

Entwicklung des passiven Korrosionsschutzes von Stahlrohrleitungen

Rohrnetz, passiver Korrosionsschutz, thermoplastische Umhüllung, duroplastische Umhüllung, Hochleistungskunststoffe

Michael Brecht und Hans-Jürgen Kocks

Ein effektiver und wirtschaftlicher Korrosionsschutz erdverlegter Rohrleitungen beinhaltet auch nach Einführung des kathodischen Korrosionsschutzes Anfang der 60er Jahre immer auch einen wirksamen passiven Korrosionsschutz in Form einer elektrisch isolierenden und diffusionsdichten Umhüllung. Der technischen Entwicklung der hierfür in Frage kommenden Werkstoffe folgend hat deshalb bis heute stets eine kontinuierliche Weiterentwicklung des passiven Korrosionsschutzes stattgefunden. In diesem Beitrag wird über die technische Entwicklung der werksseitig und der bauseitig aufgetragenen Umhüllungen berichtet. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf der Entwicklung der letzten 25 Jahre.

Development of Corrosion Protection Coatings for Steel Pipelines

Even after implementation of cathodic protection in the early 1960s, an effective and economic corrosion protection for steel pipelines has always included protection by an electrically insulating and impermeable coating. Following the technical progress of suitable coating materials the coating performance has steadily improved. With a focus on the last 25 years, this article describes the technical development of both factory and field applied coatings.

1. Einleitung

Der Korrosionsschutz von Stahlrohrleitungen beinhaltet seit seinen Anfängen den passiven Korrosionsschutz, also den Schutz der Stahloberfläche vor korrosivem Abtrag durch Umhüllung oder Ummantelung. Eine Funktion des passiven Schutzes ist es dabei, den Zutritt des korrosiven Mediums zur Stahloberfläche und damit den kathodischen Ast der Korrosionsreaktion zu verhindern. Darüber hinaus muss eine Korrosionsschutzumhüllung elektrisch isolierende Eigenschaften aufweisen, um z.B. die Bildung von Korrosionselementen zu verhindern (siehe z. B. [1]).

Diese Funktionen wurden und werden erfüllt durch Einsatz wasserabweisender und nahezu diffusionsdichter Werkstoffe. Bis Anfang der 60er Jahre wurden hierfür fast ausschließlich Destillationsprodukte fossiler Rohstoffe (Teer, Vaseline oder Bitumen) eingesetzt. Mit der Entwicklung geeigneter technischer Kunststoffe, allen voran das Polyethylen, hielt deren Verwendung ab ca. 1960 auch im Bereich des Korrosionsschutzes von Stahlrohren Einzug.

Neben der Verbesserung der Werkstoffe waren in den letzten Jahren und Jahrzehnten auch die durch grabenlose Verlegeverfahren erhöhten Anforderungen an die Umhüllungen sowie die in Teilanwendungen immer weiter erhöhten Dauerbetriebstemperaturen eine Triebkraft der Entwicklung.

Anfangs wurde der passive Korrosionsschutz ausschließlich eingesetzt. Seit den späten 50er bis frühen 60er Jahren wird er durch den kathodischen Korrosionsschutz ergänzt [2]. Mit der Einführung dieser zusätzlichen Schutzmaßnahme, die auf den ersten Blick das Entstehen bzw. Vorhandensein von Umhüllungsstellen hinnehmbar erscheinen lässt, nahmen die Anforderungen an den passiven Korrosionsschutz jedoch keineswegs ab. Vielmehr waren insbesondere ab ca. 1960 eine stetige Verbesserung der mechanischen Widerstandsfähigkeit der Umhüllungswerkstoffe und damit eine Verringerung der Umhüllungsbeschädigungen während Verlegung und Betrieb zu beobachten. Diese Vermeidung von Fehlstellen in der Rohrumhüllung trotz deren Schützbarkeit ist wesentlich der Notwendigkeit zur Vermeidung der unzulässigen Beeinflussung von Fremdinstallationen sowie der angestrebten Minimierung des Schutzstrombedarfs geschuldet. Darüber hinaus hatte die Einführung des kathodischen Korrosionsschutzes auch neue Anforderungen an den passiven Korrosionsschutz zur Folge [3]. Die Notwendigkeit einer hierunter fallenden möglichst geringen kathodischen Enthaltung der Umhüllung im Bereich von Umhüllungsstellen ist allerdings umstritten [4].

Die wesentlichen Entwicklungsschritte sowie die spezifischen Eigenschaften der einzelnen Umhüllungs-

arten, differenziert nach Werks- und Nachumhüllungen, werden im Folgenden näher beschrieben.

2. Werksumhüllungen

Im Bereich der Werksumhüllung von Stahlrohren und Formteilen wird bezüglich der verwendeten Materialien üblicherweise zwischen thermoplastischen und duroplastischen Umhüllungen unterschieden. Die beiden Materialgruppen besitzen grundsätzlich unterschiedliche Verarbeitungseigenschaften, welche Sie jeweils für bestimmte Anwendungen prädestinieren. So werden die im geschmolzenen Zustand weichplastischen Eigenschaften thermoplastischer Materialien seit jeher genutzt, um rotationssymmetrische Bauteile (wie z.B. Rohre) zu beschichten. Das Umhüllungsmaterial wird dabei entweder als geschmolzenes Band (Bitumen) oder als extrudierte bandförmige Schmelze (PE/PP) um das rotierende Rohr gewickelt bzw. als extrudierte schlauchförmige Schmelze auf das Rohr aufgebracht (PE/PP) (**Bilder 1 bis 3**).

Komplexer geformte Bauteile können nicht in der beschriebenen Art beschichtet werden. Auf Rohrbögen und Formteilen kann PE aber als Pulverbeschichtung auf das zuvor auf ca. 300°C erwärmte Bauteil aufgeschmolzen werden (Sinterverfahren).

Duroplastische Beschichtungen (Polyurethane oder Epoxidharze) werden in der Regel als Zweikomponenten-Spritzbeschichtung auf das zu schützende Bauteil aufgebracht. Im Verarbeitungszustand sind die Materialien flüssig und können deshalb besonders einfach für die Beschichtung komplex geformter Bauteile (Rohrbögen, Formteile und Armaturen) verwendet werden (**Bild 4**). Entsprechende Materialien werden seit den frühen 70er Jahren im Rohrleitungsbau eingesetzt und seitdem stetig weiterentwickelt. Als Alternative zum Flüssig-Epoxidharz werden seit Mitte der 70er Jahre Epoxidharz-Pulverbeschichtungen verwendet.

Eine Übersicht über die Einsatzzeiträume der wesentlichen für Werksumhüllungen eingesetzten Materialien liefert **Bild 5** (siehe hierzu auch [5] und [6]). Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Einsatzzeiträume und Materialien in unterschiedlichen Regionen und Märkten deutliche Variationen aufweisen können. Die grobe Abfolge der Entwicklungen wird in dem Diagramm aber zutreffend wiedergegeben. Nachfolgend erfolgt eine detaillierte Betrachtung der Entwicklung der einzelnen Umhüllungsarten, wobei auch auf regionale Unterschiede bezüglich der überwiegend eingesetzten Materialien eingegangen wird.

2.1 Bitumen

Teerpech aus Steinkohleteer war der erste großtechnisch verwendete, auf fossilen Rohstoffen basierende Rohrumhüllungs-Werkstoff. Wegen der mit der Verarbeitung verbundenen Geruchsbelästigung wurde Teer als Umhüllungswerkstoff etwa ab 1930 allmählich von



Bild 1. Rohrbeschichtung mit geschmolzenem Teer (um 1935).

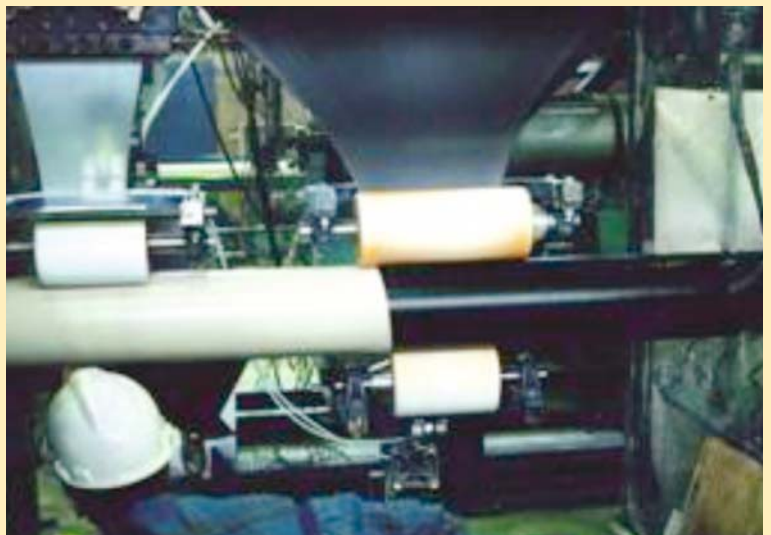


Bild 2. Wickelextrusion von PE.

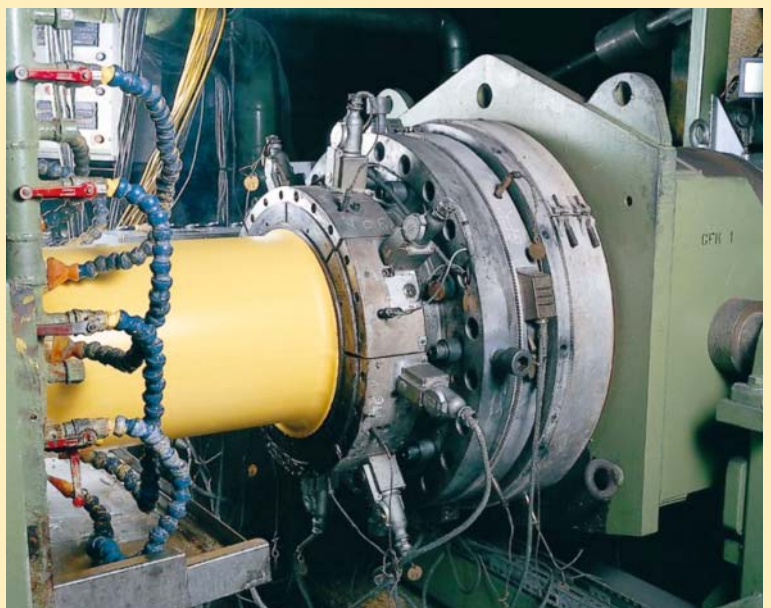


Bild 3. Schlauchextrusion von PE.



Bild 4. Spritzbeschichtung von Rohrbögen mit Polyurethan.

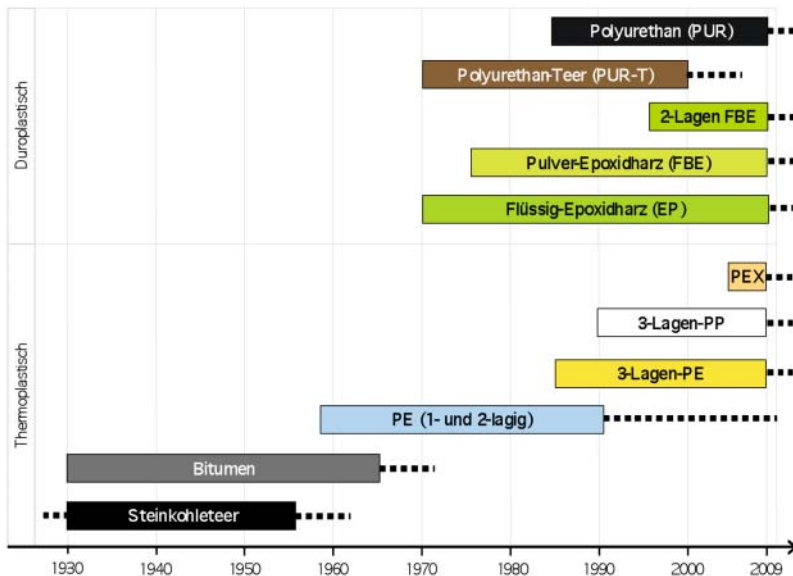


Bild 5. Historische Entwicklung von Werksumhüllungen für Stahlrohrleitungen von 1930 bis heute.

Bitumen substituiert. Mit der Entwicklung des „geblasenen“ (oxidierten) Bitumens bot dieses sogar verbesserte Material- und Verarbeitungseigenschaften.

Beiden Materialien gemeinsam war die Weiterentwicklung der verwendeten Trägermaterialien. Diese bestanden zunächst aus Jute und wurden später durch Wollfilzplatte ersetzt. Jüngere Bitumentumhüllungen enthalten entweder Glasgewebe- bzw. Glasvlieseinlagen oder Chemiefasergewebe.

Bis zur Substitution durch PE im Laufe der 60er Jahren war Bitumen in Europa der dominierende Werkstoff für werksseitige Rohrumhüllungen [7]. Üblich waren, je nach mechanischer Belastung, ein- oder zweilagige

Umhüllungen mit entsprechend einer oder zwei Lagen Trägergewebe und bis zu 5,5 mm Dicke.

Trotz des deutlich zurückgegangenen Einsatzes ist die Bitumentumhüllung nach wie vor normseitig beschrieben. Die bis 2006 gültige und wohl auch bekanntere DIN 30673 [8] wurde zwischenzeitlich durch DIN EN 10300 [9] ersetzt. Auf eine detaillierte Diskussion der Anforderungen soll wegen der untergeordneten Bedeutung der Bitumen-Werksumhüllung an dieser Stelle verzichtet werden.

2.2 Polyethylenumhüllungen (PE)

2.2.1 Eigenschaften und Entwicklung

Der Einsatz von Polyolefinen zur Umhüllung von Stahlrohren ist heute anerkannter Stand der Technik. Ein wesentlicher Vorteil dieser Materialien liegt in der chemischen Beständigkeit, die den Einsatz dieser Rohrumhüllungen in allen Bodenaggressivitätsstufen ermöglicht. Ende der 50er Jahre wurde die Polyethylenumhüllung als Korrosionsschutz erdverlegter Stahlrohre eingeführt und hat spätestens seit Anfang der 70er Jahre das früher standardmäßig eingesetzte Bitumen vollständig verdrängt. Im Vergleich zum Bitumen zeichnet sich das Polyethylen vor allem durch eine deutlich höhere mechanische Festigkeit, den deutlich größeren elektrischen Umhüllungswiderstand (d.h. geringere Schutzstromdichte) sowie eine deutlich höhere Alterungsbeständigkeit aus. In der Folge können heute über 100 km Pipeline mit nur einer Anlage für den kathodischen Schutz geschützt werden.

Die ersten Polyethylenumhüllungen wurden im Sinterverfahren hergestellt [10], das heute bei den Rohrumhüllungen nur noch eine untergeordnete Rolle spielt. Hier werden Einzelrohre oder Formteile umhüllt, deren Herstellung in einer Durchlaufanlage nicht mehr wirtschaftlich oder wie im Falle der Formteile erst gar nicht durchführbar ist. Zur Umhüllung im Sinterverfahren rieselte ein Polyethylenpulver auf die etwa 300 °C warme Oberfläche des sich drehenden Stahlrohres. Eine zweite Verfahrensvariante ist das Wirbelsinterverfahren, bei dem beispielsweise an den Enden verschlossene Formteile in ein Bad aus Polyethylenpulver getaucht werden, bis auf der zuvor erwärmten Bauteiloberfläche die gewünschte Schichtdicke aufgeschmolzen ist. Im Sinterverfahren sind sowohl die hier beschriebene einschichtige Ausführung, als auch eine dreischichtige Ausführung bekannt. Bei der dreischichtigen Ausführung wird wie im Falle der oben beschriebenen Schlauchextrusion die Epoxidharz- und Kleberschicht durch ein Pulverapplikationsverfahren aufgebracht.

Die Pulverbeschichtungen hatten im Vergleich zu den später im Extrusionsverfahren hergestellten Umhüllungen den Nachteil der geringeren Haftung und Reißdehnung. Zudem wurde über Risse in der Umhüllung nach längerer Betriebsdauer berichtet [11, 12].

Die heute gebräuchlichen Schlauch- und Wickelextrusionsverfahren werden seit Mitte der 60er Jahre eingesetzt. Die Anwendungsbereiche der Verfahren sind in der Regel auf unterschiedliche Dimensionsbereiche der Stahlrohre beschränkt. Die Wickelextrusion kommt vor allem bei Großrohren zum Einsatz. Die Polyethylen-schicht wird dimensionsunabhängig über einen Seitenextruder aufgebracht und die einzelnen Lagen werden unter dem Druck einer Rolle fest miteinander verbunden. Bei der Schlauchextrusion wird das Polyethylen als nahtloser Schlauch über eine auf die jeweilige Dimension abgestimmte Ringdüse aufgezogen. Die Schlauchextrusion wird bei Rohrnennweiten bis max. DN 600 eingesetzt.

Im Extrusionsverfahren wurde anfänglich eine Zweischichtumhüllung, bestehend aus einer Schmelzkleber-Grundschrift und einer Polyethylen-Deckschicht, hergestellt. Ab Mitte der 80er Jahre kamen Dreischichtsysteme zum Einsatz. Diese Dreischichtumhüllungen verfügen über eine zusätzliche Grundierung auf Epoxidharzbasis. Hierdurch werden sowohl hohe Schälffestigkeiten als auch eine gute Unterwanderungsstabilität und eine geringe kathodische Enthaftung erzielt

Als Materialien sind heute sowohl Polyethylentypen niedriger Dichte (LDPE) als auch Polyethylentypen mittlerer und hoher Dichte (MDPE und HDPE) im Einsatz, letztere für den Einsatz bei höheren Temperaturen bis 80°C und bei höheren mechanischen Belastungen.

Wesentliche Entwicklungen der letzten 20 Jahre im Bereich der PE-Materialien war die Entwicklung von PE-Typen mit bimodaler Molmassenverteilung, die dem Werkstoff sowohl hohe Steifigkeit als auch Zähigkeit verleiht. Ein praktischer Nutzen dieser Werkstoffeigenschaften ist eine im Vergleich zu unimodalen PE-Typen deutlich verbesserte Spannungsrisssbeständigkeit unter Netzmitteleinwirkung [13]. Hierzu ist anzumerken, dass die Bedeutung dieser Spannungsrisssbeständigkeit für

die Praxis umstritten ist, da neuwertiges Material geprüft wird, während Risse in der Praxis üblicherweise an Materialien mit veränderten bruchmechanischen Eigenschaften beobachtet werden [14].

Weiteres Optimierungspotential hinsichtlich der mechanischen Widerstandsfähigkeit wird in der Verwendung von vernetztem Polyethylen als Deckschicht gesehen. Über Versuche mit derartigen Umhüllungen bei grabenloser Verlegung in sehr steinigten Böden wurde kürzlich berichtet [15].

2.2.2 Normung von Polyethylenumhüllungen

Nach derzeitigem Stand der Technik gilt die DIN 30670 nicht nur national als anerkannte technische Lieferbedingung für die Polyethylenumhüllungen von Stahlrohren. Die aktuelle Fassung stammt aus dem Jahr 1991 [16]. Die Anforderungen der DIN 30670 sind dabei als Mindestanforderung an dieses Korrosionsschutzsystem zu betrachten und gelten damit unabhängig vom jeweils angewendeten Verfahren. Die Entwicklung der Anforderungen im Vergleich zu früheren Ausgaben dieser Norm ist eng verknüpft mit dem technischen Fortschritt der Vormaterialqualität und der Herstellungsverfahren.

Bereits 1974 wurde die DIN 30670 erstmals als Vor-norm publiziert und inzwischen mehrfach überarbeitet. Die erste überarbeitete Fassung aus dem Erscheinungsjahr 1980 brachte die Anhebung der Mindestschälwiderstände für die Polyethylenumhüllung von ehemals 15 auf 35 N/cm Streifenbreite. Diese Mindestanforderungen wurden 1991 durch eine Prüfung bei höherer Temperatur ergänzt, wobei zwischen der Normalausführung für Betriebstemperaturen bis 50°C und der Sonderausführung für Betriebstemperaturen bis 70°C unterschieden wird.

Neben den Anforderungen an die Eigenschaften der fertigen Umhüllung wurden auch die materialseitigen Anforderungen, z. B. an die Korrosionsbeständigkeit des

Tabelle 1. Entwicklung von Normanforderungen an PE-Werksumhüllungen von 1991 bis 2009.

Eigenschaft	Anforderung	
	DIN 30670	ISO/DIS 21809-1
Max. Betriebstemperatur	50 °C (Typ N) 70 °C (Typ S)	Klasse A: 60 °C (LDPE) Klasse B: 80 °C (MDPE, HDPE)
Schälffestigkeit	≥ 35 N/cm (20 °C)	≥ 150 N/cm (20 °C) ¹
	Typ N: ≥ 15 N/cm (50 °C) Typ S: ≥ 25 N/cm (50 °C)	≥ 30 N/cm (80 °C) ¹
Reißdehnung	≥ 200 %	≥ 400 %
Beständigkeit gegen Wärmealterung	DMFR ≤ 35 %	DMFR ≤ 35 %
UV-Beständigkeit	DMFR ≤ 35 %	DMFR ≤ 35 %
ESCR (ASTM D 1693)	-	≥ 300 h / ≥ 1000 h
Oxygen Induction Time (OIT)	-	≥ 30 min (210 °C)

¹ Anforderung kann systembedingt nur von wickelextrudierten Beschichtungen erfüllt werden. Für schlauchextrudierte Beschichtungen sind geringere Schälffestigkeitsanforderungen üblich.

Tabelle 2. Entwicklung von Normanforderungen an PP-Werksumhüllungen von 1992 bis 2009.

Eigenschaft	Anforderung	
	DIN 30678	ISO/DIS 21809-1
Max. Betriebstemperatur	100 °C	Klasse C: 110 °C
Schälfestigkeit	≥ 100 N/cm (50 °C)	≥ 250 N/cm (23 °C)
	≥ 80 N/cm (90 °C)	≥ 40 N/cm(90 °C) bzw.
		≥ 40 N/cm (T _{max})
Reißdehnung	≥ 300 %	≥ 400 %
Beständigkeit gegen Wärmealterung	DMFR ≤ 35 %	DMFR ≤ 35 %
UV-Beständigkeit	DMFR ≤ 35 %	DMFR ≤ 35 %
Oxygen Induction Time (OIT)	-	≥ 30 min (220 °C)

Polyethylens, ständig erhöht. Hierzu gehören z. B. Anforderungen bezüglich des Widerstands gegen Wärme- und Lichtalterung.

Auf europäischer Ebene sind die Normungsaktivitäten für die PE-Umhüllung zumindest für gesinterte und die Drei-Lagen-PE-Umhüllung eingestellt worden. Lediglich die in Deutschland seit etwa 20 Jahren nicht mehr produzierte Zwei-Lagen-PE-Umhüllung ist europäisch mit der DIN EN 10288 genormt. International

wird derzeit der Entwurf der ISO 21809-1 [17] für extrudierte dreischichtige Umhüllungssysteme auf Polyethylen und Polypropylenbasis diskutiert. Der Anwendungsbereich dieser Norm beschränkt sich auf Transportleitungen. Sollte dieser Normentwurf publiziert werden, ist eine Restnorm DIN 30670 für die Umhüllung von Rohren im Bereich der Gas und Wasserverteilung sowie für die in der ISO/DIS 21809-1 nicht behandelten gesinterten Umhüllungen vorgesehen.

seit 1922

DENSO Korrosionsschutz



Innovative Technik
für Pipelines
Korrosionsschutz



Wir
schützen
Werte

Qualität
„Made in
Germany“

Tradition
Kompetenz
Innovation

DENSO GmbH
Postfach 150120 • D-51344 Leverkusen

Telefon: 0214/2602-0 • Fax: 0214/2602-318
Internet: www.denso.de • E-Mail: info@denso.de

www.DENSO.de

Bild 6.
PE-Umhüllung
mit profilierter
Oberfläche.



Bild 7.
PP-Umhüllung
mit Rough
Coat und
Heavy Weight
FZM
Ummantelung.



Die wesentliche Verbesserung der Leistungsfähigkeit von PE-Umhüllung in den letzten 20 Jahren wird beim Vergleich der Normanforderungen von 1991 mit denen von 2009 (ISO-Entwurf) deutlich (siehe **Tabelle 1**). So liegt die maximale Einsatztemperatur heutiger PE-Umhüllungen ca. 10°C über der von 1991 und das Niveau der Schälfestigkeit ist heute etwa um den Faktor 4 höher als noch 1991. Neu hinzugekommen sind auf internationaler Ebene (ISO) Anforderungen an

die Spannungsrisssbeständigkeit unter Netzmitteleinwirkung (ESCR-Test) sowie die Oxygen Induction Time als Maß für den Gehalt an Wärmestabilisator.

2.3 Polypropylenumhüllungen (PP)

Als Alternative zu Polyethylen wird etwa seit dem Ende der 80er Jahre auch Polypropylen als Deckschichtmaterial in extrudierten 3-Lagen-Beschichtungen eingesetzt. Verglichen mit PE besitzt PP eine größere Härte und einen höheren Schmelzpunkt und wird deshalb insbesondere bei hohen Temperaturen (die heutige normierte Einsatzgrenze liegt bei 110°C) sowie bei anspruchsvollen Verlegeverfahren wie z.B. dem Spülbohrverfahren oder der grabenlosen Sanierung mittels Rohreinzug eingesetzt.

Ein Nachteil des Polyolefins PP im Vergleich zu PE ist die verminderte Alterungsbeständigkeit bei Wärme- und UV-Belastung (Oxidationsstabilität), aus der eine geringere Lebensdauer resultiert [18]. Ebenfalls erwähnt werden muss die geringere Tieftemperaturstabilität, die sich in einer Versprödung unterhalb von 0°C bemerkbar macht [19].

Normseitig ist die PP-Umhüllung in DIN 30678 [18] beschrieben. Im bereits in Abschnitt 2.2.2 erwähnten ISO-Entwurf 21809-1 ist auch die PP-Umhüllung enthalten. Die zwischenzeitlich erfolgten Entwicklungen bei den eingesetzten Materialien spiegeln sich auch hier in einer Erhöhung der entsprechenden Normanforderungen wider (**Tabelle 2**).

2.4 Profilierte Polyolefinumhüllungen

Für spezielle Anwendungen wurden Polyolefinumhüllung in profilierter Ausführung entwickelt (**Bild 6**). Diese werden alternativ zur Polypropylenumhüllung für die Sanierung von Rohrleitungen im Rohreinzugsverfahren eingesetzt. Die Profilierung wird durch ein entsprechend ausgeformtes Werkzeug in einem zweiten Extrusionsvorgang auf der Polyolefinumhüllung erzeugt.

Eine weitere Besonderheit ist das sogenannte Rough Coating (**Bild 7**), eine Ausführung der Polyolefinumhüllung mit erhöhter Oberflächenrauheit für den Einsatz unter Betonummantelungen in der Offshore-Verlegung. Beim Rough Coating wird auf die noch heiße Polyolefinumhüllung feineres gekörntes Einsatzmaterial verteilt, das sich durch das Anschmelzen lokal mit der Umhüllung verbindet.

Zu den neuesten Entwicklungen profilierter Polyolefinumhüllungen zählt die Ausführung der PE-Umhüllung als T-Profil, das in Kombination mit dem Rough Coating zur Verklammerung der FZM-Ummantelung für grabenlose Bauverfahren hergestellt wird. Unabhängig von der Richtung einwirkender Kräfte muss eine derart fixierte Mörtelschicht zerstört werden, um den Haftverbund zur Polyethylenumhüllung zu trennen. Diese Profilierung wird beim Aufbringen des Mörtels an den Rohrenden auf einen Bereich von 2 bis 3 cm nicht mit



Bild 8. Endenausführung der FZM-S Ausführung.

Zementmörtel überdeckt, so dass auch die Nachumhüllung aus Gießmörtel oder Polyurethangießharz im Übergang zum FZM-Mantel ebenfalls Gelegenheit findet, sich mechanisch zu verkrallen (**Bild 8**) [20].

2.5 Polyurethanbeschichtungen (PUR)

Seit ca. 1970 werden Polyurethanbeschichtungen für die werksseitige Umhüllung erdverlegter Rohrleitungen eingesetzt. Die Hauptanwendung ist dabei die Beschichtung komplex geformter Teile wie Bögen, Armaturen und Formteile, die im Bereich von Gashochdruckleitungen fast ausschließlich mit PUR im Spritzverfahren beschichtet werden. Die werksseitige Beschichtung von Rohren mit Polyurethan spielt dagegen eine völlig untergeordnete Rolle.

Eine anfängliche Herausforderung bei der Entwicklung von PUR-Beschichtungen, die für den Korrosionsschutz erdverlegter Rohrleitungen geeignet sind, bestand darin, dem relativ polaren Werkstoff wasserabweisende Eigenschaften zu verleihen. Als geeigneter Zusatz bot sich der als alleiniger Beschichtungstoff seit langem in Verruf geratene Teer an. Noch 1990 wurde über die Entwicklung und den Einsatz einer Teer-haltigen Polyurethanbeschichtungen in Europa berichtet [21].

Heute wird aufgrund der gesundheitlichen Gefahren, die von Teer ausgehen, zumindest in Westeuropa weitgehend auf diesen Inhaltsstoff verzichtet [22]. Die notwendige Hydrophobierung erhalten heutige PUR-Beschichtungen durch geeignete polymere Grundgerüste oder Zusatzstoffe.

Jüngste Entwicklungen zielen auf die graduelle Verbesserung einzelner Beschichtungsparameter wie z.B. der kathodischen Enthaftung [23]. Darüber hinaus wird versucht, den Temperatureinsatzbereich über die aktuell normierten 80°C hinaus auszudehnen. Dies erfolgt teilweise unter Veränderung des chemischen Grundgerüsts weg vom Polyurethan hin zu Polyharnstoffen.

Normseitig war bei den duroplastischen Beschichtungen in den letzten Jahren eine Tendenz zur leichten Abschwächung der Anforderungen, z. B. hinsichtlich des Umhüllungswiderstands bei erhöhten Temperaturen, erkennbar und ist am Beispiel des Übergangs von DIN 30671 [24] zur heute gültigen DIN EN 10290 [25] für Rohre und Formteile in [23] beschrieben. PUR-Armaturenbeschichtungen sind weiter in DIN 30677-2 [26] normiert.

ORIGINAL
kebu[®]

CORROSION PREVENTION SYSTEMS
FOR PIPELINE CONSTRUCTION



Petrolatum
tapes



Bitumen
tapes



One-tape
and
two-tape
systems



Heat-
shrinkable
sleeves



GRP
coating

**75 YEARS OF
PIPE PROTECTION**
in a systematic way



**KEBULIN-GESellschaft
KETTLER GMBH & Co. KG**

Factory of corrosion prevention and
waterproofing materials since 1933

Ostring 9 · D-45701 Herten-Westerholt
Phone +49 209 9615-0 · Fax 9615-190
E-Mail: info@kebu.de · www.kebu.de

Besuchen Sie uns auf der **gat 2009**
Halle 3 Stand C12/1

2.6 Epoxidharzbeschichtungen (EP)

Epoxidharze sind eine weitere duroplastische Beschichtungsart, die ebenfalls seit ca. 1970 für den Korrosionsschutz erdverlegter Rohrleitungen eingesetzt werden. Im Vergleich zu PUR-Rohrbeschichtungen sind Epoxidharze härter und spröder und werden deshalb in geringeren Schichtdicken verwendet, die aber in jedem Fall einen sehr guten Korrosionsschutz bieten.

Epoxi-Beschichtungen haben grundsätzlich die gleichen Anwendungsgebiete wie PUR-Beschichtungen, finden als Armaturen und Formteilbeschichtung aber eher im Wasserbereich Verwendung [27]. Als Rohrbeschichtung werden Epoxidharze in Kontinentaleuropa nur selten eingesetzt. Dagegen sind Epoxi-Beschichtungen in Großbritannien und Nordamerika das überwiegend eingesetzte Rohrbeschichtungsmaterial.

Bezüglich der Verarbeitung ist zwischen Flüssigbeschichtungen, die als Werksbeschichtung bereits seit einigen Jahren nur noch eine untergeordnete Rolle spielen, und Epoxi-Pulverbeschichtungen zu unterscheiden.

2.6.1 Flüssig-Epoxidharzbeschichtungen

Flüssig-Epoxidharzbeschichtungen werden wie Polyurethane im airless-Spritzverfahren verarbeitet. Die Anforderungen an diese Beschichtungsart waren für Rohre bis 2004 in DIN 30671 beschrieben. Für Rohre und Formteile ist heute DIN EN 10289 [28] der gültige Normbezug, während für Armaturenbeschichtungen DIN 30677-2 weiter Gültigkeit besitzt.

2.6.2 Pulver-Epoxidharzbeschichtungen

Bereits seit Anfang der 90er Jahre werden Epoxidharzbeschichtungen überwiegend als Pulverbeschichtung (FBE, fusion bonded epoxi) hergestellt. Dabei handelt es sich um ein noch nicht vollständig ausgehärtetes Epoxi-

material in Pulverform, das auf eine vorgewärmte (ca. 200–220°C) Stahloberfläche aufgesprüht wird und dort unter Einfluss der Vorwärmtemperatur zunächst aufschmilzt und dann zur fertigen Beschichtung aushärtet. Der Prozess ist im Werk gut beherrschbar und liefert im Allgemeinen Beschichtungen mit einem ausgewogeneren Eigenschaftsprofil als entsprechende Flüssigbeschichtungen. Während letztere normseitig bis 80 °C Betriebstemperatur beschränkt sind [28], reicht die normseitige Klassifizierung von EP-Pulverbeschichtungen in ISO 21809-2 [29] inzwischen bis 120 °C.

Neueste Entwicklungen im Bereich Epoxi-Pulverbeschichtungen zielen auf eine Erhöhung der mechanischen Widerstandsfähigkeit durch eine erhöhte Schichtdicke. Aufgrund der hohen Härte und der damit verbundenen Sprödigkeit kann die Schichtdicke der bisher verwendeten Epoxi-Beschichtungen jedoch nicht beliebig erhöht werden. Andererseits besitzen diese Beschichtungen ausgezeichnete Korrosionsschutzeigenschaften, die bei einer Flexibilisierung des Materials verloren gehen würden. Der Trend geht daher zu mehrlagigen Epoxibeschichtungen (dual layer FBE), bei denen in der Regel eine härtere FBE-Grundsicht mit einem flexibler eingestellten FBE-Deckschichtmaterial kombiniert wird,

2.7 Mechanische Schutzummüllungen

2.7.1 Faserzementmörtel (FZM)-Ummantelung

Um Beschädigungen bei der Rohrverlegung zu vermeiden, müssen Rohre ohne ausreichenden mechanischen Schutz nach dem Stand der Technik in steinfreies Material, z. B. Sand, eingebettet werden.

Antransport und Einbau des Sandes, sowie die Abfuhr von entsprechendem Aushubmaterial stellen je nach Region einen beträchtlichen Kostenfaktor dar. Um die Kosten für die Sandeinbettung einzusparen und die Sicherheit gegen Beschädigungen des Rohres durch mechanische Beanspruchung beim Einbau und späteren Aufgrabungen zu erhöhen, wurde die Faserzementmörtel-Ummantelung (FZM) entwickelt (**Bild 9**). Diese Ummantelung ist im DVGW-Arbeitsblatt GW 340 genormt. Durch die FZM-Ummantelung wird das Rohr universell einsetzbar, und kann in steinigem Boden ohne zusätzliche Schutzmaßnahmen verlegt werden. Auch als mechanischer Schutz für Sonderbaumaßnahmen wie Düker- oder Seeverlegung sowie grabenlose Verlegeverfahren hat die Zementmörtelummantelung Bedeutung erlangt [30].

Grundsätzlich wird die FZM-Ummantelung in zwei Varianten hergestellt. Bei Rohren für die offene Grabenverlegung wird die FZM-Ummantelung direkt auf die PE-Ummantelung aufgebracht (Ausführung N nach DVGW-Arbeitsblatt GW 340). Es besteht keine Haftung zwischen Polyethylenummantelung und Mörtelschicht. Bei Rohren für die grabenlose Verlegung wird die FZM-Ummantelung durch die oben bereits beschriebene



Bild 9. Herstellung einer FZM-Ummantelung.

Profilierung der Polyethylenumhüllung fixiert (Ausführung S nach DVGW-Arbeitsblatt GW 340).

2.7.2 Umhüllung aus Glasfaser-verstärktem Kunststoff (GfK)

Für den zusätzlichen mechanischen Schutz bei grabenlos verlegten Rohren haben sich in den letzten Jahrzehnten neben der FZM-Ummantelung zusätzliche Umhüllungen aus glasfaser-verstärktem Kunststoff etabliert. Diese besitzen gegenüber der FZM-Ummantelung den Vorteil eines geringeren Gewichts und werden deshalb insbesondere bei großen Nennweiten eingesetzt.

Als Harzbasis werden radikalisch härtende oder mittels UV-Licht aushärtende Polyester verwendet. Diese bilden mit einem mehrlagig gewickelten Glasgewebe ein mechanisch hochstabiles Laminat, das die eigentliche Rohrumhüllung vor Beschädigung schützt (**Bild 10**).

3. Nachumhüllungen

Eine umfassende Darstellung der Entwicklung von Nachumhüllungsmaterialien für Stahlrohre bis zum Jahr 2005 hat Heim geliefert [31]. Daran anknüpfend kann festgestellt werden, dass wie bei den Werksumhüllungen die Entwicklung der Nachumhüllungsmaterialien wesentlich der Weiterentwicklung der verfügbaren Werkstoffe gefolgt ist (**Bild 11**). Anders als bei den Werksumhüllungen galt es jedoch stets, das Material in einer auf der Baustelle leicht zu verarbeitenden Form bereitzustellen. Hierdurch hat sich die Leistungsfähigkeit der Nachumhüllungen, womit im Wesentlichen die mechanische Widerstandsfähigkeit in Form von Schäl-, Scher- und Eindruckfestigkeit sowie Schlagbeständigkeit gemeint ist, langsamer entwickelt als die der Werksumhüllungen. Die entsprechende Schere zwischen Werks- und Nachumhüllung hat sich mit der Einführung der PE-Werksumhüllung ca. 1960 geöffnet. Inzwischen haben sich in speziellen Anwendungen die Umhüllungseigenschaften angeglichen. Für Standard-Nachumhüllungen gilt jedoch nach wie vor, dass für den Vorteil einer einfachen Verarbeitbarkeit gewisse Abstriche bei der mechanischen Widerstandsfähigkeit in Kauf genommen werden müssen. Der Wirksamkeit des Korrosionsschutzsystems aus passivem und aktivem Schutz tut dies jedoch keinen Abbruch, was am Beispiel moderner Kunststoffbandsysteme auch über lange Betriebszeiten belegt wurde [32, 33].

Neben der Weiterentwicklung durch die Verbesserung der eingesetzten Werkstoffe sind bei den Nachumhüllungen die – teilweise bereits bei der werksseitigen Beschichtung diskutierten – Entwicklungstrends erkennbar. Hierzu gehören – stark abhängig von der jeweiligen Materialklasse –

- das Erreichen höherer Dauerbetriebstemperaturen,
- der Aufbau einer Werksumhüllungs-analogen Beschichtung auch im Nachumhüllungsbereich,



Bild 10. PE-Werksumhüllung mit zusätzlicher GfK-Umhüllung.

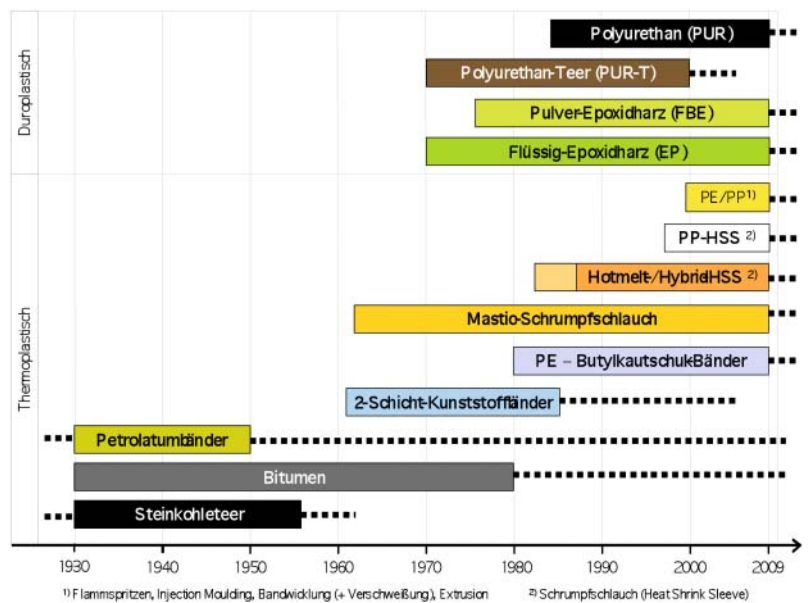


Bild 11. Historische Entwicklung von Nachumhüllungen für Stahlrohrleitungen von 1930 bis heute.

- eine starke Diversifizierung der Umhüllungssysteme und -materialien, sowie
- bedingt durch die Anforderungen grabenloser Verlegetechniken die Verbesserung der mechanischen Widerstandsfähigkeit von Nachumhüllungssystemen für diesen Anwendungsbereich.

In den nachfolgenden Abschnitten wird auf die entsprechende Entwicklung der einzelnen Materialklassen und Umhüllungssysteme näher eingegangen.

Bezüglich der Entwicklung der normseitigen Anforderungen an Nachumhüllungen (speziell Bandsysteme und Schrumpfmateriale) sei auf [31] verwiesen. Dem-



Bild 12. Nachumhüllung einer Armatur mit Petrolatumbändern.

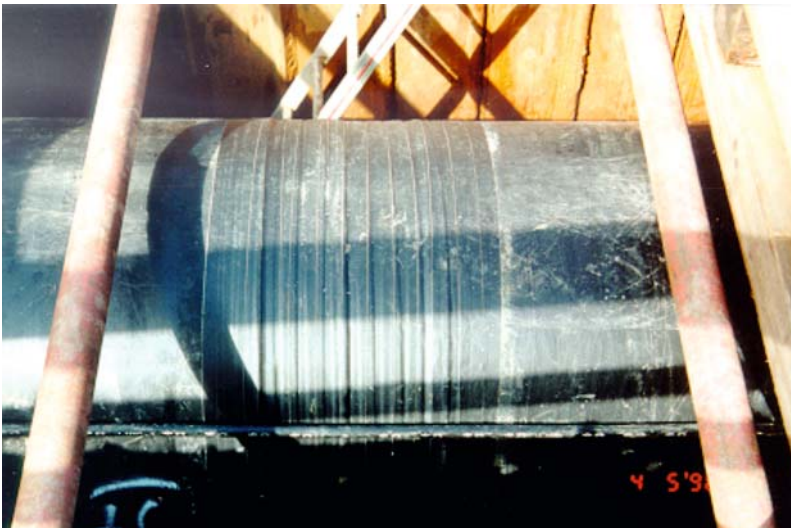


Bild 13. Bandumhüllung (Butylkautschuk-PE-Zweibandsystem) nach ca. 5 Jahren Betriebszeit.

nach haben sich die Anforderungen an die wesentlichen mechanischen Kennwerte zwischen 1969 und 2000 kontinuierlich erhöht. Dieser Trend wird mit der Einführung neuer Nachumhüllungsklassen und weit ausgedehnter Temperatur-Einsatzbereiche im Entwurf der ISO 21809-3 [45] fortgesetzt.

3.1 Bandumhüllungen

Für die Nachumhüllung von Stahlrohrleitungen wurden bis Anfang der 60er Jahre im Wesentlichen die gleichen Materialien (Teer oder Bitumen) wie für die werksseitige Umhüllung verwendet. Die Materialien waren häufig in Bandform vorkonfektioniert oder wurden als heiße Schmelze erst auf der Baustelle mit dem Trägermaterial (Asbestpappe, Wollfilz, später Glasgewebe) versehen. Heute ist das Hauptanwendungsgebiet von Bitumen-

bändern die Sanierung von alten Bitumenumhüllungen [34].

Zusätzlich fanden im Bereich der Nachumhüllung ab Ende der 20er Jahre Bänder auf Basis technischer Vaseline (Petrolatum) Verwendung. Für die werksseitige Umhüllung wurden diese aufgrund ihrer geringen mechanischen Widerstandsfähigkeit nie eingesetzt, im Bereich der Nachumhüllung finden Sie aber aufgrund ihrer leichten Verarbeitbarkeit auf kompliziert geformten Bauteilen (**Bild 12**) sowie aufgrund ihrer Toleranz für widrige Verarbeitungsbedingungen – in modifizierter Form – noch heute Verwendung in Nischenanwendungen. So sind nach DVGW Arbeitsblatt G 463 Petrolatumbänder nach wie vor für die Nachumhüllung unregelmäßig geformter Bauteile an Gashochdruckleitungen zugelassen [35]. Wesentliche Entwicklungsschritte dieser Materialien war der Austausch des Baumwoll-Trägergewebes durch ein verrottungsbeständiges Chemiefaser-Material sowie die Einführung einer dünnen Abdeckfolie auf der weichen Belagmasse bzw. in diese eingebettet [36]. Darüber hinaus wurden im Laufe der Jahre moderne Klebharze in die Formulierungen eingebaut.

Eine Variante der Petrolatumbänder sind Wachs-Bänder, welche ähnlich Bitumenbändern warm verarbeitet werden. Regional ist die Verbreitung dieser Bänder stark unterschiedlich. Hier ist Nordamerika als wesentlicher Markt für Wachsbänder zu nennen, während Petrolatumbänder schwerpunktmäßig in Europa eingesetzt werden. In der aktuellen Normung [45] wird zwischen beiden Materialien unterschieden.

Neueste Entwicklungen weichplastischer Bänder verwenden Polymere (insbesondere Polyisobutyl) als Belagmasse [37]. Nach aktueller Normung [44] wären diese aufgrund ihrer Eigenschaften in die gleiche Belastungskategorie wie Petrolatumbänder einzustufen [31].

Erste Ansätze, thermoplastische Kunststoffe für die Nachumhüllung von Rohrleitungen zu verwenden, resultierten in zweischichtigen Bändern mit PVC-Trägerfolie und bituminösen Belagmassen. Während der zweischichtige Aufbau von Kunststoffbändern aus Korrosionsschutzsicht generell als problematisch zu bewerten ist [38], führte die Versprödungsgefahr der PVC-Folien zu Problemen hinsichtlich der Alterungsbeständigkeit [31].

Versprödungsprobleme lagen bei den in der Folge entwickelten Bändern mit PE-Trägerfolie und bituminösen sowie später Kautschuk-basierenden Kleberbeschichtungen nicht vor. Der auch hier zunächst zweischichtige Aufbau machte aber auch diese Bänder für den Langzeitkorrosionsschutz ungeeignet [38].

Erst mit der Entwicklung dreischichtiger Verbundbänder mit selbstverschweißenden Butylkautschuk-Belagmassen etwa Anfang der 80er Jahre besitzen Kunststoffbandsysteme die Voraussetzungen für einen Langzeit-wirksamen Korrosionsschutz [38, 39]. Inzwi-

schen wurde dieses Potential sowohl durch Freilegungen in Betrieb befindlicher Leitungen (**Bild 13**) [33] als auch anhand der Ergebnisse von intelligenten Molchungen [32] nachgewiesen.

Allen Kunststoffbändern gemeinsam ist die Tatsache, dass aufgrund der notwendigerweise enthaltenen weichen Kleberbeschichtungen die mechanische Widerstandsfähigkeit im Vergleich zu polyolefinischen Werks- und Nachumhüllung deutlich reduziert ist (siehe auch [40]). Dieser Unterschied zwischen Werks- und Nachumhüllung konnte erst mit Entwicklung werksumhüllungs-analoger PE- bzw. PP-Verarbeitungsverfahren für die Anwendung im Feld beseitigt werden (siehe Abschnitt 3.3). Dennoch sind heute und vermutlich noch auf lange Sicht Kunststoffbandsysteme aufgrund ihrer leichten und fehlertoleranten Verarbeitbarkeit die Standardsysteme für die Schweißnaht-Nachumhüllung erdverlegter Stahlrohrleitungen.

3.2 Schrumpfmaterien

Anfang der 60er Jahre war mit der Entwicklung der Schrumpfmaterien eine elegante Methode gefunden worden, eine polyolefinische Nachumhüllung herzustellen. Ähnlich der Zweischicht-PE-Werks- und Nachumhüllung haben Schrumpfmaterien einen ebenfalls zweischichtigen Aufbau. Das Trägermaterial aus vernetztem Polyethylen besitzt auf der Innenseite einen Kleber, der die dauerhafte Verbindung zur Stahloberfläche herstellt.

Die ersten Schrumpfmaterien besaßen weichplastische Kleber (Matic-Kleber) mit relativ geringer Schäl- und Scherfestigkeit. Derartige Kleber besitzen einen breiten Erweichungstemperatur-Bereich, der nicht notwendigerweise oberhalb der maximalen Dauerbetriebstemperatur liegt. In Zuge der weiteren Entwicklung wurden dann scherfestere Schmelzkleber mit einem definierten Erweichungspunkt der oberhalb der maximalen Dauerbetriebstemperatur liegt, eingesetzt (Hotmelt-Kleber). Bezüglich der verwendeten Kleber gab es in den letzten Jahren vielfältige Weiterentwicklungen, welche sowohl das Temperatur-Prozessfenster weichplastischer Kleber [41] als auch die Kleber für Hochtemperatur-Anwendungen betreffen [42].

Die normseitig maximale Dauerbetriebstemperatur von Schrumpfmaterien lag lange bei +50 °C [43]. Mit der Einführung der DIN EN 12068 im Jahr 1999 war dann normseitig die Möglichkeit für höhere Temperaturklassen gegeben [44]. Die maximale Dauerbetriebstemperatur richtet sich seitdem ausschließlich nach der Temperatur, bei der die mechanischen Anforderungen noch erfüllt werden. Inzwischen sind eine Reihe von Schrumpfmaterien für die Klassen C-60 oder sogar C-80, entsprechend den maximalen Dauerbetriebstemperaturen 60 °C bzw. 80 °C, zertifiziert.

Die aktuellste Normung geht hier mit ISO/DIS 21809-3 [45] noch weiter und klassifiziert 3-Schicht-Schrumpfsysteme mit PE- oder PP-Trägermaterial für



Bild 14. Aufbringen einer Dreischicht-Schrumpfmanschette.

Dauerbetriebstemperaturen bis 120 °C (PE) bzw. 130 °C (PP). Damit hält die Entwicklung der Schrumpfmaterien Schritt mit der Entwicklung der polyolefinischen Werks- und Nachumhüllungen bzw. geht bezüglich der normierten Dauerbetriebstemperatur sogar darüber hinaus.

Ergänzend ist noch zu erwähnen, dass etwa Anfang der 80er Jahre die Zweischicht-Schrumpfsysteme durch Dreischicht-Schrumpfsysteme ergänzt wurden. Analog zu der Entwicklung der PE-Werks- und Nachumhüllungen steht seitdem eine Möglichkeit zur Verfügung, den dreischichtigen Aufbau einer PE-Werks- und Nachumhüllung – wenngleich mit etwas unterschiedlicher Schichtdickenverteilung – auch im Schweißnahtbereich zu realisieren (**Bild 14**).

3.3 Polyolefinische Umhüllungen

Die exakte Nachbildung der polyolefinischen Werks- und Nachumhüllung im Schweißnahtbereich ist ein Entwicklungstrend der letzten Jahre, für den es im Wesentlichen zwei Motive gibt.

Zum einen wird der bereits erwähnte Unterschied bezüglich der mechanischen Widerstandsfähigkeit von Werks- und Nachumhüllung eliminiert, sobald im Nachumhüllungsbereich der gleiche Beschichtungsaufbau wie bei der Werks- und Nachumhüllung vorliegt.

Darüber hinaus sind alle nachfolgend beschriebenen polyolefinischen Nachumhüllungssysteme dadurch gekennzeichnet, dass deren polyolefinisches Deckschichtmaterial mit der Deckschicht der Werks- und Nachumhüllung verschweißt wird. Hierdurch ist ein homogener und grenschichtfreier Beschichtungsaufbau über die gesamte Rohrleitung gegeben.

Polyolefinische Schweißnahtumhüllungen besitzen in der Regel einen dreischichtigen Aufbau, bestehend aus



Bild 15. GfK-Schweißnahtumhüllung für grabenlose Verlegung.



Bild 16. PUR-Schweißnahtumhüllung für Spülbohrverlegung.

- Epoxidharz-Grundierung (als Flüssig-EP oder FBE)
- Schmelzkleber (als Pulver aufgetragen)
- Polyolefinischer Deckschicht (PE oder PP)

Die Möglichkeiten, eine PE- oder PP-Deckschicht im Feld aufzutragen, sind mittlerweile vielfältig, in jedem Fall aber technisch aufwändig, weshalb entsprechende Umhüllung ausschließlich in anspruchsvollen Anwendungen wie z.B. bei grabenloser Rohrverlegung, zum Einsatz kommen. Mögliche Verfahren sind:

- Flamspritzen von PE- oder PP-Pulver
- Spritzguss (Injection Moulding, siehe z.B. [46])
- Wicklung und gleichzeitiges Verschweißen vorextrudierter Bänder

- Wickelextrusion

Die meisten der genannten Verfahren sind inzwischen normativ erfasst [45, 47].

3.4 Duroplastische Beschichtungen

Für die Nachumhüllung mit duroplastischen Beschichtungen werden häufig die gleichen Materialien wie für die werksseitige Beschichtung eingesetzt. Unterschiede in den mechanischen Kennwerten sind in diesem Fall nicht vorhanden. Auch die Verarbeitungstechnik – in der Regel Airless-Spritzverarbeitung – ist im Feld häufig die gleiche wie im Werk. Als Meilenstein für die Verwendung von PUR-Spritzbeschichtungen für die Umhüllungssanierung großer Leitungslängen ist die Entwicklung des Spritzrings mit oszillierend um die Leitung laufenden Spritzdüsen zu nennen [48].

Während weltweit die größten Mengen duroplastischer Nachumhüllungen für die Umhüllungssanierung verwendet werden, kommen Zweikomponentenbeschichtungen seit den 70er Jahren auch in Nischenanwendungen zum Einsatz. Anwendungsgebiete sind insbesondere

- hohe Betriebstemperaturen, für die Standard-Nachumhüllungen nicht geeignet sind,
- komplex geformte Bauteile, auf die Flüssigbeschichtungen bzw. Spachtelmassen leichter als Bandssysteme aufgebracht werden können,
- Anwendungen mit hohen mechanischen Belastungen (z. B. grabenlose Rohrverlegung) [49, 50, 51].

Hinsichtlich der Materialbasis finden überwiegend PUR-Beschichtungen und Epoxidharze Verwendung, wobei die regionale Verbreitung sehr unterschiedlich ist. Der Einsatz von Epoxidharz-Pulverbeschichtungen ist (noch) auf spezielle Anwendungen beschränkt, da die Verarbeitung von FBE im Feld mit einem hohen technischen Aufwand verbunden ist.

Erste duroplastische Schweißnahtbeschichtungen auf Acrylat-Basis, welche in den 80er und 90er Jahren für die grabenlose Rohrverlegung entwickelt wurden, werden aufgrund der inzwischen vorliegenden Langzeiterfahrung (Versprödung) nicht mehr eingesetzt. Ersetzt wurden sie durch GfK-Beschichtungen mit einer Matrix aus Epoxidharz oder Polyester (zweikomponentig oder lichtaushärtend) (**Bild 15**). Darüber hinaus sind heute PUR-Systeme für die Schweißnahtumhüllung bei grabenloser Verlegung im Einsatz (**Bild 16**) [52].

Bis zum Jahr 2006 gab es für duroplastische Beschichtungen keine separaten Nachumhüllungsnormen. PUR- und EP-Nachumhüllungen wurden deshalb anhand der Normen für duroplastische Werksumhüllungen geprüft und bewertet (z. B. [24, 25, 28]). Mit der Erarbeitung der DIN EN 10329 für die Prüfung von Schweißnaht-Nachumhüllungen wurden im Jahr 2006 erstmals Anforderungen an PUR- bzw. EP-Nachumhüllungen beschrie-

ben [47]. Die neueste ISO-Normung zu Schweißnaht-Nachumhüllungen berücksichtigt inzwischen auch Polyester-basierende Materialien [45].

3.5 Mechanischer Schutz

Bei schwierigen Bettungsbedingungen ist auch bei Nachumhüllungen der zusätzliche mechanische Schutz der Korrosionsschutzumhüllung sinnvoll. Damit auf werksseitig mit FZM-Ummantelung versehenen Stahlrohren die Feldnahtumhüllung den gleichen mechanischen Schutz erhält, können wahlweise Gießmörtel oder zementbeschichtete Binden eingesetzt werden. Bei offener Verlegung sind Gießmörtel, die in eine verlorene Kartonschalung eingebracht werden, Stand der Technik. Auf Formteile kann mit Zementbinden ein analoger mechanischer Schutz aufgebracht werden. In der grabenlosen Verlegung empfiehlt sich die Anwendung des MAPUR-Systems, einem auf Polyurethan basierenden, schnellaushärtenden Gießharz, das wie ein Gießmörtel verarbeitet werden kann.

Entsprechend der verfügbaren Systeme im Bereich der Werksumhüllung kann ein zusätzlicher mechanischer Schutz der Schweißverbindungen auch in Form einer GfK-Umhüllung hergestellt werden. Hierfür kommen die im Abschnitt 3.5 beschriebenen EP- bzw. Polyester-GfK-Systeme zum Einsatz [53].

Ein deutlich geringeres Schutzniveau als FZM- oder GfK-Umhüllungen bieten die dennoch weitverbreiteten Rohrschutzmatten aus Polypropylenvlies, bei denen in den letzten Jahren eine Entwicklung weg von Recycling-Material hin zu aus neuen Rohstoffen hergestellten Materialien mit optimierter Reiß- und Stempeldruckfestigkeit erfolgt ist (**Bild 17**).

3.6 Sonderanwendungen

Wie in Abschnitt 3 ausgeführt, war die Entwicklung des passiven Korrosionsschutzes und damit auch der Nachumhüllungen auch von einer zunehmenden Diversifizierung gekennzeichnet. Dies zeigt sich zum einen in der Vielzahl der zur Verfügung stehenden Materialien (siehe **Bild 11**). Darüber hinaus wurden für eine Vielzahl von Anwendungen im passiven Korrosionsschutz erdverlegter Rohrleitungen Speziallösungen entwickelt. Während noch um 1960 nahezu alle Anwendungsbereiche mit heißverarbeitbarer Bitumenbinde abgedeckt werden konnten und wurden, wird bei heutigen Pipelineprojekten eine große Anzahl unterschiedlicher Materialien und Systeme eingesetzt. Zu den Sonderanwendungen mit speziellen Umhüllungssystemen zählen der Boden-Luft-Übergang von Rohrleitungen oder die KKS-Kabelanschlüsse. Für den Boden-Luft-Übergang hat sich in den letzten Jahren die Verwendung von Butylkautschukbandsystemen mit einer zusätzlichen GfK-Deckschicht durchgesetzt (siehe **Bild 18**). Daneben sind im Boden-Luft-Übergangsbereich Polyurethanbeschichtungen üblich, wie sie auch



Bild 17. Rohrschutzmatte als zusätzlicher mechanischer Schutz im Schweißnahtbereich.

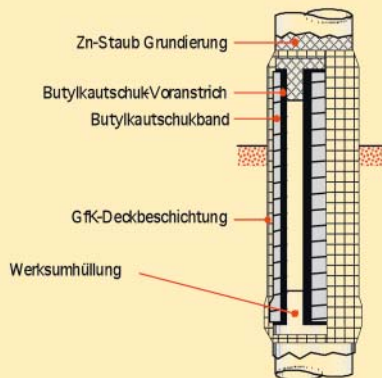


Bild 18. Umhüllung eines Boden-Luft-Übergangs mit Butylkautschukband-GfK-System.



Bild 19. Nachumhüllung eines Kabelanschlusses mittels Kabelvergusset.

für die werksseitige Beschichtung von z. B. Armaturenschächten verwendet werden. Vereinzelt werden auch PVC-Schalungssysteme verwendet, die mittels einer Epoxidharzmasse mit dem Stahlrohr verklebt werden [54].

Ähnliche Systeme wie für den Boden-Luft-Übergang werden auch für die Umhüllung von Rohraufslagern oder für Rohrleitungen in Wanddurchführungen verwendet [55, 54].

KKS-Kabelanschlüsse im Bereich einer Werksumhüllung (thermoplastisch oder duroplastisch) werden heute nahezu ausschließlich mit sogenannten Kabelvergusssets nachumhüllt. Diese bestehen aus einer tiefgezogenen Schalung, welche mit hochklebenden Butylkautschukbändern auf der Werksumhüllung fixiert und anschließend mit einem Polyurethan-Gießharz verfüllt wird (siehe **Bild 19**).

4. Zusammenfassung

Der Entwicklung der zur Verfügung stehenden Werkstoffe folgend wurde der passive Korrosionsschutz für erdverlegte Stahlrohrleitungen in den letzten Jahren und Jahrzehnten kontinuierlich weiterentwickelt und verbessert. Triebkraft der Entwicklung waren neben der Entwicklung hochleistungsfähiger Kunststoffe auch zunehmend anspruchsvolle Betriebs- und Verlegebedingungen. Die Normungsseitige Beschreibung des passiven Korrosionsschutzes ist kontinuierlich an die technische Entwicklung und die technischen Anforderungen angepasst worden.

Literatur

- [1] „Taschenbuch des kathodischen Korrosionsschutzes“, Vulkan-Verlag (2005), S. 42.
- [2] „Korrosionsschutz erdverlegter Rohrleitungen“, Kompetenzzentrum Korrosionsschutz E.ON Ruhrgas AG (Hrsg.), 2. Auflage (2008), Vulkan-Verlag, S. 14.
- [3] *Schwenk, W.*: „Wechselwirkung zwischen Rohrumhüllung und passivem Korrosionsschutz“, 3R international 18 (1979), Nr. 8/9, S. 565–575.
- [4] *Heim, G.; v. Baeckmann, W.; Funk, D.*: „Untersuchungen der von Fehlstellen ausgehenden Unterwanderung der Umhüllung von Stahlrohren bei kathodischer Polarisation“, 3R international 14 (1975), Nr. 2.
- [5] *Buchanan, R.*: „Pipeline Coatings & Joint Protection: A Brief History, Conventional Thinking & New Technologies“, Rio Pipeline 2003 Conference and Exposition.
- [6] *Kocks, H.-J.*: „Betrieb und Instandhaltung von Stahlrohrleitungen“, gwf-gas|erdgas 143 (2004), S. 152–158.
- [7] *Klas, H.*: „Stahlrohrumhüllungen und Stahlrohrauskleidungen mit bituminösen Massen“, gwf 104 (1963), Nr. 21, S. 725–730.
- [8] DIN 30673 „Umhüllung und Auskleidung von Stahlrohren, -formstücken und -behältern mit Bitumen“ (12-1986).
- [9] DIN EN 10300 „Stahlrohre und -formstücke für erd- und wasser- verlegte Rohrleitungen – Werksumhüllungen aus heiß aufgebrachtem Bitumen“ (02-2006).
- [10] *Heim, G., Schulze, M.*: „Aufgeschmolzene Polyäthylen-Umhüllung für erdverlegte Stahlrohrleitungen“, Kunststoff-Rundschau 17 (1970), Nr. 3, S. 121–130.
- [11] [2], S. 55.
- [12] *Gaugler, H., Kocks, H.-J.*: „Sinn und Unsinn von Nutzungsdauerstatistiken – Zustandsorientierte Instandhaltung kathodisch geschützter Rohrleitungen“, 3R international 46 (2007) H. 6 S. 385–391.
- [13] *Langlouis, W.; Bastian, M.*: „Grundlagen zum Werkstoff Polyethylen (PE-HD) (Teil 2)“, bbr (2006), Nr. 5, S. 26–31.
- [14] *Kocks, H.-J.*: „Die Korrosion von Polyethylen - Optimierungspotential der Polyethylenumhüllung von Stahlrohren“, 3R international 47 (2008), Nr. 1/2, S. 79–85.
- [15] *Vogt, H.; Schmidt, K.; Grönsfeld, J. P.; Rau, F.; Muth, M.*: „Advanced 3-layer anti corrosion coating system with protective outer layer of cross linked PE“, Proceedings of the 17th International Conference on Pipeline Protection (2007), BHR Group.
- [16] DIN 30670 „Umhüllung von Stahlrohren und -formstücken mit Polyethylen“ (04-1991).
- [17] ISO/DIN 21809-1 „Petroleum and natural gas industries - External coatings for buried and submerged pipelines used in pipeline transportation systems – Part 1: Polyolefin coatings (2- and 3-layer PE and 3- layer PP).
- [18] DIN 30678 „Umhüllung von Stahlrohren mit Polypropylen“ (10-1992).
- [19] *Kocks, H.-J.*: „Potential for optimization of PE-Coatings for pipeline systems“, Präsentation im Rahmen des „7th European Forum Gas 2009“, Madrid, 18.–19.6.2009.
- [20] *Kocks, H.-J.*: „Stahlrohrverlegung grabenlos“, 3R international 47 (2008) H. 8–9 S. 504–505.
- [21] *Bogs, H.-J.*: „Polyurethanbeschichtungen in der Pipeline-Industrie“, 3R international (1990), Nr. 11, S. 620–623.
- [22] *Dorsey, P.; Kuprion, R.*: „Coating worth noting“, Hydrocarbon Engineering (March 2005).
- [23] *Quast, M.*: „Neue Polyurethanbeschichtung für erhöhte Anforderungen“, 3R international.
- [24] DIN 30671 „Umhüllung (Außenbeschichtung) von erdverlegten Stahlrohren mit Duroplasten“ (06-1992).
- [25] DIN EN 10290 „Stahlrohre und -formstücke für On- und Off-shore-verlegte Rohrleitungen – Umhüllung (Außenbeschichtung) mit Polyurethan und polyurethan-modifizierten Materialien“ (08-2004).
- [26] DIN 30677-2 „Äußerer Korrosionsschutz von erdverlegten Armaturen – Umhüllung aus Duroplasten (Außenbeschichtung) für erhöhte Anforderungen“ (09-1988).
- [27] *Schulz, M.*: „Pulverbeschichtung – Ein bewährter und porenfreier Korrosionsschutz für Armaturen und Formteile“, 3R international 31 (1992), Nr. 6, S. 348–350.
- [28] DIN EN 10289 „Stahlrohre und -formstücke für On- und Off-shore-verlegte Rohrleitungen – Umhüllung (Außenbeschichtung) mit Epoxi- und epoxi-modifizierten Materialien“ (08-2004).
- [29] ISO 21809-2 „Erdöl und Erdgasindustrie – Umhüllungen für erd- und wasser- verlegte Rohrleitungen in Transportsystemen – Teil 2: Epoxipulverbeschichtungen“ (04-2008).
- [30] *Kocks, H.-J.; Joens, H.; Reekers, C.*: „Ummantelungen aus Faserzement-Mörtel“, bbr 48 (1997) Nr. 8, S. 32–38.
- [31] *Heim, Th.*: „Entwicklung von Korrosionsschutz-Nachumhüllungsmaterialien für Stahlrohre“, 3R international 44 (2005), Heft 11, S. 625–633.

- [32] Ahlers, M.; Quast, M.; Schöneich, H.-G.: „Long term experience with corrosion protection performance of field joint coatings“, 3R international 46 (2007), Special Nr. 2, S. 49–53.
- [33] Quast, M.: „Langzeiterfahrung mit DENSOLEN-Bändern“, 3R international 43 (2004), Nr. 7, S. 413–416.
- [34] Funk, D.; Zimmermann, H.-J.: „Rohrumhüllungen – Sanierung von Bitumenumhüllungen“, 3R international 29 (1990), Nr. 11, S. 614–619.
- [35] DVGW Arbeitsblatt G 463 „Gasleitungen aus Stahlrohren für einen Betriebsdruck > 16 bar – Errichtung“ (12-2001).
- [36] Kirsch, W.: „Korrosion im Boden“, Frankh'sche Verlagshandlung (1968), S. 68.
- [37] Dodema, F.: „Clever Coatings“, World Pipelines, Oktober 2007, S. 34–42.
- [38] Quast, M.: „Aspects of corrosion protective tape technology“, 3R international 45 (2006), Special No. 1, S. 53–57.
- [39] Jacob, R.: „Neue Entwicklungen auf dem Gebiet der Korrosionsschutzbinden“, 3R international 31 (1992), S. 342.
- [40] [1], S. 48.
- [41] Summ, R.; Peschka, M.: „Vergrößerung des Prozessfensters bei der Applikation von Nachumhüllungen im passiven Korrosionsschutz mit neuem Klebstoff“, bbr 52 (2000), Nr. 3, S. 17–23.
- [42] Buchanan, R.: „Feeling the Heat“, World Pipelines (March 2006).
- [43] DIN 30672-1 „Umhüllungen aus Korrosionsschutzbinden und wärmeschrumpfendem Material für Rohrleitungen für Dauerbetriebstemperaturen bis 50 °C“ (09-1991).
- [44] DIN EN 12068 „Kathodischer Korrosionsschutz – Organische Umhüllungen für den Korrosionsschutz von in Böden und Wässern verlegten Stahlrohrleitungen im Zusammenwirken mit kathodischem Korrosionsschutz – Bänder und schrumpfende Materialien“ (03-1999).
- [45] ISO/DIS 21809-3 „Petroleum and natural gas industries – External coatings for buried and submerged pipelines used in pipeline transportation systems – Part 3: Field joint coatings“ (2007).
- [46] Jodorf, G.: „Blue Stream: A Challenge to Pipe Field-Joint Coating“, Protective Coatings Europe, October 2002, S. 50–56.
- [47] DIN EN 10329 „Stahlrohre und -formstücke für erd- und wasser- verlegte Rohrleitungen – Umhüllungen für Schweißverbindungen“ (04-2006).
- [48] „Line's Polyurethane Rehab Corrosion Free after 10 Years“, Pipeline & Gas Journal (1999), S. 70–72.
- [49] Funk, D.: „Anforderungen an die Umhüllungen für im Bohrpress- bzw. Horizontal-Drilling-Verfahren verlegte Rohrleitungen“, bbr (2000).
- [50] Quast, M.: „Neue Korrosionsschutz-Systeme für den grabenlosen Rohrleitungsbau“, 3R international 39 (2000), Nr. 1, S. 22–26.
- [51] Quast, M.: „Neue Polyurethan-Schweißnahtbeschichtung für Horizontalbohrungen“, 3R international 42 (2003), Nr. 10/11, S. 703–707.
- [52] Rehberg, T.; Schad, M.: „Hochleistungsbeschichtung für den Rohrleitungsbau im Spülbohrverfahren“, 3R international 47 (2008), Nr. 6, S. 329–331.
- [53] Erb, K., Drees, A.: „Passiver Korrosionsschutz an Rohrleitungen“, bbr Nr. 9 (2007), S. 24–27.
- [54] Jerig, J.: „Passiver Korrosionsschutz von Rohrleitungen in Problembereichen“, 3R international 27 (1988), Nr. 5, S. 341–344.
- [55] GL 723-501 „Allgemeine und Technische Bedingungen für die Baustellenumhüllung von Stahlrohren, Formstücken und Armaturen“ (03-2008).

Autoren

Dr. Michael Brecht

Werkstofftechnik / Integrität |
 E.ON Ruhrgas AG |
 Essen |
 Tel. +49 201 184-8082 |
 E-Mail: michael.brecht@eon-ruhrgas.com

Dr. rer. nat. Hans-Jürgen Kocks

Salzgitter Mannesmann Line Pipe GmbH |
 Siegen |
 Tel. +49 271 691170 |
 E-Mail: Hans-Juergen.Kocks@smlp.eu