

Entwicklung von Korrosionsschutz-Nachumhüllungsmaterialien für Stahlrohre

Verfolgt man die technische Entwicklung des Außenkorrosionsschutzes erdverlegter Rohrleitungen, so stellt man fest, dass parallel zur Verbesserung der Werksumhüllungsmaterialien eine entsprechende Verbesserung der Nachumhüllungsmaterialien (z. B. Korrosionsschutzbänder) stattgefunden hat. Etwa ab der Einführung thermoplastischer Zweischicht- und Dreischichtumhüllungen besitzen Werksumhüllungen insbesondere hinsichtlich Schäl-, Eindruck- und Scherfestigkeit ein höheres Leistungsniveau als Standard-Nachumhüllungsmaterialien, da die Idealforderung gleicher Widerstandsfähigkeiten bei Werks- und Nachumhüllung wegen der zusätzlichen Anforderung an eine baustellenge-rechte Verarbeitbarkeit der Nachumhüllungsmaterialien nicht immer eingehalten werden kann. Dennoch bieten moderne Kunststoff-Nachumhüllungsmaterialien ein Leistungs-niveau, das unter Berücksichtigung von Verarbeitungsaspekten den Eigenschaften der Werksumhüllung so nahe wie möglich kommt. Im Folgenden wird die kontinuierliche Verbesserung der Nachumhüllungsmaterialien erläutert, den sich parallel entwickelnden Normanforderungen gegenübergestellt und die Bedeutung des Einsatzes normkonformer Produkte hervorgehoben.

Taking a look at the technical development of external corrosion protection of steel pipelines, one can notice a parallel improvement of both factory applied coatings and field coatings (e.g. tapes and tape systems). Additionally, starting from introduction of thermoplastic two layer and three layer systems, factory coatings provide a higher performance level than field applied coatings, particularly regarding peel-, indentation and lap shear strength. This deviation from the ideal requirement for identical performance can be explained by the additional requirement of a site suited applicability of field coating materials. Nevertheless, modern state of the art plastics field coatings provide a performance level, which is as close as possible to the properties of mill applied coatings. The following article compares the continuous improvement of field coating materials with the parallel development of material standard requirements and explains the importance of the use of products, which are in accordance with the current material standards.

Dipl.-Ing. Thomas Heim

Heim Korrosionsschutz, Hilden
Tel. +49(0)2103/684415
E-Mail:

Historische Entwicklung von Nachumhüllungsmaterialien

Von 1900 bis 1930 wurde hauptsächlich Teerpech als Umhüllungswerkstoff verwendet. Teerpech hatte jedoch den Nachteil, dass die Verarbeitung wegen der Geruchsbelästigung große Schwierigkeiten bereitete.

Ab 1910 wurden auch Stroh und Jute, die mit fettartigen Stoffen belegt waren, zur Baustellenumhüllung verwendet. Es stellte sich jedoch heraus, dass die verwendeten Fette in vielen Böden verseifen und dadurch abgebaut wurden.

Auf der Suche nach Alternativen entwickelte der Berliner Apotheker Paul Schade 1922 Gewebebänder, die mit Vaseline bestrichen waren. „Schade's Plastische Schutzbinde“ war der Vorläufer der auch heute noch verwendeten Petrolatumbänder. Das anfänglich enthaltene Baumwollgewebe ist heute durch Chemiefasergewebe- bzw. Vliesmaterialien, die im Erdreich nicht abgebaut werden können, ersetzt. Darüber hinaus enthalten moderne Petrolatumbänder auf der Außenseite eine Abdeckfolie aus PE oder PP, die ein Auswaschen der weichen Belagmasse verhindert. Diese Belagmasse enthält heute neben der immer noch eingesetzten Vaseline eine Reihe von Zusatzstoffen wie z. B. Polymere und Füllstoffe. Vor- und Nachteil auch der heutigen Petrolatumbänder ist ihre gute Anschließbarkeit und Flexibilität, die naturgemäß mit einer relativ geringen mechanischen Festigkeit einhergeht, weshalb Petrolatumbänder vor allem für die Umhüllung kompliziert geformter Bauteile eingesetzt werden. In den Korrosionsschutzeigenschaften wie Umhüllungswiderstand oder Diffusionsdichtigkeit sind Petrolatumbänder den modernen Kunststoffbändern dagegen nahezu ebenbürtig.

Ab etwa 1930 wurde die Palette der verwendeten Korrosionsschutzmaterialien um den Werkstoff Erdölbitumen, das ähnlich gute Korrosionsschutzeigenschaften wie Petrolatum besitzt, erweitert. Zur mechanischen Verstärkung der Umhüllungsschicht wurden zunächst sowohl beim Teerpech als auch beim Bitumen Trägereinlagen aus Jutegewebe (Dickschichtsystem 4 mm) eingesetzt. Aufgrund der unerwünschten Docht-wirkung der Jutefaser wurde diese in der Folge zunächst durch Wollfilzpappe und am Mitte der 50er Jahre durch Glasgewebe bzw. Chemiefasergewebe ersetzt. In GW 9 [1] und GW 6 [2] werden für Bitumen die verschiedenen Verfahren zur Aufbringung beschrieben.

Auf der Suche nach neuen Umhüllungsmaterialien, die mechanisch widerstandsfähiger und alterungsbeständiger sind als Bitumen und welche der Werksumhüllung ähnliche elektrische Isolationseigenschaften aufweisen, boten sich die in immer stärkerem Maß

auf den Markt kommenden Kunststoffe an [3].

Schon in den Jahren vor 1945 und kurz danach wurden Folien aus Cellulose-Derivat oder aus Polyvinylchlorid (PVC) versuchsweise als Trägermaterial benutzt. Infolge der glatten Oberflächen der Folienbänder war eine gute Bindung an die aufgeschichtete, plastische Korrosionsmasse nicht zu erreichen [4]. PVC als Trägerfolienmaterial schied zudem wegen der Schlagempfindlichkeit bei tiefen Temperaturen aus. Darüber hinaus war und ist PVC aufgrund der Weichmacherwanderung und der damit einhergehenden Versprödung ein problematischer Werkstoff für Rohrumhüllungen.

Sehr viel besser für den Korrosionsschutz geeignet sind Bänder mit Trägerfolien aus Polyethylen. Diese waren anfänglich nur auf einer Seite mit einer Klebmasse, zunächst Bitumen, später Butylkautschuk, versehen. Aufgrund der unvollständigen Versiegelung in der Bandüberlappung werden solche Bänder inzwischen ausschließlich als mechanische Schutzbänder eingesetzt.

Bei den Kunststoffbändern sind heute kaltverarbeitbare Butylkautschukbänder mit oder ohne Trägerfolie aus Polyethylen Stand der Technik. Alle modernen Bandsysteme verwenden für die korrosionsschützende Innenwicklung dreischichtige Bänder mit beidseitiger Butylkautschukbeschichtung. Für die mechanisch schützende Außenwicklung werden entweder ebenfalls Dreischichtbänder oder einfachere Zweischichtbänder eingesetzt [5, 6].

Einem anderen Verarbeitungsprinzip folgen wärmeschrumpfende Materialien. Diese bestehen aus einem Trägermaterial aus vernetztem Polyethylen, das auf der Innenseite mit einem heißschmelzenden Kleber beschichtet ist. Hinsichtlich der materialtechnischen Leistungsfähigkeit sind Schrumpfmateriale das warmverarbeitbare Pendant zu kaltverarbeitbaren Kunststoffbändern. Die wesentlichen Unterschiede zwischen diesen beiden Standard-Nachumhüllungsmaterialien bestehen deshalb in der Art der Verarbeitung. Wärmeschrumpfende Materialien werden seit Anfang der 60er Jahre eingesetzt und wurden seitdem in vielfältiger Weise weiterentwickelt [7].

Aktuelle Entwicklungen im Bereich der Nachumhüllungen zielen vor allem darauf ab, hinsichtlich der mechanischen Widerstandsfähigkeit das gleiche Eigenschaftsniveau zu erreichen wie bei Werksumhüllungen. Für die heute gängigen Polyethylen- und Polypropylen-Dreischichtumhüllungen sind Ende der 90er Jahre Verfahren entwickelt worden, mit denen eine „nahtlose“ Umhüllung realisiert werden kann. Zu diesen Verfahren zählen sowohl die Flammstutzbeschichtung mit PE- oder PP-Pulvern als auch das „injection-moulding“. Beide Methoden

sind gekennzeichnet durch einen hohen technischen Aufwand sowie aufwendige Verarbeitungsverfahren. Deshalb und wegen der damit einhergehenden hohen Kosten werden Flammstutzen und „injection-moulding“ vor allem in technisch anspruchsvollen Anwendungen wie bei grabenloser Rohrverlegung oder bei in großer Tiefe verlegten offshore-Leitungen eingesetzt [8].

Alternativ werden insbesondere seit ca. 10 Jahren bei grabenlos verlegten Rohrleitungen duroplastische Beschichtungen wie Polyurethane oder glasfaserverstärkte Epoxidharze eingesetzt. [9–11]. Diese Materialien bieten hinsichtlich Härte und Scherfestigkeit Eigenschaften auf dem Leistungsniveau einer Werksumhüllung. Bei bereits werkseitig z. B. mit Polyurethan beschichteten Rohren ist durch Nachumhüllung mit dem gleichen Werkstoff zudem eine „nahtlose“ Umhüllung eines Rohrstranges möglich.

Neben den auf verbesserte technische Leistungsfähigkeit abzielenden Entwicklungen wurden in den letzten Jahren vereinzelt Varianten bandförmiger Materialien in den Markt gebracht. Hierzu zählen Bänder mit Trägergewebe und niedrigviskosen Belagmassen auf Polymerbasis, die aber aufgrund ihrer eingeschränkten Eindruck- und Schälfestigkeiten nicht als gleichwertige Alternative zu Kunststoffbändern oder Schrumpfmanschetten anzusehen sind. Vielmehr handelt es sich hier um eine Form des Petrolatumbandes mit alternativer Belagmasse, für das bezüglich der mechanischen Eigenschaften die gleichen Einschränkungen gelten müssten wie für alle anderen Umhüllungsmaterialien der Belastungskategorie A.

Entwicklung der normativen Anforderungen an Nachumhüllungen

Zur Sicherstellung der Material- und Umhüllungsqualität sind in der Vergangenheit eine Reihe von Normen aufgestellt worden, in denen die Mindestanforderungen an das jeweilige Umhüllungssystem aufgeführt sind. Von Seiten der Leitungsbetreiber, Verarbeiter, Prüf- und Forschungsinstitute sowie der Hersteller sind für die Erarbeitung dieser Normen nicht unerhebliche Mühen aufgewendet worden. Dieser Aufwand kann in jedem Fall als gerechtfertigt und lohnend bezeichnet werden, bietet doch die Anwendung der Umhüllungsnormen und die daraus resultierende Verwendung normkonformer Materialien dem Auftraggeber von Umhüllungsleistungen die Sicherheit, Produkte nach dem Stand der Technik einzusetzen. Die Verwendung nicht normkonformer Produkte bzw. der nicht dem Stand der Technik entsprechende Einsatz von Umhüllungsmaterialien ist dagegen, auch vor dem Hintergrund

möglicher Regressforderungen, sehr kritisch zu betrachten.

Bei der Bewertung der Nachumhüllungs-normen muss man sich darüber im Klaren sein, dass die Prüfung von Rohrumhüllungen immer nur eine notwendige Bedingung für die Schutzwirkung darstellt. Im Sinne einer hinreichenden Bedingung ist es Aufgabe der Hersteller, durch fachgerechte Einrichtungen und regelmäßige Kontrollen für die Auslieferung qualitativ hochwertiger Umhüllungsmaterialien zu sorgen [12]. Aufgabe des Rohrverlegers ist es, die Verlegearbeiten mit der gebotenen Sorgfalt auszuführen. Insbesondere für den ausschreibenden Ingenieur ist darüber hinaus die genaue Kenntnis der Leistungsfähigkeit eines Umhüllungssystems und des Normierungshintergrundes die Grundvoraussetzung für die richtige Materialauswahl [13].

Eine Zusammenstellung der Normen, der Zuordnung von Materialien sowie ausgewählter Normanforderungen liefern die **Tabellen 1 bis 3**. Bei dieser Gegenüberstellung des in Deutschland gültigen Normenwerks, das ab 1999 mit Erscheinen der DIN EN 12068 [14] in ein gemeinsames europäisches Normenwerk mündete, sind mehrere Tendenzen ersichtlich. Die Entwicklung ist gekennzeichnet durch

- gestiegenen Prüfaufwand,
- Differenzierung zwischen Material- und Anforderungsklassen und
- stetig gestiegene Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Nachumhüllungsmaterialien.

Der gestiegene Prüfaufwand ist als Folge der Erkenntnis anzusehen, dass stets die Summe einer Vielzahl von Anforderungen die Leistungsfähigkeit eines Umhüllungssystems bestimmt [15]. Begnügte man sich 1927 in der Prüfung des ersten Petrolatumbandes, für die noch keine normative Grundlage vorlag, noch mit der qualitativen Bestimmung einiger weniger Eigenschaften [16, 17], so wurde zunächst 1969 mit dem DVGW-Arbeitsblatt GW 7 [18] und spätestens 1979 mit DIN 30672 [19] die Prüfung von Nachumhüllungsmaterialien auf eine allgemeingültige Grundlage gestellt.

Betrachtet man die heute gültigen Nachumhüllungs-normen DIN EN 12068 und DIN 30672 [20], so stellt man fest, dass der Prüfumfang keineswegs durch reine materialspezifische Anforderungen ausgeweitet wurde. Vielmehr sind Anforderungen ohne direkten Bezug zu korrosionsschutzrelevanten Eigenschaften wieder aus dem Normenwerk verschwunden. Beispiele hierfür sind der maximale Wassergehalt, die maximale Wasseraufnahme sowie Anforderungen an Reißfestigkeit und Reißdehnung. Die heutigen Anforderungen und Prüfungen orientieren sich vielmehr an praxisrelevanten Eigenschaften wie Eindruckfestigkeit oder Schäl-

festigkeit, wobei ein Großteil des erhöhten Prüfaufwands auf die Bestimmung der mechanischen Eigenschaften nach Alterung zurückzuführen ist.

Ein weiteres Indiz dieser anwendungsbezogenen Ausrichtung ist die Einteilung in drei Belastungsklassen (A, B und C) ab DIN 30672 (1979-08), die die bis dahin übliche materialspezifische Einteilung in Petrolatum-, Bitumen- und Kunststoffmaterialien ersetzen. Die Differenzierung in Belastungsklassen erlaubt die Zusammenfassung und damit auch die Vergleichbarkeit sehr unterschiedlicher Materialien in einem Normenwerk. Damit ist ein Rahmen geschaffen, der zwar den derzeitigen Stand der Technik beschreibt, gleichzeitig aber allgemein genug definiert ist, um Neuentwicklungen zu berücksichtigen. Neue Band- oder Schrumpfmateriale müssen und können deshalb stets an dem in DIN EN 12068 beschriebenen Stand der Technik gemessen werden.

Die im Laufe der Jahre gestiegenen Anforderungen betreffen alle wesentlichen mechanischen Kennwerte und Isolationseigenschaften der Umhüllung (siehe Detailaufstellung in Tabelle 3). Diese Entwicklung ist keineswegs nur als Zeichen der gestiegenen Leistungsfähigkeit der verfügbaren Materialien zu sehen. Vielmehr ist von Anwenderseite erkannt worden, dass nur eine entsprechend hohe Widerstandsfähigkeit einen ausreichenden Schutz gegen Umhüllungsbeschädigungen während Leitungsverlegung und -betrieb darstellt. Dabei ist zu bemerken, dass selbst das Anforderungsniveau für Materialien der Belastungsklasse C deutlich unter der mechanischen Leistungsfähigkeit aktueller Werksumhüllungen liegt. Materialien der Belastungsklasse C stellen deshalb bereits einen Kompromiss zwischen möglichst hoher Widerstandsfähigkeit und gleichzeitig baustellengerechter Verarbeitbarkeit dar.

Eine Verbindung zwischen den Materialbelastungsklassen und praktischen Anwendungsbereichen findet sich z. B. im DVGW-Regelwerk. So ist nach DVGW-Arbeitsblatt GW 462 [21] und G 463 [22] die Verwendung von Materialien der Belastungsklasse A, die darüber hinaus zusätzlich mit einer Rohrschutzmatte umhüllt sein müssen, nur im Bereich kompliziert geformter Rohrleitungsbauteile wie Flansche und Armaturen zulässig. Diese Vorgabe spiegelt die heute gängige Praxis wider, dass für eine spezifische Anwendung stets das widerstandsfähigste und damit der Werksumhüllung möglichst gleichwertige Nachumhüllungsmaterial verwendet wird. Abstriche bezüglich der mechanischen Widerstandsfähigkeit werden nur dann gemacht, wenn die sichere und hohlraumfreie Verarbeitung z. B. aufgrund ungünstiger Bauteilgeometrien nicht möglich ist.

Aktuelle Normierungsvorhaben berücksichtigen die Tatsache, dass es nur bei Prüfung der fertigen Rohrumhüllung möglich ist, den Einfluss des Beschichtungsvorganges und der Oberflächenvorbereitung zu erfassen. In der europäischen Norm prEN 10329 [23] sind deshalb Prüfungen an der fertiggestellten Schweißnahtumhüllung von Rohrleitungen definiert.

Entwicklung und Bedeutung ausgewählter Anforderungen

Für die Vermeidung von Fehlstellen in der Umhüllung ist deren mechanische Widerstandsfähigkeit von entscheidender Bedeutung. Die diesbezüglichen Umhüllungseigenschaften dienen ausschließlich dem Zweck, die Größe und Anzahl der Verletzungen gering zu halten. Dennoch ist die Forderung nach 100%iger Unversehrtheit der Umhüllung in Praxis nicht erreichbar [24].

Bei der Normung mechanischer Belastungen wie Schlagbeständigkeit, Eindruckwiderstand und auch Schälfestigkeit konnten verständlicherweise nicht alle in der Praxis vorkommenden Beanspruchungsvarianten berücksichtigt werden. Es hat sich aber gezeigt, dass durch die entsprechenden Prüfungen mit normierten Fallgewichten, Druckstempeln und Schälbedingungen eine praxisnahe Beurteilung der Widerstandsfähigkeit möglich ist.

Spezifischer elektrischer Umhüllungswiderstand (R_U)

Bei der Prüfung des spezifischen elektrischen Umhüllungswiderstandes wird der Flächenwiderstand als Produkt von Umhüllungswiderstand und Prüffläche – im verletzungsfreien Zustand – gemessen (**Bild 1a**). Dieser Widerstand ist ein Maß für die Undurchlässigkeit der Umhüllung gegenüber dem anliegenden Boden sowie für die Ionen der gelösten Salze. Bei erdverlegten Rohrleitungen ist zu berücksichtigen, dass Fehlstellen in der Umhüllung auftreten können, die den Widerstand mindern. Durch die Fehlstellen bedingt wird in der Praxis nicht der Durchgangswiderstand gemessen, sondern vielmehr ein Gesamtwiderstand, der sich aus der Parallelschaltung von R_U und den Ausbreitungswiderständen der einzelnen Fehlstellen ergibt.

Der Grenzwert für R_U liegt bei ca. $10^4 \Omega \cdot m^2$. Wird dieser Wert unterschritten, so kann die umhüllte Fläche – ohne Anwendung des kathodischen Schutzes – als Kathode wirken und somit Anlass zur elektrochemischen Elementbildung geben. Aus diesem Grund wird in DIN 50928 [25] für R_U bei Sandbettung ein unterer Grenzwert von $10^5 \Omega \cdot m^2$ und ohne Sandbettung ein unterer Grenzwert von $10^7 \Omega \cdot m^2$ genannt.

Außerdem muss die Umhüllung einen ausreichend hohen elektrischen Widerstand aufweisen, damit z. B. bei Anwendung des kathodischen Schutzes kein Strom durch die Umhüllung zur Rohroberfläche fließen kann. Das elektrische Isolationsvermögen wird durch den spezifischen Umhüllungswiderstand erfasst. Die entsprechende Anforderung für Kunststoff-Baustellenumhüllung liegt bei $10^8 \Omega \cdot m^2$. Dieser Wert konnte auch in 10-Jahresversuchen nachgewiesen werden [26]. Da Bitumina im Laufe der Zeit Wasser aufnehmen, liegt deren Isolationsvermögen bei ca. $10^6 \Omega \cdot m^2$.

Eindruckfestigkeit

Eine Druckbeanspruchung der Umhüllung kann sowohl während der Verlegung als auch im Betrieb der Rohrleitung durch im Boden enthaltene Steine auftreten. Eine möglichst hohe Eindruckfestigkeit bedeutet daher ein Höchstmaß an Sicherheit gegen Beschädigung durch derartige Belastungen. Insbesondere in den Belastungsklassen A und B sind die Prüfanforderungen im Zuge der Normenüberarbeitung deutlich angehoben worden, erreichen aber bei weitem nicht das Niveau von Materialien der Belastungsklasse C. Für alle in **Bild 1b** angegebenen Belastungsklassen gilt bei der angegebenen Stempelauflast die Anforderung einer Mindest-Restschichtdicke von 0,6 mm bzw. der Porenfreiheit nach Eindruckprüfung (DIN EN 12068).

Schlagbeständigkeit

Die Schlagbeständigkeit einer Umhüllung ist naturgemäß für eine Werksumhüllung von größerer Bedeutung als für eine Nachumhüllung, bei der der Vorgang des Transports in der Regel entfällt. Hier reduziert sich die Möglichkeit von Schlagbeanspruchung im Wesentlichen auf den Schritt der Rohrverlegung und insbesondere der Grabenverfüllung.

Die Prüfungsvorschrift zur Bestimmung der Schlagfestigkeit wurde in DIN 30672-1 (1991-08) wesentlich verbessert. In den ersten Rohrumhüllungsnormen war eine statistische Auswertung dieser Prüfung auf Basis einer sehr großen Grundgesamtheit von weit über hundert Schlägen vorgeschrieben. In der Prüfpraxis hat sich gezeigt, dass auch mit 30 bzw. mit 10 Schlägen die Schlagarbeit ausreichend genau bestimmt werden kann (**Bild 1c**).

Zu dem Anforderungsniveau von 1979 ist anzumerken, dass die Prüfbedingungen aufgrund leicht federnder Lagerung des Prüfrohres (Lagerung in einer Metallrinne) weniger anspruchsvoll waren als nach den Folgenormen (Lagerung auf einem massiven Metallkern).

Schälfestigkeit, Zugscherfestigkeit

DIN 50928 [25] bemerkt bezüglich der Haftfestigkeit von Korrosionsschutzumhüllungen: „Ein gutes Haftvermögen im Anlieferungszustand ist immer erforderlich und Voraussetzung dafür, dass bei Lagerung, Transport, Montage und Verlegung das Ausmaß möglicher Verletzungen der Beschichtungen gering gehalten wird“. Die Frage der Haftung im erdverlegten Zustand wird kontrovers diskutiert. Bei dichten anliegenden, formstabilen Umhüllungen haben Aufgrabungen an kathodisch geschützten Rohrleitungen gezeigt, dass fehlende oder geringe Haftung die Korrosionsschutzwirkung dann nicht beeinträchtigt [27, 28], wenn die abgelöste Beschichtung selbst intakt ist. Da diese Voraussetzungen jedoch nicht immer sichergestellt werden kann, ist auch für den Betrieb der Leitung eine ausreichende Haftfestigkeit der Umhüllung zu fordern. Diese verhindert sowohl die Bildung von Hohlräumen als auch ein Abscheren der Umhüllung infolge von Längsbewegungen der Rohrleitung oder infolge von Bodenbewegungen. Entsprechend dieser Forderung sind die zu erfüllenden Mindestschälfestigkeiten von Nachumhüllungen stetig angestiegen. Das in **Bild 1d** dargestellte Niveau der heutigen Anforderungen berücksichtigt, dass in den Prüfbedingungen die Abzugsgeschwindigkeit gegenüber 1991 von 100 mm/min auf 10 mm/min gesenkt wurde, was etwa einer Verdopplung der Anforderung entspricht.

Lediglich für Petrolatum- und Bitumenmaterialien gelten hinsichtlich der Schälfestigkeit gewisse Einschränkungen, wobei diese auf die Belastungsklasse A (Petrolatum) bzw. A und B (Bitumen) beschränkt sind. Dadurch ist die Verwendung von Materialien mit geringer Schälfestigkeit grundsätzlich limitiert.

Schälwiderstände werden üblicherweise mit einem Schälwinkel von 90° (zum Stahl) bzw. 180° (Band-Band) ermittelt. In der Praxis spielen jedoch nicht nur solche Schäl-, sondern auch Zugscherbeanspruchungen eine Rolle, wie sie z. B. aus der Relativbewegung von Rohrleitung und Erdreich entstehen. Aus diesem Grunde wurde 1991 mit DIN 30672-1 eine Mindestanforderung an die Zugscherfestigkeit der Umhüllung eingeführt, die in allen Belastungsklassen gleich hoch ist ($\geq 5 \text{ N/cm}^2$). Für Petrolatumbänder entfällt diese Anforderung, allerdings ausschließlich in der Belastungsklasse A. Für ähnlich weichplastische Bänder wäre deshalb ebenfalls zu fordern, dass diese allenfalls in Anwendungen, die der Klasse A entsprechen, eingesetzt werden dürfen.

Alterungsbeständigkeit

Eine Umhüllung muss ausreichend stabilisiert sein, um – abhängig von der Dauerbe-

triebstemperatur – einen Abbau der polymeren Werkstoffe zu verhindern, weil damit auch eine merkliche Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften verbunden wäre. Zur Prüfung der entsprechenden Stabilität von Umhüllungen wird eine Wärmealterung bei einer Temperatur oberhalb der Betriebstemperatur durchgeführt. Hierdurch ist eine Zeitraffung gegeben, die es ermöglicht, innerhalb einer relativ kurzen Prüfzeit von 100 Tagen signifikante Aussagen über die Alterungsbeständigkeit zu treffen. Die Prüfung ausgewählter Eigenschaften nach Wärmealterung wurde in Deutschland 1979 eingeführt.

Nach den heute gültigen Normen darf nach 100-tägiger Wärmealterung unter anderem die Schälfestigkeit eines Umhüllungssystems auf der Rohraußenfläche max. um 25 % abnehmen. In [29] wurde exemplarisch ein Polyethylen-Butylkautschuk-Bandsystem geprüft, welches diese Anforderung selbst nach zweijähriger Dauertemperaturbeanspruchung von 70 °C erfüllt. Dieses Resultat deckt sich mit Ergebnissen in [30], gemäß denen sogar nach 17 Jahren Auslagerung eines mit einem Dreischichtbandsystem umhüllten Rohres die Schälfestigkeiten je nach Abzugsgeschwindigkeit zwischen 11 und 45 N/cm lagen. Selbst die leicht gestiegenen Schälfestigkeitsanforderungen der aktuell gültigen Normen werden damit erfüllt. Aktuelle Untersuchungen belegen, dass bei dem gleichen Bandsystem auch nach 27 Jahren dieses Schälfestigkeitsniveau noch erreicht wird [31].

Kathodische Unterwanderung

Der bei kathodisch geschützten Leitungen vom Rand einer Fehlstelle ausgehende Haftungsverlust (Disbonding) ist auf die Bildung von Hydroxylionen in der Grenzfläche Stahl-Elektrolyt zurückzuführen. Diese Hydroxylionen verdrängen den Beschichtungsstoff von der Stahloberfläche. Es entstehen fortschreitende, enthaftete Bereiche, in denen ein dünner, stark alkalischer Film die Beschichtung unterwandert.

Der Effekt der kathodischen Enthaftung kann bei sämtlichen Umhüllungsmaterialien beobachtet werden [32]. Die Unterwanderungstiefe ist vom Rohr/Boden-Potential sowie von der chemischen Natur des Beschichtungsstoffes abhängig. Die praktische Bedeutung von im Labor gemessenen Unterwanderungstiefen ist für thermoplastische Dickschichtmaterialien (z. B. Polyethylen und Butylkautschuk) jedoch umstritten. Nach einer Versuchsdauer von einem Jahr nimmt in der Praxis die Unterwanderungstiefe praktisch nicht mehr zu. Im Bereich des Haftverlustes bilden sich zudem keine sichtbaren Spalten zwischen Umhüllung und Rohroberfläche. Zu Anrostungen, Mulden- bzw. Lochfraß im Haftverlustbereich kommt

es aufgrund des stark alkalischen Films ebenfalls nicht, da der unlegierte Stahlwerkstoff in diesem Milieu passiviert ist. Die mechanischen Eigenschaften der Umhüllung werden durch kathodische Enthftung nicht nachteilig beeinflusst. Diese Aussage gilt jedoch nur für entzünderte Stahloberflächen, die man z. B. durch Strahlen im Rohrwerk oder auf der Baustelle erhält. Wenn aber die Stahloberfläche noch mit der elektrochemisch edleren Walzhaut bedeckt ist, dann ist unter bestimmten Bedingungen das Auftreten von Spannungsrisskorrosion (SpRK) möglich. Die Grundlagen dazu sind in DIN 50928 [25] beschrieben.

Langzeituntersuchungen [26] und Untersuchungen unter erschwerten Bedingungen [33] sowie eine sorgfältige Auswertung der Literatur und der praktischen Erfahrung [34] belegen, dass das Phänomen der kathodischen Unterwanderung für den Korrosionsschutz mit thermoplastischen Dickschichtumhüllungen von untergeordneter Bedeutung ist [24].

In das Normen-Regelwerk (DIN EN 12068) wurden 1999 dennoch Anforderungen an die kathodische Enthftung eingeführt, da international dem Effekt der kathodischen Enthftung eine größere Bedeutung beigemessen wird. Zu bemerken ist in diesem Zusammenhang, dass in der Belastungsklasse C Materialien mit sehr niedriger kathodischer Enthftung eine geringere Schälfestigkeit zugestanden wird (ein Mindestwert von 5 N/cm ist jedoch auch hier zu erfüllen). Diese Kombination von Normanforderungen ist Ausdruck einer kritisch zu betrachtenden Korrosionsschutz-Philosophie, die die leichtere Beschädigung einer Umhüllung unter der Voraussetzung zulässt, dass diese Beschädigung sich in der Folge nicht signifikant vergrößert.

Leistungsfähigkeit aktueller Nachumhüllungssysteme

Im Folgenden werden Aspekte der Leistungsfähigkeit aktueller Nachumhüllungssysteme anhand von Normanforderungen sowie weiterer Kriterien diskutiert.

Petrolatumbänder

Petrolatumbänder zeichnen sich durch ihre Anschmiegsamkeit und Flexibilität aus und eignen sich deshalb besonders gut für die Umhüllung kompliziert geformter Bauteile. Technisch erfüllen Petrolatumbänder lediglich die geringen mechanischen Anforderungen der Belastungsklasse A nach DIN 30672 und DIN EN 12068. In Deutschland dürfen Petrolatumbänder bei der Errichtung von Gasleitungen deshalb nur für die Umhüllung von Armaturen und Flanschen in Ver-

bindung mit Rohrschutzmatten verwendet werden [21, 22].

Bitumenbänder

Heißverarbeitbare Bitumenbänder mit Trägergewebe erfüllen in der Regel die Anforderungen der Belastungsklasse B-30. Sie bieten damit eine mittlere mechanische Festigkeit, erreichen jedoch bei Weitem nicht das Niveau moderner Kunststoffmaterialien. Insbesondere hinsichtlich der Alterungsbeständigkeit sind Bitumenbänder den heutigen Kunststoffbändern unterlegen. In Gegenwart sulfatreduzierender Bakterien neigen Bitumenumhüllungen kathodisch geschützter Leitungen zur Bildung leitfähiger, Eisensulfidhaltiger Bereiche, die dann zu einer deutlichen Verringerung der Umhüllungswiderstände führen.

Zweischicht-Kunststoffbänder

Bänder mit einseitiger Klebeschichtung gehen in der Überlappung rein adhäsive Verklebung ein. Zwar können mit diesem Aufbauprinzip die Schälfestigkeits-Anforderungen der Belastungsklasse C erfüllt werden, es verbleiben in der Bandüberlappung jedoch Migrationspfade für Wasserdampf und Sauerstoff. Spiralkorrosion ist deshalb das häufig zu beobachtende primäre Schadensbild bei Rohrleitungen, die ausschließlich mit Zweischichtbändern umhüllt sind.

Am Beispiel von Zweischicht-Kunststoffbändern wird ersichtlich, dass die Erfüllung der Anforderungen von DIN 30672 und DIN EN 12068 lediglich eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung für einen wirksamen Korrosionsschutz darstellt. Aus diesem Grund enthalten viele Anwendernormen die weitergehende Forderung, dass für die Innenwicklung eines Korrosionsschutz-Bandsystems Bänder mit beidseitiger Klebeschichtung zu verwenden sind [35, 36].

Dreischicht-Kunststoffbänder

Nach [37] haben beidseitig mit Butylkautschuk beschichtete Bänder über ihre Adhäsionskraft hinaus die Eigenschaft, dass beim überlappenden Kontakt der Kautschuk-schichten ein Austausch beweglicher Molekülketten über die ursprüngliche Grenzschicht hinweg stattfindet. In der Folge verschweißen die Bänder zu einer homogenen Schicht. Durch diese makromolekulare Interdiffusion wird eine hohe Verbundfestigkeit erreicht, die im Maximalwert dem Trennwiderstand von kompaktem Butylkautschuk entspricht. Dank der sehr schnell einsetzenden Interdiffusion des Butylkautschuks haben beidseitig klebeschichtete Bänder einen wesentlich höheren Tack als nur adhäsiv klebende Bänder. Der weitere Interdiffusionsvorgang benötigt bei drucklosem Kon-

takt der Kautschukflächen längere Zeit, wird aber durch zusätzlichen Anpressdruck oder durch Temperaturerhöhung stark beschleunigt.

Dauerhaft vor Korrosion schützende Kunststoffbandsysteme beinhalten heute mindestens für die Innenwicklung ein Dreischichtband oder ein Butylkautschukband. Letzteres kann eine sehr dünne PE-Folie als Streckbremse beinhalten.

Die Kombination von Bändern zu Bandsystemen orientiert sich vor allem an den geforderten Verarbeitungseigenschaften. Für die Umhüllung regelmäßig geformter Bauteile (Schweißverbindungen, Rohre, Rohrbögen) werden bevorzugt Bandsysteme der Belastungsklasse C-50 nach DIN 30672 und DIN EN 12068 verwendet. Für die Umwicklung kompliziert geformter Bauteile (Abzweige usw.) macht man sich dagegen häufig die höhere Flexibilität von Butylkautschukbändern zu Nutze, die in Bandsystemen der Belastungsklasse C-30 oder B-30 als Innenwicklung in Kombination mit mechanischen Schutzbändern eingesetzt werden. Kunststoffbandsysteme der Belastungsklasse B erfüllen dabei in der Regel sogar die Schäl- und Scherfestigkeitsanforderungen der Belastungsklasse C-50. Für die Einstufung in die niedrigere Belastungsklasse C-30 oder B-30 ist lediglich die geringere Eindruckfestigkeit bzw. Schlagbeständigkeit der weicheren Butylkautschukbänder verantwortlich.

Weichplastische Bänder mit Trägergewebe

Weichplastische Bänder mit Trägergewebe und weichen Belagmassen auf Polymerbasis stellen eine Variante der bewährten Petrolatumbänder dar. Die niedrigviskosen Belagmassen auf Basis von z. B. Polybuten oder Polyisobutylen, die etwas irreführend auch als „viskoelastische“ Materialien bezeichnet werden, erlauben eine gute Benetzung der Stahloberfläche, haben aber auch geringe Schäl- und Scherfestigkeiten zur Folge. Prüfungen an entsprechenden Materialien ergeben typische Schäl- und Scherfestigkeiten von ca. 1,5 N/cm, was deutlich unterhalb der DIN EN 12068 – Mindestanforderung von 4 N/cm für die Belastungsklasse A und B – liegt. Ebenso erfüllt die Zugscherfestigkeit von typischerweise ca. 0,9 N/cm² nicht die in allen Belastungsklassen geltende Anforderung von 5 N/cm². Selbst höherviskose Modifikationen liegen mit einer Zugscherfestigkeit von ca. 3 N/cm² bei 23 °C noch unterhalb der Normanforderung. Im Sinne der Ausnahmeregelungen für Petrolatumbänder wären weichplastische Kunststoffbänder trotz zu geringer Schäl- und Scherfestigkeiten dennoch in die Belastungsklasse A einzustufen, wenn ein kohäsives Schälbild vorliegt. Für die untersuchten Materialien ist diese Voraussetzung erfüllt. Zusätzlich ist si-

cherzustellen, dass alle Systemkomponenten einschließlich der typischerweise verwendeten mechanischen Schutzbänder auf PVC-Basis die Anforderungen an die Alterungsbeständigkeit erfüllen.

Hinsichtlich der zugelassenen Einsatzbereiche sind Bandsysteme mit niedrigviskosen Belagmassen den gleichen Einschränkungen zu unterwerfen wie andere Materialien der Belastungsklasse A. Sie stellen deshalb keinen gleichwertigen Ersatz für Kunststoffbänder oder Schrumpfmateriale der Belastungsklassen B und C dar und dürfen laut DVGW-Arbeitsblatt G 462 und G 463 nicht für den Korrosionsschutz an Rohren, Schweißnähten und Bögen von Gasrohrleitungen verwendet werden.

Entgegen einer teilweise verbreiteten Auffassung berücksichtigen Definitionen und Geltungsbereiche von DIN EN 12068 sehr wohl weichplastische Bänder bzw. Bänder mit „flüssigen“ Belagmassen des oben beschriebenen Typs. Diese wären nach Abschnitt 3.2.3 (DIN EN 12068) einzustufen als „Kunststoffband, das aus einer auf Stahl sehr stark klebenden Masse besteht, die im Allgemeinen mit einer flexiblen Kunststoff-Folie verbunden ist und eine Verstärkung (Chemiefasern, Chemiefaser-Gewebe-Vlies) enthalten darf.“ Für diese Einstufung ist die Viskosität der Belagmasse völlig ohne Bedeutung, da DIN EN 12068 ausschließlich an funktionellen Anforderungen ausgerichtet ist. Berücksichtigt man weiter, dass die ohne Zweifel unter den Geltungsbereich von DIN EN 12068 fallenden Belagmassen der Butylkautschukbänder aus physikalischer Sicht als sehr hochviskose Flüssigkeit angesehen werden können, so sind Argumente, die Bänder mit „flüssigen“ Belagmassen als neue Materialien aus dem Geltungsbereich von DIN EN 12068 ausschließen wollen, absurdum geführt. Im Gegenteil sind weichplastische Bänder im Korrosionsschutz-Regelwerk bereits im Geltungsbereich des DVGW-Arbeitsblattes GW 7 von 1969 (Kaltplastische Korrosionsschutzbinden, z. B. auf der Basis von Mineralölfetten, Weichharzen oder weichbleibenden Kunststoffen) enthalten.

Schrumpfmateriale

Standard-Schrumpfmateriale erfüllen je nach Aufbau (Schichtdicke des Trägermaterials sowie Schichtdicke und Art des verwendeten Klebers) die Anforderungen der Belastungsklasse B-30 bis C-50. Systeme für eine maximale Betriebstemperatur von 30 °C zeichnen sich durch weichere Kleberbeschichtungen mit geringerer Schäl- und Zugscherfestigkeit aus, weshalb in der Regel nur geringe Vorwärmtemperaturen benötigt werden [38]. Demgegenüber sind Schrumpfmanschetten mit sehr hoch schmelzenden Kleberbeschichtungen prinzipiell bei sehr

hohen Betriebstemperaturen einsetzbar, aktuelle Entwicklungen decken dabei einen Bereich bis zu 120 °C Betriebstemperatur ab [7]. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Verarbeitung sehr hohe Vorwärmtemperaturen der Stahloberfläche erfordert, was wiederum mit einem hohen technischen Aufwand und der Gefahr der Schädigung der angrenzenden Werksumhüllung einhergeht.

Duroplastische Nachumhüllungen

Nachumhüllungsmaterialien auf Polyurethan- oder Epoxidharz-Basis werden vom Geltungsbereich der DIN EN 12068 nicht erfasst. Stattdessen werden zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit duroplastischer Materialien die Werksumhüllungsnormen DIN 30671 (Rohre) [39] und DIN 30677-2 (Armaturen) [40] sowie die neuen europäischen Normen DIN EN 10290 (Polyurethanbeschichtungen) [41], DIN EN 10289 (Flüssig-Epoxidharzbeschichtungen) [42] und prEN 10329 (Epoxy Pulverbeschichtungen) [23] herangezogen. Anhand der Einstufung nach Werksumhüllungsnormen wird bereits ersichtlich, dass PUR- oder Epoxy-Nachumhüllungssysteme eine deutlich höhere mechanische Festigkeit aufweisen als Standard-Nachumhüllungen.

Einsatzbereiche für duroplastische Nachumhüllungen sind deshalb die Schweißnahtumhüllung bei grabenlos verlegten Rohrleitungen sowie die Umhüllung kompliziert geformter Rohrleitungsbauteile, für die eine werksumhüllungsäquivalente Beschichtung gewünscht ist.

Thermoplastische Nachumhüllungen

Polyethylen- oder Polypropylen-Nachumhüllungen, die mittels Flammsspritzen oder durch „injection moulding“ hergestellt werden, wären prinzipiell nach DIN EN 12068 prüfbar, obwohl der Beschichtungsaufbau nicht im Geltungsbereich enthalten ist. Deutlich besser geeignet für die Bewertung von PE- oder PP-Baustellenbeschichtungen sind auch hier die entsprechenden Werksumhüllungsnormen (DIN 30670 für Polyethylen [43], DIN 30678 Polypropylen [44]) bzw. für PP die in prEN 10329 beschriebenen Prüfungen.

Die mechanischen Kennwerte von PE- und PP-Nachumhüllungen übertreffen diejenigen von Band- und Schrumpfmaterialeiten deutlich. Allerdings wurde bereits erwähnt, dass der technische Aufwand und damit der Kostenaufwand für die Herstellung derartiger Beschichtungen enorm groß ist, weshalb wie bei den duroplastischen Systemen auch hier die Anwendung auf technisch anspruchsvolle Einsatzbereiche beschränkt ist.

Zusammenfassung

Der Einsatz vorgefertigter Korrosionsschutz-Nachumhüllungsmaterialien begann 1927 mit der Entwicklung des ersten Petrolatumbandes. Während Bänder dieses Typs bereits sehr gute Korrosionsschutzeigenschaften aufwiesen, bot insbesondere die mechanische Widerstandsfähigkeit der daraus hergestellten Umhüllungen Potential für Verbesserungen. Die Weiterentwicklung unter Einbeziehung neuerer Materialien, zunächst Bitumen, später Polyethylen und Butylkautschuk, führte jeweils zu einer deutlichen Verbesserung der wichtigsten mechanischen Eigenschaften wie Haftfestigkeit, Eindruckfestigkeit und Schlagbeständigkeit.

Mit der gesteigerten Leistungsfähigkeit der Materialien geht die Entwicklung entsprechender Normanforderungen einher. Parallel zur Verbesserung der Werksumhüllungsmaterialien wurden dabei auch an die Nachumhüllungsmaterialien stetig höhere Anforderungen gestellt. Das heutige Normengerüst bietet deshalb einen verlässlichen Rahmen, der sowohl den Stand der Technik beschreibt, an dem aber auch Neu- und Weiterentwicklungen zu messen sind. Durch die funktionsbezogene Ausrichtung der aktuellen Nachumhüllungsnormen können alle bandförmigen Materialien nach diesen Normen geprüft und bewertet werden.

Literatur

- [1] DVGW-Arbeitsblatt GW 6 „Umhüllungen und Auskleidungen auf bituminöser Grundlage für Guß- und Stahlrohre, Anforderungen und Prüfverfahren“ (1969-11)
- [2] DVGW-Arbeitsblatt GW 9 „Merkblatt für die Beurteilung der Korrosionsgefährdung von Eisen und Stahl im Erdboden“ (1971-08)
- [3] von Hauk, V.: Herstellung kunststoffummantelter Stahlrohre. 3R internat. 13 (1974), Nr. 3, S. 125-128
- [4] Kirsch, W.: Korrosionsvorgänge und neuere Entwicklungen des Korrosionsschutzes für erdverlegte und industrielle Anlagen. Metall-Reinigung + Vorbehandlung 13 (1964), Nr. 1, S. 9-14 und Nr. 2, S. 23-32
- [5] Heim, G.: Grundlagen der Korrosionstechnologie an Rohrleitungen
- [6] von Baeckmann: Korrosion und Korrosionsschutz von Rohrleitungen. Gastechische Briefe (1980), Nr. 15. DVDW
- [7] Gritis, N.; Buchanan, B.; Taylor, D.: Polypropylene Technology. World Pipelines (OCTOBER/NOVEMBER 2003) p. 63-65
- [8] Jodorf, G. in „Blue Stream: A Challenge to Pipe Field-Joint Coating“. Protective Coatings Europe, October 2002, p. 50-56
- [9] Quast, M.: Neue Korrosionsschutzsysteme für den grabenlosen Rohrleitungsbau. 3R internat. 39 (2000) Nr. 1, S. 22-26
- [10] Quast, M.: Neue Polyurethan-Schweißnahtbeschichtung für Horizontalbohrungen. 3R internat. 42 (2003) Nr. 10-11, S. 703-707
- [11] Quast, M.: Neues Schweißnaht-Beschichtungsverfahren für Horizontalbohrungen. 3R international 44 (2005) Nr. 7, S. 405-408

- [12] von Baeckmann, W.; Heim, G.: Normung des passiven Korrosionsschutzes für Rohrleitungen und Armaturen. 3R internat. 26 (1987) Nr. 5, S. 302-305
- [13] Opitz, D.: Passiver Korrosionsschutz auf der Baustelle. bbr (1990) Nr. 5
- [14] 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“ (1999-03)
- [15] Leinweber, E.: Materialien nach DIN 30672 für das Nachisolieren von Rohrverbindungen, Rohrbögen und Abgängen. 3R internat. 20 (1981) Nr. 9, S. 476-483
- [16] Bunte; Schneider: Bericht über die Untersuchung von „Schade's plastischer Schutzbinde“. Gasinstitut, 12.10.1927
- [17] Terres; Kuhling, J.: Bericht über die Prüfung der uns von der Firma Chemieprodukte GmbH Leverkusen-Rheindorf vorgelegten zwei Muster „Denso-Binde 51“, 10 cm breit. Gasinstitut der technischen Hochschule Karlsruhe, 16.5.1952
- [18] DVGW-Arbeitsblatt GW 7 „Korrosionsschutzbinden für erdverlegte Rohrleitungen und unterirdische Behälter – Anforderung und Prüfverfahren“ (1969-11)
- [19] DIN 30672 „Korrosionsschutzbinden und Schrumpfschläuche – Umhüllungen aus Korrosionsschutzbinden und Schrumpfschläuchen für erdverlegte Rohrleitungen“ (1979-08)
- [20] DIN 30672 „Organische Umhüllungen für den Korrosionsschutz von in Böden und Wässern verlegten Rohrleitungen für Dauerbetriebstemperaturen bis 50 °C ohne kathodischen Korrosionsschutz – Bänder und schrumpfende Materialien“ (2000-12)
- [21] DVGW-Arbeitsblatt G 462 „Gasleitungen aus Stahlrohren bis 16 bar Betriebsdruck – Errichtung“, Entwurf (2003-04)
- [22] DVGW-Arbeitsblatt G 463 „Gasleitungen aus Stahlrohren für einen Betriebsdruck von mehr als 16 bar – Errichtung“ (2001-12)
- [23] prEN 10329 „Steel tubes and fittings for onshore and offshore pipelines – External field joint coatings“ (2003-01)
- [24] Schwenk, W.; Prinz, W.: Sicherung des Betriebes erdverlegter Rohrleitungen durch inneren und äußeren Korrosionsschutz. Sicherheit in der Rohrleitungstechnik, Vulkan-Verlag, Essen, S. 370-375
- [25] DIN 50928 „Prüfung und Beurteilung des Korrosionsschutzes beschichteter metallischer Werkstoffe bei Korrosionsbelastung durch wäßrige Korrosionsmedien“ (1985-09)
- [26] v. Baeckmann, W.; Schwenk, W.; Prinz, W.: Handbuch des kathodischen Korrosionsschutzes. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, 3. Auflage (1988)
- [27] Schwenk, W.: Korrosionschemische Forderungen an die Eigenschaften von Rohrbeschichtungen. 3R internat. 19 (1980) Nr. 10, S. 568-593
- [28] Pickelmann, P.: gwf-gas/erdgas 116 (1975) Nr. 6, S. 229-232
- [29] Heim, G.: Gutachten Nr. 149/1/75
- [30] Schwenk, W.; Heim, G.; Wedekind, B.; Schäfer, T.: Untersuchungen der Korrosionsschutzwirkung von Umhüllungen aus Stahlleitungsrohren nach langzeitiger Auslagerung in Wasser und im Erdboden. 3R internat. 35 (1996) Nr. 12, S. 676-685
- [31] Quast, M.: Langzeiterfahrung mit DENSOLEBandsystemen. 3R internat. 43 (2004) Nr. 7, S. 413-416
- [32] v. Baeckmann, W.; Funk, D.; Heim, G.: Untersuchung der von Fehlstellen ausgehenden Unterwanderungen der Umhüllung von Stahlrohren bei kathodischer Polarisation. 3 R internat. 14 (1975) S. 111-116
- [33] Schwenk, W.: Untersuchungen zur Korrosion von Stahlrohren unter nichthaftender PE-Umhüllung. 3R internat. 23 (1989) Nr. 6, S. 381-384
- [34] Maijs, P.D.; Carnitz, G.; Gray, D.; Huguency, T.; Pecheuer, P.; Koster, D.; Schulz, M.; Siniscalchi, A.; Stalder, F.; van der Schaaf, J. J.: Kathodische Unterwanderung von Stahlrohrleitungen. gwf gas/erdgas 130 (1989) Nr. 3, S. 176-182
- [35] Ruhrgas AG: „Baustellenumhüllungen für Werks- umhüllungen aus Polyethylen (PE)“. KN 783-006 (2000-09)
- [36] Gaz de France: „Spécifications techniques relatives a la fourniture et a l'exécution des systèmes revêtements de joints et de préparation appliqués sur des tubes en acier de transport de gaz“. GDF-DPT-Rv02, Revision 0 (1998-10-09)
- [37] Hahn, E.: Untersuchung des Verklebungsvorganges von Korrosionsschutzbändern für erdverlegte Rohrleitungen. 3R internat. 22 (1983) Nr. 5, S. 223-227
- [38] Summ, R.; Peschka, M.: Vergrößerung des Prozeßfensters bei der Applikation von Nachumhüllungen im passiven Korrosionsschutz mit neuem Klebstoff. bbr 52 (2001) Nr. 3, S. 17-23
- [39] DIN 30671 „Umhüllung (Außenbeschichtung) von erdverlegten Stahlrohren mit Duroplasten“ (1992-06)
- [40] DIN 30677-2 „Äußerer Korrosionsschutz von erdverlegten Armaturen – Umhüllung aus Duroplasten (Außenbeschichtung) für erhöhte Anforderungen“ (1988-09)
- [41] DIN EN 10290 „Stahlrohre und -formstücke für On- und Offshore-verlegte Rohrleitungen – Umhüllung (Außenbeschichtung) mit Polyurethan und polyurethan-modifizierten Materialien; Deutsche Fassung EN 10290:2002“ (2004-08)
- [42] prEN 10289 „Stahlrohre und -formstücke für On- und Offshore-verlegte Rohrleitungen – Umhüllung (Außenbeschichtung) mit Epoxi- und epoxi-modifizierten Materialien; Deutsche Fassung EN 10289:2002“ (2004-08)
- [43] DIN 30670 „Umhüllung von Stahlrohren und -formstücken mit Polyethylen“ (1991-04)
- [44] DIN 30678 „Umhüllung von Stahlrohren mit Polypropylen“ (1992-10)





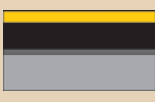
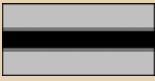
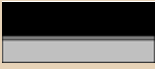




Tab. 1: Zuordnung bandförmiger Nachumhüllungsmaterialien zu Korrosionsschutz-Materialnormen**Table 1:** Assignment of tape field coatings to corrosion protection standards

Norm / Regelwerk	Ausgabe- datum	Teerpechbinden	Bitumenband (warm verarbeitbar)	Plastisches Kunststoffband (allgemein)	Kunststoffband allgemein	Petrolatumband ohne Abdeckfolie	Petrolatumband mit Abdeckfolie	Kunststoffband mit Trägerfolie	Kunststoffband mit Gewebe	Kunststoffband ohne Träger	Wärmeschrumpfendes Material
DVGW-Arbeitsblatt GW7	1969-11	X	X	X ^{a)}	X ^{b)}						
DIN 30672	1970-08		X				X	X	X	X	X
DIN 30672-1 [24]	1991-09		X				X	X	X	X	X
DIN EN 12068	1999-03		X			X	X	X	X	X	X
DIN 30672	2000-12		X				X	X	X	X	X

- a) kaltplastische Korrosionsschutzbinden, z.B. auf Basis von Mineralölfetten, Weichharzen oder weichbleibenden Kunststoffen
b) Korrosionsschutzbinden oder Kombinationen auf Kunststoffbasis

Tab. 2: Zuordnung möglicher Bandquerschnitte zu Bandklassifizierungen nach (DIN) EN 12068

Table 2: Classification of tape cross sections according to (DIN) EN 12068

Norm-Abschnitt	Klassifizierung	Norm-Definition	mögliche / übliche Querschnitte	Beschreibung
3.2.1	Petrolatumband (kalt verarbeitbar)	Korrosionsschutzband, das aus einem Träger aus Chemiefaser-Gewebe/-Vlies) besteht, der beidseitig mit einer weichen, bei Umgebungstemperatur von Hand verstreicher Petrolatummasse beschichtet ist. Es darf einseitig mit einer Kunststoff-Folie bedeckt sein.		Petrolatumband mit Abdeckfolie
				Petrolatumband ohne Abdeckfolie
3.2.2	Bitumenband (warm verarbeitbar)	Korrosionsschutzband, das aus einem Träger aus Glas- oder Chemiefaser-Gewebe/-Vlies besteht, der beidseitig mit einer Bitumenmasse beschichtet ist.		Bitumenband mit Gewebe/-Vlies
3.2.3	Kunststoffband (kalt oder warm verarbeitbar)	Korrosionsschutzband, das aus einer auf Stahl sehr stark klebenden Masse besteht, die im allgemeinen mit einer flexiblen Kunststoff-Folie verbunden ist und eine Verstärkung (Chemiefasern, Chemiefaser-Gewebe/-Vlies) enthalten darf.	alle Typen der Abschnitte 3.2.3.1 bis 3.2.3.3	-
				Plastisches Kunststoffband mit Trägergewebe/-vlies, ohne Abdeckfolie
3.2.3.1	Kunststoffband mit Trägerfolie	Korrosionsschutzband, das aus einer flexiblen Kunststoff-Folie besteht, die ein- oder beidseitig mit klebender Masse beschichtet ist. Die klebende Masse darf mit Chemiefasern verstärkt sein.		asymmetrisches Dreischichtband mit Polyethylen-Trägerfolie und beidseitiger Butylkautschukbeschichtung
				symmetrisches Dreischichtband mit Polyethylen-Trägerfolie und beidseitiger Butylkautschukbeschichtung
				Zweischichtband mit Polyethylen-Trägerfolie und einseitiger Butylkautschukbeschichtung
				(PE-)Klebefolie, bestehend aus Polyethylen-Trägerfolie und einseitiger Haftkleberbeschichtung
3.2.3.2	Kunststoffband mit Träger-Gewebe/-Vlies	Korrosionsschutzband, das aus einem Chemiefaser-Gewebe/-Vlies besteht, das beidseitig mit klebender Masse beschichtet ist und zusätzlich eine Kunststoff-Folie enthält.		Plastisches Kunststoffband mit Trägergewebe/-vlies und Abdeckfolie
3.2.3.3	Kunststoffband geringer Festigkeit	Korrosionsschutzband, das vollständig aus einer klebenden Masse besteht. Es darf eine flexible Kunststoff-Folie (Dicke ≤ 0,15 mm) enthalten, um eine Überdehnung während der Verarbeitung zu vermeiden.		Butylkautschukband
				Butylkautschukband mit Streckbremse

Tab. 3: Entwicklung ausgewählter Normanforderungen für Korrosionsschutz-Nachumhüllungsmaterialien

Table 3: Development of selected standard requirements for corrosion protective field coatings

Eigenschaft		Einheit	Materialnorm / Regelwerk (Ausgabedatum)						
			DVGW-Arbeitsblatt GW7 (11-1969)	Belastungs- Klasse	DIN 30672 (08-1979)	DIN 30672-1 (09-1991)	DIN EN 12068 (03-1999)	DIN 30672 (12-2000)	
Wassergehalt		%	≤ 1	alle	≤ 1				
Wasseraufnahme		%	≤ 0,5						
Dicke	Petrolatumband	mm	n. Herstellerangabe	alle	≥ 1	≥ 1			
	Bitumenband		≥ 4		≥ 4	≥ 4			
	Kunststoffband		n. Herstellerangabe		n. Herstellerangabe	n. Herstellerangabe			
	Schrumpfmateriale		nicht enthalten		n. Herstellerangabe	n. Herstellerangabe			
Masse Träger-	Gewebe	g / m ²		alle	≥ 100	≥ 100			
	Vlies				nicht zulässig	≥ 100			
	Glasgewebe				≥ 200	≥ 200			
Fadenzahl Träger-	Gewebe	-		alle	≥ 60	≥ 60			
	Vlies				nicht zulässig				
	Glasgewebe				≥ 30	≥ 30			
Reißdehnung		%		alle	≥ 150	≥ 250			
Reißfestigkeit		N/cm	≥ 20	alle	≥ 30	≥ 30			
Verseifungszahl	Grundierung	mg KOH/g	≤ 5	alle	≤ 10	≤ 25		≤ 25	
	Träger				≤ 10	≤ 10		≤ 25	
	Belagmasse				≤ 10	≤ 25		≤ 25	
Schälfestigkeit auf Stahl bei 23 °C, 100 mm/min	N/cm	≥ 1	A	≥ 2 ^{a)}	≥ 8 ^{a) b)}				
			B	≥ 4	≥ 8 ^{b)}				
			C	≥ 8	≥ 15				
Schälfestigkeit auf Stahl bei 23 °C, 10 mm/min ^{c)}	N/cm		A			≥ 4	≥ 4		
			B			≥ 4	≥ 4		
			C			≥ 10	≥ 7,5	≥ 5	≥ 10
Kathodische Enthftung		mm		C			≤ 20	≤ 15	≤ 10
Schälfestigkeit Band-Band, 100 mm/min	N/cm	≥ 1	A	≥ 2	≥ 8 ^{d)}	≥ 8 ^{d)}		≥ 8 ^{d)}	
			B	≥ 2	≥ 8 ^{d)}	≥ 8 ^{e)}		≥ 8 ^{e)}	
			C	≥ 2	≥ 15 ^{d)}	≥ 15	≥ 15	≥ 10	≥ 15
Eindruckfestigkeit, Stempelauflast	N/mm ²		A	0,05 ^{f)}	0,05 ^{g)}	0,1		0,1	
			B	0,1 ^{f)}	0,1 ^{g)}	1		1	
			C	10	10	10		10	
Schlagfestigkeit	Nm		A	≥ 2 ^{h)}	≥ 2	≥ 4		≥ 4	
			B	≥ 8 ^{h)}	≥ 8	≥ 8		≥ 8	
			C	≥ 15 ^{h)}	≥ 15	≥ 15		≥ 15	
Umhüllungswiderstand	Ω · m ²	≥ 10 ⁵	A	≥ 10 ⁵	≥ 10 ⁶	≥ 10 ⁶		≥ 10 ⁶	
			B	≥ 10 ⁶	≥ 10 ⁶	≥ 10 ⁶		≥ 10 ⁶	
			C	≥ 10 ⁸	≥ 10 ⁸	≥ 10 ⁸		≥ 10 ⁸	
Zugscherfestigkeit bei 23 °C und T _{max}	N/cm ²		A		≥ 5 ^{a)}	≥ 5 ^{a)}		≥ 5 ^{a)}	
			B		≥ 5	≥ 5		≥ 5	
			C		≥ 5	≥ 5		≥ 5	

a) Anforderung entfällt für Petrolatumbänder

b) Anforderung entfällt für Bitumenbänder bei kohäsiem Schälbild mit 1,5 mm Restschichtdicke

c) Anforderung entfällt für Petrolatumbänder bei kohäsiem Schälbild. Anforderung entfällt für Bitumenbänder bei kohäsiem Schälbild mit min. 0,25 mm Restschichtdicke

d) Anforderung entfällt für Petrolatumbänder und Bitumenbänder

e) Anforderung entfällt für Bitumenbänder

f) Restschichtdicke bei Stempelauflast = min. 75% der Ausgangsschichtdicke bzw. min. 0,6 mm bei Bändern mit Trägerfolie

g) Restschichtdicke bei Stempelauflast = min. 1,5 mm für Petrolatumbänder und Bitumenbänder bzw. min. 0,6 mm bei Bändern mit Trägerfolie

h) Lagerung der Prüfröhre in Stahlrinne statt auf massivem Stahlkern, dadurch geringeres Leistungsniveau

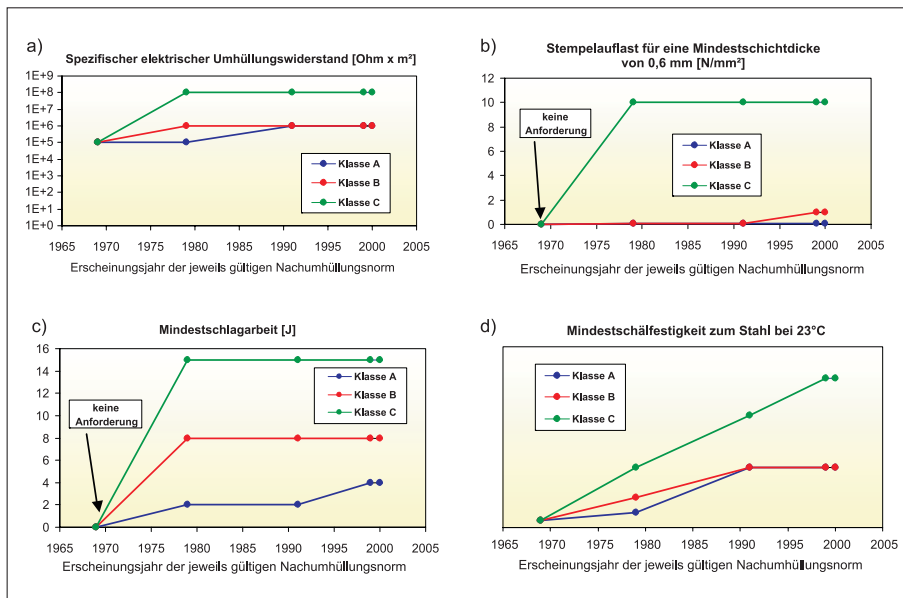


Bild 1: Entwicklung der Normanforderungen an Korrosionsschutz-Nachumhüllungen: a) Spezifischer elektrischer Umhüllungswiderstand, b) Eindruckfestigkeit, c) Schlagbeständigkeit, d) Schälhaftigkeit

Fig. 1: Development of standard requirements for corrosion protective field coatings: a) specific electrical insulation resistance, b) indentation resistance, c) impact resistance, d) peel strength



Bild 2: Normungs- und regelwerkskonformer Einsatz von Nachumhüllungsmaterialien: a) Petrolatumband, b) Bitumenband, c) Kunststoffbandsystem, d) Schrumpfmanschette, e) Polyurethan-Schweißnahtbeschichtung

Fig. 2: Use of field coatings in accordance with material standards and technical rules: a) Petrolatum tape, b) Bitumen tape, c) Plastics tape, d) Shrink sleeve, e) Polyurethane joint coating



Bild 3: Nicht normungs- und regelwerkskonformer Einsatz von Nachumhüllungsmaterialien: Weichplastisches („viskoelastisches“) Korrosionsschutzband als Schweißnahtumhüllung

Fig. 3: Use of field coatings contrary to material standards and technical rules – smooth („viscoelastic“) corrosion protection tape as field joint coating