

Polyamid – ein neuer Werkstoff für die Umhüllung von Stahlrohren

Von Markus Hartmann und Hans-Jürgen Kocks

ZUSAMMENFASSUNG: Erdverlegte Rohrleitungen können bei ihrem Einsatz hohen Belastungen ausgesetzt sein. Dies gilt sowohl für die Verlegung, als auch für den Betrieb der Leitungen. Hier spielen nicht nur dynamische Beanspruchungen durch Verkehrslasten oder witterungsbedingte Setzungen im Grabenbereich eine Rolle. Derartige Belastungen führen zwangsläufig zu Punktlagerungen oder Punktlasten, die für Korrosionsschutzumhüllungen eine lokale Gefährdung darstellen. Standardumhüllungen auf Polyethylenbasis sind daher in steinfreiem Material zu betten. Für nicht konventionelle Verlegeverfahren werden aktuell neben verstärkten Polypropylenumhüllungen auch Kombinationen aus Polyethylen und Faserzementmörtel oder alternativ eine zusätzliche GfK-Ummantelung eingesetzt. In diesem Beitrag wird speziell für diesen Einsatzzweck mit dem Polyamid ein neues Basismaterial für die Umhüllung von Stahlrohren vorgestellt und über erste Anwendungserfahrungen berichtet.

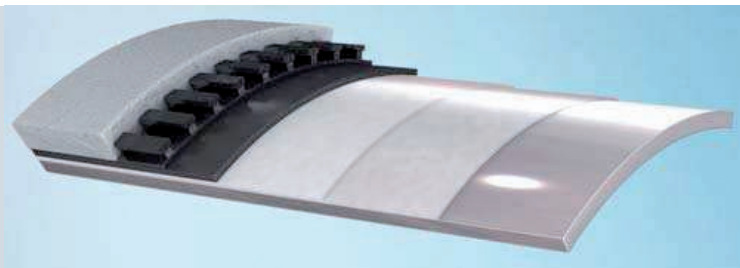


BILD 1: Rohrausführungen für nicht konventionelle Verlegeverfahren
Zementmörtelummantelung Ausführung S nach DVGW-Arbeitsblatt
GW 340 (oben), zusätzliche GfK-Ummantelung polyethylenumhüllter
Stahlrohre (unten)

EINLEITUNG

Polyethylen als Umhüllungsmaterial hat sich in den letzten Jahrzehnten im Pipelinebau neben den FBE-Beschichtungen weltweit behauptet. Die erforderlichen Maßnahmen zum Schutz dieser Umhüllung vor mechanischen Beschädigungen haben Eingang gefunden in den verschiedensten nationalen und internationalen Regelwerken. Dazu zählt vor allem die Forderung einer Bettung der Rohre in steinfreies Material. In der Literatur ist u.a. auch zum Schutz der Umhüllungen die Verwendung von so genannten Bodenmörteln vielfach beschrieben [1], [2].

Für nicht konventionelle Verlegeverfahren, die – wie im Falle grabenloser Bauweisen oder einer sandbettfreien Verlegung – einen zusätzlichen mechanischen Schutz für die Polyethylenumhüllung erfordern, wurden entsprechende Sonderlösungen entwickelt [3], [4]. Dazu zählen die verschiedenen FZM-Ummantelungen nach DVGW-Arbeitsblatt GW 340 [5] wie auch die Profilierung der Polyethylenumhüllung oder die zusätzliche GfK-Ummantelung (**Bild 1**).

Jede dieser Sonderlösungen hat für die Praxis Vor- und Nachteile, die je nach Anwendungserfahrung zwangsläufig die Entscheidungen für oder gegen eine der Ausführungen beeinflussen. In diesem Spektrum möglicher Sonderlösungen ist zukünftig als weitere Alternative auch die Umhüllung aus Polyamid zu berücksichtigen. Hier sind zwei Ausführungen denkbar (**Bild 2**):

- » ein zweischichtiges System bestehend aus einer Grundierung, und der extrudierten Polyamidumhüllung (a)
- » ein vierschichtiges System basierend aus der Dreischicht-PE-Umhüllung bestehend aus Epoxidharz,

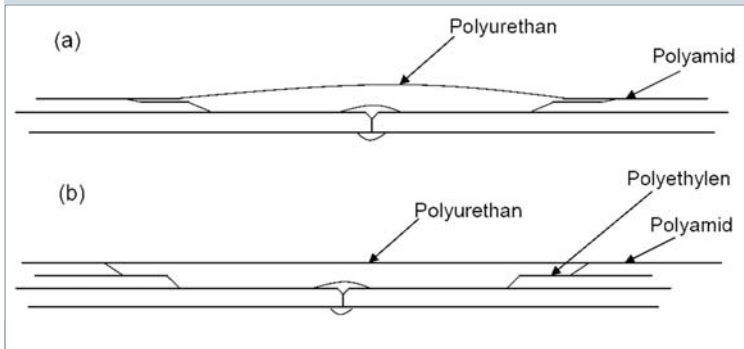


BILD 2: Ausführungen der Polyamidumhüllung

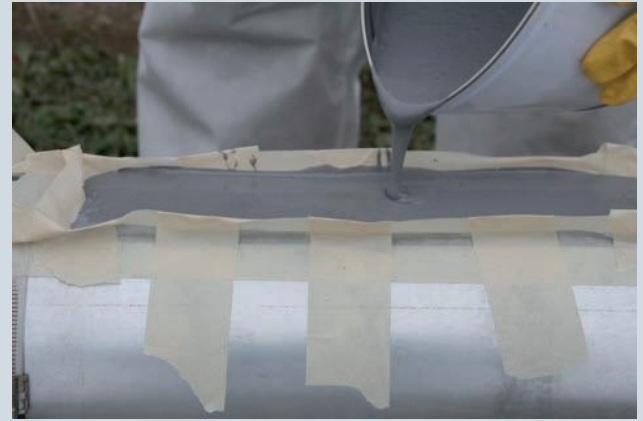


BILD 3: Die Nachumhüllung aus Polyurethan (Vergussystem)

Kleber und Polyethylen sowie der extrudierten Polyamidschicht (b)

Als Nachumhüllung für den Baustellenbereich ist eine Polyurethanbeschichtung vorgesehen, ein System, das seit langem für derartige Anwendungen bekannt ist [6], [7]. Die Applikation des Materials erfolgt beispielsweise durch das Vergießen oder Spritzen auf die zuvor gereinigte und aufgeraute Stahloberfläche (Bild 3).

Als Korrosionsschutz sind die Anforderungen an derartigen Polyurethanbeschichtungen beispielsweise in der DIN EN 10290 beschrieben [8]. Der Vorteil liegt dabei in der Tatsache, dass etwa gleiche mechanische Eigenschaften von Polyamidumhüllung und Nachumhüllung sichergestellt sind.

POLYAMID 12 – EIN POLYKONDENSAT

Die Verkettung einzelner Bausteine zum Polymeren unterscheidet sich beim Polyamid von der Polymerisation des Ethylens oder Propylens zu den üblicherweise eingesetzten Umhüllungsmaterialien aus Polyethylen

oder Polypropylen. Beim Polyethylen erfolgt diese Verkettung vereinfacht dargestellt durch das Umklappen von Bindungen, wie dies in Bild 4 für Polyethylen dargestellt ist.

Beim Polyamid reagiert eine organische Säure mit einem Amin unter Abspaltung von Wasser (Bild 5). Die funktionellen Bausteine sind dabei jeweils eine sogenannte Säuregruppe $-\text{COOH}$ und eine Amingruppe $-\text{NH}_2$. Hat jeder der Reaktionspartner je zwei solcher funktionellen Bausteine, bilden sich durch die Abspaltung von Wasser lange Ketten mit Carbonamidgruppen als Bindeglieder. Das hergestellte Polyamid entsteht durch eine sogenannte Polykondensation.

Beim Polyamid 12 wird das Laurinlactam als Baustein gewählt (Bild 6).

Durch die bei der Polymerisation entstehenden Carbonamidgruppen $(-\text{CO}-\text{NH}-)$ in Polyamiden bilden sich Wasserstoffbrücken zwischen den einzelnen Ketten der Makromoleküle (Bild 7). Die Wasserstoffbrücken tragen zur Kristallinität bei, erhöhen die Festigkeit, den Schmelzpunkt und die Chemikalienbeständigkeit.

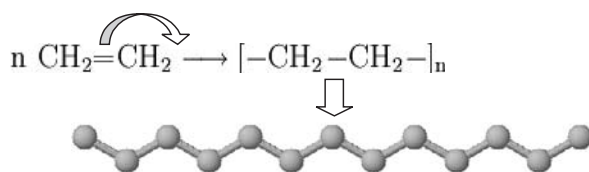


BILD 4: Polymerisation von Polyethylen

BILD 6:
Laurinlactam,
Monomer
(Ausgangs-
produkt)
des
Polyamid 12

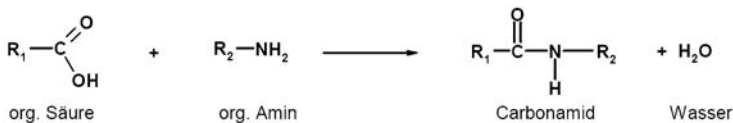
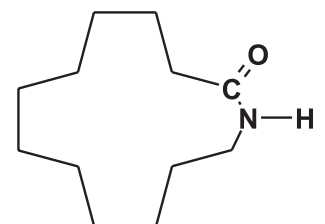


BILD 5: Reaktionsschema zur Herstellung von Carbonamidgruppen unter Wasserabspaltung

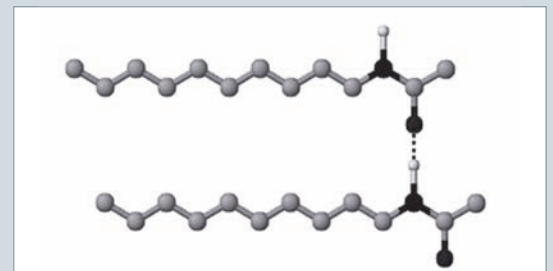


BILD 7: Wasserstoffbrücken-Bindung zwischen zwei Polyamidketten



BILD 8: Polyamidbeschichtete Rohre in einer Schieberstation für Trinkwasser

Die Konzentration dieser Carbonamidgruppen aller im Handel erhältlichen Polyamide ist bei PA 12 am niedrigsten. Dies hat folgende Vorteile für den Werkstoff:

- » Niedrigste Wasseraufnahme
- » Außergewöhnliche Schlagzähigkeit und Kerbschlagzähigkeit, selbst weit unter dem Gefrierpunkt
- » Gute bis sehr gute Beständigkeit gegen Fette, Öle, Kraftstoffe, Hydraulikflüssigkeiten, viele Lösemittel sowie Salzlösungen und andere Chemikalien
- » Ausgezeichnete Spannungsrissbeständigkeit
- » Ausgezeichnete Abriebbeständigkeit
- » Niedriger Gleitreibungskoeffizient
- » Leichte Verarbeitbarkeit

Aufgrund dieser Eigenschaften reicht der Anwendungsbereich von Polyamid 12 von anspruchsvollen Leitungssystemen wie Kraftstoffleitungen über Aderisolierungen in der Kabelindustrie und Kathetern in der Medizintechnik bis hin zu Präzisionspumpenteilen wie Pumpenrädern und Schaltventilgehäusen im Maschinen- und Apparatebau. Das in der DIN EN 10310 (Stahlrohre und -formstücke für erd- und wasserverlegte Rohrleitungen – Auskleidungen und Beschichtungen aus Polyamidpulver) beschriebene Polyamid ist als Beschichtungsmaterial für Rohrleitungen seit langem in der Anwendung [9]. Hierbei handelt es sich um ein pulverförmiges Material, das im Sinterverfahren auf die zuvor erwärmten Rohre aufgebracht wird. Diese Beschichtungen finden beispielsweise bei Freileitungen ihre Anwendung. In vielen Schieberstationen finden sich dazu entsprechende Beispiele (**Bild 8**). Solche Beschichtungen werden alternativ zum FBE, einer Pulver-Epoxidharzbeschichtung (FBE = Fusion bonded Epoxy), eingesetzt.

POLYAMID 12 – VERARBEITUNG DURCH EXTRUSION

Konzeptionell ist für die Herstellung einer Polyamidumhüllung ein zweischichtiger Aufbau vorgesehen. Als Grundierung wird beispielsweise eine Polyamidpulverbeschichtung eingesetzt, die den Anforderungen der DIN EN 10310 entspricht. Die extrudierte Polyamidumhüllung übernimmt die Funktion eines mechanischen Schutzes. Das Polyamid 12 kann auf konventionellen Extrudern – wie sie aus dem Bereich der Polyolefine bekannt sind – verarbeitet werden. Die Verarbeitungstemperatur liegt im Vergleich zu den Polyolefinen tendenziell höher, was aufgrund der höheren Schmelzetemperatur des Polyamids auch zu erwarten ist. In **Bild 9** sind die nach DIN EN ISO 868 [10] ermittelten Werte für die Shore D Härte einander gegenübergestellt.

Bei der Betrachtung der – in Zugversuchen nach ISO 527-3 [11] – ermittelten Streckspannungen (**Bild 10**) wird deutlich, dass Polyamid 12 über den gesamten Temperaturbereich (–40 ... +23 °C) signifikant höhere Werte liefert, als die zur Umhüllungen üblicherweise eingesetzten Polyolefine (PE und PP). Im Vergleich zum Polyethylen (HDPE) liegt die Streckspannung etwa doppelt so hoch, während das Polypropylen dabei tendenziell zwischen diesen beiden Materialien anzusiedeln ist. Da das Polypropylen im Anwendungsbereich auf 0 °C begrenzt ist [12], wurde hier auf Prüfungen bei niedrigeren Temperaturen verzichtet.

Die Streckdehnung (**Bild 11**) zeigt mit fallender Temperatur eine abnehmende Tendenz, wobei auch hier insbesondere bei niedrigen Temperaturen das Polyamid die größere Flexibilität behält. Der Abfall der Streckdehnung ist beim Polypropylen erwartungsgemäß besonders ausgeprägt.

Die Ergebnisse bestätigen, dass Polyamid 12 aufgrund seiner vergleichsweise günstigeren mechanischen Eigenschaften – insbesondere auch bei niedrigeren Temperaturen – eine herausragende Alternative zur Polypropylenumhüllung darstellt. Polypropylen kommt vielerorts da zum Einsatz, wo die weichen HDPE-Umhüllungen nicht mehr in Frage kommen. Dies gilt insbesondere für nicht konventionelle Verlegeweisen, wie beispielsweise den Rohreinzugsverfahren. Die Vorteile des Polyamids bei niedrigeren Temperaturen zeigen sich beispielsweise durch eine Schlagprüfung in Anlehnung an DIN 30678 bzw. DIN 30670 [12], [13].

Zur Prüfung fällt dabei ein Gewicht auf die umhüllte Rohroberfläche. Das Gewicht ist am Ende zu einer Halbkugel mit einem Durchmesser von 25 mm geformt. Die Prüfung erfolgt abweichend zu den genannten Normen mit zunehmender Fallhöhe, bis sich erste Durchschläge bei der anschließenden Hochspannungsprüfung (25 kV) zeigen. In **Bild 12** sind in Abhängigkeit von der Temperatur die erzielten Schlagbeständigkeiten aufgetragen. Während die Schlagbeständigkeit beim Polypropylen unter 0 °C rapide abfällt, steigt diese beim Polyamid weiter an.

Auch im Falle der nach DIN ISO 179-1 [14] gemessenen Kerbschlagzähigkeit zeigt das Polyamid 12 im Vergleich zum Polypropylen mit fallender Temperatur deutlich günstigere Eigenschaften. Aufgrund dieser vielversprechenden, positiven Vergleichsdaten wurden mit der extrudierten Polyamidumhüllung inzwischen erste Testverlegungen durchgeführt.

ERSTE PRAXISERFAHRUNGEN MIT DER POLYAMIDUMHÜLLUNG

Vorversuche

Die Eignung der Polyamidumhüllung für die grabenlose Verlegung wurde in Vorversuchen bewertet. Dazu wurden Teststränge mit Polyamid- und Polypropylenumhüllungen vorbereitet.

Zur Nachumhüllung wurden die Rohrverbindungen mit Polyurethanharz beschichtet. Die Teststränge wurden bei zwei

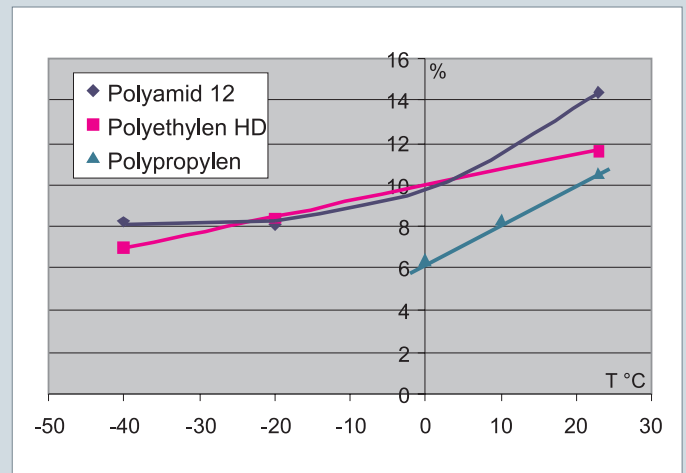


BILD 11: Zugversuch nach ISO 527-3 [11] Streckdehnung

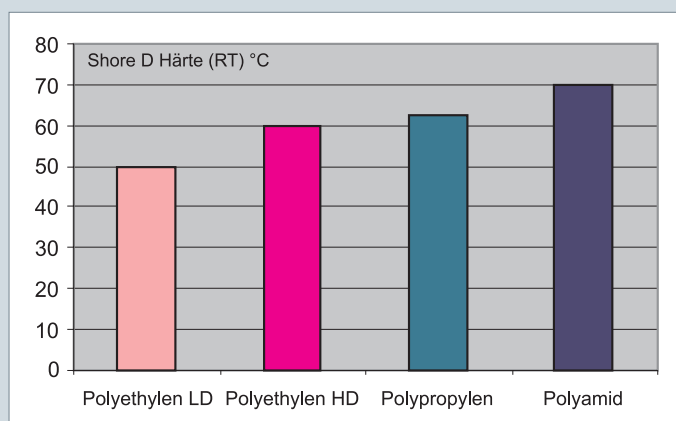


BILD 9: Shore D Härte nach DIN EN ISO 868 [10]

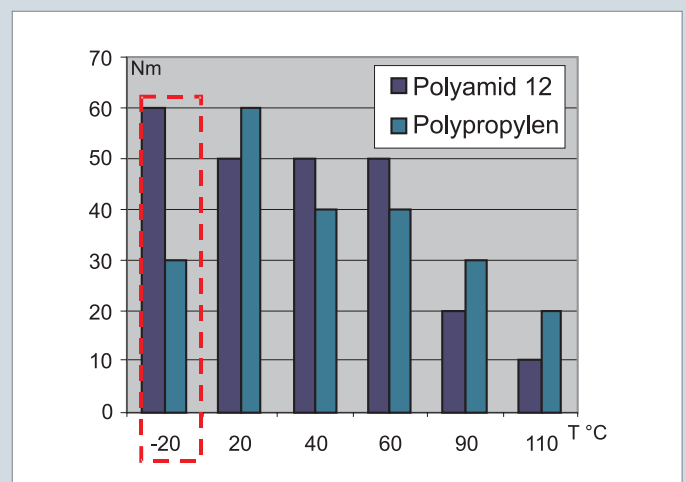


BILD 12: Schlagbeständigkeit in Anlehnung an DIN 30670/30678

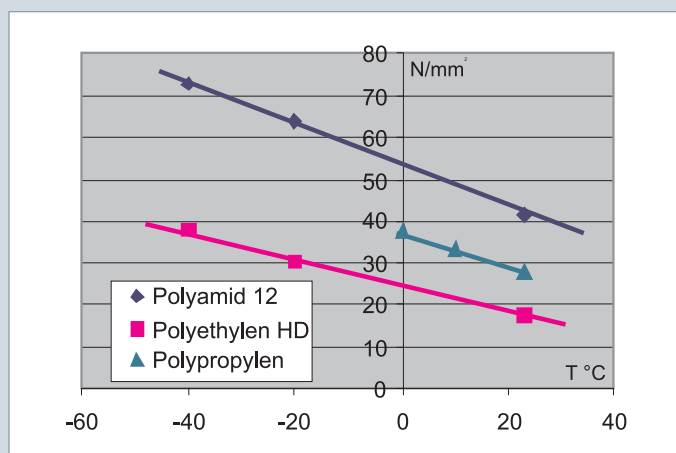


BILD 10: Zugversuch nach ISO 527-3 [11] Streckspannung

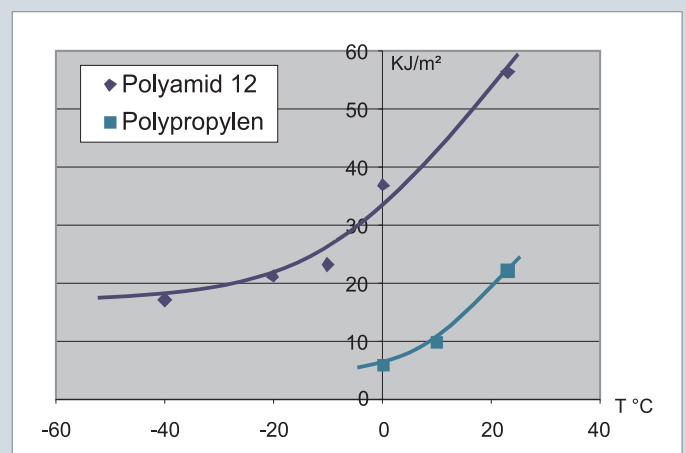


BILD 13: Kerbschlagzähigkeit nach DIN EN ISO 179-1/1eA [14]

Spülbohrprojekten dem eigentlich einzuziehenden Produktstrang in Zugrichtung vorgeschweißt und komplett durchgezogen. Die Vorversuche konnten bei einem Projekt der Eon Avacon über eine Zugstrecke von 100 m in Gardelegen nördlich von Magdeburg und in einem weiteren Projekt bei Gronau über eine Zugstrecke von 280 m in diesem Fall über die Firma Gerhard Rode aus Münster realisiert werden. In beiden Fällen handelte es sich um Leitungen der Dimension DN 200. Die Teststränge wurden jeweils nach dem Durchzug demontiert, mit Hilfe einer Hochspannungsprüfung kontrolliert und visuell beurteilt. **Bild 14** zeigt das Ergebnis des Rohreinzugs in Gronau. Schon bei diesen Vorversuchen wurde beobachtet, dass die Polyamidumhüllung aufgrund der größeren Härte erwartungsgemäß kaum Riefen erkennen lässt, während der Rohreinzug im Falle der Polypropylenumhüllung deutliche Spuren hinterlässt.

Das Pilotprojekt

Für den Bau einer Gashochdruckleitung der Dimension DN 200 im Zuständigkeitsbereich der Eon Avacon wurden im Trassenverlauf Abschnitte geplant, die mit dem Spülbohrverfahren auszuführen waren. Eine dieser Bohrungen bei Algermissen im Landkreis Hildesheim bot sich als Pilotprojekt für die Polyamidumhüllung geradezu an.



Polypropylen

Nachumhüllung Polyurethan

Polyamid

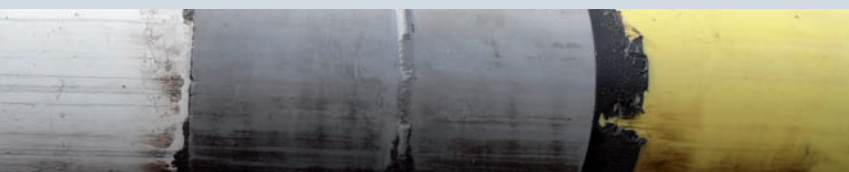


BILD 14: Vorversuche an präparierten Teststrängen im HDD-Verfahren

Ausführendes Unternehmen war die Rohr- und Tiefbau Hoya GmbH. Mit dem Spülbohrverfahren wurde hier ein Kanal auf einer Länge von 260 m unterquert. Der etwa 300 m lange Rohrstrang wurde dazu komplett vormontiert. Nach der Prüfung der Rundnähte folgte die Nachumhüllung mit einem Polyurethanmaterial, das im Spritzverfahren verarbeitet wurde. Der Verbindungsbereich wurde dazu zuerst gestrahlt und anschließend mit dem schnell härtenden Material beschichtet (**Bild 15**).

Für die Sondierung der ersten Bohrung war ein Spezialunternehmen zuständig. Dieses Unternehmen ist darauf spezialisiert den Bohrverlauf von der Startgrube aus aufzunehmen. Üblicherweise geschieht dies durch das Begehen der Trasse bei gleichzeitiger Ortung des Bohrkopfes. Eine solche Vorgehensweise ist jedoch im Falle eines



BILD 15: Nachumhüllung der Schweißnähte mit einer Polyurethanbeschichtung



BILD 16: Pilotverlegung eines Polyamidumhüllten Rohres mit dem Spülbohrverfahren

zu kreuzenden Wasserweges nicht möglich. Vor dem Einzug des Rohrstranges wurde der Bohrkanal auf einen Durchmesser von 330 mm aufgeweitet. Die Bohrsuspension bestand auf Wunsch der Genehmigungsbehörden aus einer Mischung von Bentonit und einem langsam härtenden Zementmörtel.

Der eingezogene Rohrstrang wurde abschließend mit Hilfe einer Polarisationsstrommessung bewertet. Die Anforderungen des zugrunde gelegten Regelwerkes für die Beurteilung der Messung und damit der Rohrumhüllung wurden erfüllt. Dies bestätigt auch die visuelle Beurteilung des eingezogenen Rohrendes. Hier waren nach der Reinigung von Gerätschaft und Rohrende kaum Spuren des Rohreinziuges erkennbar (**Bild 16**).

AUSBLICK UND FAZIT

Im Rahmen dieses Beitrages wurde das Polyamid als Umhüllungsalternative für nicht konventionelle Verlegeweisen vorgestellt. In einem Pilotprojekt sowie in den entsprechenden Vorversuchen konnte die Eignung des Polyamids für grabenlose Bauweisen nachgewiesen werden. Ein wesentlicher Vorteil für die Umsetzung derartiger Produktinnovationen liegt in der Überwachbarkeit solcher Bauvorhaben durch die Messmethoden des kathodischen Korrosionsschutzes, die das Risiko für den Anwender minimieren.

Die Kombination aus Polyamid und Stahl ist nicht nur als mögliches Substitut bereits bestehender Rohrausführungen zu betrachten. Die Werkstoffkombination wird sowohl in der Onshore, wie Offshore-Verlegetechnik Verfahrenswesen zulassen, die vorhandene, derzeit noch nicht genutzte Werkstoffreserven ausschöpfen und damit eine, sowohl aus ökologischer, wie ökonomischer Sicht nachhaltigere Nutzung der eingesetzten Ressourcen ermöglichen. Ein Beispiel für derartige Anwendungen in der Offshoretechnik ist das Reeling [15]. Die Rohre werden dabei Onshore zu einem kilometerlangen Strang verschweißt, auf Rollen gewickelt und später auf hoher See wieder als Strang verlegt (**Bild 17**). Die Stahlrohre werden bei dieser Verlegetechnik bis in den plastischen Bereich hinein verformt, eine Beanspruchung, denen letztlich auch der Korrosionsschutz gewachsen sein muss.

Ein anderes Beispiel ist die Pflugtechnologie, die derzeit in Kanada zur Verlegung von Stahlrohren getestet wird [16]. Der Verlegepflug wird gegen den vorbereiteten Stahlstrang gezogen (**Bild 18**). Dabei schiebt sich der Rohrstrang in einem leichten Oberbogen – auf Rollen geführt – durch das Pflugschwert und wird in der gewünschten Verlegtiefe abgelegt. Das Pflugschwert hat nicht nur die Funktion den Boden lokal zu schlitzen, sondern bereitet gleichzeitig durch das Eigengewicht und anstellbare Zähne, die eine zusätzliche Vertikalkraft auf das Pflugschwert ausüben können, ein Planum als Auflage für die Rohrleitung. Der Pflug wird von Winden gezogen, die auf



BILD 17: Offshore-Verlegung einer „gereelten“ Leitung



BILD 18: Pflügen einer Rohrleitung

geländegängigen Fahrzeugen montiert sind. Derzeit wird der Rohrstrang konzeptionell nur im Rahmen seiner zulässigen elastischen Biegung beansprucht. Auch hier ist speziell bei den größeren Rohrdimensionen, wie schon beim Reeling, eine kontrollierte plastische Verformung des umhüllten Rohrstranges über eine entsprechende Rollenkonstruktion denkbar. Bei der Verlegung ist das Rohr keiner Zugbelastung ausgesetzt. Es können daher beliebig lange Rohrstränge in einem Arbeitsgang mit dieser Technologie verlegt werden. Da jedoch der anstehende Boden in der Leitungszone verbleibt, werden FBE-Beschichtun-

gen oder andere Umhüllungen, die üblicherweise eine Bet-
tug in steinfreiem Material erfordern, eher kritisch be-
wertet.

Alternativ ist hier auch das Raketenpflugverfahren zu
nennen, bei dem ein vormontierter Leitungsstrang mit
Hilfe eines Verlegepfluges in das Erdreich eingezogen wird.
Ein solches Vorhaben ist aktuell in Süddeutschland ge-
plant. Die Verlegemaßnahme wird in Kürze vorgestellt.

Mit der Polyamidumhüllung steht ein flexibles und me-
chanisch belastbares Umhüllungssystem zur Verfügung,

dass konzeptionell die Vorteile der Polyethylenumhüllung
und einer Zementmörtelummantelung verbindet.

Danksagung

Wir danken allen beteiligten Unternehmen für ihre Unter-
stützung bei diesen Testverlegungen

Fa. E.ON Avacon AG, Salzgitter

Fa. Gerhard Rode Rohrleitungsbau GmbH & Co. KG, Münster

Fa. RTH Rohr- und Tiefbau Hoya GmbH, Hoya

LITERATUR

- [1] G. Kiesselbach, W. Weilguny; „Erfahrungen mit
selbstverdichtenden Verfüllmaterialien“; 2004 –
Rohrleitungen im Jahr der Technik; Vulkan Verlag
Essen, 2004, Schriftenreihe aus dem Institut für
Rohrleitungsbau an der Fachhochschule Oldenburg,
Bd. 28 S. 468–500 (ISBN 3-8027-5391-7)
- [2] W. Berger, J. Krausewald, L. van Heyden; „Boden-Mör-
tel – Anwendungsfragen und Wirtschaftlichkeit für
den Tiefbau der Gasverteilung“; gwf Gas . Erdgas 140
(1999), H. 8, S. 513–518.
- [3] H.-J. Kocks; „Das Stahlrohr für grabenlose Bauweisen“
Tagungsband zum 3. Deutschen Symposium für
grabenlosen Leitungsbau Vulkan Verlag Essen, 2008 S.
244 –262 (ISBN 978-3-8027-2754-2) 3R internatio-
nal 47 (2008) H. 12 S. 695–702
- [4] H.-J. Kocks, T. Schmidt; „Zementmörtelummantelung
von Stahlrohren – ein System für den dynamischen
Rohrvortrieb?“ Tagungsband zum 4. Deutschen
Symposium für grabenlosen Leitungsbau, Siegen,
09./10.09.2009, Vulkan Verlag Essen, 2009, S.
143–148 (ISBN 978-3-8027-2757-3) bbr 60 (2009)
H. 10. S. 28–31
- [5] DVGW-Arbeitsblatt GW 340 FZM-Ummantelung zum
mechanischen Schutz von Stahlrohren und -formstü-
cken mit Pololefinumhüllung Anforderungen und
Prüfung, Nachumhüllung und Reparatur, April 1999
- [6] T. Rehberg, M. Schad; „Hochleitungsbeschichtung für
den Rohrleitungsbau im Spülbohrverfahren“; 3R
international 47 (2008) H. 6, S
- [7] I. Thompson; „Verfahren zur Nachumhüllung des Schweiß-
nahtbereichs von Pipelines“ Nonstop (GL), 2008 H. 3
S. 49–56
- [8] DIN EN 10290 Stahlrohre und -formstücke für On- und
Offshore-verlegte Rohrleitungen – Umhüllung (Außenbe-
schichtung) mit Polyurethan und polyurethan-modifizier-
ten Materialien; August 2004
- [9] DIN EN 10310 Stahlrohre und -formstücke für erd- und
wasserverlegte Rohrleitungen – Auskleidungen und
Beschichtungen aus Polyamid-Pulver Juli 2004
- [10] DIN EN ISO 868 Kunststoffe und Hartgummi – Bestim-
mung der Eindruckhärte mit einem Durometer (Shore-
Härte) Oktober 2003
- [11] DIN EN ISO 527-3 Kunststoffe – Bestimmung der
Zugeigenschaften; Prüfbedingungen für Folien und Tafeln,
Juli 2003
- [12] DIN 30678 Umhüllung von Stahlrohren mit Polypropylen;
Oktober 1992
- [13] DIN 30670 Umhüllung von Stahlrohren und -formstücken
mit Polyethylen; April 1991
- [14] DIN EN ISO 179-1 Kunststoffe – Bestimmung der
Charpy-Schlageigenschaften; Nicht instrumentierte
Schlagzähigkeitsprüfung; November 2010
- [15] M. Bick, H. Löbke; „Offshoreverlegung von HFI-ge-
schweißten Rohren in der Abmessung 355,6 x 19,05 mm
durch Reeling in Trinidad und Tobago“; Rohrleitungen – Er-
fordern Ingenieurkompetenz. 21. Oldenburger Rohrlei-
tungsforum, 08./09.02.2007, S. 161/6
- [16] W. Föckersperger, H.-J. Kocks; „Ein Pflug übt für Kanadas
Weiten“; 3R international 46 (2007) H. 11 S. 752 – 753

AUTOREN



DIPL. ING. MARKUS HARTMANN
EVONIK Degussa GmbH, Marl
Tel.: 02365 / 49-2294
E-Mail: markus.hartmann@evonik.com



DR. HANS-JÜRGEN KOCKS
Salzgitter Mannesmann
Line Pipe GmbH, Siegen
Tel.: 0271 / 691-170
E-Mail: hans-juergen.kocks@smpl.eu