

Passiver Korrosionsschutz an Rohrleitungen in Problembereichen

Passive anti-corrosion protection of piping systems in problematical areas

Von Alexander Fehr und Ralf Summ

An Gasrohrleitungen werden sehr häufig starke Korrosionserscheinungen in unterschiedlichen Bereichen (Außenkorrosion) festgestellt. Diese korrosionsgefährdeten Bereiche (Erde/Luft-Bereiche, Rohrdurchführungen, Rohrlagerungen und der Bereich unter Rohrschellen) werden von konventionellen Korrosionsschutzsystemen nicht ausreichend geschützt. Anhand von Praxisbeispielen wird in diesem Beitrag erläutert, wie Korrosion entstehen kann und welche Anforderungen sich daraus an Korrosionsschutzsysteme stellen, um in den gefährdeten Bereichen einen erhöhten Schutz zu gewährleisten. Lösungsbeispiele werden aufgezeigt.

Corrosion often occurs in special zones of piping. These zones are pipe supports, soil-air-area, under the fixing of pipes and the passage of pipes. Practical examples are investigated. The corrosion mechanism is shown to crevice corrosion. Corrosion protection systems for these zones are explained in this article.



Bild 1: Umhüllungs- und Korrosionsschäden im Übergangsbereich Erde/Luft

Fig. 1: Sheeting and corrosion damage at the earth/air transition point

Passiver Korrosionsschutz

Heute werden Stahlrohrleitungen für die Verlegung in Böden größtenteils mit Polyethylen umhüllt. Neben den primären Korrosionsschutzfunktionen ergeben sich für die Umhüllungen im Rohrleitungsbau noch eine Reihe zusätzlicher Anforderungen, die den Erhalt der Grundfunktionen sicherstellen sollen. Es handelt sich hierbei hauptsächlich um Anforderungen, die sich aus den Belastungen der Umhüllung durch Transport, Lagerung, Installation und Betrieb ergeben. Polyethylen hat sich in der Praxis als ein mechanisch hoch belastbarer Korrosionsschutz bewährt. Steineindruck durch Bodenverdichtung oder Transportschäden können zum Großteil ausgeschlossen werden. Um einen durchgehend guten Korrosionsschutz gewährleisten zu können, wurde die zuständige Norm für Nachumhüllungssysteme DIN EN 12068 im September 1998 überarbeitet. Mit diesem Anforderungsprofil, dem die neue Generation von High-tech-Nachumhüllungsbinden gerecht wird, sind Unterflur verlegte Rohrleitungen vor Korrosion geschützt und eine optimale Systemintegration von Werksumhüllung, Nachumhüllungssystem und kathodischem Korrosionsschutz (zur Absicherung der Fehlerstellen) geschaffen.

Korrosionsgefährdete Bereiche

Noch nicht optimal geschützt durch oben genannte Systeme sind Bereiche, die sehr hohe Anforderungen an die Funktion von Korrosionsschutzsystemen haben, wie

- Erde/Luft-Bereich,
- Rohrdurchführung,
- Rohrlagerung und
- der Bereich unter Rohrschellen.

In diesen Bereichen werden oft Nachumhüllungssysteme appliziert, die gegen ihre Herstellerbestimmung eingesetzt werden, zum Beispiel Bindematerialien für erdverlegte Leitungen im Übergangsbereich Erde/Luft.

Da hier der Teil KKS in der Systemintegration entfällt und sich außerhalb des Erdbodens veränderte Anforderungsprofile abzeichnen, für die das Unterflur-Umhüllungsmaterial nicht ausgelegt ist, entstehen andere Ansprüche an ein passives Korrosionsschutzsystem. Das Erkennen dieser Notwendigkeit ist umso wichtiger, je besser der Korrosionsschutz von erdverlegten Leitungen ist.

Korrosion im Erde/Luft-Bereich

Rohrleitungen sind in diesem Bereich aufgrund der Witterungsbelastung Wärme, Kälte, Feuchtigkeit und UV-Einstrahlung einem

besonderen Korrosionsrisiko ausgesetzt. Die Adhäsion des Bindmaterials, die weitgehend vom Ringverbund abhängt, kann nachlassen. Dadurch entstehen Risse und Spalten, die sich von den oberen Umhüllungskanten nach unten arbeiten. Durch Kapillare kann somit Feuchtigkeit unter die Umhüllung ziehen, wodurch die Voraussetzungen für Spaltkorrosion zwischen Rohr und Umhüllung geschaffen sind.

Auch unter der Erdgleiche gibt es weitere Faktoren zur Auslösung von Korrosion:

Hohl- und Spaltraumbildungen durch Steindruck in das Umhüllungsmaterial und fehlerhaftes Aufbringen der Umhüllungen. Der Steindruck ist also abhängig von dem Zustand des Grabenbodens und der Qualität des Füllmaterials. Das spitze Gestein führt unter der Gewichtslast des Rohrstranges, sowie den Kräften bei der Verdichtung der Rohrgrabenfüllung zu hohen punktuellen Drücken. Auch durch Rohrbewegung und bergbaulich oder geologisch ausgelöste Erdbewegungen wird das Umhüllungsmaterial stark belastet.

Durch die Rauigkeit des Erdreiches kann es zum Abrieb und zur Abscherung des Umhüllungsmaterials kommen (**Bild 1**).

Wenn mehr als eine Fehlstelle auftritt, was in der Praxis häufig vorkommen kann, dringt das in das Erdreich sinkende Wasser in eine Fehler-



Bild 2: Korrosionsschäden im Bereich einer Rohrdurchführung
Fig. 2: Corrosion damage at a pipe penetration



Bild 3: Sichtbare Korrosionsschäden nach der Demontage einer Rohrschelle
Fig. 3: Visible corrosion damage following removal of a pipe clamp

stelle ein und an anderer Stelle wieder aus. Sind diese Fehlerstellen durch Hohlräume miteinander verbunden (bedingt durch die Überlappung oder fehlerhafte Applikation des Bindematerials), muss man mit einer hohen linearen Abtragsrate rechnen. Untersuchungen von Korrosionsschäden an Rohren mit Werksumhüllung, die der Witterung ausgesetzt waren, haben ergeben, dass die Umhüllungsenden von Korrosionsprodukten unterwandert waren. Das PE-Material hatte sich angehoben und konnte nach Einschnitt in Längsrichtung (Aufhebung des Ringverbundes) auf etwa 6 cm Länge leicht angehoben werden. Es kam offensichtlich zu einer Spaltkorrosion, weil sich das Material durch Temperatureinflüsse ausdehnte und zu Anfang einen kleinen Spaltraum bildete, der sich mit zunehmendem Korrosionsangriff weiter vergrößerte. Ursache dafür kann in der sehr dünnen Epoxidharz-Grundbeschichtung liegen. Offenbar reichte diese nicht aus, die Materialaufrauungsspitzen vollständig abzudecken, die bei der Oberflächenvorbereitung (Sandstrahlen) entstehen. Das schränkt aber in keiner Weise die eigentliche Verwendung als Korrosionsschutzumhüllung an in der Erde liegenden Leitungen ein. Korrosionsschäden ähnlicher Art wurden auch in anderen Bereichen festgestellt.

Korrosion im Bereich von Rohrdurchführungen durch Wände

Rohrdurchführungen in Mauer- und Betonwänden von offenen Schächten und Kellerräumen von Maschinenanlagen usw. sowie in Widerlagern von Brücken brauchen einen hohen Schutz gegen Feuchtigkeit und Beschädigungen mechanischer Art. Deswegen werden die Rohre in den gefährdeten Bereichen mit PE-Werksumhüllungen, Butyl-Kautschuk und PE-Dünnbinden ausgestattet. Häufig wird im Bereich der Wandpassage das Produktenrohr durch ein in der Wand eingebautes Schutzrohr aus Stahl eingelassen. Zwischen dem Produktenrohr und der

Innenwand des Schutzrohres, was meist kein Korrosionsschutz besitzt, werden Abdichtelemente verschiedener Ausführungen eingebaut.

In Rohrdurchführungsbereichen zum Beispiel in Gebäudeschächten von Gasverdichter- bzw. Flüssiggasumwandlungs- oder Gasdruckreduzierungs-Übergabestationen treten extrem hohe Belastungen durch die enormen thermischen Wechsel auf (Erwärmung durch Verdichtung, Abkühlung durch Entspannung des Mediums). In offenen Schächten dagegen, wirkt weniger die Temperatur belastend, als vielmehr die hohe Luftfeuchtigkeit durch Bodenwasser und Luftbewegungsmangel in der warmen Jahreszeit.

In geschlossenen Schächten und Kellerräumen liegt die Luftfeuchtigkeit auf Grund der dort vorliegenden hohen Temperatur entsprechend hoch. Wenn der Stahl ständig mit einem Feuchtigkeitsfilm benetzt ist, wirkt dieser als Elektrolyt und die Korrosion kann sich schnell ausbreiten (**Bild 2**).

Korrosion entwickelt sich unter verschiedenen Voraussetzungen (Verletzungen des Umhüllungsmaterials infolge thermischer und mechanischer Einwirkung) durch elektrochemische Elementbildungen in Spalt- und Hohlräumen.

Durch unterschiedliche Absetzbewegungen in der Erde zwischen Rohr- und Gebäudefundament-Niveaulage, die abhängig von der Bodenbeschaffenheit oder durch bergbauliche oder geologische Einwirkungen unterschiedlich groß sein können, führen zu mechanischen Einwirkungen auf das Produktenrohr bzw. dessen Umhüllung und die Abdichtungselemente. Die Gefahr der Zerstörung und der damit verbundenen Undichtigkeit ist somit sehr hoch. Als sicheres Indiz dafür kann die Rostwasserablauffahne auf der Innenseite der Mauer gelten.

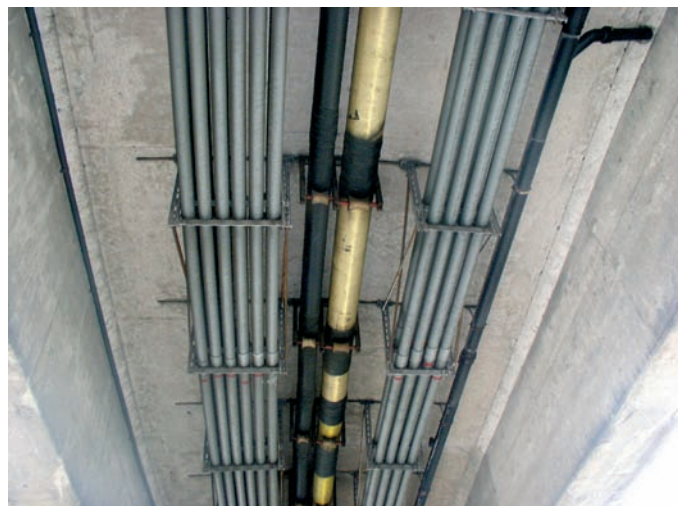


Bild 4: Korrosion im Bereich der Rollenlager durch mechanischen Verschleiß
Fig. 4: Corrosion in the area of the roller-bearing by dint of mechanical erosion



Bild 5: Korrosion im Bereich der Rollenlager durch mechanischen Verschleiß
Fig. 5: Corrosion in the area of the roller-bearing by dint of mechanical erosion



Bild 6: Korrosionsschäden nach der Demontage eines Rohrlagers

Fig. 6: Corrosion damage following removal of a pipe support

Korrosion im Bereich von Rohrschellen

Zum einen dienen Rohrschellen zur Befestigung verschiedener zum Produktenrohr gehörender Einrichtungen oder in Verbindung mit Stütz- oder Verbindungselementen zum Positionieren des Rohres selbst in einer bestimmten Lage. Steuerleitungen beispielsweise, werden häufig mit Stahlrohrschellen befestigt. In der Regel wird die Rohrleitung in diesem Bereich nur mit einem Korrosionsschutzanstrich versehen. Durch die mechanische Beanspruchung der Leitung wird diese dünne Schutzschicht beschädigt. Dort bildet sich dann unter Zutritt von Feuchtigkeit ein Korrosionselement, so dass es zu extrem starken Korrosionsschäden kommen kann (**Bild 3**).

Korrosion im Bereich von Rohrauflagern

Um axiale Gleitbewegungen auszugleichen, sind Stahlrohre oft auf Betonstützen (-fundamenten) gelagert. Der Korrosionsschutz im Auflagerbereich besteht oft aus normalen Beschichtungen, wie sie auch auf anderen Rohrflächen in Anlagen aufgebracht sind. Im Lagerbereich dient lediglich ein lose eingelegetes Zwischenlager aus Gummi-, Kunststoff oder Bitumenbindenmaterial als Abriebschutz.

Nach dem Öffnen verschiedener Auflager wurden Korrosionsschäden sichtbar. Mögliche Gründe für die Korrosionsentwicklung bei Zwischenlagern sind mechanische Einwirkungen wie Bewegungen des Rohres durch Temperaturwechsel und durch anlagenbedingte Vibrationen (zum Beispiel Strömungen des Mediums in Rohrverteilern usw.) sowie Witterungseinflüsse (zum Beispiel Wärme, Kälte und Feuchtigkeit), die die Lager stark beanspruchen (**Bild 4** und **Bild 5**). Bei der Demontage waren sie mehr oder weniger deformiert oder völlig zerstört. Infolge der Materialdeformierung können Hohl- und

Tab. 1: Anforderungsprofil an passive Korrosionsschutzsysteme in den Problembereichen

Table 1: Requirement profile for passive anti-corrosion protection systems in problem-atical areas

	mechanische Belastbarkeit	UV-Beständigkeit	Adhäsion	Dichtigkeit
Unterflur	mittel	unnötig	mittel	mittel
Überflur	gering	hoch	mittel	hoch
Erde-Luft-Bereich	hoch	hoch	hoch	hoch
Unter Rohrschellen	hoch	mittel	hoch	hoch
Unterflurlager *	hoch	unnötig	hoch	mittel
Überflurlager	hoch	hoch	hoch	hoch
Rohrdurchführungen	hoch	mittel	hoch	hoch

Spalträume sowie Risskanäle zwischen Rohr und Zwischenlager bzw. zwischen Rohr und Betonlagerfläche entstehen, die sich mit einem Elektrolyt (Regenwasser) auffüllen und damit die Entstehung von Korrosionselementen bilden (**Bild 6**).

Jeder Korrosionsschaden ist einzigartig, aber an den gezeigten Beispielen lassen sich trotzdem Gemeinsamkeiten erkennen. Die Adhäsion der Umhüllung auf der Rohraußenfläche wird durch thermische Wechselbelastung (Wärme/Kälte), Versprödung (durch UV-Einstrahlung ausgelöst) und/oder mechanische Belastung deutlich herabgesetzt. Es entstehen Risse und kleine Spalten, die von Feuchtigkeit durchzogen werden und so die Voraussetzung für Spaltkorrosion schaffen.

Um ein Anforderungsprofil für einen passiven Schutz in den besonders exponierten Bereichen erstellen zu können, sollen die korrosionschemischen Grundlagen kurz erläutert werden.

Die eigentliche Metallaufösung, $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$, der Vorgang also, der zum Schaden bzw. Versagen führt, wird als anodische Teilreakti-

on oder auch als Oxidation bezeichnet. Dabei ist entscheidend, dass zwei Elektronen freigesetzt werden.

Damit die Reaktion voranschreiten kann, müssen die Elektronen verbraucht werden. In den vorliegenden Fällen geschieht das durch folgende Reaktion, die als kathodische Teilreaktion oder auch als Reduktion bezeichnet wird: $\frac{1}{2} O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2 OH^-$.

Beide Teilreaktionen müssen ungehindert ablaufen können, damit es zur Korrosion kommt.

Wenn es zu einer gleichmäßigen Flächenkorrosion kommt, sind anodische und kathodische Bereiche zeitgleich und örtlich nahezu gleichmäßig über die Oberfläche verteilt, und es entsteht der Eindruck, dass die Oberfläche gleichmäßig abgetragen wird. Sind die kathodischen und anodischen Bereiche deutlich voneinander getrennt, spricht man von Korrosion durch Elementbildung. Ein Belüftungselement entsteht dadurch, dass nicht alle Bereiche der Oberfläche gleichermaßen mit Sauerstoff versorgt werden.

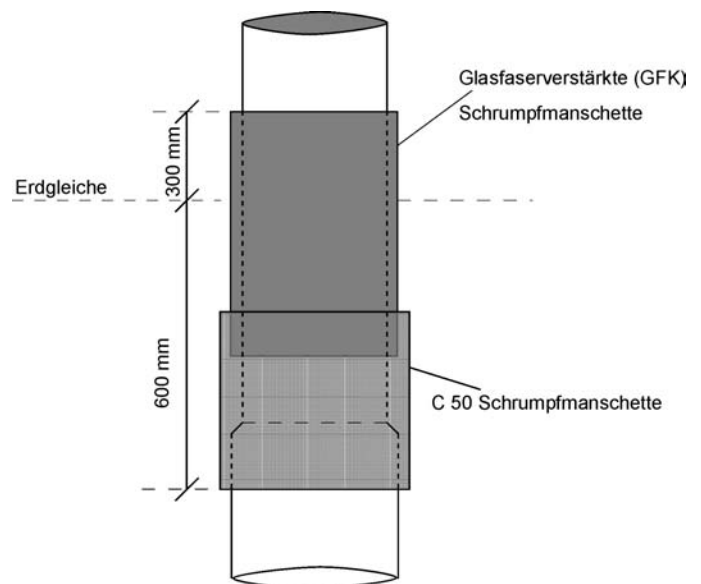


Bild 7: Beschichtung im Übergangsbereich Erde/Luft

Fig. 7: Coating at the earth/air transition point

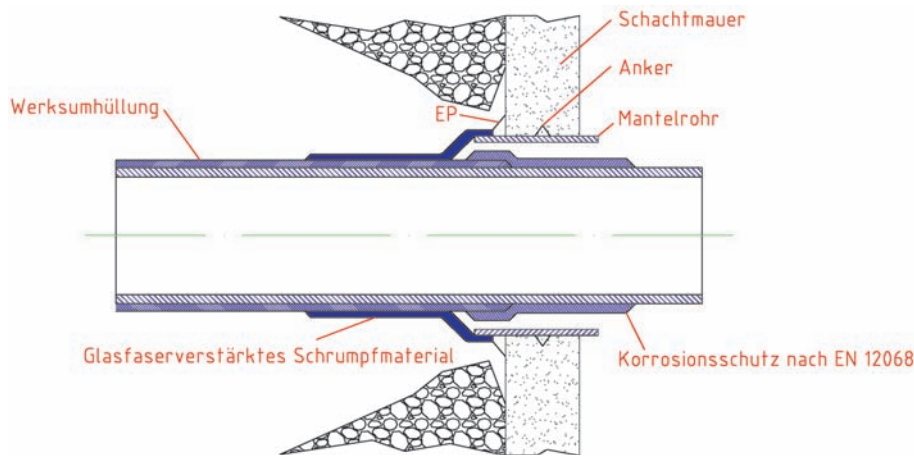


Bild 8: Beschichtung im Bereich einer Rohrdurchführung mit Abdichtung
Fig. 8: Coating at a pipe penetration, showing sealing

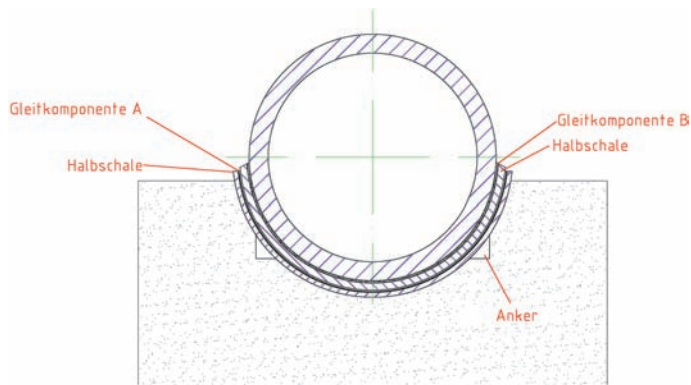


Bild 9: Beschichtung als Halbschalenlager
Fig. 9: Coating in the form of a half-shell support

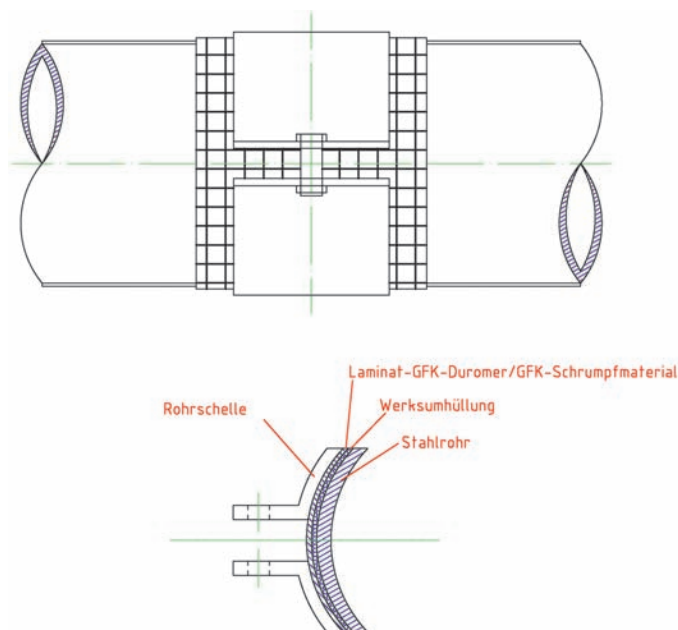


Bild 10: Beschichtung unter Rohrschellen
Fig. 10: Coating under pipe clamps

Hat sich die Beschichtung an einer Stelle von der Rohraußenwand gelöst, entsteht ein Spalt. An diesem Spalt wird sich ein Korrosionselement bilden. Dieser Vorgang wird als Spaltkorrosion bezeichnet. An der Spaltöffnung liegt genügend Sauerstoff vor. Je tiefer man in den Spalt vordringt, desto weniger Sauerstoff ist vorhanden. Die Sauerstoffverarmung ist dabei entscheidend von der Spaltgeometrie abhängig.

Damit ist der kathodische Bereich vom anodischen Bereich getrennt.

An der Spaltöffnung findet die Sauerstoffreduktion statt, während im Spaltgrund die anodische Metallauflösung abläuft. Aufgrund der Hydrolyse der Eisenionen im Spaltgrund sinkt der pH-Wert, was die chemische Reaktion zusätzlich fördert. Außerdem werden negativ geladene Gegenionen durch die Konzentration positiver Ladungen in den Spalt gezogen. Der Schaden bleibt lange unerkannt. Erst wenn voluminöse Korrosionsprodukte die Beschichtung abheben oder nach außen dringen, wird der Schaden sichtbar.

Anforderungsprofil an passive Korrosionsschutzsysteme in den Problembereichen

In den unterschiedlichen Bereichen werden folgende Anforderungen an die Umhüllung gestellt (**Tabelle 1**).

Korrosionsschutzmaßnahmen in Problembereichen

Erde/Luft-Bereich

Im gefährdeten Erde/Luft-Bereich kann ein GFK-Schrumpfbeschichtungssystem (z. B. DIRAX ELB KIT) eingesetzt werden. Es besteht aus zwei geteilten, wärmeschrumpfenden Manschetten. Eine für den Bereich oberhalb der Erdgleiche (Integriertes GFK) und eine zweite für den Bereich unterhalb der Erdgleiche, inklusive eines Epoxydharzes, als komplette montagefertige Baustelleneinheit (**Bild 7**).

Die obere Manschette bildet ein Dreischichtsystem ab, bei dem zuerst eine dünne Schicht Epoxydharz appliziert wird. Hiernach wird die Schrumpfmanschette (nach Möglichkeit in das noch feuchte Epoxy) mit ihrer werkseitigen Klebstoffbeschichtung aufgebracht. Diese Manschette ist mit einem Glasgewebe laminiert (GFK), was die mechanischen Eigenschaften verbessert und sich damit besonders für den kritischen Erde/Luft-Bereich auszeichnet. Da das Glasgewebe ein Bestandteil der Manschette ist, entfällt die handwerklich sehr aufwändige Handlaminiierung. Durch die Molekularvernetzung weist das Material eine hohe UV-Stabilität aus. Im unteren Bereich wird als Überbrückung zur Belastungsklasse C50 appliziert, um einen homogenen Schutz für den ganzen Erde/Luft-Bereich gewährleisten zu können.

Rohrdurchführung

Rohrdurchführungen durch Wände werden so ausgeführt, dass eine glasfaserverstärkte Manschette (CSEM-F) im Erdreich etwa 60 cm vor der Wand beginnt und auf das Mantelrohr abschließt. Die Verwendung eines glasfaserverstärkten Kunststoffes verleiht der Manschette eine hohe mechanische Festigkeit und dichtet somit optimal gegen das Erdreich und evtl. anfallende Feuchtigkeit ab. Im Übergangsbereich der PE-Umhüllung und dem Produktenrohr wird ein Korrosionsschutz nach EN 12068 appliziert. Der Ringraumabstand des Mantelrohres zur Beschichtung beträgt etwa 4 cm (**Bild 8**). Eine Zustandskontrolle des Rohres im Bereich der Rohrdurchführung von der Gebäudeinnenseite wird dadurch ermöglicht.

Rohraufleger als Halbschale

Bei der Montage des Rohrauflegers wird die Beschichtung als Halbschale auf der Rohrunterseite aufgebracht. Die Beschichtung ragt etwa 10 cm links und rechts über das Gleitlager hinaus, das aus Beton oder Stahl gefertigt sein kann. In das Gleitlager wird eine PVC-Halbschale eingeklebt, die auf der Innenseite mit einer Gleitkomponente ausgestattet ist (**Bild 9**). Bei dieser Ausführung ist ein hinreichender Korrosionsschutz im Lagerbereich gegeben sowie die Lagereigenschaft durch die Gleitkomponente gewährleistet.

Als Unterflurvariante wird bei dieser Ausführung die EP/PVC-Beschichtung im Ringverbund eingesetzt. Dadurch ist ein problemloser Übergang zur Werksumhüllung geschaffen und die Rohrleitung mechanisch geschützt.

Rohrschellen

Im Bereich der Rohrschellen wird eine Vinyllesterharz-Beschichtung auf das Medienrohr aufgebracht (**Bild 10**).

Diese Beschichtung ist UV-stabil und zudem sehr Witterungs- und Chemikalbeständig. Die Rohrschelle kann durch die hohe Druckfestigkeit der Beschichtung unverrückbar fest mit dem Schraubenanzug arretiert werden.

Alternativ bietet sich hier auch das Material DIRAX an, das im Erde/Luft-Bereich eingesetzt wurde.

GFK-Materialien

Die GFK-Materialien lassen sich prinzipiell in zwei Gruppen einteilen:

- Standardisierte, nach DIN EN 12068 geprüfte Materialien (wie z. B. glasfaserverstärkte Schrumpfmanschetten)
- Nicht standardisierte Glasfasergewebe in Verbindung mit einem Reaktionskunststoff

Tabelle 2 gibt eine Übersicht der Eigenschaften der unterschiedlichen flüssigen Kunststoffe, die hauptsächlich für GFK-Lamine eingesetzt werden.

Tab. 2: Eigenschaften der Reaktionskunststoffe für GFK-Lamine

Table 2: Properties of reaction-plastic for laminats

	Mechanische Eigenschaften	UV-Beständigkeit	Chemische-Beständigkeit	Adhäsionsverhalten	Korrosionsschutz	Witterungsbeständigkeit
Vinylesterharz	+++	+++	+++	++	++	++
Polyurethan	+++	+++	++	+++	++	++
Epoxidharz	+++	++	+++	+++	+++	+++
Polyesterharze	++	++	++	++	++	++

Bild 11: Sanierter Lagerbereich mit neu konstruierter Stahlkonstruktion

Fig. 11: The rehabilitate storage area with new constructive steel construction



Durch das Glasgewebe bieten die GFK-Schrumpfprodukte wie auch die GFK-Duromere einen erhöhten mechanischen Schutz vor Beschädigungen (**Bild 11**). Auf Grund dieser Eigenschaft werden diese auch häufig für Horizontalspülbohrungen verwendet. Allerdings besitzen die glasfaserverstärkten Duromer-Lamine konstruktiv ein kleineres Prozessfenster bei der Applikation.

Schlussbemerkung

Die verschiedenen passiven Systeme (auch Nachumhüllungssysteme) sind für unterschiedliche Anwendungsfälle ausgelegt, zum Beispiel Nachumhüllungsbinden für erdverlegte Rohrleitungen und mehrlagige Anstriche für den oberirdischen Bereich. Jedes dieser Systeme ist für spezielle Anforderungen ausgelegt und ausgereift. Die Praxis hat gezeigt, dass Korrosionsprobleme häufig in bestimmten Bereichen entstehen:

- Erde/Luft-Bereich
- Rohrdurchführung
- Rohrlagerungen
- Bereich unter Rohrschellen.

Die erläuterten Beschichtungssysteme sind gegen Witterungseinflüsse und Einwirkungen mechanischer Art unempfindlich bei gleichbleibend hoher Adhäsion mit dem Produktenrohr. Die Demontage zweier 15 Jahre alter Beschichtungen hat die Schutzwirkung für

diese Bereiche gezeigt, so dass das System als ausgereift bewertet werden kann.

Literatur

- [1] Jacob, R.: Nachumhüllungen von erdverlegten Gas- und Wasserrohrleitungen. Essen: Vulkan Verlag, 2. Auflage
- [2] Jerig, J.: Rohrleitungstechnik. Essen: Vulkan Verlag, 4. Ausgabe, 1989
- [3] Nürnberger, U.: Korrosion und Korrosionsschutz im Bauwesen, Bauverlag GmbH, 1995

Autoren:

Dipl.-Ing.-Stud. Alexander Fehr
HSP Vertrieb Ralf Summ, Castrop-Rauxel



Tel. +49(0)2305/35998-11
E-Mail: AFehr@hsp-vertrieb.de

Dipl.-Wirt.-Ing. Ralf Summ
HSP Vertrieb Ralf Summ, Castrop-Rauxel



Tel. +49(0)2305/35998-0
E-Mail: RSumm@hsp-vertrieb.de