ZUGVERSUCH:
EINZUG EINES HGÜ-KABELS IN EIN KABEL-SCHUTZROHR AUS STAHL

TRANSNETBW GMBH, MANNESMANN LINE PIPE GMBH, ENERGIEANLAGEN RAMONAT GMBH

ABSTRACT

Bei langen Querungen stellt sich häufig die Frage, ob HGÜ-Kabel direkt in Kabelschutzrohre aus Stahl eingezogen werden können. Maßgebliches Hindernis für einen solchen Einzug waren in der Vergangenheit hierbei die rechnerisch erforderlichen bzw. theoretisch ermittelten Einzugskräfte, die infolge des im Vergleich zu Kunststoffrohren etwa um den Faktor 2 höher angenommenen Reibungskoeffizienten ansteigen. Praktische Erfahrungen zum Einzug aktueller 525-KV HGÜ-Kabel direkt in Stahlrohre liegen bisher nicht vor.

Ziel des Versuches war daher die experimentelle Bestimmung des Reibungskoeffizienten zwischen 525-KV HGÜ-Kabel und Stahl-Kabelschutzrohr, unter im Vergleich zu üblichen Baustellen ungünstigeren Randbedingungen (Zustand und Geometrie der Rohranlage), so dass ein auf der sicheren Seite liegender, versuchstechnisch abgesicherter Reibungsbeiwert bestimmt werden kann, welcher als Basis zukünftiger Zugkraftberechnungen angenommen werden kann.

Die Versuchsrandbedingungen, die Durchführung des Zugversuchs und die Versuchsergebnisse sind im nachfolgenden dokumentiert.

Anhand des Versuchs konnten Reibungsbeiwerte für den Einzug von 525-KV HGÜ-Kabel direkt in Stahlrohre im Bereich von $\mu \leq 0{,}1$ bis $\mu \leq 0{,}2$ ermittelt werden. Die ermittelten Reibungskoeffizienten liegen somit maßgeblich unterhalb der bisher angenommenen Werte von $\mu = 0{,}3$ und bewegen sich in einer Größenordnung wie sie aktuell für den Einzug von 525-KV HGÜ-Kabel in Kabelschutzrohre aus Kunststoff angenommen wird.

Inhalt

1.0 ZIELSTELLUNG 2
2.0 VERSUCHSABLAUF UND VORBEREITUNG 3
3.0 VERSUCHSAUFBAU/ ZUGVORBEREITUNG 4
4.0 DURCHFÜHRUNG 7
5.0 ERGEBNISSE 9
5.1 Kabelzug ohne Kabelgleitmittel: 9
5.2 Kabelzug mit Kabelgleitmittel: 11
6.0 AUSBLICK UND HINWEISE 12

1.0 ZIELSTELLUNG

525-kV-HGÜ-Kabel werden in vielen aktuellen Projekten in Kabelschutzrohre eingezogen. Diese sind zu einem Großteil aus Kunststoff. Jedoch kommen besonders in schwierigen Geologien oder auch bei langen Querungen (Bohrungen) auch Stahlrohre zum Einsatz. Diese Stahlrohre bieten in diesen Querungen auf Grund Ihrer Stabilität (Einzugskräfte) Vorteile bei der Dimensionierung und der Ausführung. Da bislang keine praktischen Erfahrungen mit dem direkten Einzug von 525-kV-HGÜ-Kabeln in Stahlrohre vorliegen, wurden solche Kabel bisher nicht unmittelbar in Stahlrohre eingezogen, stattdessen erfolgte der Kabeleinzug ausschließlich in zuvor in die Stahlrohre eingebrachte Kunststoffrohre, wodurch neue bautechnische Herausforderungen entstanden.

Der Versuch, welcher mit diesem Bericht beschrieben wird, dient der Ermittlung eines Reibungskoeffizienten zwischen einem HGÜ-Kabel wie es aktuell z.B. im Projekt SuedLink zum Einsatz kommt und Stahlrohren mit Einsteckmuffen (hier Modelle der Firma MLP). Dabei wurden bewusst ungünstige Parameter im Bezug auf die Rohrbeschaffenheit und die Versuchsgeometrie gewählt. Es soll somit in gewisser Weise der Worstcase simuliert werden. Weiterhin sollen durch den Versuch wichtige Erkenntnisse über den Kabeleinzug in eine Kabelschutzrohranlage aus Stahl gesammelt werden. Somit kann bei erfolgreicher Durchführung davon

ausgegangen werden, dass die gewonnenen Werte des Reibungskoeffizienten auch unter Baustellenbedingungen anwendbar sind und die gewonnen Erfahrungen im Kabelzug eine praktische Anwendung ermöglichen.

Darüber hinaus dient der Versuch der Firma ea.R dazu allgemeine Erkenntnisse und Erfahrungen mit dem Einzug und dem Handling Ihrer Maschinen im Zusammenhang mit Stahlrohren zu sammeln.

2.0 VERSUCHSABLAUF UND VORBEREITUNG

Der Versuch wurde in den Kalenderwochen 44 und 45 des Jahres 2025 auf dem Testgelände der Firma ea.R in Barby durchgeführt. Die praktische Umsetzung erfolgte durch die Firma ea.R. Sämtliche für den Zugversuch eingesetzten Materialien, Werkzeuge und Maschinen sowie das verwendete 525-kV-HGÜ-Kabel (Hersteller: NKT) entsprachen vollständig den Komponenten, die auch auf einer regulären Baustelle zum Einsatz kommen. Bei dem eingesetzten Kabel handelt es sich um ein für Test- und Ausbildungszwecke vorgesehenes Kabel, das zuvor bereits vielfach in die auf dem Testgelände fest installierte Leerohranlage aus Kunststoffrohren eingezogen wurde.

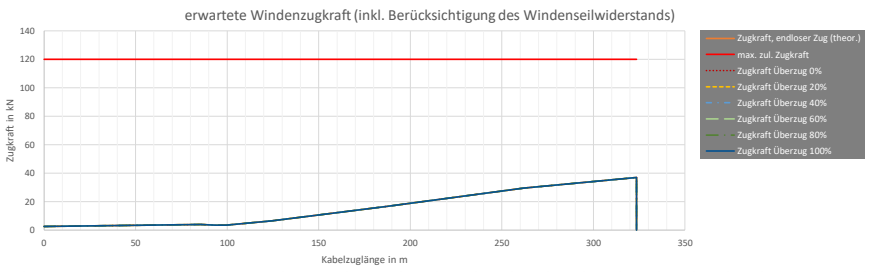
relevante technische Daten des Kabels:

- 525 kV HVDC 3000 mm² CU
- Gewicht ~42 kg/m
- Durchmesser ~142 mm
- Material Außenmantel HDPE

Vor Beginn der Tätigkeiten wurde eine Zugkraftberechnung der geplanten Kabeltrasse mittels der relevanten Kabel- und Trassendaten durchgeführt. Der Reibungskoeffizient μ wurde auf 0,3 gesetzt, was den üblichen Werten entspricht, die durch die Kabelhersteller bei Legung von Gasinnendruck- oder Gasausdruckkabeln in Stahlrohren vorgeben. Hier wurde eine maximal zu erwartende Zugkraft von 36,9 kN (ca. 3,7 t) bei Vernachlässigung der zusätzlichen Windenseilkraft berechnet. Die detaillierten Kräfte sowie der geometrische Aufbau der Rohrtrasse sind *Abbildung 1* zu entnehmen.

Zugkraftberechnung mit Überzug des Kabels

Projekt	Barby
Kunde	TransnetBW
LOS	Zugversuch Stahlrohr μ 0,3
Sektion	gesamte Trasse
Kabeldaten	
Gewicht	42,0 kg/m
Querschnitt	3000 mm²
max. Radialkraft	7,5 kN/m
max. Zugspannung	50 N/mm²
max. Zugkraft	120,0 kN
Kabellänge	324 m
Überzug	**gezogene Kabelmeter**
0%	324 m
20%	324 m
40%	324 m
60%	324 m
80%	324 m
100%	324 m



Abschnitt #	km	Kommentar	Reibungs-koeffizient μ	Abschnitts-länge m	Steig-winkel °	Bogen-winkel °	Bogen-radius m	Abschnitts-länge m	Zug-länge m	Schub-kraft kN	Zugkraft (Kabel ohne Windenseil) Überzugfortschritt theo. kN	0% kN	20% kN	40% kN	60% kN	80% kN	100% kN	Radialkraft (Kabel ohne Windenseil) Überzugfortschritt theo. kN/m	0% kN/m	20% kN/m	40% kN/m	60% kN/m	80% kN/m	100% kN/m
0		*Anfangskraft*							0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							
1	*0*	*Spulenstandort Muffe auf Rollen*	0,05	85,6				85,6	85,6	0	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8							
2		*Rollenbogen Fundamente*	0,05			88	5	7,7	93,3	0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
3		*Einlauf auf Rollen*	0,05	6,2				6,2	99,6	0	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2							
4		*Rohr*	0,3	24,9				24,9	124,4	0	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3	5,3							
5		*Rohr*	0,3			56	64,7	63,2	187,7	0	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	16,1	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
6		*Rohr*	0,3			34	125,35	74,4	262,1	0	29,3	29,3	29,3	29,3	29,3	29,3	29,3	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
7		*Rohr*	0,3	61,5				61,5	323,6	0	36,9	36,9	36,9	36,9	36,9	36,9	36,9							
		Summe/Max.							**323,6**	**0**	**36,9**	**36,9**	**36,9**	**36,9**	**36,9**	**36,9**	**36,9**	**0,38**	**0,38**	**0,38**	**0,38**	**0,38**	**0,38**	**0,38**
											Maximale Zugkraft am Kabel						**36,9 kN**	Maximale Radialkraft am Kabel						**0,38 kN/m**
									Überprüfung Grenzwerte															

Abbildung 1 Zugkraft Berechnung und geometrischer Aufbau der Trasse

Der Aufbau der Leerrohre und die Zugversuche wurden durch Vertreter der TransnetBW GmbH (TransnetBW) begleitet. Vertreter der Mannesmann Line Pipe GmbH (nachfolgend MLP) welche die Stahlrohre zu Verfügung stellten, waren am 05.11.2025, d.h. bei den Kabelzügen 3 und 4 vor Ort.

Der grundlegende Ablauf des Versuchs gliederte sich wie folgt:

1 Aufbau der Leerrohranlage
2 Einblasen Vorseil
3 Einholen Zugseil
4 Vermessung der Leerrohranlage
5 Einzug 1 – trocken, d.h. ohne jegliche Schmierung
6 Rückzug 1
7 Einzug 2 – trocken, d.h. ohne jegliche Schmierung
8 Rückzug 2
9 Kamerabefahrung der Leerrohranlage
10 Einzug 3 – mit Schmierung (Viskotex)
11 Rückzug 3
12 Einzug 4 – mit Schmierung (Polywater)
13 Rückzug 4
14 Kamerabefahrung der Leerrohranlage
15 Rückbau Versuchsanlage

3.0 VERSUCHSAUFBAU/ ZUGVORBEREITUNG

Die von MLP für den Zugversuch zur Verfügung gestellten Stahlrohre mit Längen von 6 m und 12 m und einem Durchmesser 273,1 mm aus dem Werkstoff L360NE wurden nach der Lieferung nicht weiter gesäubert oder aufbereitet. Auf diese Weise sollten besonders ungünstige Randbedingungen geschaffen werden, die über die typischen realen Einsatzbedingungen hinausgehen. Dadurch sollten Belastungsgrenzen, das Verhalten und mögliche Risiken für das Kabel sowie der eingesetzten Materialien unter extremen Bedingungen untersucht und bewertet werden, um eine sichere Übertragbarkeit der Versuchsergebnisse auf reale Baustellensituationen zu gewährleisten.

Abbildung 2 Stahlrohre mit Längen von 6 m und 12 m und einem Durchmesser 273,1 mm aus dem Werkstoff L360NE vor dem Zusammenbau

Nach dem Auslegen wurden die Rohre nacheinander mittels Einsteckmuffen (Einsteck-Schweißmuffe (ESM) - System MLP) verbunden und im Anschluss verschweißt, vgl. Abbildung 2.

Abbildung 3 Steckmuffe: Design der Einsteck-Schweißmuffe (ESM) System MLP und beispielhafte Verschweißung der Testanlage

Unter Berücksichtigung der geometrischen Randbedingungen des Testgeländes und der in der Praxis üblichen minimalen Biegeradien (z. B. bei HDD-Bohrungen > 300 m) wurde die Rohranlage in einem etwa 90°-Bogen angeordnet. Ohne Vorbiegung der Rohre, etwa durch eine Biegemaschine, konnte so ein minimaler Radius von rund 86 m realisiert werden (86 m << 300 m). Damit wurden auch hinsichtlich der Rohrführung gezielt ungünstige, über die realen Einsatzbedingungen hinausgehende Randbedingungen geschaffen. D.h. nachdem etwa die Hälfte der Rohre zusammengefügt wurden, wurde damit begonnen, die Rohranlage unter Maschineneinsatz an einem Ende ansetzend zu verschieben, vgl. Abbildung 3. Im Anschluss daran wurde die Rohranlage durch Betonquader in Ihrer Form gesichert und durch weitere Rohrsegmente erweitert, vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**. So entstand eine Leerrohranlage mit einer Länge v on 220 m.

Abbildung 4 Lagesicherung der Leerohranlage

Im folgenden Schritt wurde die Leerrohranlage mittels GPS eingemessen (vgl. *Abbildung*), um später genaue geometrische Daten und die genaue Lage zu ermitteln. Mit diesen Werten wurde auch eine überschlägige Vorbemessung des Kabelzugs möglich

Abbildung 5 Einmessung der Leerrohranlage mittels GPS

Abbildung 6 Gesamte Leerrohranlage in der Draufsicht

In Vorbereitung des Kabelzuges war es notwendig eine Gerade und im Anschluss auch den 90 Grad Winkel als offene Führung für das Kabel beginnend an der Kabeltrommel bis hin zum Start der Leerrohranlage mittels Rollen zu erstellen, siehe *Abbildung* . Die Rollen im Kurvenbereich wurden hinreichend mit Betonquadern und Einschlageisen in ihrer Lage gesichert.

Abbildung 7 Einlaufbereich von Kabeltrommel bis Leerrohranlage

Im Letzten Schritt der Versuchsvorbereitung wurde das Vorseil mittels Druckluft eingeblasen. Als Übergangsstück, wurde ein PE-Rohr in den Muffenbereich des Stahlrohrs eingeführt. Dieses verblieb auch im Weiteren im Stahlrohr und fungierte während des Kabelzugs als Einlaufhülse für das Kabel. Im Anschluss wurde mittels einer kleinen (Vorseil-)Winde das Zugseil der 7,5 t Winde an den Anfang des Stahlrohrs gezogen und mit dem vorher dort abgelegten Kabel verbunden.

Abbildung 8 einblasen des Vorseils

4.0 DURCHFÜHRUNG

Der Kabelzug erfolgte von der Kabeltrommel zur Winde hin und wieder zurück. Auf Grund des Aufbaus wurde das Kabel nicht maßgeblich über das offene Ende der Leerohranlage an der Winde hinausgezogen, d.h. das Kabel wurde in Richtung der Winde so lange gezogen, bis das Ende der Leerrohranlage erreicht war. Da die Kabeloberfläche somit ausschließlich nach Rückzug einsehbar war, war eine getrennte Analyse potenzieller Beschädigungen des Kabelmantels, die während des Einzugs oder des Rückzugs entstanden sein könnten, technisch nicht möglich.

Insgesamt wurden 4 Kabelzüge durchgeführt. Der Einzug erfolgte mit einer Winde mit 7,5 Tonnen Zugkraft. Die für den Einzug erforderlichen Zugkräfte wurden am Windenseil gemessen. Die gemessenen Kabelzugkräfte werden nachfolgend dargestellt.

Bei den beiden ersten Kabelzügen wurden, abweichend vom üblichen Vorgehen, auf jegliche Schmierung verzichtet. Somit wurde das trockene Kabel ins trockene Stahlrohr eingezogen und jeweils nach Erreichen des Rohrendes wieder zurückgezogen. Ziel dieser Versuche war zum einen die Ermittlung der maximal auftretenden Zugkräfte unter bewusst ungünstig gewählten, gegenüber den realen Einsatzbedingungen konservativen Randbedingungen und zum anderen die Quantifizierung des Einflusses einer Schmierung auf das Zugverhalten.

Hinweis:
Da das Kabel bereits mehrfach für Zugversuche auf dem Testfeld verwendet wurde, können kleine Restmengen von Kabelgleitmittel auf der Oberfläche nicht ausgeschlossen werden. Hier muss aber auch festgehalten werden, dass der Kabelmantel durch diese vorangegangene Nutzung nicht die gleiche werkseitige Glätte aufwies, wie es ein neues Kabel auf der realen Baustelle aufweisen würde.

Nach den beiden ersten Kabelzügen ohne Schmierung fand die erste von 2 Kamerabefahrungen statt. Durch die geringe Reibung der Räder des Kamerawagens musste das Rohr von beiden Seiten befahren werden. Es erfolgte in diesem Zusammenhang eine Videodokumentation der Rohrinnenseite mit Hauptaugenmerk auf den Muffenbereichen. Des Weiteren wurden vor dem 3ten Zug auf der Bogenaußenseite zwei Fenster in die Rohranlage geschnitten, so dass an 2 Rohrmuffen direkt der Einzug des Kabels verfolgt werden konnte. Dazu wurden mittels Trennschleifer Fenster von ca. 10 x 10 cm (Abb.9) herausgetrennt. Anschließend wurden die Kanten entgratet, um eine Beschädigung des Kabels zu verhindern.

Abbildung 9 Sichtfenster und direkter Einblick auf den Kabelzug im Stahlrohr

Der 3te Kabelzug erfolgte mit Viskotex Kabelfett. Abseits des aufgetragenen Schmiermittels (siehe Abb. 10) gab es keine Unterschiede zum Ablauf des 1. und 2. Kabelzuges. Im 4ten Kabelzug wurde durch eines der Sichtfenster zusätzlich noch Polywater eingebracht. Somit erfolgten Zug 3 und 4 unter Zugabe von Schmiermitteln.

Abbildung 1 Auftragen von Kabelgleitmittel auf das Kabel im 3. Zugversuch

Im Anschluss an das letzte zurückziehen, wurde das Zugseil gezogen und es erfolgte eine weitere Kamerabefahrung. Auch diese musste für eine vollständige Dokumentation des Rohres von beiden Rohrenden ansetzen.

5.0 ERGEBNISSE

5.1 KABELZUG OHNE KABELGLEITMITTEL:

Aus den ersten beiden Kabelzügen in das trockene unbehandelte Rohr ergaben sich geringere Zugkräfte als ursprünglich angenommen. Die Zugkräfte bewegten sich bei maximal 22,50 kN. Hieraus ergab sich in der Auswertung ein Reibungskoeffizient von $\mu \leq 0{,}2$. Dieser Wert liegt somit deutlich unter den in einer Machbarkeitsbetrachtung für den trockenen Einzug abgeschätzten Wert von $\mu = 0{,}6$.

Abbildung 11 Anzeige Zugkraft an der 7,5t Seilwinde

Abbildung 12 Spillwinde 7,5 t

Jedoch muss für den unbehandelten Zug auch festgehalten werden, dass es vermutlich durch Verschmutzungen (*Abbildung*), welche bei der Kamerabefahrung vor dem 3ten Kabelzug auch sichtbar wurden, zu Schleifspuren an der äußeren Halbleitenden Kabelhülle kam. Da wie zuvor dargestellt, dass Kabel nur nach dem Rückzug begutachtet werden konnte, kann nicht Final geklärt werden ob diese beim Ein- oder Rückzug entstanden sind.

Aufgrund der Muffengeometrie (siehe*Abbildung*) ist es wahrscheinlich das insbesondere der Rückzug dafür verantwortlich ist.

Abbildung 13 Kamerabefahrung, sichtbare Verschmutzungen und Späne der äußeren Kabelschicht

Abbildung 14 Beschädigungen des Kabels nach dem 1. Ein- und Auszug

Sichtbar sind dabei Kratzer, die die halbleitende Schicht (schwarz) bis auf den Außenmantel (rot)des Kabels durchdringen und auch Verschmutzungen wie Sandkörner sind sichtbar, welche sich in diese Äußere Schicht „eingegraben“ haben (Abb. 13). Durch die Kamerabefahrung vor den geschmierten Kabelzügen ließen sich Stellen identifizieren, an denen sich Späne und Verschmutzungen abgelagert haben (Abb. 12).

An besagter Stelle wurde auch eine Probe aus der Rohranlage geschnitten, diese wurde gesondert untersucht, dabei konnten jedoch keine Auffälligkeiten oder Ursachen für eine mögliche Beschädigung des Kabels festgestellt werden.

Im 2ten Kabelzug waren die sichtbaren Veränderungen der Kabeloberfläche bereits deutlich reduziert.

5.2 KABELZUG MIT KABELGLEITMITTEL:

In den Kabelzügen 3 und 4 mit Kabelgleitmittel, konnten keine Verschlechterungen der Kabeloberflächen mehr festgestellt werden. Jedoch konnte eine deutliche Reduzierung der Kabelzugkräfte beobachtet werden. Nach Auswertung ergab sich eine maximale Zugkraft von 12,39 kN beim Einsatz von Kabelgleitmittel. Dies entspricht einem theoretischen Reibungskoeffizienten von $\mu \leq 0{,}1$. Bei Zug 4 kam es aufgrund einer mangelnden Synchronität zwischen Abspulen und Kabelzug zu Kraftspitzen, d.h, die Zugwinde musste kurzzeitig gegen die Kabeltrommel ziehen, da das Abspulen zu langsam war. Dies führte zu einem sprunghaften Anstieg der Zugkräfte (*Abbildung* grüne Kästchen), was jedoch bei der Auswertung der Daten vernachlässigt werden kann.

Abbildung 15 tatsächliche Zugkräfte im Vergleich zu theoretischen Zugkräften bei verschiedenen Reibungskoeffizienten, grüne Rahmen markieren Kraftspitzen durch asynchronen Zug

6.0 AUSBLICK UND HINWEISE

Der Versuch hat gezeigt, dass der Einzug eines HGÜ-Kabels direkt in ein Stahlrohr möglich ist. Die Reibungskoeffizienten sind darüber hinaus deutlich geringer als im Vorfeld angenommen.

Der Einsatz von Kabelgleitmittel ist verpflichtend er kann den Reibungskoeffizienten um bis zu 50 % reduzieren.

Bei guter Schmierung ist von einem Reibungskoeffizient von einem Kabel mit HDPE Mantel im Stahlrohr von 0,15 µ in der Planung der Kabelanlage auszugehen. Dieser Wert biete noch eine Reserve, um nach einem Stopp des Kabelzugs die Haftreibung die ggf. entsteht zu überwinden. Dabei ist zu beachten, dass die Randbedingungen vergleichbar sind.

- große Biegeradien (> 200 m)
- keine S-Bögen bzw. Auffächerungen der Rohranlagen (z.B. im Einführungsbereich einer HDD)
- vergleichbare Rohrqualität (insbesondere keine Ovalitäten)

Durch die verhältnismäßig kurze Rohranlage konnte der relativ geringe Einfluss des Windenseils auf die Gesamtzugkraft nicht deutlich getrennt erfasst werden. Das Windenseil hat ebenfalls einen Reibungswiderstand im Rohr. Dieser hat keinen Einfluss auf die maximal Zugkraft am Kabel, aber kann die Gesamtzugkraft bei langen Längen über die technischen Grenzen erhöhen. Es ist zu empfehlen ab einer ununterbrochenen Einzuglänge von ca.1400 m Mitigationsmaßnahmen zu prüfen.

Um Beschädigungen am Kabel zu vermeiden, ist auf eine saubere Arbeitsweise beim verlegen und verschweißen der Rohre zu achten. Der Eintrag von Verschmutzungen über die offenen Rohrenden ist zu vermeiden. Für den Test wurden die Rohre ohne weitere Schutzmaßnahmen auf dem Boden liegend verschweißt, beim Zusammenführen der am Boden liegenden Rohrenden bzw. Muffen kam es zum Eintrag von Bodenmaterial. Darüber hinaus sind die Rohrenden vor dem Zusammenführen auf scharfe Kanten zu überprüfen.Jeder Steckbereich ist durch Fotos oder Videso zu dokumentieren. Sollten Bedenken bei der Sauberkeit der Rohranlage bestehen (bsp. bei beschädigtem Verschluss, undichter Endkappen etc.) muss vor einem Kabelzug die Rohranlage idealweise erneut Videobefahren werden.

Aufgrund der Muffengeometrie muss der Kabelzug immer in die Muffe hinein durchgeführt werden (16).

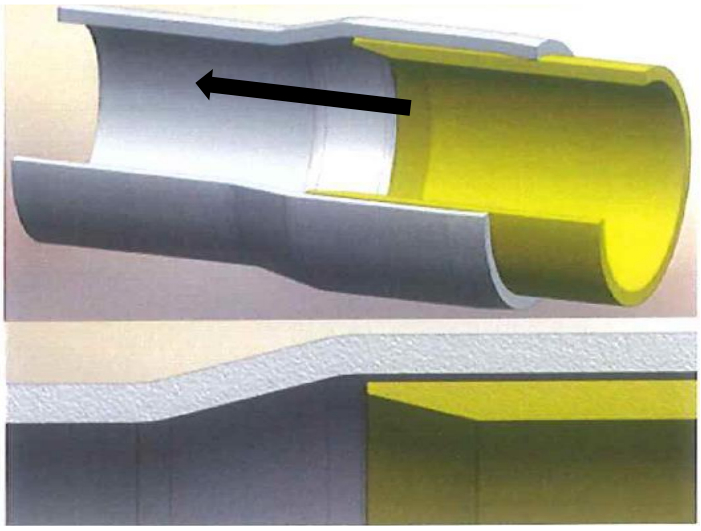


Abbildung 16 Muffe mit Richtungspfeil für die empfohlene Einzugsrichtung des Kabels

Weiterhin sollte beachtet werden das die Rohre werkseitig verschlossen, ohne längere offene Lagerung und somit mit möglichst wenig Flugrost im inneren auf die Baustelle geliefert und verbaut werden. Nach der gesamten Installation der Rohranlage und unmittelbar vor dem Kabelzug muss eine geeignete Reinigung und eine Formkontrolle erfolgen.

Werden die genannten Punkte beachtet ist der Einzug eines 525-kV-HGÜ-Kabels in Stahlrohre in der Baupraxis möglich und könnte bei Zustimmung von Kabelherstellern und Planern ausgeführt und bereits im Projekt SuedLink berücksichtigt werden.