



Kabelschutzrohre aus Stahl für die Städte der Zukunft

Von Dr. Holger Brauer, Markus Kagerer, Stephan Maier, Dr. Christoph Weil und Dr. Jörg Wiebe

Die fortschreitende Umstellung der Stromversorgung auf erneuerbare Quellen und der steigende Energiebedarf, z. B. durch die Substituierung von natürlichem Erdgas auf Wasserstoff, sowie aufgrund des steigenden Stromhandelsvolumens, erfordern eine zuverlässige und sichere Infrastruktur. So müssen die Stromnetze und insbesondere das Höchstspannungsnetz (> 220 kV) an die Veränderung der Erzeugungs- und Verbrauchsstrukturen angepasst und ausgebaut werden.

Erdverlegte Stromkabel gewinnen so zunehmend an Bedeutung. Diese Art der Verlegung bietet nicht nur Vorteile in Bezug auf die Ästhetik und die Minimierung von Störungen im öffentlichen Raum, sondern auch hinsichtlich der Sicherheit und Langlebigkeit der Kabelsysteme. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass durch eine wachsende Anzahl an erdverlegten Leitungen auch eine Zunahme von Situationen zu erwarten ist, die ein besonderes Schutzbedürfnis der Kabel erfordern. Besondere Herausforderungen gegenüber Freilandleitungen ergeben sich beispielsweise bei der Querung von Flüssen, Straßen und Bahntrassen [1]. Darüber hinaus führt die Verdichtung der urbanen Räume im innerstädtischen Bereich häufig zu „unterirdischer“ Platznot, was die Planung und Verlegung von erdverlegten Stromkabeln zusätzlich erschwert. Diese Gegebenheiten erfordern innovative Lösungen, um die Integrität der Leitungen zu gewährleisten und gleichzeitig die Funktionalität der Infrastruktur aufrechtzuerhalten.

Ein zentraler Aspekt bei der Installation von erdverlegten Stromkabeln ist der Einsatz von Kabelschutzrohren. Die Länge

der allein in Deutschland geplanten Hochspannungs-Gleichstromübertragungs-Leitungen (HGÜ), die bevorzugt als mehrsträngige Erdkabel verlegt werden, liegt bei ca. 3.600 km [2]. Hier steht die verlustarme Übertragung großer Leistungen über große Entfernungen bei sogenannten Punkt-zu-Punkt-Verbindungen (Overlay-Netz) im Vordergrund, während der Einsatz von Hochspannungs-Drehstromübertragungs-Leitungen (HDÜ) bei relativ kurzen Leitungslängen im eng vermaschten Übertragungsnetz bevorzugt wird. Hierbei sind Hüllrohre bei grabenloser Verlegung unverzichtbar. Bei offener Bauweise bieten sie zumindest verlegetechnische Vorteile.

Kabelschutzrohre können eine Vielzahl von Funktionen erfüllen. Zunächst bieten sie einen effektiven Schutz gegen äußere mechanische Beanspruchungen, die während der Installation und im Betrieb auftreten können. Darüber hinaus dienen diese Rohre als Leerrohre, die den Einzug von Kabeln, sowie auch eine Reparatur oder gar den Austausch des gesamten Kabels ermöglichen [3]. Weiterhin können Tiefbauarbeiten von der eigentlichen Kabelverlegung entkoppelt werden, was



vielfältige Vorteile bietet. Darüber hinaus erlauben sie die Verwendung von grabenlosen Verlegemethoden. In diesem Zusammenhang stehen mittlerweile verschiedene innovative Methoden zur Verfügung, wie beispielsweise die Verlegung mittels Kabelpflug, HDD (Horizontal Directional Drilling), Microtunneling, Pipe Express® oder E-Power Pipe® [4-10], die die Installation erleichtern. Ein weiterer wichtiger Aspekt der Kabelschutzrohre kann der Schutz der Umgebung sein, einschließlich Flora, Fauna und anderer Infrastrukturen, vor der von den Kabelsträngen erzeugten Strahlung. Gleichzeitig können sie dann Schutz gegen die Beeinflussung des Stromkabels durch äußere Felder bieten [11]. All die genannten Vorteile von Kabelschutzrohren überwiegen bei Weitem die Nachteile wie z. B. ein höherer thermischer Widerstand durch die Luft in den Rohren, höherer Grabenaushub durch den vergrößerten Abstand der einzelnen Phasen bei Verlegung von einem Kabel je Schutzrohr, und die zusätzlichen Kosten für Leerrohr und Verlegung [3].

Darüber hinaus spielen Kabelschutzrohre eine entscheidende Rolle bei der Ableitung der Wärme, die während des Betriebs der Stromkabel entsteht. Eine übermäßige Erwärmung kann die Leitfähigkeit der Kabel beeinträchtigen und im schlimmsten Fall zu einem Abschalten des Kabelstrangs führen, wenn eine kritische Temperatur der Kunststoffkomponenten des Stromkabels überschritten wird. Daher ist eine gute Wärmeableitung des Schutzrohres von großer Bedeutung. Gleichzeitig muss darauf geachtet werden, dass die Beeinflussung des umgebenden Bodens und des Bewuchses sowie des Kabelstrangs und des Schutzrohres selbst minimiert wird. Eine gleichmäßige und effektive Wärmeleitung des umgebenden Bodens ist hierbei entscheidend. In den letzten Jahren wurden vermehrt Untersuchungen zu diesem Thema durchgeführt, u. a. zur Anwendung von Flüssigböden, um die Effizienz der Wärmeableitung zu optimieren, die Gesamtleistung der Kabelsysteme zu verbessern und eine beschleunigte Alterung der Kabelisolierung zu vermeiden [12-21].

Vor allem bei Hoch- oder Höchstspannungs-Leitungstrassen außerhalb von dicht besiedelten Gebieten werden aus Gründen geringerer Kosten und einer Zeitersparnis bei der Verlegung meist Kabelschutzrohre aus Kunststoff verwendet. Um die oben genannten Anforderungen zu erfüllen, werden mittlerweile besondere Kunststoffrohre angewendet, z. B. PE 100-RC (Resistance to Crack) als punktlastbeständige Rohre mit hohem Widerstand gegen langsames Risswachstum, PE 100-RT (Raised Temperature Resistance) zum Schutz gegen Temperaturen bis zu + 70 °C, oder auch C1 PE 100-RC/RT oder PE 100-NRG als Rohr, das beide Eigenschaften kombiniert [3, 22-27]. Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung von Kabelschutzrohren aus Stahl. Diese bieten grundsätzlich gegenüber Kunststoffrohren Vorteile im Bereich der mecha-

nischen Festigkeit z. B. bei schwierigen Verlegebedingungen sowie im regulären Betrieb, einer besseren Wärmeleitung und einer besseren Abschirmung gegen (elektro-)magnetische Felder. Allerdings muss beachtet werden, dass gerade bei Wechselstromleitern eine zusätzliche Erwärmung über Ummagnetisierungsverluste im Schutzrohr aus ferromagnetischem Stahl auftreten kann. Bei Gleichstromleitungen, die bei den geplanten und sich zum Teil im Bau befindlichen Stromautobahnen in Deutschland zum Einsatz kommen, ist davon nicht auszugehen.

Anwendung von Stahlrohren im urbanen Raum am Beispiel der SWM

Die Stadtwerke München Infrastruktur (SWM) betreibt im Stadtgebiet München ein ca. 400 km langes 110-kV-Gasdruckkabelnetz als übergeordnetes Strom-Verteilnetz. Gasdruckkabel, die bereits seit über einem Jahrzehnt weltweit nicht mehr produziert werden, wurden bei den SWM seit den 1960er Jahren verbaut und sollen im Versorgungsnetz der SWM zur Sicherung der Versorgungssicherheit in den nächsten beiden Dekaden komplett durch VPE-Kabel ersetzt werden. Zusätzlich erfordert die Energie-, Wärme- und Mobilitätswende eine zügige Weiterentwicklung des innerstädtischen Strom-Verteilnetzes und den massiven Aus- bzw. Zubau weiterer 110-kV-Kabelstrecken im Hinblick auf die künftigen Lastprognosen.

Gasdruckkabel werden konstruktionsbedingt mit einem Stickstoffdruck von über 15 bar betrieben. Dies setzt eine entsprechende Stahlrohr-Anlage voraus, in dem das Gasdruckkabel mit diesem Druck beaufschlagt ist. Durch das Stahlrohr ist das Kabel gleichzeitig in einem hohen Maße vor mechanischen Beschädigungen geschützt, was speziell bei innerstädtischen Verteilnetzen mit einer Vielzahl an baulichen Einflüssen eine wichtige Rolle spielt. Auch sorgt die Möglichkeit einer Druck-Fernüberwachung des Druckrohrsystems für zusätzliche Sicherheit. Die neu verbauten VPE-Rohrkabel benötigen keinen systembedingten Stickstoffüberdruck mehr. Speziell die zusätzlichen Sicherheitsaspekte des Stahlrohrleitungssystems haben die SWM jedoch dazu bewogen, ihre künftigen 110-kV-Kabel weiter in Stahlrohren zu verlegen, die mit 2 bar Betriebsdruck zur Fernüberwachung betrieben werden.

Bei sämtlichen Projekten der SWM kommen Stahlmuffenrohre der Größe 168,3 x 4,5 mm und 219,1 x 4,5 mm, Stahlsorte P235TR1 zur Anwendung. Die Rohre werden werksseitig PE-umhüllt (DIN 30670-1 [28]) mit einem glatten Ende auf der einen Seite und einer Schweißmuffe nach DIN 2460 [29] auf der anderen Seite, geliefert. Durch die Kehlnahtverbindung im Bereich der Schweißmuffe wird das Risiko der Kabelbeschädigung durch eine eventuell vorhandene „Schweißnase“



Bild 1: Neubau Strecken UW „Kistlerhofstraße“ – UW „Isartalstraße“ sowie UW „Thalkirchen“ – UW „Isartalstraße“



Bild 2: Neubau Strecke UW „Kistlerhofstraße“ – UW „Hadern“ mit Unterquerung der Autobahn A95

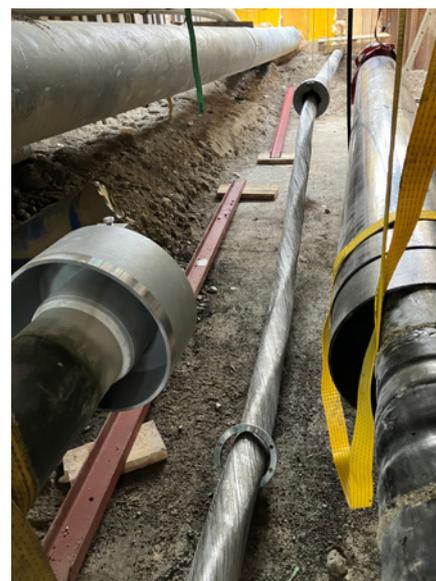


Bild 3: Neubau Strecke UW „Isartalstraße“ – UW „Seidlstraße“ mit Kabelzug

bei einem späteren Kabelzug zuverlässig ausgeschlossen. Die Stahlrohranlage wird in Anlehnung an das DVGW-Regelwerk G 462 [30] geplant und gebaut und in das KKS-System der SWM eingebunden. In die fertige Rohranlage werden Rohrkabel 2X(FL)2YVFST2Y 3x500 RM - bzw. 2X(FL)2YVFST2Y 3x800 RM eingezo-gen. Dies sind werksseitig verseilte, mit Bewehrung aus Stahlflachdraht ausgestattete, VPE-isolierte Dreileiterkabel. Die Lieferung der einzelnen Kabelleilängen und der Kabelzug erfolgen in Teilabschnitten bis zu ca. 600 m. Das 110-kV-Kabelnetz der SWM ist durch einen hohen Ver-maschungsgrad charakterisiert, d. h. die insgesamt ca. 100 Kabelstrecken im 110-kV-Kabelnetz verteilen sich über das gesamte Stadtgebiet Münchens. Die einzelnen 110-kV-Kabelstrecken stellen die Verbindung zwischen jeweils zwei Umspannwerken dar und weisen Längen von ca. 1 km bis max. 18 km auf.

Die typischen Herausforderungen beim Bau der Stahlrohranlagen für Rohrkabel entsprechen den allgemein bekannten Herausforderungen im innerstädtischen Versorgungsleitungsbau. Die Vielzahl an Abhängigkeiten (Mindestabstände bei Kreuzungen und Parallelverlegungen, gegenseitige Temperaturbeeinflussungen, Mindeststradien) zu anderen Sparten bzw. Infrastrukturbauwerken machen den Bau neuer 110-kV-Rohrtrassen im dicht belegten Sparten- bzw. Straßenraum zunehmend herausfordernd und komplex. Die zu beachtenden Mindeststradien für den späteren Kabelzug setzen aufgrund der dichten Spartenlage im innerstädtischen Bereich eine aufwendige und intensive Ausführungsplanung sowie sorgfältige Bauausführung und Qualitätsüberwachung

voraus. Beispiele für Neuverlegungen mit Kabelschutzrohren im innerstädtischen Bereich Münchens sind in *Bild 1*, *Bild 2* und *Bild 3* gezeigt.

Ist die Stahlrohranlage von Beginn an in den KKS eingebunden, ist deren Betrieb weitgehend unauffällig. Mechanisch bewegliche und dem Verschleiß unterliegende Bauteile sind nicht Bestandteil des Rohkabelsystems. Nennenswerte betriebliche Aufwendungen sind im Wesentlichen durch Fremdeinwirkungen Dritter im Zusammenhang mit der Vielzahl an innerstädtischen Baumaßnahmen im Stadtgebiet München verursacht. Das Stahlrohrsystem in Verbindung mit der Drucküberwachung war in der Vergangenheit mehrfach zuverlässiger Schutz gegenüber folgenschweren Beschädigungen.

HFI-längsnahtgeschweißte Stahlrohre zum Schutz von Höchstspannungsleitungen

Kabelschutzrohre aus ferromagnetischem Stahl für Wechselstromanwendungen werden seit Jahrzehnten eingesetzt und sind somit Stand der Technik. Die damit einhergehenden Verluste schränken das Einsatzgebiet jedoch ein. Entscheidende Größe für die Wirbelstrom-, Hysterese- und Induktionsverluste in Wechselstromanwendungen ist die Stromstärke. In Summe dürfen diese Verluste die Strukturen im Umfeld der Kabel nicht unzulässig stark erwärmen, sodass sich die Stromtragfähigkeit der Leitungen durch Stahlrohre bei Wechselstromanwendungen deutlich reduzieren kann. Dennoch kommen Stahlrohre aufgrund ihrer Vorteile gegenüber anderen Schutzmaterialien als Kabelschutz bei Wechselstromanwendungen zum Einsatz.

Die wichtigsten Vorteile gegenüber anderen Werkstoffen sind u. a. [31]:

- besserer mechanischer Schutz (Sicherheit) in höher belasteten Einsatzfällen wie z. B. im Bereich von Straßen-, Flussquerungen, Hanglagen, usw.
- Abschirmung des magnetischen Feldes um das Leiterkabel
- Hochleistungs-Verbindungstechnologien verfügbar, z. B. bei eingeschränkten Platzverhältnissen bei Verlegung (Laserschweißen, auszugsichere Steckverbindungstechnologien wie Zaplok, Einsteck-Schweißmuffe ESM, Zugfeste Steckmuffenverbindung ZSM)
- Nutzung von alternativen Verlegetechniken (z. B. grabenlos über mehrere km möglich)
- Beschichtungsmöglichkeiten außen und innen gegeben, z. B.
 - innen: gegen Verschleiß und Reibung beim Einzug der Kabel
 - außen: FZM robust gegenüber Bodenzusammensetzung (bei Verlegung vorteilhaft), Reibungsminderung bei HDD-Verfahren
- gute Wärmeableitung

Die genannten Verluste entstehen durch magnetische Wechselfelder, die wiederum durch Stromänderungen hervorgerufen werden. Bei Gleichstromleitungen hingegen finden keine Ummagnetisierungen statt, sodass im Vergleich zu anderen Schutzmaterialien mit keiner Reduzierung der Stromtragbarkeit durch ferromagnetische Stahlrohre zu rechnen ist. Im Realbetrieb besitzt der Gleichstrom aus technischen Gründen jedoch eine Restwelligkeit im Frequenzbereich von 50 Hz und deren harmonischen Frequenzen. Die Vorbehalte von Netzbetreibern gegenüber ferromagnetischen Hüllrohren ist daher unvermindert groß. Um die zu erwartenden Hysterese-Verluste von ferromagnetischen Materialien durch die Restwelligkeit abzuschätzen, wurden im Labormaßstab Hysterese-Kurven dreier verschiedener Leitungsrohrstähle ermittelt. Wirbel-

Tabelle 1: Abmessung, Kohlenstoffäquivalent und magnetische Kenngrößen der untersuchten Rohrstähle

Güte	S235JRH	S355J2H	L80
OD [mm]	244,5	244,5	406,4
WT [mm]	10	8	16,6
Kohlenstoffäquivalent (CE)	0,25	0,4	0,37
Koerzitivfeldstärke [A/m]	1.154	1.326	1.813
Remanenz [T]	1,33	1,34	1,46
Sättigungsmagnetisierung [T]	1,93	2,03	1,82
max. Permeabilität	1.078	1.243	901

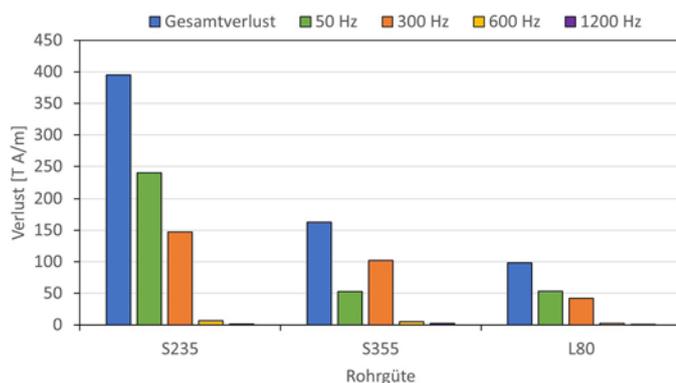
Tabelle 2: Übersicht der Versuchsparameter zur Bestimmung der magnetischen Eigenschaften

Feldstärke des überlagerten magnetischen Wechselfeldes (Effektivwerte) [A/m]	DC-Feldstärke [A/m]		
	0	2.000	3.500
Frequenz [Hz]			
-	Hysterese-Kurve bis in die Sättigung		
50	100	100	100
300	50	50	50
600	10	10	10
1.200	5	5	5
2.400	1	1	1

strom- und Induktionsverluste bleiben bei dieser Betrachtung unberücksichtigt. Um die Verluste einordnen zu können, wurden sie mit den Verlusten einer quasistatischen vollständig durchlaufenen Hysterese-Kurve verglichen.

Für die Versuche wurden drei Ringproben von Rohrstählen aus den drei unterschiedlichen Festigkeitsklassen S235 und S355

Ohne statisches Magnetfeld



statisches Magnetfeld 3500 A/m

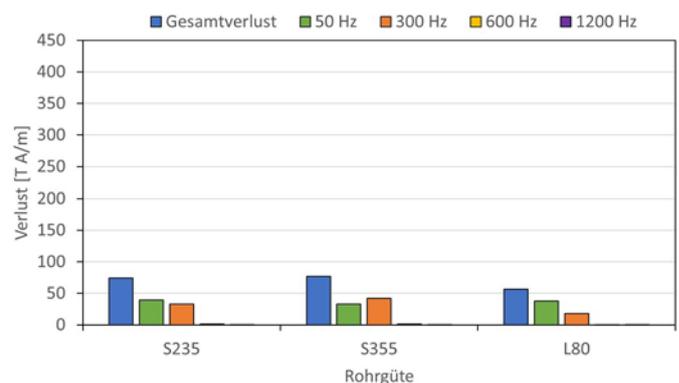


Bild 4: Hysterese-Verluste bei unterschiedlichen Frequenzen und Rohrstählen mit und ohne überlagertes statisches Magnetfeld

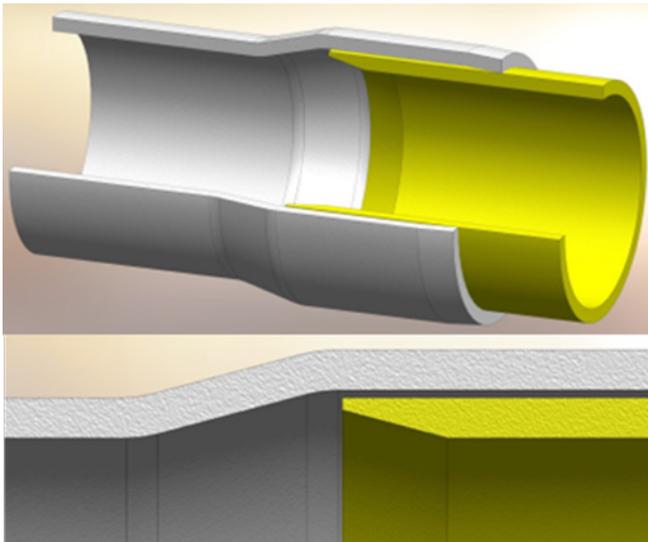


Bild 5: Design der Einsteck-Schweißmuffe (ESM) von Mannesmann Line Pipe für Kabelschutzrohre aus Stahl

nach EN 10210 [32], sowie L80 nach API 5CT [33] präpariert (Tabelle 1). Um die Restwelligkeit des Stromes zu simulieren, wurde eine wechselnde Magnetisierung einer konstanten Magnetisierung überlagert. Die konstante Magnetisierung und das magnetische Wechselfeld wurden über zwei getrennte Wicklungen in den Probekörper eingeleitet. Die resultierende Flussdichte wurde mit einer dritten Wicklung erfasst. Die betriebsähnlich ausgewählten Feldstärken der Wechsel- und statischen Felder sind Tabelle 2 zu entnehmen. Mit zunehmender Frequenz und abnehmender Amplitude werden die eingeschlossenen Flächen und damit die zu erwartenden Verluste je Durchlauf immer kleiner. Jedoch werden mit steigender Frequenz die Hysterese-Kurven häufiger je Sekunde durchlaufen. Bei der Betrachtung der zu erwartenden Verluste wird dies berücksichtigt, in dem der Flächeninhalt mit der Frequenz multipliziert wird. Den Diagrammen in Bild 4 kann entnommen werden, dass die Hysterese-Verluste deutlich von der Rohrgüte abhängen. Sie legen nahe, dass die zu erwartenden Verluste

durch die Restwelligkeit mit steigender Koerzitivfeldstärke bzw. Remanenz abnehmen. Beim quasistatischen Durchlaufen der Hysterese-Kurve ist genau das Gegenteil zu beobachten, die eingeschlossene Fläche nimmt mit steigender Koerzitivfeldstärke bzw. Remanenz zu (Tabelle 1). Ferner reduzieren sich die Hysterese-Verluste mit zunehmender statischer Magnetfeldstärke. Abhängig von der Güte fällt der Verlust auf die Hälfte bzw. auf ein Fünftel des ohne äußeres Feld entstehenden Verlusts. Darüber hinaus ist zu beobachten, dass die höheren Frequenzanteile (600 und 1.200 Hz) praktisch keinen nennenswerten Betrag zum Gesamtverlust leisten. Bezogen auf den Hysterese-Verlust bei einem vollständigen Durchlauf der Kurve bis in den Sättigungsbereich liegen die gemessenen Verluste bei einem statischen Magnetfeld von 3.500 A/m zwischen 0,8 (S235 und S355) und 0,5 % (L80). Unter der näherungsweisen Annahme, dass bei Wechselstromanwendungen die Hysterese-Kurve nahezu komplett ausgefahren wird (50x pro Sekunde bei 50 Hz), liegen die durch die Restwelligkeit verursachten Hysterese-Verluste bei Gleichstrom deutlich unter einem Promille der zu erwartenden Wechselstromverluste. Da maximal nur der Verlust des Wechselstromanteils möglich ist, bleibt zu klären, ob sich der Einsatz der Stahlgüte L80 im Vergleich zu S235 tatsächlich positiv bemerkbar machen würde.

Die Verwendung von Stahlrohren für kurze Streckenlängen mit erhöhtem Schutzbedarf wie z. B. Kreuzung von Bahntrassen, Autobahnen, Schifffahrtsstraßen, anspruchsvolles Gelände (Böden, Berge, usw.) erscheint somit möglich. Bei Gleichstromanwendungen kommen Stahlrohre eventuell auch für längere Strecken in Betracht.

Verwendung spezieller Verbindungstechnologien bei Kabelschutzrohren aus Stahl

Einsteck-Schweißmuffe (ESM)

Die Verbindung von Rohren mittels Einsteck-Schweißmuffe ist eine Technologie, die im Wasserbereich und in der inner-

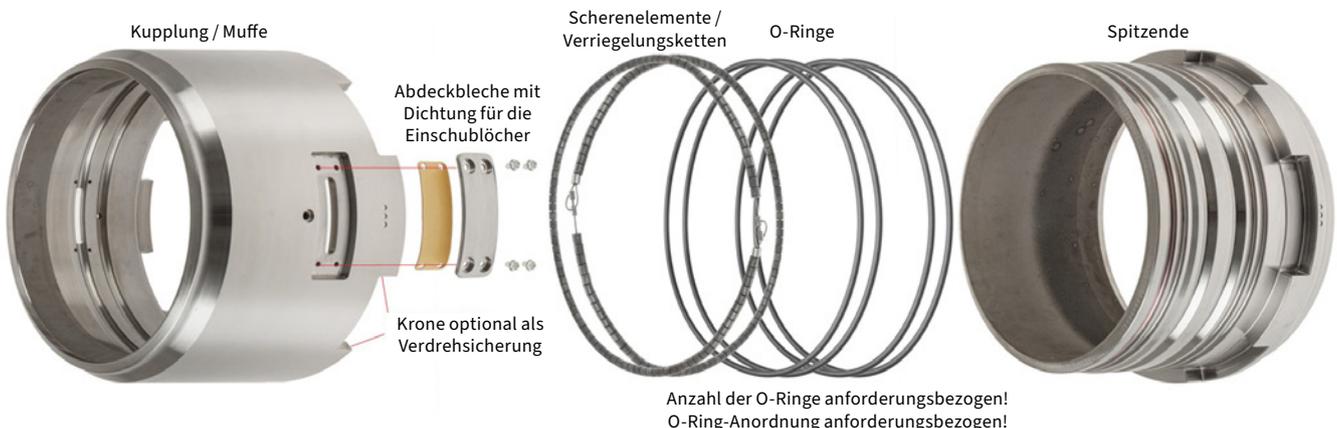


Bild 6: Explorationszeichnung der ZSM-Rohrverbindung



städtischen Verlegung von Kabeldruckrohren (stickstoffisolierte Leitungen) bereits etabliert ist. Für die Anwendung dieser Verbindungstechnik als Schutzrohr für Stromkabel stellt sich die Frage, wie der Einzug des Kabels im Muffenbereich möglichst ohne eine Beschädigung des Kabelmantels erfolgen kann. Die Muffe nach DIN 2460 [29] kann dazu unverändert belassen werden, da der Übergang der im Herstellungsprozess angeformten Muffengeometrie zum Muffenbereich per se kantenfrei ausgeführt ist. Modifikationen sind bezüglich der Endenbearbeitung des Einsteck-Endes nötig. Die normalerweise glattendig ausgeführten Rohrenden werden werksseitig mit einer durchmesser- und wanddickenabhängigen Innenabschrägung versehen (*Bild 5*). Beim Einzug des Kabels wird so sichergestellt, dass keine Beschädigung der Kabelisolation erfolgt. Bei der Verlegung gestaltet sich die schweißtechnische Verbindung der Rohre einfach, da lediglich eine Kehlnahtverbindung fallend gefügt werden muss. Ebenso eignen sich die Rohre für grabenlose Anwendungen. Für diese Verbindung beträgt der Schweißnahtfaktor 0,7 nach DIN EN 1993-1 [34].

Die Vorteile der Verbindung von Stahlrohren mittels Einsteck-Schweißmuffe können wie folgt zusammengefasst werden:

- hohe Vielfalt im Design durch unterschiedliche Güten/Wanddickenkombinationen, hohe Zugkräfte bei Einzug in den HDD-Bohrkanal können so umgesetzt werden;
- unterschiedliche Ausführungen in Umhüllung und Ummantelung in Abhängigkeit der erwarteten Bodenverhältnisse sind möglich, wie beispielsweise glasfaser-epoxy-verstärkte Ummantelung (GFK) oder Faserzementmörtel-Ummantelung (FZM-S), bekannt aus dem grabenlosen Verlegen von Gashochdruckrohren, zur Verminderung von Reibung zwischen Erdreich und Rohr, sowie einem optimierten mechanischem Schutz bei und nach der Verlegung;
- einfache Herstellung der Rohrverbindung auf der Baustelle;
- zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) der Verbindung nach Erfordernis möglich;
- Beschleifen der Schweißnahtwurzel mit Rohrrinnenmanipulator entfällt;
- geometrische Anpassungen der Muffe vor dem Schweißen nicht notwendig;
- keine Innengrate durch angeschweißte Muffe;
- durch metallische Eigenschaften kann die Lage des Stahlrohres beim Einzug eingemessen werden;
- keine Beschädigung des Kabels beim Einzug;
- robuster Rohrwerkstoff gegen innere Beschädigungen beim Einziehen des Kabels mittels Stahlseils, vor allem bei der Passage unvermeidlicher Radien in der Rohrleitung;



Bild 7: Geschlossene Verbindung der ZSM-Rohrverbindung

- unterschiedliche Umhüllungsfarben möglich;
- Rohr kann KKS-geschützt werden: hierdurch Möglichkeit zur Detektion von Fremdeinwirkungen;
- druckdichtes System: Druckmessung kann zur Fehlstellendetektion verwendet werden.

Zugfeste Steckmuffenverbindung (ZSM)

Eine weitere Technologie, die für die Verbindung von Kabelschutzrohren in Frage kommt, ist die ZSM-Muffe des Herstellers Carl Hamm (*Bild 6, Bild 7*) [35, 36]. Vorteil dieser Verbindung ist, dass die Verbindung lösbar ausgeführt ist und im Feld keine Schweißnaht erstellt werden muss. Darüber hinaus können hohe Zugkräfte aufgenommen werden. Werksseitig werden bei der ZSM-Verbindung an den Stahlrohrkörper ein Muffen- und ein Spitzenden-teil angeschweißt. Die Wurzel der hierbei entstehenden Schweißnähte kann werksseitig ausgeschliffen werden. Im Feld wird das System durch kettenförmige Scherelemente miteinander formschlüssig verbunden (*Bild 8*). Werkzeuge sind dafür nicht erforderlich. Die Verbindung ist gasdicht und lösbar. Das System empfiehlt sich insbesondere, wenn die benötigte Zeit zur Herstellung der Verbindung auf der Baustelle gering ist oder keine qualifizierten Schweißunternehmen zur Verfügung stehen.

Zusammenfassung

Im Zuge der Energiewende ist durch die vermehrte Generierung von Energie aus regenerativen Quellen neben der Erweiterung und Umstellung des Gasleitungsnetzes auch ein Ausbau des Stromnetzes erforderlich. Hierzu ist neben der Ergänzung von sogenannten Stromautobahnen über Land auch die Anpassung der innerstädtischen Stromleitungsnetze erforderlich. Zum Schutz der verwendeten Stromkabel können Stahlrohre

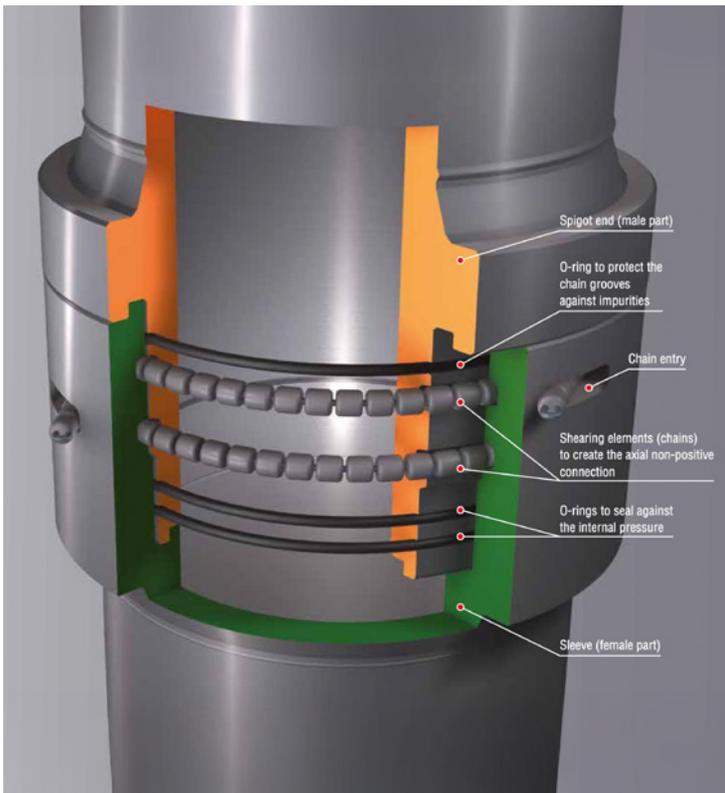


Bild 8: Funktionsprinzip und Einbauzustand der ZSM-Rohrverbindung

zum Einsatz kommen. Wesentliche Vorteile des Stahlrohres als Schutzrohr sind z. B.:

- mechanischer Schutz, z. B. gegen Fremdeinwirkungen Dritter im Zusammenhang mit der Vielzahl an innerstädtischen Baumaßnahmen da häufig aus Platzmangel viele Leitungen sehr dicht nebeneinander verlegt sind, oder außerhalb von Städten gegen beispielsweise felsige Bodenarten, gegen Landmaschinen, oder bei Querungen von Infrastruktur, Flüssen usw.
- Abschirmung gegen Beeinflussung anderer Infrastrukturen wie Telekommunikation, Bahntrassen, KKS-geschützte Stahlleitungen, usw. bessere Abschirmung als in Dreiecksverlegung ohne Mantelrohr
- bessere Ableitung eines möglichen Kurzschlussstroms gegenüber der Nutzung des Erdreiches oder zusätzlich verlegten Leitern, und damit bessere Detektierbarkeit eines Kurzschlusses
- bei Verwendung eines Inertgases bei 2 bar Innendruck: bessere Leckageerkennung über den Druckabfall zum Aufspüren möglicher mechanischer Beeinträchtigungen des Kabels
- hohe Verschleißbeständigkeit beim Einzug des Kabels über ein Stahlseil, gerade bei Biegungen

Somit erfüllen Kabelschutzrohre aus Stahl in Abhängigkeit des gewählten Rohrmaterials eine Vielzahl von Funktionen,

die über den reinen mechanischen Schutz hinausgehen. Als Verbindungstechnologien können die neuartige Einsteck-Schweißmuffe (ESM) von MLP mit Innenabschrägung der Rohrenden oder die zugfeste Steckmuffenverbindung (ZSM) von Carl Hamm Verwendung finden, die eine geringstmögliche verschleißende Belastung des Stromkabels bei Einzug (oder Austausch) gewährleisten.

Literatur

- [1] Edelhoff, D.: Querungen mittels Rohrvortrieb / HDD unter DB-Bahngleisen. Oldenburger Rohrleitungsforum 2018, Tagungsband, S. 440-452
- [2] Sieweke, W.: Alternative Stromleitungstrassen mit GFK-Vortriebsrohren. Oldenburger Rohrleitungsforum 2015, Tagungsband, S. 332-338
- [3] Frankowski, M.: Voraussetzungen und Randbedingungen für Schutzrohranlagen im intelligenten 380-kV-Netzsystem. Oldenburger Rohrleitungsforum 2024, Tagungsband, S. 404-412
- [4] Beyer, K.: Stromleitungen – Kabel oder Freileitungen? Oldenburger Rohrleitungsforum 2014, Tagungsband, S. 360-373
- [5] Peters, M.: Herrenknecht Pipe Express® Oldenburger Rohrleitungsforum 2014, Tagungsband, S. 374-380
- [6] Peters, M.; Engel, T.: Innovative Verfahrenstechnik zur Verlegung von Erdkabeln und Pipelines mit kleinem Durchmesser. Oldenburger Rohrleitungsforum 2018, Tagungsband, S. 213-220
- [7] Edelhoff, D.; Kohlschreiber, P.: Leitungstrassen im Rohrvortrieb/ Microtunnelling – Auswahl des geeigneten Abbau- und Stützprinzips. Oldenburger Rohrleitungsforum 2019, Tagungsband, S. 376-388
- [8] Rennkamp, D.: Pipe Express: halboffene Alternative zur offenen Verlegung von Pipelines und Erdkabeln. Oldenburger Rohrleitungsforum 2019, Tagungsband, S. 400-405
- [9] Lubberger, M.: Direct Pipe® und HDD: Sichere Schutzrohrverlegung in schwierigen Böden. Oldenburger Rohrleitungsforum 2022, Tagungsband, S. 225-235
- [10] Peters, M.: Erdkabelprojekte in Deutschland und den Niederlanden. Oldenburger Rohrleitungsforum 2022, Tagungsband, S. 416-424
- [11] Majert, B.; Theilmeier-Aldehoff, H.-W.: Hochspannungsbeeinflussung von Fernleitungen im Zuge der Energiewende. Oldenburger Rohrleitungsforum 2022, Tagungsband, S. 185-195
- [12] Schröder, J.: „Sieblinienoptimiertes Bettungsmaterial“ – Erdkabeltrassen effizient und wirtschaftlich bauen. Oldenburger Rohrleitungsforum 2018, Tagungsband, S. 692-698
- [13] Rogler, R.-D.: Wärmeleitfähigkeit verschiedener Bettungsmaterialien erdverlegter Stromtrassen und ihre Wirkung auf den Nennstrom. Oldenburger Rohrleitungsforum 2018, Tagungsband, S. 699-712
- [14] Bartels, J.: Boden- und Ressourcenschutz beim Bau von erdverlegten Höchstspannungsleitungen. Oldenburger Rohrleitungsforum 2020, Tagungsband, S. 52-64
- [15] Rogler, R.-D.; Loth, C.: Experimentelle Untersuchungen und Berechnungen zur Erwärmung erdverlegter Kabel in Unterquerungen. Oldenburger Rohrleitungsforum 2020, Tagungsband, S. 65-76

- [16] Stolzenburg, O.: Neue und weiterentwickelte Möglichkeiten bei der Nutzung von Flüssigböden unter besonderer Sicht auf den Kabelleitungsbau. Oldenburger Rohrleitungsforum 2020, Tagungsband, S. 123-148
- [17] Hilchenbach, K.: Kabelschutzrohre im Zeichen der Energiewende. Oldenburger Rohrleitungsforum 2020, Tagungsband, S. 289-296
- [18] Bartels, J.: Baubetriebliche und bodenmechanische Anforderungen beim Einbau qualitätsgesicherter Bettungsmaterialien bei der Verlegung von Höchstspannungsleitungen. Oldenburger Rohrleitungsforum 2019, Tagungsband, S. 700-711
- [19] Rogler, R.-D.; Loth, C.: Parameterstudie zur Erwärmung erdverlegter Kabelanlagen unter Berücksichtigung von Geometrie- und Materialeigenschaften der Bettung. Oldenburger Rohrleitungsforum 2019, Tagungsband, S. 712-724
- [20] Markwardt, N.; Trinks, S.: Herstellung und Einbau von Bettungsmaterial aus vorhandenen Böden. Oldenburger Rohrleitungsforum 2022, Tagungsband, S. 216-224
- [21] Frankowski, M.: Randbedingungen, Voraussetzungen und Einsatzgebiete für alternative Verlegung. Oldenburger Rohrleitungsforum 2023, Tagungsband, S. 220-227
- [22] Glanert, R.: Kabelschutzrohre für Hoch- und Höchstspannungsleitungen. Oldenburger Rohrleitungsforum 2015, Tagungsband, S. 288-292
- [23] Lindner, S.: Schutzrohrsysteme für erdverlegte Hoch- und Höchstspannungskabel. Oldenburger Rohrleitungsforum 2022, Tagungsband, S. 324-331
- [24] Brüning, H.; Nozahic, D.: Sichere Stromnetze durch die Verwendung von PE100-HT bei der Extrusion von Schutzrohren für erdverlegte Höchstspannungskabel. Oldenburger Rohrleitungsforum 2022, Tagungsband, S. 332-335
- [25] Peters, M.: Erdkabelprojekte in Deutschland und den Niederlanden. Oldenburger Rohrleitungsforum 2022, Tagungsband, S. 416-424
- [26] Pannier, G.; Cichon, M.: Neue Rohstofflösungen und ihr Beitrag zur Herstellung von kohlenstoffarmen Schutzrohrsystemen. Oldenburger Rohrleitungsforum 2024, Tagungsband, S. 413-418
- [27] Stranz, M.: Nachhaltige Schutzrohrsysteme als Komplettlösungen für die Erdverkabelung. Oldenburger Rohrleitungsforum 2024, Tagungsband, S. 419-423
- [28] DIN 30670-1: Polyethylen-Umhüllungen von Rohren und Formstücken aus Stahl - Teil 1: Anforderungen und Prüfungen von extrudierten Umhüllungen
- [29] DIN 2460: Stahlrohre und Formstücke für Wasserrohrleitungen
- [30] DVGW G 462: Gasleitungen aus Stahlrohren bis 16 bar Betriebsdruck; Errichtung
- [31] Rogler, R.-D.; Loth, C.: Stromreduktionsfaktoren von Kabeln in erdverlegten Rohren. Oldenburger Rohrleitungsforum 2024, Tagungsband, S. 446-455
- [32] DIN EN 10210: Warmgefertigte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen
- [33] API SPEC 5CT: Casing and Tubing
- [34] DIN EN 1993-1-1: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau

- [35] Kernchen, T.: RohrNETZwerk: Ein Netzwerk für alle Leitungsanwendungen – von der Wasserleitung, über Erdkabel, bis zur H2-Leitung – Struktur mit Zukunft! Oldenburger Rohrleitungsforum 2024, S. 350-355 (Proc. Conf.)
- [36] Kernchen, T.: Vorteile von Kabelschutzrohren aus Stahl gegenüber anderen Werkstoffen. Oldenburger Rohrleitungsforum 2025 (Proc. Conf.)

 **SCHLAGWÖRTER:** Stahlrohr, Kabelschutzrohr, Einsteck-Schweißmuffe ESM, Zugfeste Steckmuffe ZSM

AUTOREN



Dr. Holger Brauer

Mannesmann Line Pipe GmbH, Hamm

Tel. +49 2381 420-447

holger.brauer@mannesmann.com

 HA1-F.07; IRO-Vortrag am 06.02.2025 zwischen 15:30 - 17:00 Uhr



Markus Kagerer

Stadtwerke München

Tel. +49 89 2361-3236

Kagerer.Markus@swm.de



Stephan Maier

Mannesmann Line Pipe GmbH, Siegen

Tel. +49 271 691-243

stephan.maier@mannesmann.com



Dr. Christoph Weil

Mannesmann Line Pipe GmbH, Siegen

Tel. +49 271 691-125

christoph.weil@mannesmann.com



Dr. Jörg Wiebe

Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH,

Duisburg

Tel. +49 203 999-3251

j.wiebe@du.szmf.de