



Verband Güteschutz Horizontalbohrungen
Drilling Contractors Association
Association des Entrepreneurs de Forage Dirigé

large scale drilling

small scale drilling

Rohrumhüllung und -ummantelung im HDD

1. Auflage - März 2023
DCA Technische Information Nr. 6



**Impressum**

Angaben gemäß §5 TMG:
Verband Güterschutz Horizontalbohrungen e.V. (DCA)
Charlottenburger Allee 39
52068 Aachen

Vertreten durch:

1.Vorsitzender: Jorn Stoelinga
2.Vorsitzender: Marco Reinhard
Schatzmeister: Jürgen Muhl

Kontakt:

Telefon: +49 241 9019290
Telefax: +49 241 9019299
E-Mail: dca@dca-europe.org

Registereintrag:

Eintragung im Vereinsregister.
Registergericht: Amtsgericht Mönchengladbach
Registernummer: 18VR1860

Verantwortlich für den Inhalt nach § 55 Abs. 2 RStV:

Dipl.-Geol. Dietmar Quante
Dipl.-Geol. Antje Quante
Charlottenburger Allee 39
52068 Aachen

Copyright © 2023 Verband Güterschutz Horizontalbohrungen e.V. (DCA).
All rights reserved.

Der Inhalt dieser Ausgabe darf nicht ohne vorherige schriftliche Genehmigung des DCA
weder in Teilen noch als Ganzes kopiert, reproduziert, übersetzt oder
in irgendein elektronisches oder maschinenlesebares Format konvertiert werden

Vorwort

Der Verband Güteschutz Horizontalbohrungen e.V. (DCA) wurde im Dezember 1994 von führenden Unternehmen der Horizontalbohrbranche als technischer Fachverband in Europa gegründet. Das gesteuerte Horizontalbohrverfahren (Horizontal Directional Drilling, HDD) wurde seit dem Ende der siebziger Jahre aus der Tiefbohrtechnik weiterentwickelt und hat sich mittlerweile weltweit als technische und wirtschaftliche Alternative bei der Unterquerung von Hindernissen im Bereich der Leitungsverlegung durchgesetzt.

Leitungsinfrastrukturbauwerke sind die Lebensadern der modernen Gesellschaft und bei der Herstellung dieser Infrastruktur sind grabenlose Bauverfahren, insbesondere gesteuerte Horizontalbohrungen, nicht mehr wegzudenken.

Primäres Ziel des Verbandes ist es, auf europäischer Ebene den technischen Standard von Horizontalbohrungen aufrechtzuerhalten, zu fördern und weiterzuentwickeln. Zudem sollen die Rahmenbedingungen für den Einsatz dieses Verfahrens in erster Linie durch die Verwendung einheitlicher Maßstäbe der Qualitätssicherung, der Vereinheitlichung von Genehmigungsverfahren sowie durch Förderung der Ausbildung, Forschung und Entwicklung verbessert werden.

Der vom Vorstand 2019 ins Leben gerufene Arbeitskreis hatte zunächst die Zielsetzung, die aktuelle Situation in Bezug auf die im Zusammenhang mit der HDD-Technik zur Anwendung kommenden Umhüllungsmaterialien, Prüfverfahren und diesbezüglicher Regelwerke zu analysieren. Im Weiteren sollten Maßnahmen/Handlungsempfehlungen erarbeitet werden, die zum einen die Qualität der Umhüllungen im Sinne des Bauherrn sichern und zum anderen den Horizontalbohrunternehmen helfen, vor Übernahme des Rohrstrangs (oftmals bauseits bzw. von Dritten beigestellt), Fehlerquellen und Risiken festzustellen und aufzeigen zu können.

Die vorliegende Technische Information Nr. 6 „Rohrumhüllung und -ummantelung im HDD“ des DCA bündelt die Ergebnisse des Arbeitskreises und gibt Informationen über alle Parameter, Prozesse und Wechselwirkungen, die einen Einfluss auf die Umhüllungsqualität haben. Darüber hinaus bietet die Technische Information eine Hilfestellung bei der Auswahl des am besten geeigneten Umhüllungssystems für die spezifischen Bohr- und Bodenbedingungen.

Alle Informationen und Empfehlungen in diesem Dokument gelten für standardmäßige HDD-Bohrungen, können aber in ähnlicher Weise auf verwandte andere grabenlose Anwendungen wie Rohrvortrieb, Direct-Pipe, HDD-Installation von Rohren in Mikrotunneln und Schutzrohren usw. übertragen werden, sofern deren individuelle Besonderheiten berücksichtigt werden.

Die Ausführungen in der vorliegenden Technische Information Nr. 6 ergänzen die Angaben in dem DVGW-Arbeitsblatt GW 340 „FZM-Ummantelung zum mechanischen Schutz von Stahlrohren und -formstücken mit Polyolefinumhüllung“ bzw. die Angaben in DIN 30340-1 „Ummantelungen zum mechanischen Schutz von Stahlrohren und -formstücken mit Korrosionsschutzumhüllung - Gütesicherung Werksummantelungen“ und DIN 30340-2 „Ummantelungen zum mechanischen Schutz von Stahlrohren und -formstücken mit Korrosionsschutzumhüllung – Ausbesserung und Nachummantelung auf der Baustelle“.

Der Vorstand des Verbandes bedankt sich an dieser Stelle bei allen Beteiligten des Arbeitskreises, die an der Erstellung der Technischen Information Nr. 6 „Rohrumhüllung und -ummantelung im HDD“ des DCA beteiligt waren.

Aachen, im März 2023



Verband Güteschutz Horizontalbohrungen e.V. (DCA)

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....6

2 Motivation.....7

3 Bedeutung des Korrosionsschutzes.....8

4 Bedeutung der Verarbeitungsqualität.....8

5 Qualitätsprüfung und -überwachung.....9

6 Qualitätsprüfung.....10

6.1 Prüfmethoden vor dem Rohreinzug.....10

6.1.1 Schichtdickenmessung.....10

6.1.2 Haftfestigkeitsprüfung.....10

6.1.3 Shore-Test.....11

6.1.4 Elektrolytische Porenprüfung.....11

6.1.5 Prüfung des Rohrstranges – Hochspannungsprüfung.....11

6.2 Prüfmethoden während des Rohreinzeuges.....12

6.3 Prüfmethoden nach dem Rohreinzug.....13

6.3.1 Allgemeines.....13

6.3.2 Einspeisemessung zur Bestimmung des spezifischen Umhüllungswiderstandes.....14

6.3.3 Polarisationsversuch zur Prüfung der kathodischen Polarisierbarkeit.....14

7 Verfügbare Umhüllungssysteme.....15

7.1 Allgemeines.....15

7.2 Werksumhüllungen.....15

7.2.1 Allgemeines.....15

7.2.2 Polyolefin-Umhüllungen (PE/PP).....16

7.2.2.1 Polyethylen-Umhüllungen (PE).....16

7.2.2.2 Polypropylen-Umhüllungen (PP).....17

7.2.3 Mehr- und Dickschichtsysteme17

7.2.3.1 Mehr- und Dickschichtsysteme aus Thermoplasten17

7.2.3.2 Faserzementmörtel (FZM) – Beschreibung18

7.2.3.3 Glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK).....20

7.3 Nachumhüllungen21

7.3.1 Allgemeines21

7.3.2 PUR und PUA – Umhüllungen aus Polyurethan (PUR) und Polyharnstoff (PUA)21

7.3.3 GFK-Schweißnahtummantelung auf der Baustelle.....22

7.3.4 Schrumpfmanschetten23

7.3.5 Zementmörtelummantelungen24

8 Komplexität einer HDD-Bohrung24

8.1 Allgemeines24

8.2 Bohrparameter25

8.2.1 Allgemeines25

8.2.2 Auftrieb des Produktrohres25

8.2.3 Länge der Bohrung26

8.2.4 Bohrlochdurchmesser und -form26

8.2.5 Biegeradius26

8.2.6 Bohrspülungskreislauf26

8.2.7 Bohrlochreinigung26

8.2.8 Bohrhindernisse27

8.3 Einflüsse auf den Rohrleitungseinzug27

8.3.1 Rollenböcke27

8.3.2 Ausführung des Oberbogens27

8.4 Geologie.....28

8.5 Chemischer Einfluss des Grundwassers und der Bodenkontaminationen29

9 Systemauswahl auf Basis der Komplexität29

10 Risiko-Beeinflussbarkeit.....30

11 Einsatz eines Mantelrohres31

12 Zusammenfassung31

13 Anhänge32

Anhang 1 Erläuterung der Risikobewertung32

Anhang 2: Risiko-Beeinflussbarkeits-Matrix für Qualität und Effizienz von
Stahlrohrbeschichtungen36

Anhang 3: Matrix zur Risikobewertung46

1 Einleitung

Rohrleitungen werden immer häufiger mit HDD-Technik (Horizontal Directional Drilling) und damit verbundenen Verfahren verlegt. Diese Rohrleitungen können Teil verschiedener Systeme sein (Gasleitungen, Wasserleitungen, Abwasserkanäle, Kabelkanäle) und entweder aus Kunststoff oder aus Stahl bestehen. Stahlrohre werden normalerweise mit einer entsprechenden Korrosionsschutzumhüllung versehen. Eine Beschädigung der Umhüllung bereits bei der Installation kann den Zustand des Rohrsystems beeinträchtigen und dazu führen, dass der Kunde die Abnahme der installierten Rohrleitung verweigert. Ob es sich um einen wesentlichen Mangel handelt, hängt nicht nur von der Größe der beschädigten Stelle ab, sondern auch von der Art des Baugrundes, von der Lage, in der das Rohr verlegt wird, z.B. unterhalb des Grundwasserspiegels, in sandig kiesigen Formationen, in Ton oder Torf und ob die Leitung durch einen kathodischen Korrosionsschutz (KKS) mit vertretbarem Aufwand geschützt werden kann.

Gemäß der Definition in DIN 30340 wird auch in dieser Technischen Information Nr. 6 unterschieden zwischen einer Umhüllung der Stahlleitung, die in der Regel ausschließlich dem Korrosionsschutz dient, und einer weiteren Ummantelung, die in der Regel dem mechanischen Schutz der Rohrleitung vor äußeren Einwirkungen, sowohl bei einer Verlegung im offenen Graben als auch bei der grabenlosen Verlegung, z.B. mit der HDD-Technik, dient. Durch eine verstärkte Ausführung der Umhüllung kann neben dem Korrosionsschutz auch noch ein zusätzlicher mechanischer Schutz erzeugt werden. Wird im Weiteren sowohl die Umhüllung als auch die Ummantelung angesprochen, so wird dies als Schutzsystem bezeichnet. Zur besseren Lesbarkeit des Textes wird der Begriff „Nachumhüllung“ bei Schweißnähten sowohl für die Nachumhüllung als auch für die Nachummantelung der Schweißnahtbereiche verwendet. Eine sprachliche Differenzierung erfolgt nicht.

Die Umhüllung von Stahlrohren wird zum überwiegenden Teil vor Auslieferung der Rohre in den Rohrwerken aufgebracht. Die Ummantelung wird entweder ebenfalls im Rohrwerk oder bei speziellen Werken aufgetragen. Die Rohre werden einzeln beschichtet. Im Gegensatz zu den Nachumhüllungs- und Nachummantelungsarbeiten an den Baustellenschweißnähten können alle relevanten Parameter durch das eingesetzte Fachpersonal kontrolliert werden (z.B. (Rohr-)Temperatur, Feuchtigkeit, Materialien, Aushärtezeiten etc.). Die Schweißnähte zwischen den einzelnen Rohren müssen jedoch vor Ort auf dem Rohrstrang unter Baustellenbedingungen, d.h. weniger optimalen Bedingungen, nachumhüllt und nachummantelt werden. Im Rahmen dieser Ausarbeitung stehen die in Europa am häufigsten verwendeten Umhüllungs- und Ummantelungssysteme im Mittelpunkt. Es werden verschiedene Systeme diskutiert, sowohl für werkseitig aufgebrachte als auch für vor Ort ausgeführte. Diese Systeme müssen nicht notwendigerweise aus dem gleichen Material bestehen. Falls eine Kombination von Materialien verwendet wird, müssen diese untereinander kompatibel sein. Bei Verwendung eines Mehrschichtsystems dient die äußere Schicht als mechanischer Schutz und die innere Schicht als Korrosionsschutz.

Für alle diese Systeme gibt es Normen und/oder Spezifikationen, die jedoch nicht immer vergleichbar sind, da verschiedene Materialien unterschiedliche Eigenschaften haben. Nicht alle dieser Normen sind speziell auf HDD ausgerichtet. Die meisten von ihnen beziehen sich allgemein auf das Material und seine Anwendung. Für bestimmte Umhüllungen und Ummantelungen werden die Spezifikationen nur von den Herstellern angegeben und können ebenfalls leicht variieren. Es muss auch beachtet werden, dass es länderspezifische Unterschiede in den Normen für die Umhüllung oder in den Abnahmekriterien geben kann.

Eine beschädigte Umhüllung kann verschiedene Ursachen haben. Einige davon können im Verantwortungsbereich des HDD-Auftragnehmers liegen, andere im Verantwortungsbereich des Rohrleitungsbauunternehmens und einige lassen sich auf die fehlerhafte Auswahl des Schutzsystems in Bezug auf den zu bohrenden Baugrund zurückführen.

Die Kosten des Schutzsystems liegen in Relation zu den Gesamtkosten der Leitung, inkl. Verlegung, i.d.R. bei weniger als 1%. Die Aufbringung eines qualitativ hochwertigen Schutzsystems führt somit nicht zu einer übermäßigen Belastung des Projektbudgets. Der Einbau eines auf die Projektbedingungen zugeschnittenen Schutzsystems kann jedoch im Nachgang viel Geld sparen und unnötige Diskussionen zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer vermeiden. Teurer ist jedoch vom Grundsatz her nicht unbedingt besser, es kommt auf die richtige Auswahl des Schutzsystems an.

Im Rahmen der Tätigkeit der Arbeitsgruppe wurde deutlich, dass die Komplexität der Umhüllungsprodukte bei HDD-Projekten so groß ist, dass es einen großen Bedarf für zusätzliche Informationen und Unterstützung gibt. Auch andere Organisationen haben die Bedeutung des Themas erkannt. So hat z.B. der französische Gasbetreiber GRTgaz eine Anwendung namens OPTIDRILL entwickelt, die je nach Projektbedingungen das am besten geeignete Umhüllungs- und Ummantelungsmaterial bestimmt. Allerdings deckt dieses Tool nicht alle auf dem Markt verfügbaren Schutzsysteme ab. Das Tool ist zudem nur für den internen Gebrauch bei GRTgaz bestimmt.

2 Motivation

Im Zuge der Verlegung von Stahlleitungen mittels HDD ist es gängige Praxis, u.a. die erfolgreiche Prüfung der Umhüllung nach dem Einzug als vertragliches Abnahmekriterium für die von einem HDD-Auftragnehmer ausgeführten Bohrarbeiten zu nutzen. Sie soll den Nachweis bilden, dass der HDD-Auftragnehmer seine vertraglichen Verpflichtungen gegenüber dem Auftraggeber erfüllt hat.

Einige Ursachen für eine Beschädigung der Umhüllung können in den Wirkungsbereich des HDD-Auftragnehmers fallen, wie z.B. der Einsatz ungeeigneter Bohrausrüstung und Werkzeuge, Nichteinhaltung von Bohrparametern, Missachtung von Richtlinien usw. Umgekehrt ist jedoch nicht jede Fehlstelle in der Umhüllung das Ergebnis einer mangelhaften Ausführung durch den HDD-Auftragnehmer.

Auch wenn die Bohrarbeiten nach allen geltenden Normen, Regeln, Richtlinien, bewährten Verfahren usw. ausgeführt werden und eine ideale Bohrlochgeometrie geschaffen wurde, können Umhüllungsschäden oder Fehlstellen auftreten als Folge

- der Auswahl eines ungeeigneten werkseitigen Umhüllungsmaterials,
- der Auswahl eines ungeeigneten Ummantelungsmaterials,
- der Auswahl eines ungeeigneten Nachumhüllungsmaterials,
- einer mangelhaften Anwendungsqualität, insbesondere bei Nachumhüllungen,
- der vom Auftraggeber zu verantwortenden Baugrundeigenschaften (z.B. Einsturz des Bohrlochs in unbekannten/unkontrollierbaren Formationen, Auftreten von scharfkantigen Gesteinen an der Bohrlochwand, Durchfahrung von heterogenen Verwitterungshorizonten usw.).

In den meisten Fällen liegen diese Ursachen außerhalb des Verantwortungsbereiches des HDD-Auftragnehmers. Im Falle der Feststellung eines Umhüllungsschadens nach dem Rohreinzug ist es jedoch kaum möglich, die Verantwortung einer der am Projekt beteiligten Parteien einwandfrei zuzuweisen. Aufgrund dieser Tatsache ist es zielführend, die Qualität jedes relevanten Einzelschrittes im Projekt zu optimieren, um die Wahrscheinlichkeit relevanter Mängel an der Umhüllung nach dem Einzug der Rohrleitung zu minimieren.

Der HDD-Auftragnehmer ist vom Grundsatz her dafür verantwortlich, dass ein ordnungsgemäßes Bohrloch erstellt wird, das einen erforderlichen Minstdurchmesser aufweist, keine Dog-Legs (Abschnitte mit zu engen Radien) beinhaltet und insgesamt eine ausreichende Anzahl von Räumvorgängen durchlaufen hat. Der Auftragnehmer für den Rohrleitungsbau muss sicherstellen, dass die Nachumhüllung ordnungsgemäß aufgebracht wird. Untersuchungen der Ersteller dieser Technischen Information Nr. 6 des DCA und Praxiserfahrungen haben gezeigt, dass dies oft nicht der Fall ist. Die Qualität der Aufbringung der Nachumhüllung auf der Baustelle stellt demnach eine Hauptursache des Auftretens der Schäden dar. Auch das Vorbereiten des Rohrstrangs für den Einzug (d.h. Positionierung der Rollenböcke, Konstruktion des Oberbogens) liegt normalerweise in der Verantwortung des Auftragnehmers für den Rohrleitungsbau. Dabei soll die Qualität der Nachumhüllung nicht verschlechtert werden.

Da die zu verlegenden Stahlrohre i.d.R. weit im Voraus bestellt werden, entscheidet in den meisten Fällen der Kunde über das zu verwendende Schutzsystem, oft sogar bevor die Planung des HDD-Projektes final abgeschlossen ist. Dies kann dazu führen, dass die gewählten Schutzsysteme der Rohre nicht unbedingt für die vor Ort tatsächlich angetroffenen Baugrundverhältnisse optimal geeignet sind.

Im Zuge der Arbeitskreissitzungen wurde deutlich, dass vor allem die Qualität des Umhüllungs- und Ummantelungsmaterials und die Aufbringung auf das Rohr (im Werk und insbesondere im Zuge der Nachumhüllung auf der Baustelle) die wohl wichtigsten Faktoren für eine erfolgreiche Verlegung ohne Beschädigung der Umhüllung sind. Insbesondere um eine ausreichende Qualität der Nachumhüllung der Baustellenschweißnähte (Field Joint Coating = FJC) zu gewährleisten, muss hierfür Personal eingesetzt werden, das über die notwendige Ausbildung und Erfahrung verfügt. Daher muss im Zuge der Vergabe der Leistungen ein besonderer Schwerpunkt auf diesen Aspekt gelegt werden. Darüber hinaus wird der Einsatz einer erfahrenen Fachkraft für Umhüllungen (Coating Inspector), die im Auftrag für den Kunden tätig ist, dringend empfohlen.

3 Bedeutung des Korrosionsschutzes

Ein kompatibler aktiver und passiver Korrosionsschutz ist entscheidend für die Erhaltung der Integrität einer neu verlegten Stahlrohrleitung und für die Gewährleistung ihrer einwandfreien Funktion. Dies ist in wirtschaftlicher Hinsicht von entscheidender Bedeutung, wenn die Rohrleitung ihre gewünschte Lebensdauer erreichen soll.

Passiver Korrosionsschutz umfasst alle Maßnahmen, die eine wirksame Barriere gegen korrosive Elemente (z.B. Feuchtigkeit und Sauerstoff) aufrechterhalten. Dies geschieht durch Aufbringen einer geeigneten Beschichtung oder Umhüllung auf das Grundmaterial (Stahl) unter Berücksichtigung der Bauweise und der Bodenverhältnisse. Eine Korrosionsschutzumhüllung ist eine Sperrschicht für die Stahloberfläche des Rohres, um korrosive Elemente (Elektrolyte) aus dem umgebenden Erdreich abzuhalten.

Neben dem passiven Korrosionsschutz durch eine Umhüllung ist an Stahlleitungen in der Regel noch ein aktiver Korrosionsschutz, der kathodische Korrosionsschutz (KKS), vorhanden. Um einen wirksamen kathodischen Korrosionsschutz (KKS) zu gewährleisten, müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein und durch Messungen kontrolliert werden. Sie ergeben sich aus den folgenden Punkten:

- Anzahl und Fläche der Defekte
- Elektrische und elektrochemische Einflüsse
- Bodenverhältnisse
- Layout des KKS

Im Falle von Umhüllungsfehlstellen wirkt das KKS-System als weiterer Schutz. Allerdings ist die Schutzwirkung des KKS-Systems in dieser Hinsicht begrenzt.

Der kathodische Korrosionsschutz ist seit Jahrzehnten eine bewährte Methode, um Außenkorrosion an erdverlegten Rohrleitungen zu verhindern. Da durch den Einsatz des kathodischen Korrosionsschutzes die Kosten für Reparaturarbeiten weitgehend entfallen oder zumindest minimiert werden können, dient dieser auch der langfristigen Werterhaltung der Rohrleitung. Zusätzlich ermöglicht ein aktives Korrosionsschutzsystem die Überwachung der Integrität der Umhüllung.

Der Einsatz und die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes ist besonders wichtig für einen Rohrabchnitt, der mittels eines HDDs erstellt wurde. In den meisten Fällen sind spätere Reparaturarbeiten aufgrund der Verlegetiefe der Rohrleitung nicht oder nur mit unvertretbarem Aufwand möglich.

In vielen Ländern richtet sich die Forderung nach einem aktiven Korrosionsschutz in erster Linie, wenn auch nicht ausschließlich, nach der nationalen Gesetzgebung und den Technischen Regelwerken für die Verlegung von Rohrleitungen. Details können demnach den einschlägigen nationalen Regelwerken entnommen werden.

Durch die zunehmende Verlegung von Rohrleitungen in der Nähe von Stromleitungstrassen, u.a. in der Nähe von Hochspannungsfreileitungen mit den damit verbundenen Beeinträchtigungen, sind insbesondere kleinere Umhüllungsfehler als stark wechselstrom-korrosiv einzustufen. Selbst wenn sie unter die maximal zulässige Berührungsspannung von 60 V fallen (siehe AfK-Empfehlung Nr. 3), bleibt die Gefahr der Wechselstromkorrosion an vorhandenen Umhüllungsfehlern hoch. Daraus und aus den Empfehlungen der CEN/TS15280-Norm folgt, dass eine Rohrleitung mit einer fehlerfreien Umhüllung die einfachste und sicherste Art ist, Wechselstromkorrosion zu verhindern.

4 Bedeutung der Verarbeitungsqualität

Die Auswahl des Rohrwerkstoffes, des Korrosionsschutzsystems und, falls erforderlich, des zusätzlichen mechanischen Schutzes ist der Schlüssel für eine erfolgreiche HDD-Installation. Da bestimmte Bohrlochbedingungen das Rohr für Schäden prädisponieren, müssen die höchsten Qualitätsstandards eingehalten werden. Zusammen mit den geologischen Bedingungen rund um die Bohrstrecke ist die Qualität des Umhüllungssystems der größte Faktor, der bestimmt, ob Umhüllungsdefekte beim Einziehen des Rohres vermieden werden können.

Neben der Qualität und der richtigen Auswahl der verwendeten Materialien spielt auch die Qualität der Verarbeitung und Aufbringung eine zentrale Rolle, insbesondere bei vor Ort aufgetragenen Nachumhüllungen. Es ist wichtig, dass das eingesetzte Personal, das die Umhüllung bzw. Ummantelung aufbringt, geschult ist und über eine entsprechende Zertifizierung verfügt. Darüber hinaus muss die Spezifikation des aufgetragenen Materials vor dem Aufbringen überprüft werden, dahingehend, ob dieses Material für die Anwendung und die Anforderung in der Querung geeignet ist.

Besondere Aufmerksamkeit muss den vorherrschenden Wetterbedingungen gewidmet werden, da die meisten Umhüllungssysteme empfindlich auf Feuchtigkeit und Umgebungstemperatur reagieren. Die Verarbeitungshinweise der Hersteller sind hier zu beachten. Die gewählte Umhüllung darf nur von erfahrenem und qualifiziertem Personal mit den richtigen Werkzeugen und Geräten aufgebracht werden.

5 Qualitätsprüfung und -überwachung

Die Abnahme eines HDD-Projektes basiert maßgeblich auf dem Nachweis der Wirksamkeit des Korrosionsschutzes nach Abschluss der Baumaßnahme. Der Korrosionsschutz kann jedoch auch bei einer beschädigten Umhüllung bei einem ausreichenden Schutzpotential gewährleistet sein.

Trotz aller Sorgfalt können Umhüllungsfehlstellen nicht ausgeschlossen werden. Dementsprechend sollte vor dem Rohreinzug sichergestellt sein, dass die Umhüllung des einzuziehenden Rohrstranges unversehrt und die vor Ort hergestellten Nachumhüllungen korrekt ausgeführt wurden.

Auch während des Einzuges besteht die Möglichkeit, Beschädigungen der Umhüllung zu erfassen. Wie auch bei der abschließenden Bewertung der Baumaßnahme haben hierbei Messmethoden des kathodischen Korrosionsschutzes (KKS) eine besondere Bedeutung.

In diesem Abschnitt werden die wesentlichen Aspekte der Baustellen-Prüfmethoden vor, während und nach dem Rohreinzug beschrieben, welche die Verarbeitungsqualität nachweisen. Hierbei sind „zerstörende“ und „nicht zerstörende Prüfungen“ zu unterscheiden.

Zusätzlich zu diesen Qualitätsprüfungen ist eine Überwachung der Ausführungsqualität erforderlich, da die zur Verfügung stehenden Qualitätsprüfungen u.U. nicht alle Produkt- und Verarbeitungsfehler aufzeigen können. Hierfür sollte eine besonders geschulte und befähigte Aufsichtsperson eingesetzt werden, welche auch als „Coating Inspector“ bezeichnet wird (siehe auch DVGW-Arbeitsblatt GW 30: Aufsicht zur Qualitätssicherung der Umhüllungs- und Beschichtungsarbeiten im Werk und auf der Baustelle - Qualifikationsanforderungen an den Coating Inspector).

Wie bereits beschrieben sind viele Fehlstellen in der Umhüllung einer neuverlegten Rohrleitung auf mangelhafte Ausführung und fehlende Qualitätskontrolle der Umhüllung (Werk- und Baustellenumhüllung) zurückzuführen. Die Integrität der Rohrleitung kann durch die Qualitätskontrolle bei der Errichtung in der Regel gesteigert werden. Unentdeckt führt die nachträgliche Schadensbeseitigung zu einem nicht unerheblichen wirtschaftlichen und technischen Aufwand, insofern diese überhaupt möglich ist. Durch eine wirksame Überprüfung auf der Baustelle können viele dieser unentdeckten Mängel vor der Verfüllung des Rohrgrabens bzw. vor Einzug des Rohrstranges in ein Bohrloch erkannt und rechtzeitig beseitigt werden. So können Kosten für nachträgliche Ausbesserungen vermieden werden. Die vermeintlichen Mehraufwendungen bei Beauftragung einer ausreichenden Qualitätskontrolle durch einen Coating Inspector auf der Baustelle werden hierdurch in den meisten Fällen mehr als ausgeglichen.

Personen mit Qualifikationsgrad Coating Inspector müssen (aus DVGW-Arbeitsblatt GW 30):

- die Ausführung von Umhüllungs- und Beschichtungsarbeiten beurteilen können,
- Erfahrung auf dem Gebiet des passiven und die grundlegenden Kenntnisse des kathodischen Korrosionsschutzes (KKS) in dem Anwendungsbereich metallene, in Böden oder Wässern verlegten sowie oberirdischen Rohrleitungen und Anlagen haben,
- spezielle Kenntnisse im Bereich Beschichtungen, Korrosion, Korrosionsschutz, Prüfverfahren, Messgeräte, Applikationsverfahren und Sicherheitsmaßnahmen vorweisen und die Erarbeitung von Problemlösungen unterstützen,
- Kenntnisse von Normen haben, die sich auf Umhüllungen und Beschichtungen beziehen,
- zum Beaufsichtigen von allen Beschichtungs- und Umhüllungstätigkeiten und Erläuterung zur richtigen Ausführung qualifiziert sein,
- in der Lage sein, technische Anweisungen zu erstellen und alle bei diesen Aufgaben gesammelten Daten zu bewerten,
- persönliche Befähigung zur sachlichen, unvoreingenommenen, unabhängigen, objektiven Analyse und Dokumentation von Sachverhalten, verbunden mit der Fähigkeit, sich in Wort und Schrift allgemeinverständlich und überzeugend auszudrücken.

Der Coating Inspector ist für folgende Aufgaben und Zuständigkeiten vorgesehen. Art und Umfang sind projektbezogen vertraglich zu vereinbaren. Der Coating Inspector ist vorzugsweise durch den Auftraggeber der Maßnahme zu beauftragen (aus DVGW-Arbeitsblatt GW 30):

- Planung, Durchführung, Überwachung und Dokumentation der Qualitätskontrolle (auf der Baustelle, einschließlich von Messkontakten),
- Überprüfung der Qualifikation der Umhüller und Beschichter der Fachfirmen vor Beginn der Tätigkeiten,
- Qualitätskontrolle der Planung und Ausführung des passiven Korrosionsschutzes,
- Prüfung von Applikations- und Sanierungsspezifikationen,
- Qualitätskontrolle im Herstellerwerk,
- Erstellung/Bewertung und Koordinierung des Prüf- und Überwachungsplanes und Qualitätskontrolle des passiven Korrosionsschutzes,
- Prüfung der zum Einsatz kommenden Umhüllungs- und Beschichtungsmaterialien auf bautechnische Qualität, Eignung und Konformität zu dem geltenden Regelwerk (DIN, EN, ISO, DVGW, Werknormen, Bauvertrag, Leistungsbeschreibung etc.),
- Überprüfung, Zustandsfeststellung und Dokumentation (sichtbare Transportschäden etc.) der werksseitig umhüllten und beschichteten Rohre, Armaturen und Bauteile im Werk und bei Anlieferung auf der Baustelle,
- Beurteilung und Dokumentation vorhandener Beschichtungs-, Umhüllungs- und Nachumhüllungssysteme und deren Verarbeitung,
- Prüfung der vorliegenden Qualitätsdokumente (Werkzeugnisse, Prüfberichte etc.),
- Teilnahme an für seine Tätigkeit erforderlichen Besprechungen, wie z.B. Baubesprechungen, Termine zu Zustandsfeststellungen, Abnahmen, Nachtragsbesprechungen oder im Zusammenhang mit Mängeln,
- Durchführung von Prüfungen auf der Baustelle (Oberflächenbeschaffenheit, äußerliche Rahmenbedingungen, wie z. B. Klima, Applikationsfehler etc.) anhand eines Prüfplans, auch stichprobenartig,
- Begleitung der Mängelrüge und Mängelbehebung sowie deren Dokumentation,
- Bewertung des passiven Korrosionsschutzes und Lieferung der Dokumentation bzw. Mitwirkung bei deren Erstellung für die Beurteilung des Korrosionsschutzes durch den Korrosionsschutzsachverständigen nach DVGW G 100 (A) Fachgebiet IX, beim erstmaligen Nachweis der Wirksamkeit des KKS nach DVGW GW 10 (A) und DIN EN ISO 15589-1 für kathodisch geschützte Rohrleitungen und Anlagenteile.

Auf eine weitere ausführliche Darstellung der Güteeigenschaften von Umhüllungen wird verzichtet, weil diese i.d.R. nicht die Eignung eines Systems für die Anwendung im Rahmen von HDD-Maßnahmen beschreiben. D.h. mittels dieser Prüfungen wird die korrekte Ausführung einer Umhüllungsart bewertet, allerdings nicht die Gebrauchstauglichkeit des gesamten Schutzsystems (u.U. bestehend aus einer Kombination verschiedener Umhüllungsmaterialien, Ummantelungsmaterialien oder -schichten) unter Berücksichtigung von Belastungen während eines Einzugs in ein Bohrloch.

6 Qualitätsprüfung

6.1 Prüfmethoden vor dem Rohreinzug

6.1.1 Schichtdickenmessung

Wenn nicht anders vereinbart, darf der Minimalwert der Dicke der Nachumhüllung, gemessen im schweißnahtfreien (Rund-, Längs- und Spiralnähte) Bereich, nicht kleiner als 90% der nominellen Dicken sein. Die Nenndicke ist die berechnete Summe der Dicke aller Lagen vor der Aufbringung. Diese Prüfungen werden mit einer magnetischen oder einer elektromagnetischen Messeinrichtungen bzw. einem Ultraschallgerät durchgeführt. Um keinen lokalen Angriffspunkt erhöhter mechanischer Belastung im Nachumhüllungsbereich zu erzeugen, ist eine Überhöhung der Schweißnahtnachumhüllung gegenüber der Werksumhüllung zu vermeiden oder zu minimieren.

Weitere Informationen sind dem internationalen technischen Standard DIN EN ISO 2808 zu entnehmen.

6.1.2 Haftfestigkeitsprüfung

Die Haftfestigkeitsprüfung ist eine zerstörende Prüfung, die durch qualifiziertes Personal zu erfolgen hat. Mit einem geeigneten Werkzeug wird die zu prüfende Korrosionsschutzschicht nach einem vorgegebenen Muster bis auf die Metalloberfläche eingeschnitten. Mit einem Haftfestigkeitsprüfgerät wird die Nachumhüllung senkrecht von der Metalloberfläche manuell oder automatisch abgezogen und die dafür erforderliche Kraft gemessen. Die genaue Durchführung der Prüfung sowie die zu erreichenden Mindestwerte sind in den jeweils für das Umhüllungsmaterial spezifischen Normen angegeben.

Weitere Informationen können z.B. der DIN EN 12068 bzw. der DIN EN ISO 21809-3 entnommen werden.

6.1.3 Shore-Test

Die Shore D-Härte ist eine Kennzahl, die vorwiegend für Elastomere und gummielastische Polymere eingesetzt wird. Sie steht in direkter Beziehung zur Eindringtiefe und ist somit ein Maß für die Werkstoffhärte. Als Eindringkörper wird ein federbelasteter Stift aus gehärtetem Stahl verwendet. Dieser Stift wird mit einer Federkraft in den Prüfkörper gedrückt und die Eindringtiefe stellt somit ein Maß für die Shore D-Härte dar.

Die genaue Durchführung der Prüfung sowie die zu erreichenden Shore D-Mindestwerte sind in den jeweils für das Umhüllungsmaterial spezifischen Normen angegeben. Das Prüfverfahren wird in der DIN EN ISO 868 beschrieben.

6.1.4 Elektrolytische Porenprüfung

Vergleichende Prüfungen der Qualität von Rohrleitungsumhüllungen mittels Hochspannungsprüfverfahren (siehe Abschnitt 6.1.5) und elektrolytischen Messverfahren haben in der Praxis gezeigt, dass mit der Hochspannungsprüfmethode nicht alle Fehlstellenvarianten (z.B. nichtlineare Poren/Risse) in der Rohrumhüllung erkannt werden können. Bei dem elektrolytischen Verfahren gemäß DVGW-Arbeitsblatt GW 10 (Juni 2018) werden die Bedingungen eines erdverlegten Rohres bzw. eines im Bohrkanaal eingezogenen Rohres mit vollständiger Erdanbindung simuliert. Bei dem Verfahren wird zunächst eine Kunststoffmanschette um den zu untersuchenden Bereich (meist Schweißnahtbereich) gelegt und gegen auslaufende Flüssigkeit abdichtend mit Spanngurten fixiert. Der Zwischenraum zur Rohrumhüllung wird mit elektrisch leitfähigem und entspanntem Wasser befüllt. In den Zwischenraum zwischen Manschette und dem zu untersuchenden Bereich der Rohrumhüllung wird eine geeignete Anode aus Metall eingelegt. Über eine angelegte Spannung zwischen Rohr und Anode (z.B. Akku 24V) kann der benötigte, maßgebliche Umhüllungswiderstand ermittelt werden (siehe Abbildung 1).

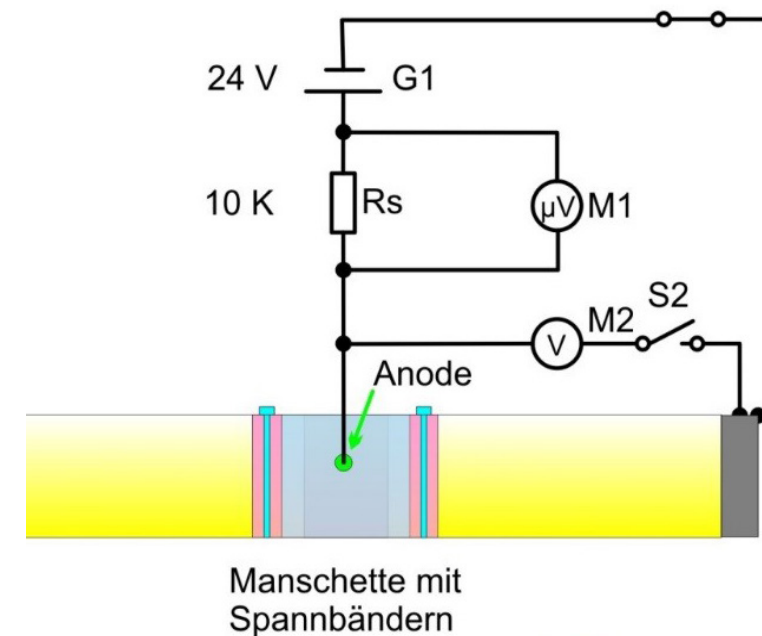


Abbildung 1: Schaubild des elektrolytischen Verfahrens

Der Umhüllungswiderstand errechnet sich wie folgt:

$$r_u = R \cdot A = (U_{M2} / I_{M1}) \cdot A \text{ [}\Omega\text{m}^2\text{]}$$

6.1.5 Prüfung des Rohrstranges – Hochspannungsprüfung

Die Integrität einer gesamten Rohrleitungsumhüllung wird normalerweise mit Hochspannungsprüfverfahren, der sogenannten „Fehlstellen-Prüfung“, überprüft. Die Fehlstellen-Prüfung ist eine zerstörungsfreie Methode zum Aufspüren von Diskontinuitäten wie Pinholes und Hohlräumen in Korrosionsschutzumhüllungen.

Bei der Prüfung wird eine elektrische Spannung zwischen einem auf der Oberfläche der Umhüllung/Ummantelung geführten Hochspannungstestgerät und der Stahlrohrleitung angelegt.

Die Höhe der angelegten Spannung ist abhängig vom Schichtsystem und der Schichtdicke. Es ist eine Durchschlagsfestigkeit der trockenen Luft mit ca. 3kV/mm zu berücksichtigen. Wird eine Fehlstelle mit elektrischer Verbindung zwischen dem geerdeten Stahlrohr und der Elektrode des Prüfgeräts erkannt, ist ein Lichtbogen sichtbar und ein Alarm ertönt.

Voraussetzung für die Erkennung einer Fehlstelle ist, dass diese annähernd senkrecht zur Umhüllungsoberfläche und mit geringem Abstand zwischen den beiden Leitern verläuft. Es können jedoch z.B. Bindefehler in gewickelten Umhüllungen nicht erkannt werden.

Für Rohrleitungen, die in eine HDD-Bohrung eingezogen werden, bietet die Fehlstellen-Prüfung eine relativ begrenzte Qualitätssicherung. Da nur die Integrität des Korrosionsschutzes ohne mechanische Belastungen und unter trockenen Bedingungen überprüft werden kann, können etwaige Unvollkommenheiten unter einer zusätzlichen mechanischen Umhüllung, wie z.B. glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK) (siehe 7.2.3), nicht erkannt werden.

Beim Rohreinzug wirken mehrere mechanische Belastungen auf die Umhüllung ein. Außerdem wird die Rohrleitung in der Bohrspülung und z.T. in das Grundwasser eingebettet. Etwaige Fehlstellen in der Ummantelung zum mechanischen Schutz, die vor dem Rohreinzug aufgetreten sind, können daher aufgrund der einwirkenden Belastung auch zu einer Beschädigung der Korrosionsschutzschicht führen. Eine Sichtprüfung der mechanischen Schutzschicht vor dem Rohreinzug ist daher zwingend erforderlich. Darüber hinaus könnte Feuchtigkeit im Bohrloch auch in vor dem Rohreinzug unentdeckte undichte Verbindungsstellen eindringen, als Elektrolyt wirken und einen elektrischen Stromfluss zwischen Stahlrohr und Umhüllung ermöglichen, was zu Korrosion führt. Dies könnte auch dann geschehen, wenn keine weiteren Schäden durch mechanische Belastungen vorhanden sind.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein fehlstellenfreies Testergebnis vor dem Rohreinzug keine Garantie dafür ist, dass die Umhüllung, die sowohl die Korrosions- als auch die mechanische Schutzschicht umfasst, die erforderliche Qualität für den Rohreinzug in ein Bohrloch aufweist. Unvollkommenheiten, die vor dem Rohreinzug unentdeckt bleiben, werden nach dem Rohreinzug durch einen Stromeinspeiseversuch entdeckt.

Es wird empfohlen die Fehlstellen-Prüfung mehrmals vor dem Einziehen des Rohrstranges durchzuführen, wenn dieser auf Rollenböcken positioniert ist. Die Fehlstellen-Prüfung muss während des Einzugs direkt vor dem Eintrittspunkt durchgeführt werden, um eventuelle Schäden, z.B. durch die Rollenböcke, zu erkennen und zu beheben.

6.2 Prüfmethoden während des Rohreinzuges

Da die Wahrscheinlichkeit einer Beschädigung des Rohrstranges während des Rohreinzuges trotz vorhandener Präventivmaßnahmen hoch ist und keine Möglichkeit besteht, Mängel nach der Installation zu beheben (z.B. aufgrund von Wechselstrom-Korrosion), kann die Durchführung des sogenannten „Pull & Check“-Verfahrens in Betracht gezogen werden. Beim Pull & Check-Verfahren wird die Rohrumhüllung kontinuierlich elektrolytisch geprüft, während das Rohr in das Bohrloch eingezogen wird. Dazu ist ein spezieller Ziehkopf erforderlich, der den Rohrstrang elektrisch vom Stahlrohr entkoppelt.

Anwendungshinweis:

Die Signalisierung von Umhüllungsschäden, die während des Einziehens eines Rohres auftreten, ermöglicht die Einleitung von Maßnahmen ohne unnötige Verzögerung. Um eine akzeptable, fehlerfreie Umhüllung zu erhalten, kann das Rohr wieder aus dem Bohrloch gezogen und die Umhüllung repariert werden. Eine Aufwältigung des Bohrlochs, sprich eine erneute Räumung, sollte in Betracht gezogen werden, bevor das Rohr wieder in das Bohrloch gezogen wird. Es ist zu beachten, dass der Ausbau eines großen, bereits positionierten Rohrabschnitts auch zu zusätzlichen Fehlstellen in der Umhüllung an bisher unbeschädigten Abschnitten führen kann, wodurch Reparaturen über eine größere Rohrlänge notwendig werden können.

Alle für einen erfolgreichen Rückzug des Rohres aus dem Bohrkanal notwendigen Geräte, einschließlich einer zuverlässigen Verankerung der Geräte, müssen vor Ort verfügbar und betriebsbereit sein.

6.3 Prüfmethoden nach dem Rohreinzug

6.3.1 Allgemeines

Zum Nachweis der Fehlstellenfreiheit ist der Umhüllungswiderstand anhand eines Einspeiseversuchs zu ermitteln (siehe Abschnitt 6.3.2). Dazu sind nach dem Rohreinzug bzw. nach Trennung des Bohrgestänges vom Ziehkopf die Rohrenden zu reinigen und zu trocknen. Die Umhüllung gilt i.d.R. als fehlstellenfrei, wenn der im Rahmen der Einspeisemessung ermittelte Umhüllungswiderstand $r_u \geq 10^8 \Omega m^2$ beträgt (vgl. hierzu Abb. 2). Dieser Wert entspricht dem Mindestumhüllungswiderstand nach den geltenden Normen für Werksumhüllungen (z.B. DIN 30670) und Nachumhüllungen (z.B. DIN EN 12068). Der vorgenannte Umhüllungswiderstand von $r_u \geq 10^8 \Omega m^2$ kann projektbezogen reduziert und entsprechend vertraglich geregelt werden.

Wird der geforderte Mindestumhüllungswiderstand nicht erreicht, ist ein Polarisationsversuch mit Fehlstellenvergleichsmessung usw. durchzuführen (siehe 6.3.3). In Deutschland basiert dieser grundsätzlich auf der Anlehnung an die AfK - Empfehlungen Nr. 1 und Nr. 10 sowie den in der aktuellen Fachliteratur standardisierten Verfahren zur Prüfung der Polarisierbarkeit und somit der Anwendbarkeit des kathodischen Korrosionsschutzes an grabenlos verlegten Rohrleitungen. Werden unzulässig große Umhüllungsschäden festgestellt, muss nach Ortung der Fehlstellenposition eine Nachbesserung der Rohrumhüllung erfolgen. Diese kann jedoch oft nur unter vertretbarem Aufwand in den Bereichen des eingezogenen Rohres mit mäßiger Bodenüberdeckung durchgeführt werden.

Im Falle eines nicht zulässigen Messergebnisses wird allerdings empfohlen, zunächst die Richtigkeit der Messung bzw. der Ausführung der Messung nochmals zu überprüfen, bevor weitere, meist mit erheblichem Aufwand verbundene Maßnahmen eingeleitet werden. Erfahrungen in der Praxis haben gezeigt, dass auch die Messungen fehlerbehaftet sein können.

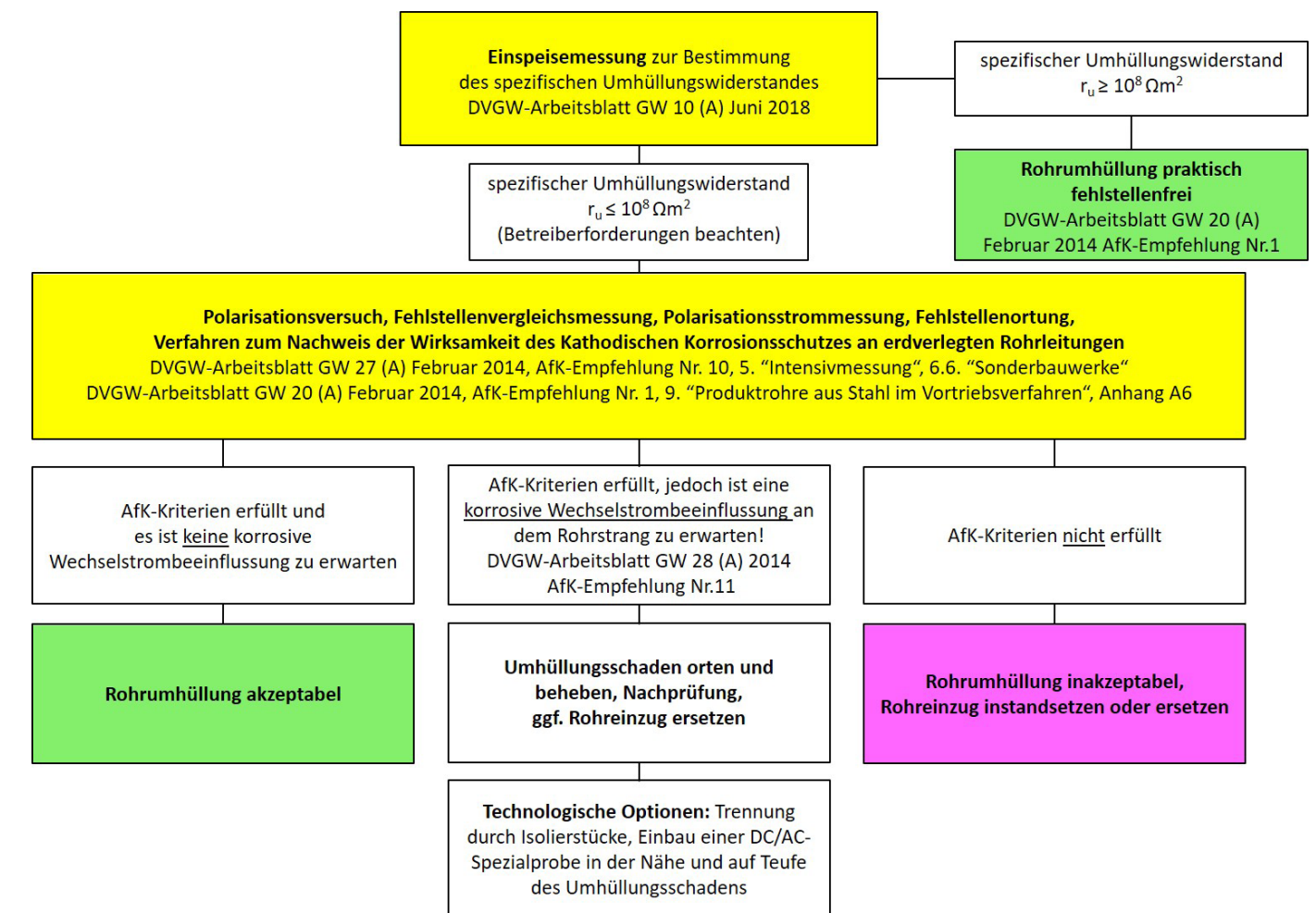


Abbildung 2: Umhüllungsprüfung an grabenlos verlegten Stahlrohrleitungen

Bei der Verlegung von Rohrleitungen in sogenannten „Energietrassen“ in enger Parallelführung mit Hochspannungsfreileitungen (AC) und der daraus resultierenden induktiven Hochspannungsbeeinflussung sind besonders die kleineren Umhüllungsfehlstellen als kritisch im Hinblick auf eine Wechselstromkorrosionsgefährdung einzustufen. Das diesbezügliche Risiko für die Rohrleitung muss anhand der Betriebsdaten der beeinflussenden Wechselstromanlage abgeschätzt werden.

6.3.2 Einspeisemessung zur Bestimmung des spezifischen Umhüllungswiderstandes

Nach dem Einzug und nach der Trennung vom Bohrgestänge wird der beschriebene Messaufbau zur Bestimmung des spezifischen Umhüllungswiderstandes wie bei der elektrolytischen Porenprüfung am kompletten Rohrstrang nochmals ausgeführt, wobei hier ein elektrisch leitfähiger Elektrolyt im Bohrkana (z.B. Bentonit-Bohrspülung) erforderlich ist und eine extern, neutral angeordnete, temporäre Hilfsanode eingesetzt wird.

Bei der Ermittlung des Umhüllungswiderstandes sind Kriechströme und Leckströme am Messaufbau zu vermeiden. Die Messung muss mit hochpräzisen, geeigneten Messgeräten unter Beachtung von Parallelschaltungsfehlern erfolgen.

Wird der geforderte Umhüllungswiderstand nicht erreicht, ist ein Polarisationsversuch erforderlich (siehe Abbildung 3).

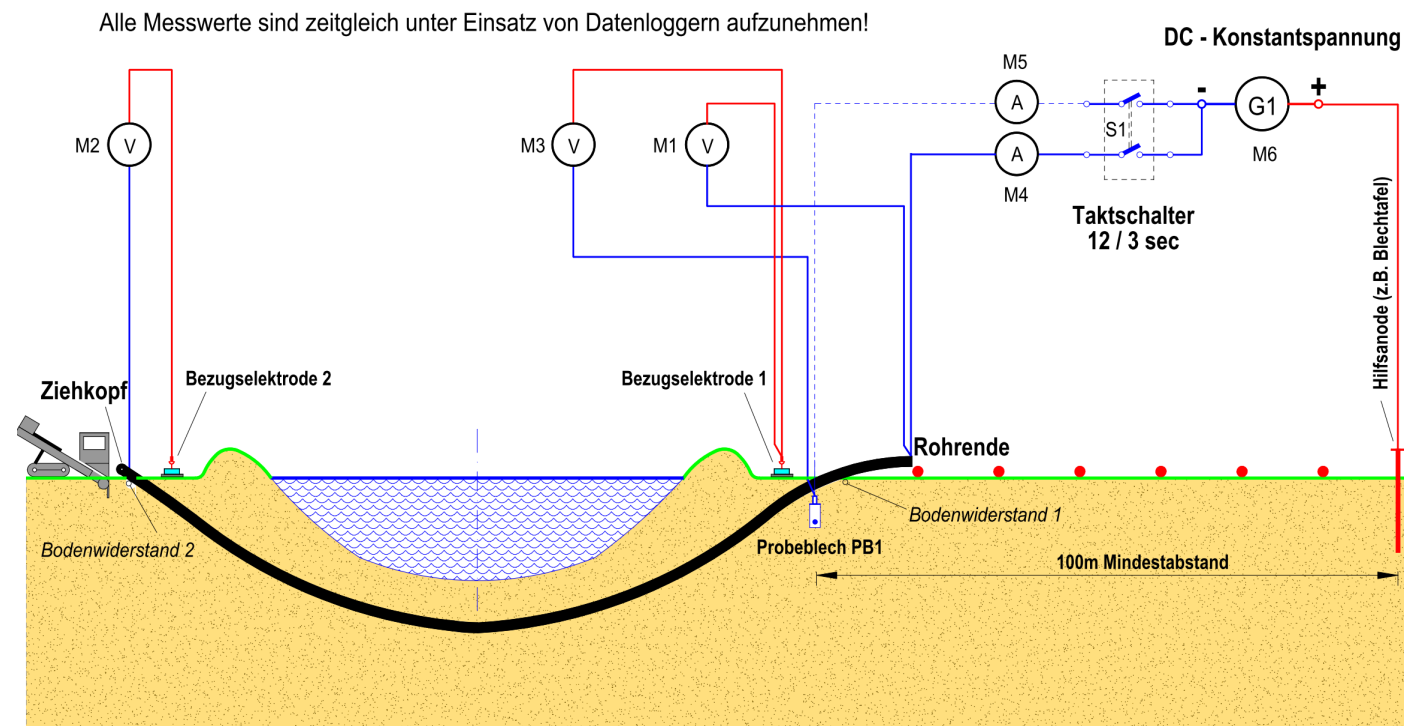


Abbildung 3: Übersicht Prüfanordnung zum Polarisationsversuch

6.3.3 Polarisationsversuch zur Prüfung der kathodischen Polarisierbarkeit

Der Polarisationsversuch beinhaltet folgende Untersuchungen gemäß AfK 1 und AfK 10 (Februar 2014):

- Untersuchung der kathodischen Polarisierbarkeit,
- Fehlstellenvergleichsmessung durch Stromverdoppelung,
- Polarisationsstrommessung und
- Fehlstellenortung.

Mit Hilfe einer speziellen, gezielten Schutzstromeinspeisung auf den zu untersuchenden Rohrstrang gegen eine neutral positionierte Hilfsanode werden die oben genannten Parameter detailliert aufgezeichnet und bewertet. Die erforderliche kathodische Polarisierbarkeit eines vorliegenden Umhüllungsschadens soll durch diese Untersuchung deutlich abschätzbar gemacht werden.

Falls allerdings eine korrosive Wechselstrombeeinflussung an dem Rohrstrang zu erwarten ist, so ist der Umhüllungsschaden zu orten und zu beheben bzw. sind andere Maßnahmen (z.B. Isoliertrennstellen und gezielte AC-Abgrenzeinrichtungen) zu treffen, selbst wenn die Polarisationskriterien erfüllt sind.

Bei der Fehlstellenortung wird der Rohrstrang an den Enden von Bodenkontakten befreit und eine Einspeisung gegen eine neutral angeordnete Hilfsanode hergestellt. Das Rohrpotential sollte für die Ortung entsprechend der Bodenüberdeckung des Rohrstranges stark erhöht sein, um den durch den in die Umhüllungsfehlstelle eintretenden Strom erzeugten Spannungstrichter im Boden deutlich messbar zu machen. Die Ortung wird dann in 1 m Abständen über der eingemessenen Rohrtrasse durchgeführt und aufgezeichnet.

Das beschriebene Verfahren entspricht grundsätzlich dem der Intensivmessung, welche jedoch nur bis zu Bodenüberdeckungen von maximal 2 m erfolgsversprechend ist.

Anwendungshinweis:

Werden trotz aller Maßnahmen zur Fehlstellenortung und -beseitigung die projektspezifisch zu definierenden Mindestkriterien für die Polarisierbarkeit an dem betreffenden Rohrstrang nicht erfüllt, ist die Rohrumhüllung inakzeptabel. Der Rohrstrang ist instand zu setzen oder zu ersetzen. Alternativ kann der Betreiber auch eine Beschränkung der Betriebsparameter und/oder der Lebensdauer akzeptieren.

Detailliertere Angaben zu den Verfahren zum Nachweis der Wirksamkeit des Kathodischen Korrosionsschutzes an erdverlegten Rohrleitungen können den jeweiligen länderspezifischen Regelwerken entnommen werden.

7 Verfügbare Umhüllungssysteme

7.1 Allgemeines

Die projektspezifische Auswahl der Rohrumhüllung und ggf. der zusätzlichen mechanischen Schutzummantelung (Verschleißschicht) ist eine entscheidende Grundlage für einen erfolgreichen HDD-Rohreinzug. Bei der Verarbeitung dieser Komponenten sollten aufgrund der zum Teil hohen Anforderungen im Bohrkana uneingeschränkt höchste Qualitätsstandards sowohl hinsichtlich des Materials als auch hinsichtlich des ausführenden Personals auf der Baustelle sichergestellt werden. Die Verarbeitungshinweise des Beschichtungssystemherstellers, insbesondere auch die Berücksichtigung der klimatischen Bedingungen, sind uneingeschränkt zu beachten und anzuwenden. Weiterhin darf die Dicke der nachträglich aufgetragenen Schweißnahtumhüllung nicht größer sein als die ursprünglich werkseitig aufgetragene Umhüllung. Idealerweise ist die Oberfläche der Schweißnahtumhüllung bündig mit der Werksumhüllung. Diese Anforderung ist bereits frühzeitig bei der Planung der zu verwendenden Korrosionsschutzsysteme zu berücksichtigen.

Die Qualität des ausgewählten Umhüllungssystems ist im Zusammenhang mit den Kenntnissen über die Geologie des Untergrundes im Bereich der Bohrlinie ein maßgeblicher Einflussfaktor für die angestrebte bzw. geforderte Erzielung eines fehlerfreien Rohreinzugs.

7.2 Werksumhüllungen

7.2.1 Allgemeines

Mechanische Beschädigungen sind eine der häufigsten Ursachen für Defekte an Rohrleitungsumhüllungen während der Herstellung, insbesondere bei der grabenlosen Rohrverlegung. Rohrleitungsumhüllungen müssen daher mechanisch widerstandsfähig sein oder einen zusätzlichen mechanischen Schutz haben, um die Auswirkungen von mechanischen Einwirkungen zu vermeiden oder zu verringern. Die entsprechenden Anforderungen müssen, wann immer möglich, in einem frühen Stadium der Planung und/oder der Herstellung der Rohrleitung berücksichtigt werden, um die Leistungsfähigkeit des/der Korrosionsschutzsystems/e und damit die langfristige Integrität der Rohrleitung sicherzustellen.

Alle gängigen Außenkorrosionsschutzumhüllungen, sowohl werkseitig als auch vor Ort aufgebracht, enthalten bereits eine gewisse mechanische Grundbeständigkeit. Mehrschichtige Umhüllungen wurden entwickelt, um die mechanische Grundbeständigkeit gezielt zu verbessern. Trotz der Verwendung hochwertiger und dem Baugrund angepasster Materialien ist es möglich, dass bei Installationen im HDD-Verfahren Schäden an der Umhüllung entstehen, z.B. durch ungünstige Baugrundverhältnisse (wie z.B. scharfkantige Gesteine im Boden).

Die in der Branche am häufigsten verwendeten Systeme werden in den folgenden Kapiteln aufgeführt. Die Liste der nachfolgend beschriebenen Systeme stellt hierbei jedoch nur eine Auswahl dar, da auch andere Systeme (z.B. flüssige Polyurethane) in HDD-Rohrleitungsprojekten verwendet werden, allerdings in einem begrenzteren Umfang.

7.2.2 Polyolefin-Umhüllungen (PE/PP)

7.2.2.1 Polyethylen-Umhüllungen (PE)

Polyethylenumhüllte Rohrleitungen besitzen einen Korrosionsschutz, der nach DIN 30675 Teil 1 auch in stark aggressiven Böden der Bodenklasse III einsetzbar ist. Bei dem aktuell üblichen dreilagigen Aufbau handelt es sich um eine Kombination aus Primer- und Kleberschicht sowie der, je nach Rohrdimension, im Abmessungsbereich bis DN 600 schlauch- oder bei größeren Abmessungen wickelextrudierten Polyethylenschicht.

PE-Umhüllungen sind in der DIN EN ISO 21809-1 für Öl- und Gastransportleitungen genormt. Für die übrigen Anwendungsbereiche, wie den Rohren für die Gasverteilung und Wasserversorgung, aber generell auch bei niedrigeren Auftragsmengen, sind beispielsweise in Deutschland die Anforderungen im nationalen Regelwerk DIN 30670 (PE) zu finden.

PE-Umhüllungen sind für HDD-Spülbohrverfahren bedingt geeignet und können in unkritischen Bodenverhältnissen eingesetzt werden. In diesen Fällen sollten mindestens die verstärkten Schichtdicken (v) gemäß Tabelle 2 bzw. Schichtdickenklasse 3 gemäß Tabelle 1 verwendet werden. Die allgemein genormten Schichtdicken können zudem der Tabelle 1 und der Tabelle 2 entnommen werden.

Tabelle 1: Mindestschichtdickenbereiche (dimensionsabhängig) nach DIN EN ISO 21809-1

Schichtdickenklasse	1	2	3
Bodenbeschaffenheit	Onshore sandiger Boden	Tonböden ohne Füllmaterial	Steinige Böden* und Off-shore
Class A (bis 60°C)	1,8 – 3,2 mm	2,1 – 3,8 mm	2,6 – 4,7 mm
Class B (bis 80°C)	1,3 – 2,5 mm	1,8 – 3,3 mm	2,3 – 4,2 mm

*Unabhängig von der Schichtdicke ist speziell in felsigen und steinigen Böden eine steinfreie Bettung (bei offener Verlegung) vorzusehen.

Tabelle 2: Mindestschichtdicken für die Polyethylenumhüllung nach DIN 30670

Rohrmaße	Mindestschichtdicke	
	normal (n)	verstärkt (v)
<= DN 100	1,8 mm	2,5 mm
> DN 100 und <= DN 250	2,0 mm	2,7 mm
> DN 250 und <= DN 500	2,2 mm	2,9 mm
> DN 500 und <= DN 800	2,5 mm	3,2 mm
> DN 800	3,0 mm	3,7 mm

7.2.2.2 Polypropylen-Umhüllungen (PP)

PP-Umhüllungen sind im Vergleich zu den PE-Umhüllungen mechanisch belastbarer und werden sowohl bei höheren Betriebstemperaturen als auch für grabenlose Bauweisen, insbesondere dem Spülbohrverfahren eingesetzt. Nachteilig wirkt sich die Neigung zur Versprödung bei niedrigen Temperaturen (<0°C) aus, die zu Schäden während des Einbaus führen kann. Schichtaufbau und Herstellungsverfahren entsprechen denen der PE-Umhüllungen. Während für Öl- und Gastransportleitungen wie bei der PE-Umhüllung die Anforderungen in der DIN EN ISO 21809-1 festgelegt sind, existiert in Deutschland national für PP-Umhüllungen die DIN 30678. Die in den Regelwerken für PP-Umhüllungen vorgesehenen Schichtdickenbereiche können der Tabelle 3 und der Tabelle 4 entnommen werden.

Tabelle 3: Mindestschichtdickenbereiche (dimensionsabhängig) nach DIN EN ISO 21809-1

Schichtdickenklasse	1	2	3
Bodenbeschaffenheit	Onshore sandiger Boden	Tonböden ohne Füllmaterial	Steinige Böden* und Off-shore
Class C (PP)	1,3 – 2,5 mm	1,7 – 3,0 mm	2,1 – 3,8 mm

*Unabhängig von der Schichtdicke ist speziell in felsigen und steinigen Böden eine steinfreie Bettung (bei offener Verlegung) vorzusehen.

Tabelle 4: Mindestschichtdicken für die Polypropylenumhüllung nach DIN 30678

Rohrmaße	Mindestschichtdicke
<= DN 100	1,8 mm
> DN 100 und <= DN 300	2,0 mm
> DN 300 und <= DN 500	2,2 mm
> DN 500	2,5 mm

7.2.3 Mehr- und Dickschichtsysteme

7.2.3.1 Mehr- und Dickschichtsysteme aus Thermoplasten

Spezialausführungen der Polyolefinumhüllung für das Spülbohrverfahren sind einerseits die Dickschichtsysteme der Polyethylen- oder Polypropylenumhüllungen und andererseits die Mehrschichtsysteme, bei denen unterschiedliche extrudierbare Kunststoffschichten miteinander kombiniert werden.

Beim Schlauchextrusionsverfahren erfolgt der Schichtaufbau üblicherweise in mehreren Extrusionsvorgängen. Im Wickelextrusionsverfahren werden Dickschichtsysteme aus Polyethylen oder Polypropylen üblicherweise in einem Arbeitsgang hergestellt.

Maßgeblich für diese Differenzierung sind die unterschiedlichen Fertigungsgeschwindigkeiten. Bei kleineren Rohrdurchmessern erhöht die vergleichsweise langsame Abkühlzeit der Umhüllung insbesondere bei Dickschichtsystemen das Risiko ungleichmäßiger Schichtdicken durch den erforderlichen Transport der Rohre über die Rollen der Fertigungslinien. Aus diesem Grunde erfolgt der Schichtaufbau hier in mehreren Arbeitsgängen. Werden identische Einsatzmaterialien verwendet, entsteht ein homogener Schichtaufbau, wobei die Schichten miteinander monolithisch und kraftschlüssig verbunden sind.

Der wesentliche Nachteil eines in sich verschweißten Dickschichtsystems ist die bis zum Grundwerkstoff reichende Beschädigung der Umhüllung im Falle einer Rissbildung.

Durch Kombination zweier unterschiedlicher Umhüllungsmaterialien fehlt die Haftfestigkeit zwischen den Schichten und sorgt so für einen Riss-Stop im Bereich der Schichtgrenzen. Bei diesem mehrschichtigen Aufbau wird außen üblicherweise ein mechanisch belastbares Material wie Polypropylen oder Polyamid als Außenlage verwendet, während der Korrosionsschutz darunter durch die Polyethylenumhüllung realisiert wird. Der Vorteil der Polyamidschicht gegenüber dem Polypropylen liegt dabei in der größeren Härte, der besseren Kälte- und Rissbeständigkeit.

Diese Polyethylenschicht wird im Mehrschichtsystem üblicherweise als sogenannte Rough-Coat-Ausführung gefertigt und sorgt durch die raue Oberflächenstruktur für die erforderliche Scherfestigkeit der Umhüllung (siehe Abbildung 4).

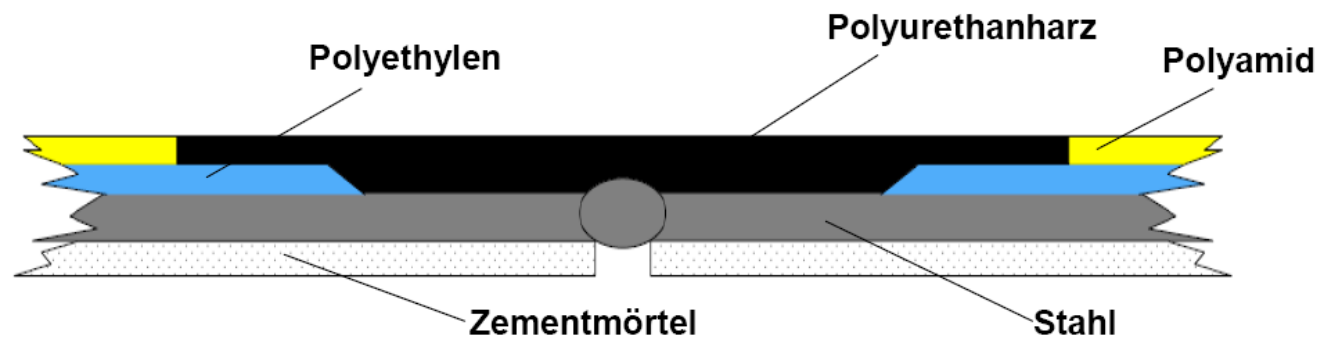


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Schichtaufbaus eines Mehrschichtsystems im Verbindungsbereich der Rohre

Da es sich bei solchen Mehrschichtsystemen um eine Dickschichtausführung handelt, stehen hier zur Nachumhüllung der Rohrverbindungen auch Vergussysteme zur Verfügung. Die Endenausführung der Werkumhüllungen ist dabei so zu wählen, dass eine ausreichende Überlappung für den Korrosionsschutz sichergestellt ist und ein beim Rohreinzug störender Überstand des Nachumhüllungsmaterials unterbunden wird.

7.2.3.2 Faserzementmörtel (FZM) – Beschreibung

FZM-Ummantelungen sind z.B. in Deutschland im DVGW-Arbeitsblatt GW 340 bzw. in DIN 30340-T1 beschrieben. Die FZM-Ummantelung wird in zwei Varianten hergestellt:

- bei Rohren für die offene Grabenverlegung wird die FZM-Ummantelung direkt auf die PE-Umhüllung aufgebracht (Ausführung N nach DVGW-Arbeitsblatt GW 340). Es besteht keine Haftung zwischen Polyethylenumhüllung und Mörtelschicht.
- bei Rohren für die grabenlose Verlegung wird die FZM-Ummantelung mit einem Haftvermittler oder durch eine entsprechende Profilierung der Polyethylenumhüllung fixiert (Ausführung S nach DVGW-Arbeitsblatt GW 340).

Die Ausführung S der FZM-Ummantelungen wird schon seit den 90er Jahren erfolgreich für den grabenlosen Leitungsbau, vor allem bei den Rohrdimensionen bis etwa DN 600 eingesetzt. Durch die FZM-Ummantelung wird das Rohr universell einsetzbar und kann in steinigem Böden ohne zusätzliche Schutzmaßnahmen verlegt werden. Auch als mechanischer Schutz für Sonderbaumaßnahmen wie Düker- oder Seeverlegung hat die Zementmörtelummantelung Bedeutung erlangt. Die FZM-Ummantelung nach DVGW-Arbeitsblatt GW 340 ist dabei nicht zu verwechseln mit einer Betonummantelung nach DIN EN ISO 21809-5. Eine Betonummantelung nach DIN EN ISO 21809-5 ist für den notwendigen Abtrieb bei der Offshore-Verlegung von Pipelines und nicht für HDD-Spülbohrverfahren einsetzbar.



Abbildung 5: Herstellung der FZM-Ummantelung

Die FZM-Ummantelung besteht aus getrocknetem Quarzsand, Zement, Wasser, Fasern sowie weiteren Zuschlagstoffen. Vor dem Auftragen auf die Korrosionsschutzumhüllung wird diese ein zweites Mal mit einer Spannung von 25 kV auf eventuelle Schäden geprüft. Der Mörtel wird spiralförmig durch eine Schlitzdüse auf das sich drehende Rohr aufgebracht. Gleichzeitig wird eine reißfeste Kunststoff-Gewebebandage überlappend in den Zementmörtel eingearbeitet. Die Mörtelschicht wird mechanisch geglättet (siehe Abbildung 5).

Die Mindestschichtdicke liegt bei 7 mm. Die Schichtdicke kann in definierten Schritten angepasst werden, welche ggf. auch das Biegen zementmörtelummantelter Rohre in den üblichen Biegevorrichtungen an der Baustelle erlauben (siehe Abbildung 6). In Bezug auf die elastische Biegung eines Stahlrohrstranges im Zuge einer HDD-Verlegung ist im Allgemeinen die maximal zulässige Biegespannung des Rohrwerkstoffs der limitierende Faktor.



Abbildung 6: Biegen von FZM-ummantelten Rohren

Die erforderliche Scherfestigkeit der Ausführung S für grabenlose Bauweisen wird durch eine Profilierung der Polyethylenumhüllung erzielt. Dazu wird die Polyethylenumhüllung in Längsrichtung T-förmig aufextrudiert und im heißen Zustand werden zusätzlich grobe Polyethylenpartikel entsprechend aufgeschmolzen. Unabhängig von der Richtung einwirkender Kräfte muss eine derart fixierte Mörtelschicht zerstört werden, um diese von der Polyethylenumhüllung zu trennen. Diese Profilierung wird beim Aufbringen des Mörtels an den Rohrenden auf einen Bereich von 2 bis 3 cm nicht mit Zementmörtel überdeckt, sodass auch die Nachumhüllung aus Gießmörtel oder einer Polyurethanvergussmasse im Übergang zur Mörtelumhüllung Gelegenheit findet, sich mechanisch zu verkrallen (siehe Abbildung 7).

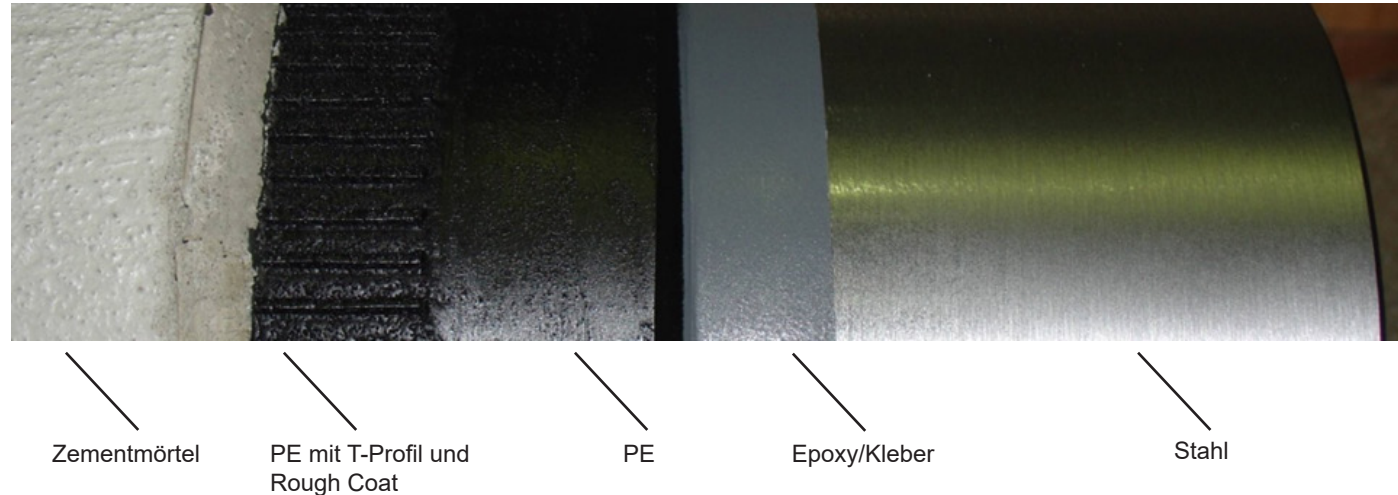


Abbildung 7: Endenausführung der FZM-S-Ausführung

7.2.3.3 Glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK)

Glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK) gemäß DIN 30340 ist ein mechanisch hochbelastbarer und chemisch sehr widerstandsfähiger Verbundwerkstoff, der aufgrund seiner Materialeigenschaften seit Mitte der 1990er Jahre erfolgreich als zusätzlicher Schutz von kunststoffummantelten Stahlrohren eingesetzt wird (siehe Abbildung 8). Dabei kommen üblicherweise ungesättigte Polyester- oder Vinylesterharze ohne Füllstoffe zur Anwendung. Diese Harze werden zusammen mit strapazierfähigen Textilglasfasermatten und/oder Rovingfäden auf die Korrosionsschutzschicht, die in der Regel aus einer 3LPE/3LPP-Beschichtung besteht, gewickelt. Die Aushärtung der Harze kann durch UV-Licht oder mittels thermischer Aushärtung durch die Zugabe von Peroxiden erfolgen.



Abbildung 8: werkseitig GFK-beschichtete Rohre - DN 700 - bereit für den Einzug

Die Oberfläche der Korrosionsschutzschicht wird vor dem Bewickeln maschinell bearbeitet, um eine in der Praxis bewährte Scherfestigkeit $\geq 100 \text{ N/cm}^2$ zur GFK-Beschichtung zu erzielen. Die Dicke der hergestellten GFK-Beschichtungen beträgt i.d.R. mindestens 5 mm, kann allerdings projektspezifisch angepasst werden. Entsprechend der Kundenspezifikation oder den Projektanforderungen können in diesem Verfahren auch GFK-Gleitkufen auf die GFK-Beschichtung im Wickelverfahren aufgebracht werden, z.B. für den Rohreinzug in Schutzrohren.

7.3 Nachumhüllungen

7.3.1 Allgemeines

In den nachfolgenden Kapiteln werden die in der Branche am häufigsten verwendeten Nachumhüllungssysteme vorgestellt. Die beschriebenen Systeme stellen hierbei wiederum eine Auswahl der am häufigsten eingesetzten Nachumhüllungen dar. Generell sollte im Rahmen der Planung bei der Kombination zwischen der werkseitigen Umhüllung und der Nachumhüllung berücksichtigt werden, dass eine glatte und gleichmäßige Oberfläche erreicht wird.

7.3.2 PUR und PUA – Umhüllungen aus Polyurethan (PUR) und Polyharnstoff (PUA)

Umhüllungen aus Polyurethan bzw. Polyharnstoff bestehen aus einem duroplastischen Material, das nach dem Aushärten ein stabiles dreidimensionales Molekülgitter bildet. Dies steht im Gegensatz zu den thermoplastischen Polyolefinen, den bituminösen Systemen oder denen auf Petrolatum-Basis. Daher weisen Polyurethan- oder Polyharnstoff-basierte Systeme eine hohe Festigkeit gegenüber mechanischen und thermischen Belastungen sowie eine gute chemische Beständigkeit auf. Diese Eigenschaften zusammen mit den jeweiligen Verarbeitungstechniken definieren die breiten Anwendungsbereiche, d.h. die Werksumhüllung und die Schweißnahtnach- bzw. Baustellenumhüllung von Rohren, Armaturen und Ventilen (siehe Abbildung 9).



Abbildung 9: Rohrleitung mit durch Polyurethan geschützten Schweißnahtnachumhüllungen

Für den Einsatz dieser Umhüllungen gibt es Normen, die die Anforderungen an ein duroplastisches System, hier Polyurethan oder Polyharnstoffumhüllung, beschreiben. Die Normen, die zur Beschreibung der Spezifikationen der Polyurethan-Umhüllung verwendet werden, sind die folgenden:

- DIN EN 10290 - Stahlrohre und -formstücke für On- und Offshore-verlegte Rohrleitungen - Umhüllung (Außenbeschichtung) mit Polyurethan und polyurethan-modifizierten Materialien
- DIN EN ISO 21809-3 - Erdöl- und Erdgasindustrie - Umhüllungen für erd- und wasserverlegte Rohrleitungen in Transportsystemen - Teil 3: Nachumhüllung der Schweißverbindungen
- DIN 30672-1 – Nachumhüllungsmaterialien für den Korrosionsschutz von erdüberdeckten Rohrleitungen – Teil 1: Anforderungen und Produktprüfungen.

Es existiert kein materialspezifisches Regelwerk für Polyurethanumhüllungen für die Anwendung im HDD-Verfahren. Bei der Verwendung von Polyurethan zur Nachumhüllung hat sich das Aufbringen der Polyurethanumhüllung durch „Injektion“ als bewährtes Verfahren erwiesen. Dabei wird die Umhüllung aus einer Zweikammerkartusche durch eine Injektion in einem Arbeitsgang in einem speziellen Werkzeugsystem bereitgestellt (siehe Abbildung 10). Durch diese Technik ist ein einfaches Skalieren in Bezug auf die Nachumhüllungsfläche und den Rohrdurchmesser sowie die erforderliche Schichtdicke möglich, wodurch ein homogenes System entsteht. Das Formsystm sorgt für eine hohe Oberflächenqualität und schützt das Material auch während der Aushärtung vor Witterungseinflüssen. Auf diese Weise aufgetragene Nachumhüllungen passen sich der Oberfläche der Werksumhüllung an, ohne die Schichtdicke spezifizieren zu müssen.



Abbildung 10: Einspritzen des Polyurethans in das Gehäuseblech mit der speziellen Zweikammerkartusche

7.3.3 GFK-Schweißnahtummantelung auf der Baustelle

Die baustellenseitige glasfaserverstärkte (GFK) Kunststoffummantelung der Schweißnähte kann mittels verschiedener Verfahren aufgebracht werden (siehe Abbildung 11). Lichthärtende und peroxidisch härtende hochwertige Polyester- oder Vinylesterharz-Systeme kommen ebenso zum Einsatz wie Reaktionsharzsysteme auf Epoxidbasis. Das Aufbringen der mit ausreichend Harz durchtränkten Glasmatten erfolgt im Hand-Wickelverfahren nach Herstellervorgaben. Bei HDD-Anwendungen sollte im Falle der Polyester- oder Vinylesterharz-Systeme stets ein geeignetes Korrosionsschutzsystem (z.B. PE-/Butyl Bänder, PUR oder wärmeschrumpfende Materialien) unter dem zusätzlichen mechanischen Schutz aufgebracht werden.

Bei allen Anwendungen sind immer die Verfahrenshinweise der Hersteller einzuhalten. Umgebungsbedingungen wie beispielsweise Temperatur, Feuchtigkeit und UV-Strahlung (Tages-/Sonnenlicht) können die Qualität maßgeblich beeinflussen. Bei der Wahl der UV-Strahler und Vorbereitung der Harzmischung auf der Baustelle sind die Herstellervorgaben zu beachten. Ggf. sind zusätzliche Arbeitsanweisungen der Netzbetreiber für die nachträgliche GFK-Schweißnahtummantelung zu beachten. Die Kompatibilität der eingesetzten Harze zur werkseitig aufgetragenen GFK-Ummantelung besteht uneingeschränkt zwischen den hier genannten unterschiedlichen Harzen und Härtungsmethoden sowie den üblichen polyolefinischen Werksumhüllungen (PE und PP).

Um keinen lokalen Angriffspunkt erhöhter mechanischer Belastung im Nachumhüllungsbereich zu erzeugen, ist eine Überhöhung der Schweißnahtnachumhüllung gegenüber der Werksumhüllung zu vermeiden. Die erzeugte Scherfestigkeit zwischen Werksumhüllung und zusätzlichem mechanischem Schutz muss in Anlehnung an die DVGW GW 340 bzw. DIN 30340 getestet werden. Bei Verwendung von Schrumpf- oder Bandmaterialien unterhalb der GFK ist keine Scherfestigkeit vorhanden. Der entsprechende Test ist in diesem Fall nicht anwendbar.

Mit DIN 30340 existiert eine technische Regel, die die Anwendung der GFK-Nachumhüllung als mechanischen Schutz bei der grabenlosen Rohrverlegung beschreibt.

GFK-Systeme auf Vinylester- und Epoxidharzbasis sind als reiner Korrosionsschutz in der DIN EN ISO 21809-3 beschrieben.



Abbildung 11: Zusätzliche Beschichtung der Schweißnaht mit glasfaserverstärktem Kunststoff

7.3.4 Schrumpfmanschetten

Schrumpfmanschetten werden im Rohrleitungsbau zum Schutz der Rundschweißnähte vor Korrosion eingesetzt, in der Regel bei FBE- und PP-umhüllten Rohren. Die Standardmanschette bietet jedoch keinen ausreichenden mechanischen Schutz, der für den Einsatz bei HDD erforderlich ist.

Für den HDD-Einsatz sind Sonderausführungen erhältlich. Diese Manschetten werden aus einem dicken, strahlenvernetzten, thermisch stabilisierten, glasfaserverstärkten, wärmeschrumpfenden Polyolefin-Gewebe hergestellt, das innen mit einem Schmelzkleber beschichtet ist. Die Haftung auf blanken Stahlrohroberflächen wird durch das Auftragen einer Epoxid-Grundierung verbessert. Bei der Installation wird das Epoxidharz auf die vorbereitete Rohroberfläche aufgetragen und die wärmeschrumpfende Muffe wird sofort über das nasse Epoxidharz um die Verbindung gewickelt. Die Manschette wird dann erwärmt und schrumpft so, dass sie die Verbindung fest umschließt. Die Manschette wird mit einem speziellen, flachen Verschlussstück verschlossen. Der Verschluss bietet die Festigkeit, um den Schrumpfkraften während der Installation standzuhalten.



Abbildung 12: Schweißnahtnachumhüllung „DIRAX-System“



Abbildung 13: Aufbau „DIRAX-System“

Ein Verschleißkonus aus dem gleichen Material wie die Hauptmanschette wird dann über die Vorderkante der Manschette angebracht. Die Verwendung von Schrumpfmanschetten für HDD-Anwendungen ist begrenzt in Bezug auf den Rohrdurchmesser und günstige Bodenbedingungen (siehe Abbildung 12 und 13).

7.3.5 Zementmörtelummantelungen

Die Nachumhüllung der Baustellenschweißnähte erfolgt zunächst mit Korrosionsschutzsystemen nach DIN EN 12068. Damit die Schweißnahtumhüllung den gleichen mechanischen Schutz wie das werkseitig mit Zementmörtel umhüllte Rohr erhält, können Vergussysteme auf Zementbasis verwendet werden. Der hier verwendete Zementmörtel hat eine auf die Anwendung angepasste Zusammensetzung unter Verwendung von Kunststofffasern und entspricht den Anforderungen des DVGW GW 340 bzw. DIN 30340 T2.

Im Falle des zementbasierten Vergussystems werden Schalungen eingesetzt, um einen stufenlosen Übergang zwischen Werksummantelung und Baustellenummantelung sicherzustellen. Beim Gießmörtel wird entsprechend Herstellervorgabe der Mörtel angemischt und in die Schalung gefüllt. Die Schalung verbleibt auf dem Rohr, um einen ordnungsgemäßen Aushärtprozess des Vergussystems sicherzustellen und kann vor dem Einzug entfernt werden (siehe Abbildung 14).

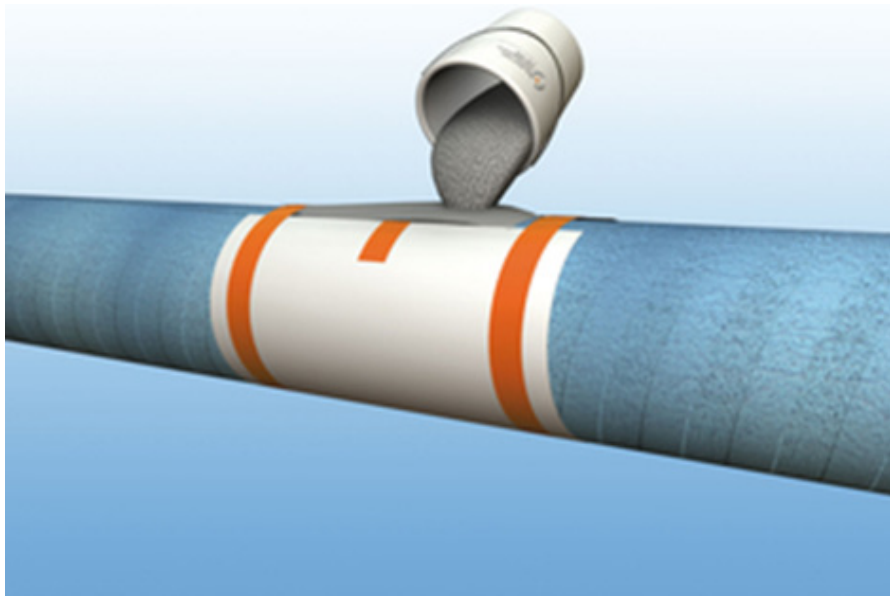


Abbildung 14: Nachummantelung Schweißnahtbereich mit FZM

8 Komplexität einer HDD-Bohrung

8.1 Allgemeines

In den vorangegangenen Kapiteln wurde bereits mehrfach aufgezeigt, dass es einerseits eine relative Vielfalt an Umhüllungsmaterialien und -systemen, d.h. Materialkombinationen gibt, die zusätzlich auch noch durch eine gewisse Variation der Schichtdicken und/oder Anzahl der Lagen an die individuellen Anforderungen des Projektes sowie an die individuellen, auf unterschiedlichen Erfahrungen basierenden Präferenzen des Leitungsbetreibers angepasst werden können. In Bezug auf die individuellen Anforderungen des Projektes ergeben sich andererseits physikalische Einwirkungen aus der Umgebung des Rohres auf die Rohrumhüllung, d.h. aus Baugrundbedingungen, Temperatureinflüssen etc. und aus den chemischen Einwirkungen aus Grundwasser und Baugrund. Die Wirksamkeit bzw. der Einflussfaktor dieser Einwirkungen auf die Rohrumhüllung wiederum sind abhängig von den geometrischen Eigenschaften des Bohrloches bzw. der Rohrleitung. Je größer die Einwirkungen und der Anspruchsgrad aus der Bohrungsgeometrie sind, desto komplexer sind das Zusammenwirken und die Beanspruchung der Rohrumhüllung.

In den nachfolgenden Abschnitten wird eine Kategorisierung der jeweiligen Komplexität vorgenommen. Diese beruht auf Erfahrungswerten und kann lediglich einen groben Anhalt zur Beurteilung der projektspezifischen Anforderungen liefern.

8.2 Bohrparameter

8.2.1 Allgemeines

Bei der HDD-Technik wird nach Durchführung der Pilotbohrung und Aufweitung des Bohrloches im letzten Schritt ein Produktrohr eingezogen. Die Umhüllung des Produktrohres wird hierbei Belastungen z.B. Reibung, Spannung, Biegung usw. ausgesetzt. Daher können die verschiedenen Parameter einen großen Einfluss auf den Zustand der Umhüllung nach dem Rohreinzug haben.

Die nachfolgende Tabelle 5 fasst die wichtigsten Parameter zusammen, die vor und während des Rohreinzugs sorgfältig berücksichtigt werden sollten:

Tabelle 5: Bohrparameter

Parameter	Komplexität		
	Niedrig	Mittel	Hoch
Rohrauftrieb in Bohrspülung	< 500 N/m	500 – 2.000 N/m	> 2.000 N/m
Länge	< 500 m	500 - 1.000 m	> 1.000 m
Rohrdurchmesser	< 10" (250 mm)	10 - 24" (250 - 600 mm)	> 24" (600 mm)
Bohrungsdurchmesser	< 16" (400 mm)	16" - 32" (400 - 800 mm)	> 32" (800 mm)
Radius im Bohrloch ⁽¹⁾	> 1,1 x R _{design}	0,9 – 1,1 x R _{design}	< 0,9 x R _{design}
⁽¹⁾ Hinweis: R _{design} : Berechneter Design-Radius nach DCA-Richtlinie			

8.2.2 Auftrieb des Produktrohres

Der Auf- oder Abtrieb des Produktrohres in der Bohrung ist einer der wichtigsten Parameter: Je größer die Kraft ist, desto mehr Reibungskräfte wirken. Das Potenzial für Umhüllungsschäden wird dadurch erhöht.

Bei einem Stahlproduktrohr mit einem Durchmesser von mehr als 30" ist es üblich, das Rohr während des Einzugs zu beschweren (ballastieren), um den Auftrieb im Bohrloch zu verringern. Unter solchen Umständen können verschiedene Ballastierungssysteme verwendet werden:

- Die Ballastierung erfolgt in der Regel durch Einpumpen von Wasser vom hinteren Ende des Produktrohres aus während des Einzugs. Die Verwendung von Wasser ermöglicht eine genaue Kontrolle der zugegebenen Menge und vermeidet mechanische Beschädigungen der Rohrrinnenwand. Dabei wird eines der zwei folgenden Verfahren angewendet:
 - Das Rohr vollständig mit Wasser füllen: Dies führt in der Regel zu einem starken Abtrieb. Dem kann entgegengewirkt werden, indem das Gewicht der Bohrspülung vor dem Einzug des Rohres erhöht wird, wodurch der Auftrieb erhöht und damit der Gesamtabtrieb des Rohres verringert wird.
 - Alternativ ist es auch möglich, das Produktrohr nur teilweise mit Wasser zu füllen, um einen nahezu neutralen Rohrauftrieb zu erzeugen. Diese Option ist zwar sehr effizient, aber auch aufwendig, da sie das Einbringen von temporären Rohren im Inneren des Produktrohres (Inliner) und das Füllen dieser Rohre (oder ihres Ringraums) bei fortschreitendem Einzug erfordert.

- Eine weitere Option ist das Einbringen von Beschwerungen (Gewichte) im Inneren des Produktrohres vor dem Einzug, was ebenfalls zu einer Ballastierung des Produktrohres führt. Sie wird seltener verwendet, da die Gefahr besteht, dass das Produktrohr beim Einsetzen/Entfernen der Gewichte beschädigt wird, und außerdem, weil die zusätzlichen Gewichte auch im Oberbogen wirken und von den Hebege­räten und/oder Rohrauflagern aufgenommen werden müssen. Bei Verwendung von Wasser als Ballastierungsmedium ist das nicht erforderlich.

Weitere technische Details zur Ballastierung finden Sie im Kapitel 7.3.4 der DCA-Richtlinie (4. Ausgabe - 2015).

8.2.3 Länge der Bohrung

Die Intensität der Reibung, die auf den ersten Abschnitt nach dem Zugkopf des Produktrohres einwirkt, ist direkt proportional zur Länge der Bohrung. Je länger die Bohrung ausgelegt ist, desto größer die Strecke und die Dauer, in der das vordere Rohrende dieser Reibung ausgesetzt ist.

8.2.4 Bohrlochdurchmesser und -form

Der Durchmesser des Produktrohres und der dazu erforderliche Bohrungsdurchmesser stehen naturgemäß in einem direkten Zusammenhang. Gemäß den Technischen Richtlinien des DCA beträgt das Verhältnis im Allgemeinen zwischen 1,2 (stabiler Baugrund und geringe Reibung) und 1,5 (instabiler Baugrund und hohe Reibung).

Beim Einsatz eines abgestuften Reamers kann eine optimale Zentrierung während der zweiten und der folgenden Aufweitphase erreicht werden. Dadurch wird verhindert, dass ein schlüsselloch- oder oval-förmiges Bohrloch entsteht, in dem das Produktrohr möglicherweise mehr Reibung erfährt als bei einem ideal-runden Bohrloch.

Beim Einzug von Rohrbündeln in eine Bohrung ist das Verhältnis zwischen Durchmesser des Produktrohres und erforderlichem Bohrungsdurchmesser jeweils projektbezogen festzulegen.

8.2.5 Biegeradius

Der Biegeradius, dem das Produktrohr im Inneren des Bohrloches folgt, kann ebenfalls ein wichtiger Parameter sein. Die Wirkung ist abhängig von der Art der verwendeten Umhüllung und von den angetroffenen Baugrundbedingungen. In den Technischen Richtlinien des DCA wird detailliert beschrieben, wie die Mindestradien für das einzuziehende Produktrohr berechnet werden, die bei der Planung einer HDD-Bohrung zu beachten sind.

8.2.6 Bohrspülungskreislauf

Beim HDD-Verfahren ist die Aufrechterhaltung eines kontinuierlichen Spülungskreislaufes von grundlegender Bedeutung. Beim Einzug des Produktrohres wird die Bohrspülung durch den Bohrstrang gepumpt und tritt am Räumer vor dem Ziehkopf in das Bohrloch ein.

Die eingesetzte Bohrspülung ist für die Erstellung einer HDD-Bohrung essentiell, insbesondere „die Schmierung“ während des Einzugs, um die Reibung zu reduzieren und das Produktrohr zu schützen. Beim Bohren in sehr permeablen Formationen (u.a. Kiese und Sande) oder in geklüfteten Bereichen (Verkarstung, Verwitterungszonen etc.) kann es zu deutlichen Spülungsverlusten kommen, was zu einer schlechten „Schmierung“ um das Produktrohr führen kann. Durch die erhöhte Reibung zwischen dem Produktrohr und dem Bohrloch kann ein Abrieb an der Umhüllung auftreten.

Daher sollte dem Bohrspülungskreislauf während der gesamten HDD-Maßnahme gemäß den Technischen Richtlinien des DCA besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

8.2.7 Bohrlochreinigung

Die Reinigung des Bohrlochs erfolgt hauptsächlich durch die Zirkulation der Bohrspülung, die das anfallende Bohrklein aus dem Bohrloch an die Oberfläche transportiert.

Das Einziehen eines Produktrohres in ein nicht ausreichend gereinigtes Bohrloch kann zu einer deutlichen Erhöhung der erforderlichen Zugkräfte führen. Der Ringraum um das Produktrohr kann mit Bohrklein gefüllt sein und die notwendige Zirkulation der Bohrspülung verhindern. Durch die erhöhte Reibung zwischen dem Produktrohr und dem Bohrloch könnte dann zusätzlicher Abrieb an der Umhüllung auftreten.

Die Bohrung muss daher ausreichend gereinigt bzw. geräumt sein, bevor mit dem Einzug des Produktrohres begonnen werden kann und, falls erforderlich, sollten zusätzliche Räumvorgänge gemäß der Technischen Richtlinie des DCA durchgeführt werden.

8.2.8 Bohrhindernisse

Wenn beim HDD-Verfahren im Zuge der Pilotbohrung oder beim Aufweitvorgang z.B. ein anthropogen bedingtes Bohrhindernis angetroffen wird (z.B. ein Fundament, eine alte Rohrleitung etc.), muss abgewogen werden, ob das Hindernis das Produktrohr während des Einzugs beschädigen kann.

Anwendungshinweis:

In solchen Fällen sollte daher ein Notfallplan erarbeitet werden. Die komplette Umfahrung des Hindernisses und damit die Änderung der Bohrtrasse stellt hierbei eine Möglichkeit dar. Die Entscheidung darüber kann immer nur projektspezifisch erfolgen.

8.3 Einflüsse auf den Rohrleitungseinzug

8.3.1 Rollenböcke

Die meisten Umhüllungsschäden beim Einzug eines Produktrohres stehen in direktem Zusammenhang mit der Situation im Bohrloch, obwohl auch oberirdisch Einwirkungen auftreten können, die die Qualität beeinträchtigen.

Besonderes Augenmerk sollte auf die Ausrichtung und Einstellung der Rollenböcke gelegt werden. Eine falsche Höhengenausrichtung kann dazu führen, dass nicht alle Rollen gleichmäßig belastet werden und einzelne mehr Lasten aufnehmen müssen als andere. Dadurch werden nicht nur die überlasteten Rollen beschädigt, sondern dies kann auch zu Umhüllungsschäden führen.

Eine Laufrolle, die sich beim Einzug nicht dreht, kann ebenfalls die Produktrohrumhüllung beschädigen. Aus diesen Gründen muss das Rohr unmittelbar vor dem Eintritt in die Bohrung durch eine Fehlstellenprüfung (Hochspannungstest, siehe 6.1.5) und eine visuelle Inspektion überprüft werden, und der Rohreinzug muss im Falle eines Defekts an der Umhüllung gestoppt werden. Der Einziehvorgang kann fortgeführt werden, wenn der Defekt an der Umhüllung behoben wurde.

8.3.2 Ausführung des Oberbogens

Im Allgemeinen wird das Produktrohr von Hebege­räten mit Rollenwagen angehoben oder auf erhöhte Rollenböcke positioniert, die ausreichend tragfähig sein müssen, um sowohl das Gewicht des Rohres als auch die vertikalen und die horizontalen Kräfte zu bewältigen.

Abhängig von der Art der verwendeten Umhüllung kann auch der Biegeradius des Rohres innerhalb des Oberbogens ein wichtiger Faktor sein. Die Technischen Richtlinien des DCA geben detailliert an, wie die Mindestradien zu berechnen sind, die eingehalten werden müssen. Besondere Vorsicht ist bei der Kombination von horizontalen und vertikalen Radien innerhalb des Oberbogens geboten, da der horizontale Radius oft berücksichtigt werden muss, um eine korrekte Ausrichtung des Rohres im Bohrkanal zu gewährleisten.

Die in der nachfolgenden Tabelle 6 genannten Werte sind Richtwerte: mindestens 800 x DN im Oberbogen, ansonsten sind eine individuelle Betrachtung und spezifische Berechnungen erforderlich.

Tabelle 6: Biegeradius

Parameter	Komplexität		
	Niedrig	Mittel	Hoch
Biegeradius ⁽¹⁾	> 1.000 x DN	1.000 x DN – 800 x DN	< 800 x DN
⁽¹⁾ Hinweis: DN: Rohr-Ne­nndurchmesser [m]			

8.4 Geologie

Wie bereits erwähnt ist die Umhüllung den Reibungen im Bohrloch ausgesetzt, wenn das Produktrohr in das Bohrloch eingezogen wird. Insofern spielen die geologischen Verhältnisse entlang der Trasse, sprich der Baugrund, naturgemäß eine wichtige Rolle.

Die nachfolgende Tabelle 7 fasst die wichtigsten geotechnischen Parameter zusammen, die bei der Auswahl der Umhüllung bei einem HDD-Projekt von Bedeutung sein können:

Bei der Wahl der Umhüllung (Art/Dicke) müssen daher die tatsächlichen geotechnischen Verhältnisse berücksichtigt werden. Es muss immer der ungünstigste Fall im vorliegenden Baugrund betrachtet werden. Generell muss die Umhüllung einen ausreichenden Widerstand gegen den Untergrund bieten, um die Mindestanforderungen an die Funktionalität des Korrosionsschutzsystems nach dem Einbau zu erfüllen.

Generell sollten kritische Böden bzw. Schichten durch eine fachgerechte Bohrplanung so weit wie möglich vermieden werden. Da dies jedoch oft nicht über die gesamte Bohrstrecke möglich ist, müssen die verbleibenden kritischen Schichten bei der Auswahl eines geeigneten Umhüllungssystems berücksichtigt werden.

Tabelle 7: Geotechnische Parameter bei der Auswahl eines Umhüllungssystems

Parameter	Risiko	Maßnahmen zur Gefährdungsminimierung
Abrasivität	Die Abrasivität des Bodens kann zu lokalen Schäden oder übermäßigem Abrieb der Umhüllung führen, wodurch die Schichtdicke der Umhüllung verringert wird.	Die geeignete Schichthärte und -dicke der Umhüllung sollte unter Berücksichtigung der geotechnischen Eigenschaften der am meisten abrasiven Bodenschicht, die durchbohrt werden soll, festgelegt werden (z.B. bei scharfkantigem Feuerstein).
Verwitterungsgrad Fragmentierung Spaltenbildung	Ein Verwitterungshorizont lässt nicht ohne Weiteres eine glatte Bohrlochwand herstellen, was dazu führen kann, dass ein scharfkantiger Stein/Block die Umhüllung beim Einzug beschädigt (Kratzer/Risse).	Zusätzliche Räumung und Reinigung des Bohrlochs, Vergrößerung des Aufweitdurchmessers und/ oder probeweise Einzug eines beschichteten Abschnitts der Rohrleitung (Dummy-Run) vor dem vollständigen Einzug, um mögliche Schäden an der Umhüllung beurteilen zu können.
Große Steine oder Blöcke	Ein großer Stein oder ein Gesteinsblock (Findling) kann beim Einzug zu Umhüllungsschäden führen (gleicher Vorgang wie oben).	Zusätzliche Räumung und Reinigung des Bohrlochs. Vergrößerung des Aufweitdurchmessers und/ oder probeweiser Einzug eines beschichteten Abschnitts der Rohrleitung Dummy-Run) vor dem vollständigen Einzug, um mögliche Schäden an der Umhüllung beurteilen zu können.
Kiese	Das Einziehen eines Rohres durch eine Kiesschicht erzeugt wegen des instabilen Bohrlochs ohnehin hohe Belastungen. Wenn zusätzlich scharfkantige Komponenten mit der Umhüllung in Berührung kommen, kann es zu einer Beschädigung kommen.	Der Rohreinzug innerhalb solcher Schichten sollte vermieden werden. Weitere Informationen dazu siehe Technische Richtlinien des DCA.

8.5 Chemischer Einfluss des Grundwassers und der Bodenkontaminationen

Die heute verwendeten Umhüllungssysteme sind gemäß den geltenden Normen für alle Arten von natürlichen Böden geeignet. Die Barrierewirkung von Umhüllungen gegen korrosive Stoffe, wie Chloride, Wasser, Sauerstoff usw., bleibt von der Zusammensetzung des umgebenden Bodens unbeeinflusst.

Dennoch sind im Hinblick auf die Verlegung mittels HDD einige Besonderheiten zu beachten. So können die mechanischen Eigenschaften von Kunststoffumhüllungen in Böden mit absorbiertem Kohlenwasserstoffgehalt beeinflusst werden. Die Verringerung der Härte des Materials – und damit der Widerstand gegen Eindrücken – beeinflusst die mechanische Festigkeit sowie die Integrität des Umhüllungssystems unter Betriebsbedingungen. Hier kommt dem Aufbringen zusätzlicher Schichten eine besondere Bedeutung zu, da sie einen verbesserten mechanischen Schutz nicht nur beim Einziehen des Rohrstranges, sondern auch unter Betriebsbedingungen bieten. Die Tendenz von Standardwerksumhüllungen für erdverlegte Rohrleitungen hinsichtlich ihrer Fähigkeit zur Kohlenwasserstoffaufnahme kann in folgender Reihenfolge angeordnet werden:

PE > PP > FBE, PA, GFK, FZM

Insbesondere Materialien wie PA, GFK oder FZM bieten sich als Basismaterial für schützende Ummantelung an.

Ein Aspekt, der bei kohlenwasserstoffverunreinigtem Baugrund zu beachten ist, ist die Verringerung der mechanischen Festigkeit. Neben dem Einfluss der Kohlenwasserstoffe ist auch die Versprödung der Umhüllung durch Alterung zu beachten. Diese Versprödung ist jedoch für die Barrierewirkung einer Korrosionsschutzumhüllung unerheblich, sofern die Rohrleitung entsprechend den geltenden Spezifikationen gebettet wird und keine zusätzlichen Punktlasten auftreten. Je nach Bodenart und -zusammensetzung sind mechanische Einwirkungen beim Ziehen des Rohrstranges zu berücksichtigen. Die dabei entstehenden Kratzer und Kerben können im Falle einer alterungsbedingten Versprödung die Rissbildung in der Korrosionsschutzschicht der Umhüllung begünstigen. Gerade hier haben Kurzzeittests mit Tensiden keinerlei Aussagekraft; sie liefern zwar nützliche Informationen über eine neue Umhüllung, berücksichtigen aber nicht den Alterungsprozess einer Umhüllung. Auch hier sind zusätzliche Umhüllungen zum mechanischen Schutz vorzuziehen, wenn die durch Kratzer und Kerben initiierte Rissbildung zwangsläufig nur die äußere Umhüllung betrifft.

Darüber hinaus können sich im Erdreich, aus welchen Gründen auch immer, weitere mögliche Schadstoffe befinden, die während der Lebensdauer der Rohrleitung einen Einfluss auf die Umhüllung haben können und die bei der Auswahl des Schutzsystems berücksichtigt werden müssen.

9 Systemauswahl auf Basis der Komplexität

Bei der Wahl der benötigten Schutzsysteme für das spezifische Bauvorhaben muss die Wahl der jeweils passenden Nachumhüllung beachtet werden. Die unterschiedlichen Umhüllungen bzw. Ummantelungen sind nur bedingt miteinander kombinierbar und erfordern schon in der Planung eine genaue Betrachtung, um Fehler bei der späteren Durchführung (Werksumhüllung und Nachumhüllung) zu vermeiden.

Monolagen (PE, PP, FBE) in Standardschichtdicken werden direkt auf den Stahl aufgebracht und schützen die Rohrleitung nur bedingt vor mechanischer Beschädigung beim grabenlosen Einzug. Die angewendeten Nachumhüllungen können nur bedingt bis gar nicht als Schutz vor Beschädigungen dienen.

Monolagen aus PE- und PP-Dickschichtsystemen bzw. Mehrschichtsystemen sind für den grabenlosen Bau von Rohrleitungen besser geeignet als Monolagen in Standardschichtdicken. Die Wahl der richtigen Kombination hängt von den baustellenspezifischen Faktoren ab, welche zu unterschiedlichen Komplexitäten führen, wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben. Die nachfolgende Tabelle 8 zeigt eine Auswahl von empfohlenen Kombinationen von Umhüllungssystemen in Abhängigkeit der Komplexität.

Tabelle 8: Auswahl von empfohlenen Kombinationen von Umhüllungssystemen in Abhängigkeit der Komplexität

Werksumhüllungen		Nachumhüllung (Vorschlag)	Komplexität der Bohrung
Dickschichtsysteme	PE und PP Standard (Norm)	Wärmeschrumpfende Materialien (armiert) Polyurethan	niedrig
	PE oder PP-Dickschichtsystem	Polyurethan	mittel
Materialkombinationen	Kombination PE/PP		
	Kombination PE/PA	Polyurethan	hoch
	Kombination PE/FZM		
	Kombination PE /GFK	Kombination wärmeschrumpfen- des Material oder Korrosions- schutzband mit GFK, PUR- oder ZM-Verguss	

10 Risiko-Beeinflussbarkeit

In diesem Kapitel werden die potenziellen Aspekte zusammengefasst, die die Qualität und Effizienz der Umhüllung beeinflussen können. Dabei wird im Weiteren der Begriff „Risiko“ verwendet, auch wenn damit teilweise der Begriff „Gefährdung“ gemeint ist.

Dazu werden im Anhang 1 die häufigsten Einflussgrößen im Zusammenhang mit der Unversehrtheit der Rohrumhüllung bei einem Einzug in eine HDD-Bohrung beschrieben. Die Einflussgrößen können in Kombination oder einzeln zu einer Beschädigung führen.

Die Matrix zur Risiko-Beeinflussbarkeit (Anhang 2) weist jedem Umhüllungsparameter einen Risikofaktor von 1 bis 4 zu, wobei 1 geringfügig und 4 sehr kritisch ist. Dabei wird auch bewertet, wie jeder Projektbeteiligte (HDD-Unternehmer, Rohrleitungsbauunternehmer, Planer und Bauherr) die Parameter beeinflussen kann. Dies soll jeder Partei ihre individuelle Verantwortung bewusst machen und aufzeigen, wo, wann und wer führende Maßnahmen ergreifen muss, um die endgültige Integrität der Umhüllung nach dem Einbau zu sichern.

Die zweite Matrix im Anhang 3 ermöglicht eine projektbezogene Risikobewertung, welche für jedes spezifische Projekt ausgefüllt und angepasst werden kann. Die beschriebenen Einflussgrößen in Spalte 1 müssen überprüft und ggf. ergänzt werden. In Spalte 3 und 6 sind dann Bewertungen vorzunehmen und in Spalte 5 sind Maßnahmen zur Risikominderung oder -vermeidung zu überprüfen, anzupassen und hinzuzufügen.

Die in der Matrix im Anhang 3 benannten und in der separaten Erläuterung zur Tabelle beschriebenen Parameter können einzeln oder in Kombinationen Schäden verursachen. Jeder einzelne muss bei der Auslegung der Umhüllung sorgfältig bewertet werden.

11 Einsatz eines Mantelrohres

Wenn trotz aller Gegenmaßnahmen die Wahrscheinlichkeit einer Beschädigung der Umhüllung nicht ausreichend minimiert oder reduziert werden kann, besteht u.U. die Möglichkeit in der Installation eines zusätzlichen, größeren Mantelrohres, in das das Produktrohr eingezogen wird. Je nach Projektbedingungen kann dies über die gesamte Länge oder nur über einen Teil (an den Enden) der Horizontalbohrung angewendet werden.

Dabei wird die Belastung, welche zu einer Beschädigung der Umhüllung führen könnte, allein von der zusätzlich eingezogenen Leitung aufgenommen. Die Leitung muss daher so ausgelegt werden, dass mögliche Schäden beim Einzug, d.h. Kratzer in einer eventuellen Umhüllung und/oder eine Waddickenverringerung (insbesondere bei Verwendung von HDPE), ausreichend berücksichtigt werden.

Der Einsatz eines solchen Mantelrohres erfordert auch eine komplette Neuauslegung der Bohrung in Bezug auf Bohrl Lochdurchmesser, Bohrradien, Bohrlänge, Umhüllungssystem usw. Darüber hinaus sollte der Einfluss auf das aktive Korrosionsschutzsystem untersucht und bewertet werden.

12 Zusammenfassung

In der vorliegenden Technischen Information Nr. 6 des DCA zum Thema „Rohrumhüllung und -ummantelung im HDD“ wurden die für die Anwendung im HDD-Verfahren beim Einzug von Stahlrohren relevanten und in Europa gebräuchlichen Schutzsysteme (bestehend aus Korrosionsschutzumhüllung und einer Ummantelung zum mechanischen Schutz) sowohl für die werkseitige Aufbringung am Produktrohr als auch für die baustellenseitige Aufbringung im Schweißnahtbereich vorgestellt (Nachumhüllung). Allein die Anzahl der verschiedenen Materialien und Kombinationsmöglichkeiten von Korrosionsschutz und mechanischem Schutz sowie von Werks- und Baustellenumhüllung zeigt die Komplexität dieses für die Nutzungsdauer einer im HDD-Verfahren installierten Stahlrohrleitung existentiellen Themas. Bereits in der Planung einer Rohrleitung müssen daher die entsprechenden Eigenschaften und Einsatzbedingungen für den spezifischen Anwendungsfall geprüft und beachtet werden. Eventuelle, bereits in dieser Phase getroffene Fehleinschätzungen und -entscheidungen lassen sich auch durch eine qualitativ hochwertige Verarbeitung und Installation auf der Baustelle i.d.R. nicht kompensieren.

Sofern hingegen eine geeignete Materialauswahl getroffen wurde, sind das Handling und die Verarbeitung der Rohre und der Umhüllungsmaterialien von entscheidender Bedeutung für die spätere Qualität und Unversehrtheit der Rohrumhüllung. Gemäß einschlägiger Praxiserfahrungen sind Fehler bzw. Unachtsamkeiten bei der Aufbringung der Schweißnahtnachumhüllungen auf der Baustelle eine häufige Ursache für Beschädigungen oder Beeinträchtigungen des Korrosionsschutzsystems. Um dieses Risiko zu minimieren, ist der Einsatz von einerseits geschultem und mit den Verarbeitungshinweisen der Hersteller vertrautem Umhüllungspersonal sowie andererseits zusätzlich einer qualifizierten Aufsicht der Umhüllungsarbeiten empfehlenswert.

In diesem Zusammenhang wird auf die ähnlich organisierte Qualitätssicherung bei der Schweißnahterstellung verwiesen, bei der geprüfte Schweißer sowie eine zertifizierte Schweißaufsicht für die geforderte Schweißnahtqualität verantwortlich sind.

Im Bereich der Umhüllungsarbeiten wird dementsprechend von einigen Rohrnetzbetreibern vermehrt ein sogenannter „Coating Inspektor“ eingesetzt, um die vorbeschriebene Aufsicht der Umhüllungsarbeiten auf der Baustelle zu übernehmen.

Das Umhüllungspersonal muss neben einer entsprechenden Ausbildung und Zertifizierung für das zur Anwendung kommende Umhüllungsmaterial zusätzlich durch umfangreiche Erfahrungen, spezifische Fortbildungen und Unterweisungen die besonderen Anforderungen an die Ausführungsqualität von Umhüllungen für grabenlos zu installierende Rohrstränge kennen. Eine für die offene Rohrverlegung ausreichende Ausführungsqualität der Umhüllung kann für die grabenlose Installation aufgrund der dann wirkenden zusätzlichen mechanischen Einwirkungen ungenügend sein.

Zuletzt ist auch das ausführende HDD-Bohrunternehmen dafür verantwortlich, ein für das einzuziehende Rohr geeignetes Bohrloch herzustellen, wobei zum Beispiel sogenannte Dog Legs oder eine ungenügende bzw. nicht durchgeführte Ballastierung der Rohrleitung für unnötige Belastungen der Umhüllung sorgen können. Auch der Zustand des Bohrloches (verbleibende Steine, Herstellung einer glatten Wand usw.) ist vom HDD-Bohrunternehmen vor dem Einzug sicherzustellen.

13 Anhänge

Anhang 1:	Erläuterung der Risikofaktoren
Anhang 2:	Risiko-Beeinflussbarkeits-Matrix für Qualität und Effizienz von Stahlrohrbeschichtungen
Anhang 3:	Matrix zur Risikobewertung (beispielhafte projektbezogene Risikobewertung)

Anhang 1 Erläuterung der Risikobewertung

Nachfolgend werden die häufigsten Einflussgrößen im Zusammenhang mit der Unversehrtheit der Rohrumhüllung bei einem Einzug in eine HDD-Bohrung beschrieben. Die Einflussgrößen können in Kombination oder einzeln zu einer Beschädigung führen.

Baugrund

Abrasivität

- Hohe Abrasivität führt zu Materialabrieb an dem Schutzsystem.

Verwitterungsgrad/Fragmentierung/Zerklüftung

- Klüfte und verwittertes Gestein weisen u.U. scharfkantige Bruchflächen auf, die das Schutzsystem abschälen oder schlitzen können.

Große Steine/Blöcke

- Können durch Eigengewicht oder durch Verkeilung im Bohrloch hohe Punktbelastungen hervorrufen und zum Abschälen oder Eindrücken des Schutzsystems führen.

Schärfe der Bruchflächen/-kanten

- Scharfkantige Bruchflächen können das Schutzsystem abschälen oder schlitzen.

Hohlräume

- Können zu Spülungsverlusten führen, in Konsequenz zu verringerter Schmierung und dadurch zu Abrasion.
- Größere Hohlräume können hohe Punktlasten hervorrufen, wenn die Rohrleitung über eine längere Strecke zwischen den Rändern des Hohlraumes nicht aufliegt.
- Sie können auch zur Ablenkung der Pilotbohrung und somit zu sogenannten Dog Legs führen, welche wiederum hohe Punktlasten und/oder übermäßige Biegung hervorrufen.

Kiese

- Können zu Spülungsverlusten führen, in Konsequenz zu verringerter Schmierung und dadurch zu Abrasion.
- Können ebenfalls zur Ablenkung der Pilotbohrung und somit zu sogenannten Dog Legs führen.
- Nicht stabilisierbare Kiese können zu (partiellen) Bohrlocheinstürzen führen und in Konsequenz zu erhöhter Reibung und Abrasion.

Materialauswahl

Auswahl Werksumhüllung

- Die Widerstandsfähigkeit der Werksumhüllung muss auf die zu erwartenden Belastungen aus den geotechnischen Bedingungen angepasst sein. Wenn die Widerstandsfähigkeit der Werksumhüllung nicht auf die zu erwartenden Belastungen aus den geotechnischen Bedingungen angepasst ist, können auch bei mangelfreier Bohrerherstellung Beschädigungen auftreten.

- Die Schweißnahtumhüllungssysteme müssen zu der Werksumhüllung und den zu erwartenden Beanspruchungen passen. Werksumhüllungen können die Auswahl des Schweißnahtumhüllungssystems einschränken bzw. bestimmen und ggf. den Einsatz eines für die vorhandenen Bedingungen optimal geeigneten Schweißnahtumhüllungssystems verhindern.

Auswahl Schweißnaht-Nachumhüllung

- Inkompatibilität mit den vorhandenen geologischen Bedingungen kann zu Beschädigungen durch Abrieb, Schlitzen, Abschälen, Eindrücken etc. führen.
- Inkompatibilität mit der Werksumhüllung kann zu Haftverbundproblemen und dadurch zum Abschälen, Eindringen von Wasser/Bohrspülung/Feuchtigkeit führen.

Stahlrohrdurchmesser

Große Stahlrohre erzeugen in der Regel höhere Auf- oder Abtriebskräfte und somit höhere Belastungen auf die Umhüllung, die in Kombination mit anderen Einflussgrößen zu Beschädigungen führen können.

Rohrwanddicke

Je größer die Wanddicke, desto steifer das Rohr. Dadurch wirken größere Kräfte zwischen Rohr/Rohrumhüllung und Bohrlochwand.

Qualität der Werksumhüllung

Rohrlagerung

Nicht fachgerechte Lagerung, z.B. durch scharfkantige Auflager, kann hohe Punktlasten erzeugen, dadurch sind Eindrücke, Riefen, Kerben oder andere Beschädigungen möglich.

Transport umhüllter Rohre

Nicht fachgerechte Auflagerung oder Transportsicherung kann diverse Beschädigungen hervorrufen.

Be-/Entladen von Rohren

Die Verwendung ungeeigneter Hebemittel kann zu diversen Beschädigungen führen.

Verarbeitungsqualität Nachumhüllung

Lagerung der Ausgangsmaterialien

- Material kann durch den Einfluss von Witterungsbedingungen verspröden und zu einem früheren Versagen führen.
- Material von Mehrkomponentensystemen kann die chemische Reaktionsfähigkeit verlieren und zu einem früheren Versagen der Umhüllung führen.

Oberflächenvorbehandlung

Feuchtigkeit, Verschmutzung, nicht ausreichende Vorbehandlung (z.B. Aufräumen) kann zu ungenügendem Haftverbund zwischen Werksumhüllung und Nachumhüllung führen.

Applikation

Nichtbefolgung der Hersteller-Verarbeitungsanweisung kann zu diversen Einschränkungen der Belastungsfähigkeit des Umhüllungssystems führen.

Witterungsbedingungen

- Feuchtigkeit durch Niederschlag auf den Oberflächen kann zu ungenügendem Haftverbund zwischen Werksumhüllung und Nachumhüllung führen.
- Feuchtigkeit durch Kondenswasser bei unzureichender Vorwärmung der Rohroberfläche kann zu ungenügendem Haftverbund zwischen Werksumhüllung und Nachumhüllung führen.

Eignung Umhüllungspersonal

Ungeschultes/unerfahrenes/unzureichend sensibilisiertes Personal kann durch Mängel bei der Verarbeitung (siehe oben) die Qualität und Belastbarkeit der Schweißnahtnachumhüllung maßgeblich beeinträchtigen.

Rohrbau

Oberbogendesign

Durch nicht fachgerechte Oberbogenplanung können zu hohe Biegekräfte oder Punktbelastungen entstehen.

Ausführung des Oberbogens

Mangelnde Sorgfalt während Hebearbeiten, zu geringe Anzahl Rollenböcke, Auflager oder Hebegeräte können zu hohen Kräften und Spannungen und dadurch zu Beschädigungen der Umhüllung führen.

Auflegen des Rohrstrangs auf Rollenböcke

Mangelnde Sorgfalt, verschmutzte oder beschädigte Rollen, in Relation zum Rohrdurchmesser falsche oder falsch eingestellte Rollenböcke können zu hohen Punktlasten führen.

Bohrausführung

Bohrlänge

Je länger die Bohrung desto höher die Einwirkdauer der Belastung auf die Umhüllung beim Einzug und desto größer ist die Wahrscheinlichkeit einer Beschädigung.

Bohrlochgröße

Je größer das Bohrloch desto geringer die Standfestigkeit durch Gewölbewirkung und desto größer die Wahrscheinlichkeit von Bohrlocheinstürzen, Nachfall von Steinen/Brocken etc., die punktuell die Belastung auf die Umhüllung erhöhen und so zu Beschädigungen führen können.

Rohrgewicht/Ballastierung

Die Größe der Auf- oder Abtriebskraft bestimmt die mechanische Belastung der Umhüllung an den Kontaktflächen zur Bohrlochwand. Eine unzureichende Ballastierung kann zu erhöhten Kräften und somit zu Beschädigungen führen.

Radien Bohrloch

Je kleiner die Krümmungsradien der Bohrung, desto größer sind die Kräfte, die radial zwischen gekrümmtem Rohr und Bohrlochwand auftreten und zu Beschädigungen führen können.

Radien Oberbogen

Zu kleine Radien können zu einer Überdehnung/Stauchung des Umhüllungsmaterials führen, die eine Vorschädigung oder Schwächung hervorrufen und somit die Belastbarkeit während des Einzugs in das Bohrloch reduzieren.

Aufrechterhaltung Spülungszirkulation/-druck

- Eine ausbleibende Spülungszirkulation erhöht die Reibungskräfte während des Rohreinzugs und vergrößert das Beschädigungsrisiko der Umhüllung.
- Ein Abfall des Spülungsdruckes im Bohrloch kann zu Bohrlocheinstürzen oder Nachfall von Boden/Steinen etc. führen und erhöht dadurch das Beschädigungsrisiko.

Bohrlochreinigung

Nicht ausgetragenes Bohrklein kann die Reibung erhöhen.

Hindernisse im Bohrloch

Jedes Hindernis im Bohrloch, z.B.:

- Nachgefallene Steine/Blöcke etc.,
- verloren gegangene Bohrwerkzeuge/Bohrwerkzeugteile,
- künstliche Hindernisse, die in das Bohrloch hineinragen (z.B. Gründungen, Altlasten etc.),

können zu einer erhöhten Belastung oder direkt zu einer Beschädigung der Umhüllung führen.

Betriebsbedingungen

Verzicht auf KKS

Da Beschädigungen nicht zu 100 % ausgeschlossen werden können, erhöht der Verzicht auf ein kathodisches Korrosionsschutzsystems die Wahrscheinlichkeit einer unzureichenden bzw. eingeschränkten Gebrauchstauglichkeit und einer verkürzten Lebensdauer der Rohrleitung.

Die vorbeschriebenen Aspekte sind in der ersten Matrix gelistet und mit einem Faktor für das Risikopotential versehen. Je höher der Faktor, desto größer die Wahrscheinlichkeit einer Umhüllungsbeschädigung bei Eintreten des Risikofalls. Des Weiteren ist jeder Einflussgröße ein Faktor für die Beeinflussbarkeit durch den jeweiligen Projektbeteiligten (Bauherr, Planer, Rohrbauer, HDD-Unternehmer) auf Basis allgemein üblicher Projektbedingungen zugeordnet. Ziel dieser Darstellung ist das Sensibilisieren für und das Aufzeigen von Verantwortlichkeiten und somit von Handlungsbedarfen. Wer hat an welcher Stelle maßgeblichen Einfluss auf die letztendliche Umhüllungsqualität nach dem Rohreinzug. Eine zweite Matrix mit Verwendung derselben Bewertung der Einflussgrößen kann als Vorlage für eine projektspezifische Bewertung verwendet werden.

Anhang 2: Risiko-Beeinflussbarkeits-Matrix für Qualität und Effizienz von Stahlrohrbeschichtungen

1	2	3
Risikopotenziale	Risikofaktor (geringfügig 1 - beherrschbar 2 - kritisch 3 - sehr kritisch 4)	Einfluss HDD-Unternehmer (gering 1 - mittel 2 - hoch 3)
Geologie		
Abrasivität	3	1
Verwitterungsgrad/Fragmentierung/Zerklüftung	4	1
Große Steine/Blöcke	3	1
Schärfe der Bruchflächen/-kanten	4	1
Hohlräume	3	1
Kiese	3	1
Materialauswahl		
Auswahl Werksumhüllung	3	1
Auswahl Schweißnaht-Nachumhüllung	3	2
Auswahl des Stahlrohrdurchmessers	1	1
Auswahl Rohrwanddicke	1	1
Qualität der Werksumhüllung		
Rohrlagerung	2	1
Transport umhüllter Rohre	2	1
Be-/Entladen von Rohren	2	1
Verarbeitungsqualität Nachumhüllung		
Lagerung der Ausgangsmaterialien	3	1
Oberflächenvorbehandlung	4	1
Applikation	4	1
Witterungsbedingungen	3	1
Fähigkeiten/Qualifikation/Eignung des Umhüllungspersonals	4	1
Verrohrung		
Oberbogendesign	3	3
Ausführung des Oberbogens	3	2
Auflegen des Rohrstrangs auf Rollenböcke	3	2

4	5	6
Einflussnahme Rohrbauunternehmer (gering 1 - mittel 2 - hoch 3)	Einfluss Planer (geringfügig 1 - mittel 2 - hoch 3)	Einfluss Bauherr (gering 1 - mittel 2 - hoch 3)
1	2	2
1	2	2
1	2	2
1	2	2
1	2	2
1	2	2
1	2	2
1	3	3
3	2	2
1	3	3
1	3	2
3	2	2
3	2	2
3	2	2
3	1	1
3	1	1
3	1	1
2	1	1
3	1	1
1	2	1
3	1	1
3	1	1

Anhang 2: Risiko-Beeinflussbarkeits-Matrix für Qualität und Effizienz von Stahlrohrbeschichtungen (Fortführung)

1		2	3
Risikopotenziale		Risikofaktor (geringfügig 1 - beherrschbar 2 - kritisch 3 - sehr kritisch 4)	Einfluss HDD-Lieferant (gering 1 - mittel 2 - hoch 3)
HDD-Ausführung			
	Bohrlänge	2	2
	Bohrlochgröße	1	3
	Rohrgewicht / Ballastierung	2	3
	Bohrlochradien	3	3
	Radien Oberbogen	2	3
	Schlechte/verlorene Schlamm- zirkulation/Druck	3	2
	Schlechte Bohrlochreinigung	4	3
	Unbekannte Hindernisse im Bohrloch	4	1
Betriebsbedingungen			
	Keine Vorkehrungen für ein kathodisches Schutzsystem	3	1

4	5	6
Einflussnahme auf Pipeline-Auftrag- nehmer (gering 1 - mittel 2 - hoch 3)	Einfluss Ingenieur (geringfügig 1 - mittel 2 - hoch 3)	Einfluss auf den Kunden (ge- ring 1 - mittel 2 - hoch 3)
2	3	3
3	2	2
3	1	1
3	3	1
3	1	1
2	1	1
3	1	1
1	1	2
1	2	3

Anhang 3: Matrix zur Risikobewertung

1		2	3	4
Risikoaspekte		Risikopotenzial	Ausgangssituation	
			Wahrscheinlichkeit	Vorhandenes Risiko [2 x 3]
Baugrund				
	Abrasivität	3		0
	Verwitterungsgrad/Fragmentierung/Zerklüftung	4		0
	Große Steine/Blöcke	3		0
	Schärfe der Bruchflächen/-kanten	4		0
	Hohlräume	3		0
	Kiese	3		0
Materialauswahl				
	Auswahl Werksumhüllung	3		0
	Auswahl Schweißnaht-Nachumhüllung	3		0
	Stahlrohrdurchmesser	1		0
	Rohrwanddicke	1		0
Qualität der Werksumhüllung				
	Rohrlagerung	2		0
	Transport umhüllter Rohre	2		0
	Be-/Entladen von Rohren	2		0

5	6	7	8
Maßnahmen zur Verringerung des Risikos	Nach Maßnahmen		Verantwortliche Parteien (absteigende Reihenfolge)
	Wahrscheinlichkeit	Vorhandenes Risiko [2 x 6]	
Umfassender und aussagekräftiger geotechnischer Bericht, um Kenntnisse über das Vorhandensein und die Lage kritischer Formationen zu erhalten und die Bohrlinie so anzupassen, dass diese Formationen möglichst gemieden werden.	0 %	0	BH o. P
	0 %	0	BH o. P
	0 %	0	BH o. P
	0 %	0	BH o. P
	0 %	0	BH o. P
	0 %	0	BH o. P
Überprüfung, ob aufgrund des geotechnischen Berichts, des Durchmessers und der Rohrwanddicke bessere Materialien gewählt werden können.	0 %	0	(BH o. P) u. HDD
	0 %	0	(BH o. P) u. RB u. HDD
Überprüfen, ob die Durchflussmenge statt mit einem großen Rohr mit mehreren Rohren mit kleinem Durchmesser erreicht werden kann	0 %	0	BH o. P
Prüfen, ob die Wanddicke durch Verwendung einer höheren Stahlsorte reduziert werden kann.	0 %	0	P o. BH
Lagerungsbedingungen festlegen und beim Hersteller und auf der Baustelle prüfen.	0 %	0	BH
Auswahl eines qualifizierten Transportunternehmens, Festlegung und Überprüfung der Transportbedingungen.	0 %	0	BH o. RB
Geeignete Verladevorrichtungen und Anschlagmittel verwenden, Anweisungen an das Verladepersonal geben.	0 %	0	BH o. RB

Anhang 3: Matrix zur Risikobewertung

1		2	3	4
Risikoaspekte		Risikopotenzial	Ausgangssituation	
			Wahrscheinlichkeit	Vorhandenes Risiko [2 x 3]
Verarbeitungsqualität Nachumhüllung				
	Lagerung der Ausgangsmaterialien	3		0
	Oberflächenvorbehandlung	4		0
	Applikation	4		0
	Witterungsbedingungen	3		0
	Eignung Umhüllungspersonal	4		0
Rohrbau				
	Oberbogendesign	3		0
	Ausführung des Oberbogens	3		0
	Auflegen des Rohrstrangs auf Rollenböcke	3		0
HDD Ausführung				
	Bohrlänge	2		0
	Bohrlochgröße	1		0

5	6	7	8
	Nach Maßnahmen		Verantwortliche Parteien (absteigende Reihenfolge)
Maßnahmen zur Verringerung des Risikos	Wahrscheinlichkeit	Vorhandenes Risiko [2 x 6]	
QM und QS installieren, welches kontrolliert, dass die Herstellerhinweise beachtet und befolgt werden.	0 %	0	RB
	0 %	0	RB
	0 %	0	RB
Bereitstellung von geeigneten Einhäusungen, Zelten und Heizungen.	0 %	0	RB
Überprüfung der Qualifikationsnachweise des Personals, Erteilung genauer Arbeitsanweisungen und Kontrolle der Einhaltung.	0 %	0	RB
Auslegung des Oberbogens nach der DCA-Richtlinie.	0 %	0	HDD u. P
QM und QS installieren, welches kontrolliert, dass die erforderliche Größe der Hebevorrichtungen und Unterstützungen und deren Anzahl verwendet werden; präzise Arbeitsanweisungen an das Personal erteilen.	0 %	0	RB u. HDD
Zustand, Größe, Anzahl und Einstellung der Rollenböcke prüfen, geeignete Geräte zum Anheben des Rohrstrangs und zur Positionierung der Rollenböcke verwenden.	0 %	0	RB u. HDD
Prüfung, ob Bohrlänge verkürzt werden kann. Ggf. Umtrassierung mit kürzerer Bohrlänge.	0 %	0	(BH o. P) u. HDD
Wahl des Bohrlochdurchmessers so klein wie möglich, aber so groß wie nötig, unter Berücksichtigung der Baugrundverhältnisse.	0 %	0	HDD u. (P o. BH)

Anhang 3: Matrix zur Risikobewertung

1		2	3	4
Risikopotenziale		Risikopotenzial	Ausgangssituation	
			Wahrscheinlichkeit	Vorhandenes Risiko [2 x 3]
	Rohrgewicht / Ballastierung	2		0
	Radien Bohrloch	3		0
	Radien Oberbogen	2		0
	Aufrechterhaltung Spülungszirkulation/-druck	3		0
	Bohrlochreinigung	4		0
	Hindernisse im Bohrloch	4		0
Betriebsbedingungen				
	Keine Vorkehrungen für ein KKS	3		0

Risikobewertung		Risikopotenzial			
		4 (sehr kritisch)	3 (kritisch)	2 (steuerbar)	1 (geringfügig)
Wahrscheinlichkeit	100 % (wesentlich)	4,00	3,00	2,00	1,00
	75 % (hoch)	3,00	2,25	1,50	0,75
	50 % (mittel)	2,00	1,50	1,00	0,50
	25 % (niedrig)	1,00	0,75	0,50	0,25
	0 % (nicht vorhanden)	0,00	0,00	0,00	0,00

5	6	7	8
Maßnahmen zur Verringerung des Risikos	Nach Maßnahmen		Verantwortliche Parteien (absteigende Reihenfolge)
	Wahrscheinlichkeit	Vorhandenes Risiko [2 x 6]	
Berechnung des effektiven Rohrgewichtes (Auftrieb/Abtrieb) und Bewertung der Zweckmäßigkeit einer Ballastierung.	0 %	0	HDD
Auslegung des Bohrprofils mit möglichst großen Radien unter Berücksichtigung des minimal zulässigen Radius und unter Berücksichtigung von Bohrtoleranzen; ggf. Anpassung der Bohrlinie; QM und QS der Bohrvermessung.	0 %	0	HDD o. P.
QM und QS, dass der Oberbogen gemäß Oberbogenplanung ausgeführt wird.	0 %	0	HDD u. (RB u. P)
Kontrolle des Spülungsrückflusses und Anpassung der Bohrparameter und/oder Spülungseigenschaften.	0 %	0	HDD
Kontrolle des theoretischen und tatsächlichen Bohrkleinvolumens; ggf. Cleaning-Run vorsehen.	0 %	0	HDD
Kontrolle der Bohrparameter, Verwendung geeigneter Bohrwerkzeuge, Einholung aller Informationen über mögliche Hindernisse im Boden.	0 %	0	HDD u. (BH o. P)
Bewerten der Restrisiken, die sich aus der Bohrung und ihren örtlichen Gegebenheiten ergeben und beurteilen, ob ein Verzicht auf ein kathodisches Schutzsystem zulässig ist.	0 %	0	BH u. P

Abkürzungen	
HDD	HDD-Auftragnehmer
PB	Pipeline-Bauunternehmer
EKU	Erfahrener Kunde
KU	Kunde



Verband Güteschutz Horizontalbohrungen e.V.
Drilling Contractors Association (DCA Europe)
Assosiation des Entrepreneurs de Forage Dririgé



Charlottenburger Allee 39
52068 Aachen



www.dca-europe.org
dca@dca-europe.org



Tel.: +49 241 90 19 - 290
Fax: +49 241 90 19 - 299

