehärteten DENSOLID HK7-Beschichtung

Aufgrund seiner Härte, Eindruck-, Abrasions- und Kerbfestigkeit (**Tabelle 4**) schützt DEN-SOLID HK7 beim Relining das Produktrohr effektiv vor Beschädigungen durch Bruchstücke der Altleitung. Bei mittels Pfügeverfahren verlegten Rohren stellt DENSOLID HK7 eine wirksame Barriere gegen steinige Böden dar.

Trotz der bereits beschriebenen Vielzahl an Variationsmöglichkeiten bei der Polyurethan-Rezeptierung ist es außerordentlich schwierig, wenn nicht nach heutigem Wissensstand unmöglich, die Eigenschaften extremer Härte und extremer Biegebarkeit in einer Formulierung zu vereinen. Daher sind bei einer mechanisch so widerstandsfähigen Verbindung wie DEN-SOLID HK7 die zulässigen Biegeradien naturgemäß beschränkt. Konkret sollte das dreißigfache des Rohraußendurchmessers nicht unterschritten werden. Diese Forderung ist bei den heute üblichen Relining- und Raketenpflügeverfahren in aller Regel erfüllt.

Literatur

- [1] E. ZIMMER in „Nachumhüllen von erdverlegten Gas- und Wasserrohrleitungen“, Vulkan-Verlag Essen 1996
- [2] G. W. BECKER, D. BRAUN: Kunststoff-Handbuch, Band 7, Polyurethane, Carl Hauser Verlag, 1983
- [3] DIN 30672, Teil 1 (1991): Umhüllungen aus Korrosionsschutzbinden und wärme-schrumpfenden Materialien
- [4] DIN 30671 (1992): Umhüllung (Außenbeschichtung) von erdverlegten Stahlrohren mit Duroplasten
- [5] H. LINGENHOFF, G. SCHRÖDER: Polyethylenrohre mit Schutzumhüllung für grabenlose Verlegetechniken, 3R 1998, Band 2/3, S. 109

Verfasser: Dr. rer. nat. Dipl.-Chem. Michael Quast
Produktmanager Korrosionsschutz
DENSO GmbH
Felderstraße 24
51371 Leverkusen
Telefon: (02 14) 26 02 – 3 08
Telefax: (02 14) 26 02 – 3 01
e-mail: info@denso.de