

Transport und Verlegung

1. Einleitung

Die Betriebssicherheit einer Kabelanlage hängt neben der Kabelqualität weitgehend von einer sorgfältigen Verlegung und der Montage ab. Jedes Kabel wird gewissenhaft und sorgfältig hergestellt, nach jedem Arbeitsgang eingehend kontrolliert und einer strengen Schlussprüfung im Werk unterzogen. Die nachfolgenden Unterlagen zeigen die wichtigsten Punkte, die beim Transport und bei der Kabelverlegung zu berücksichtigen sind. Es ist unerlässlich, bei Kabelarbeiten die Arbeit aufs Strengste zu überwachen, weil das hinzugezogene Hilfspersonal im Allgemeinen auf diesem Gebiet zu wenig erfahren ist. Jeder einzelne Arbeiter muss sich die Konsequenzen eines Knickes oder einer übermässigen Verformung des Kabels vor Augen halten. Transport- und Verlegeschieden rühren durchwegs von fehlerhaften Konzeptionen oder ungenügender Vorbereitung her.

Die Art der Kabelverlegung sollte schon beim Projekt festgelegt werden, damit die Grab- und Vorbereitungsarbeiten entsprechend durchgeführt werden. Nur so lassen sich kostspielige Nacharbeiten vermeiden.

2. Kabelrollen

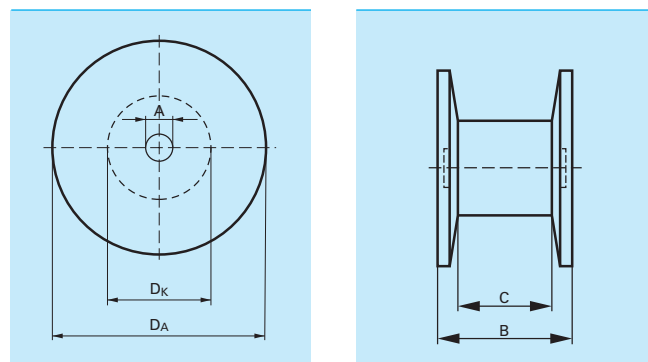
Die Kabel werden im Allgemeinen auf Rollen geliefert. Bei der Kabelrolle muss der Kerndurchmesser dem Kabeldurchmesser angepasst sein und das Fassungsvermögen der Kabelrolle dem vorgesehenen Kabel entsprechen.

Der Minstdurchmesser des Rollenkerns muss folgende Werte aufweisen, wenn der Kabelaußendurchmesser mit d bezeichnet wird.

Minimaler Rollenkerndurchmesser

Einleiterkabel	
Niederspannungskabel	$20 \cdot d$
Mittelspannungskabel	$25 \cdot d$
Mehrleiterkabel	
Polymerisoliert	$20 \cdot d$
Papierisoliert	$25 \cdot d$

Abmessungen und Gewichte von Kabelrollen



Typ	Abmessungen mm					Leer - gewicht kg	Kabel - gewicht kg
	D_A	D_K	C	B	A		
AK	800	400	450	550	90	15	250
BBE	1050	550	600	695	90	90	650
BE	1300	700	700	790	90	120	2 000
CCE	1600	800	800	890	90	165	3 500
CE	1650	965	610	750	90	170	2 500
CEs	1650	965	800	950	90	195	2 500
DE	1900	1160	1000	1175	90	295	4 000
DEs	1900	1400	1000	1175	90	290	4 000
FE	2200	1400	1000	1175	90	380	6 400
GE	2400	1500	1000	1165	90	510	8 000
HE	2600	1680	1000	1175	90	560	10 000
HEB	2600	1680	1225	1400	90	650	10 000
KE	3000	2000	1225	1400	105	900	12 000
OHE	3000	2000	1360	1560	105	970	12 000
OHEs	3150	2000	1360	1560	105	1000	15 000
OHEsp	3150	1500	1360	1560	105	910	15 000
WE20S	3800	2000	1360	1620	145	1450	20 000
WE355	3550	2000	1400	1620	145	1500	20 000

So behandelt man Kabelrollen

Beim Abladen dürfen Kabelrollen nie vom Wagen geworfen werden, auch nicht bei weichem Boden, denn sie sind nicht für solche Beanspruchungen vorgesehen. Zudem könnten Kabelrollen und Kabel beschädigt werden. Die Kabelrollen sollten auf einem Kabeltransportanhänger mit

Auf- und Abladevorrichtung transportiert werden. Allenfalls muss mit Hilfe einer Rampe oder eines Kranes auf- oder abgeladen werden. Über kurze Strecken lässt sich die Rolle rollen. Beim Rollen muss sich das Kabel strecken (das obere Ende schaut nach hinten). Mit Hilfe einer Welle und eines Bockes kann eine Rolle auf dem Platz gedreht werden.

Allgemeine Informationen

Fassungsvermögen von Kabelrollen in Metern

Minimaler Rollenkerndurchmesser siehe Ziffer 2.

Kabel Ø mm	BBE	BE	CCE	CE	CEs	DE	DEs	FE	GE	HE	HEB	KE	OHE	OHEs	OHEsp	WE20S	WE35S
8	3977	7707															
10	2650	4961	9840	6680	8761												
12	1720	3425	6595	4483	5918		6179										
14	1255	2504	4882	3363	4458	7203	4587										
15	1100	2173	4139	2973	3701	6054	3931	7891									
16	928	1904	3747	2510	3303	5417	3376	7100	8807								
17	891	1691	3366	2176	2922	4808	3180	6340	7512	8679							
18	756	1449	2796	1920	2560	4306	2730	5361	6814	7891							
19	720	1259	2518	1732	2273	3826	2597	4785	6142	7132							
20	619	1240	2435	1642	2190	3440	2233	4646	5610	6534							
21	585	1061	2169	1466	1921	3005	2111	4101	4991	5832	7197	8819					
22	492	895	1916	1250	1667	2905	1782	3668	4503	5282	6456	8432					
23	479	876	1677	1216	1590	2562	1711	3256	4037	4756	5862	7709	8582				
24	394	856	1648	1061	1401	2238	1413	3130	3882	4253	5291	7013	7701				
25	382	732	1470	1028	1371	2201	1385	2818	3534	4182	5123	6346	6993	8482			
26	370	686	1394	885	1154	1898	1322	2697	3384	3706	4584	5707	6317	7741			
27	357	575	1228	853	1125	1862	1292	2404	3056	3349	4073	5501	6112	7500			
28	284	580	1199	821	1095	1775	1034	2290	2664	3189	3918	4903	5473	6796			
29	272	562	1044	727	935	1548	1008	2019	2606	2856	3528	4819	5278	6124	8469		
30	275	543	1015	698	907	1513	982	1972	2547	2789	3381	4257	4789	6032	7952		
31	263	443	871	668	879	1477	956	1719	2258	2475	3016	4175	4603	5394	7275		
32	200	426	879	583	767	1269	759	1675	2201	2412	2956	3749	4144	5303	6785		
33	202	429	851	555	741	1235	737	1630	1931	2347	2895	3670	4067	4820	6692		
34	192	412	823	825	715	1202	715	1585	1878	2058	2555	3268	3631	4731	6214		
35	193	343	693	531	688	1013	692	1357	1823	1998	2497	3193	3466	4161	5603	7923	6616
36	183	328	699	428	588	982	670	1316	1577	1937	2439	3117	3392	4074	5506	7356	5928
37		312	672	430	565	988	672	1322	1586	1738	2125	2744	2994	3647	5066	6807	5808
38		314	582	433	568	956	649	1113	1535	1682	2070	2673	2924	3564	4969	6664	5312
39		299	558	408	544	787	488	1075	1484	1625	2015	2602	2853	3481	4548	6317	5195
40		301	562	410	547	791	490	1080	1314	1633	1960	2529	2866	3178	4586	6183	4866
42		228	542	321	435	735	453	1003	1221	1338	1687	2204	2432	3020	4082	5532	4683
44		216	438	301	416	710	435	826	1024	1291	1584	2069	2299	2575	3601	4909	4078
46		219	419	304	397	568	418	795	985	1080	1338	1774	1979	2511	3259	4478	3676
48			399	227	302	545	291	763	947	1037	1296	1719	1925	2181	2929	4061	3291
50			331	229	305	550	292	640	813	1045	1254	1447	1628	2120	2862	3659	3206
52			314	211	288	423	278	613	778	854	1033	1396	1578	1814	2547	3559	2732
54				163	207	404	264	472	618	814	995	1150	1307	1757	2248	3178	2648
56				149	209	384	251	448	588	646	798	1104	1262	1476	2183	3078	2418
58				150	195	387	161	451	592	649	802	1111	1216	1424	1904	2721	2338
60				151	196	281	152	427	560	615	769	1064	1170	1371	1841	2623	2022
62				137	182	283	153	429	454	618	734	849	938	1124	1776	2292	1946
64				138	184	266	144	405	428	471	596	853	943	1130	1599	2313	1869
66						268	144	313	431	473	569	812	903	1082	1538	2000	1671
68						251	135	294	404	444	571	817	907	1089	1369	2017	1600
70						253	135	295	406	446	542	775	866	1040	1313	1927	1612
72						236	126	275	379	416	544	630	667	825	1255	1640	1348
74						169	126	277	381	418	515	595	670	829	1266	1653	1281
76						170	126	278	294	420	517	598	635	787	1049	1387	1290
78							117	258	273	300	375	563	638	790	1058	1397	1055
80							117	259	274	301	376	565	640	794	1067	1407	1062
82							117	186	275	302	353	529	605	751	1012	1329	1068
84							108	171	253	278	354	532	608	608	873	1169	1007
86								171	254	279	356	412	441	572	824	1098	1013
88								172	256	280	331	384	443	574	830	1105	805
90								173	257	281	333	385	444	577	836	1112	810
92								157	234	257	334	386	416	540	786	894	814
94									167	258	335	388	418	543	664	899	760
96									168	185	222	359	419	545	668	904	764
98									169	186	223	360	390	508	624	840	768
100									169	186	223	361	392	392	628	844	637
104										168	206	333	394	394		720	594
108										169	207	240	262	366		667	549
112										152	190	220	264	369		673	554
116												221	243	340		618	446
120												222	244	342		513	408

Technische Änderungen jederzeit vorbehalten.

Allgemeine Informationen

3. Kabeltrasseebau

Trassees sind möglichst gradlinig zu führen und enge Kurven innerhalb des Trassees sind zu vermeiden. Zug- und Muffenschächte sind so zu platzieren, dass die Zugänglichkeit für Materialtransporte gewährleistet ist. An den Endpunkten ist Platz vorzusehen für die Aufstellung von Zugmaschine bzw. Kabelrollen. Bei Einführungen in Gebäude sind Öffnungen für das Zugseil nötig.

Offener Kabelgraben

Im Kabelgraben darf bis nach dem Kabelzug keine Erde von den Wänden oder vom Aushub auf den Grabengrund fallen. Wenn nötig, sind Spreizwände einzubauen. Der Grabenboden muss eben sein. Vorstehende Steine sind zu entfernen. Eine raue Grabensohle muss mit einer Schicht Sand von etwa 10 cm egalisiert werden. Diese Massnahme ist bei unarmierten Kabeln unerlässlich. Über die Kabel ist wiederum eine Schicht Sand von etwa 20 cm oder thermisch stabiles Rückfüllmaterial einzubringen.

Rohranlagen mit Kunststoffrohren

In der Schweiz werden für die Kabel üblicherweise Kunststoffrohranlagen erstellt. Dieses System hat den grossen Vorteil, dass normalerweise auch längere Trassees keine Zwischenschächte erfordern, aufgrund des kleinen Reibungskoeffizienten zwischen Kabel und Rohr. Die Rohranlage kann im Voraus, zusammen mit andern Bauarbeiten, erstellt werden.

Materialien

Kabelschutzrohre und Zubehör werden aus folgenden thermoplastischen Kunststoffen geliefert:

- Polyethylen (PE)
- Polypropylen (PP)
- Polyvinylchlorid (PVC)

Rohrdurchmesser

Die Längenänderung der Kabel bei Erwärmung muss im Rohr stattfinden, in Muffenschächten sind deshalb Verankerungsbriden zu setzen. Der innere Rohrdurchmesser sollte die folgenden Abmessungen aufweisen:

- 1.4 bis 2.0 x Kabeldurchmesser bei 1 Kabel pro Rohr
- 2.6 bis 3.5 x Kabeldurchmesser bei 3 Kabel pro Rohr

Rohrverbindungen

Es ist auf eine saubere Verlegung und Montage der Rohranlage zu achten. Die Rohre werden standardmässig in Stangen von 5 m und 10 m geliefert und müssen dicht zusammengemufft werden. Infolge des relativ hohen linearen Ausdehnungskoeffizienten von thermoplastischen Kunststoffen ist der Längenänderung bei grossen Temperaturschwankungen während der Verlegephase Beachtung zu schenken.

Eine Temperaturdifferenz von 10°C ergibt auf 10 m Länge folgende Dilatationen:

- bei PE ca. 20 mm
- bei PP ca. 15 mm
- bei PVC ca. 8 mm



Kunststoffrohranlage mit Muffenschacht.

Bei ungenügender Einstecktiefe besteht wegen der Dilatation die Gefahr, dass sich die Rohre aus der Muffe zurückziehen. Da für den späteren Einzug des Kabels eine Kunststoffschnur eingeblasen wird, darf kein Zement in die Rohre eindringen.

Rohranlage im Erdreich

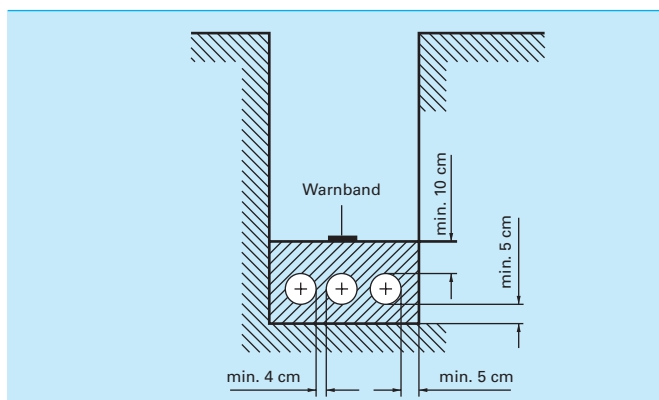
Gilt nur für Kabelschutzrohre aus PE. Die Rohre werden normalerweise in Sand gebettet, wobei zu beachten ist, dass das Füllmaterial die Rohre gut und ganz umschliesst. In Rohrnähe ist das Auffüllmaterial von Hand zu verdichten. Wenn mehrere Rohre parallel verlaufen, soll die Distanz zwischen zwei Rohren mindestens 5 cm betragen. Bei Strassenunterquerungen und Kurven sollte, wenn ein grosser Verlegezug zu erwarten ist, ein Block aus Magerbeton die Rohre fixieren.

Rohranlage einbetoniert

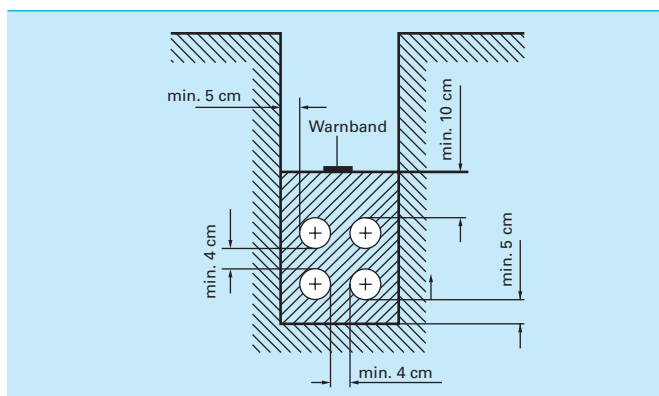
Gilt für Kabelschutzrohre aus PE, PP und PVC. Rohre aus Hart-PVC oder PP sind in jedem Fall einzubetonieren. Beim Verlegen gibt man in die Grabensohle zuerst eine dünne Schicht Beton, dann wird eine erste Lage Rohre gelegt und sofort zubetoniert, darüber kommt eine zweite Lage Rohre zu liegen, und so weiter. Beim Betonieren sollen Abstandhalter zwischen die Rohre gelegt werden. Die minimale Betonüberdeckung soll 10 cm nicht unterschreiten. Seitlich muss die Betonstärke mindestens 5 cm betragen und zwischen den Lagen in der Regel mindestens 4 cm. Beton wird in der Qualität PC 150 oder PC 200 empfohlen.

Allgemeine Informationen

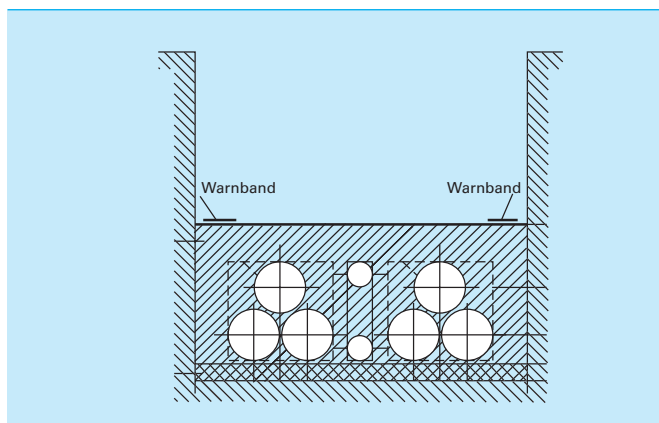
Einbetonierte Rohranlagen:



einlagig



zweilagig



Doppelstrang im Dreieck

Richtungsänderungen

Für Richtungsänderungen kommen vorgeformte oder flexible Bogen zur Anwendung oder die Rohre werden auf der Baustelle kalt gebogen. Für kalt gebogene Rohre gelten die folgenden minimalen Verlegeradien:

Minimaler Biegradus für PE-, PP- und PVC-Rohre bei 20 °C					
Rohrdurchmesser in mm	80/92	100/112	120/132	150/163	200/214
Min. Radius in m (PE)	2.0	3.0	4.5	7.5	18.0
Min. Radius in m (PP)		5.5	9.0	13.5	
Min. Radius in m (PVC)	3.5	6.0	10.0	15.0	20.0

Rohranlagen im Gefälle

Rohranlagen im Gefälle sind mit Betonriegeln zu versehen, damit ein Ausschwemmen von Feinanteilen aus dem Einfüllmaterial verhindert wird.

Kalibrierung

Sämtliche Rohranlagen müssen unmittelbar nach Erstellung kalibriert und mit einer Kunststoffschnur versehen werden. Das Kaliber hat einen vorgeschriebenen Durchmesser, der eine maximale Verformung des Rohres von 10 % zulässt.

Abmessungen der Kalibrierdorne

Rohrdurchmesser in mm	80/92	100/112	120/132	150/163	200/214
Kaliberdurchmesser in mm	72	90	108	133	175
Kaliberlänge in mm	160	200	240	300	400

Weitere Details sind aus den «Richtlinien für die Verlegung von Kabelschutzrohren aus Kunststoff» des VSE ersichtlich.

Rohranlagen mit Zementrohren

Bei älteren Rohranlagen sind zum Teil noch Abschnitte mit Zementrohren anzutreffen, wobei Richtungsänderungen meist als offener Graben gebaut wurden. Beim Aus- und erneuten Einzug ist der höhere Reibungskoeffizient zu berücksichtigen.

Pritschen

Galvanisierte oder beschichtete Kabelpritschen kommen meist in begehbaren Kabelkanälen und Gebäuden zur Anwendung. Bei der Verlegung auf Pritschen ist der Längendehnung der Kabel Rechnung zu tragen. Einleiterkabel sind nach Massgabe der Kurzschlusskräfte in angemessenen Abständen zu befestigen.

Briport-System

Das Briport-System ist geeignet für horizontale und geneigte Kabelkanäle und Stollen. Der Abstand der Aufhängepunkte berechnet sich nach dem Gewicht der Kabel sowie der maximalen Kurzschlusskräfte. Das Briport-System ermöglicht eine rationelle und wirtschaftliche Verlegung. Die Kabel können direkt durch die Kabelführungen eingezogen werden. Der Einzug von zusätzlichen Kabeln zu einem späteren Zeitpunkt wird durch das Öffnen der Kabelführungen bewerkstelligt. Durch das Gewicht und die Erwärmung der Kabel stellt sich ein natürlicher Durchhang ein, der die Längendehnungen aufnimmt.

Luftkabel

Der Durchhang von Luftkabeln wird im Allgemeinen auf 5 % der Trasseelänge eingeregelt. Die Kettenlinie des Kabels ist mit Bezug auf das Geländeprofil so zu wählen, dass ein ausreichender Bodenabstand gewährleistet ist. Luftkabel müssen zwecks Abspannung an den Endmasten mit geeigneten Zugelementen ausgerüstet sein, die das Gewicht der Kabel und entsprechender Zusatzlasten wie Schnee und Wind aufnehmen.



Briport-System.

Trassees in Wasser

Das Trasseeprofil und dessen Beschaffenheit müssen im Frühstadium des Projekts ermittelt werden, um die Kabel- und Verlegeparameter bestimmen zu können. Je nach Tiefe und Strömungsgeschwindigkeit der Gewässer kommen folgende Verlegungsarten in Frage:

- auf Gewässergrund
- im Gewässergrund
- in Rohranlage

Das geplante Trasse wird vor Verlegung mit Bojen markiert. Für die Legung von Kabeln in Seen und Flüssen ist spezielles Verlegematerial notwendig.

4. Wichtige Hinweise zur Verlegung

Die vier Verlege-Gebote

1. Zulässige Zugkraft nicht überschreiten.
2. Zulässige Radialkraft in Kurven nicht überschreiten.
3. Zulässigen Biegeradius nicht unterschreiten.
4. Minimale Verlegetemperatur nicht unterschreiten.

Kabelrollen

Das Kabel gleitet immer von oben ab der Rolle. Die Rolle soll für die Verlegung auf einen Verlegewagen oder so auf Hebeböcke montiert werden, dass eine Bremseinrichtung eingebaut werden kann. Bei schwierigen Kabelzügen lässt sich ein Kabelförderer bei der Rolle platzieren, damit die Zugkraft verringert wird.

Bögen im offenen Graben

Das Aufstellen der Verlegerollen bei Kabelrichtungsänderungen erfordert grosse Sorgfalt. Sie dürfen sich weder während des Kabelzuges noch bei Zugunterbrechungen verschieben. Daher müssen sie sowohl vertikal als auch horizontal angeordnet werden. Die Anzahl der vertikal angeordneten Verlegerollen muss die Radialkraft auf das Kabel in zulässigen Grenzen halten.

Zugmaschine

Die Zugmaschine soll gut verankert etwa 10 Meter vom Grabenausgang entfernt aufgestellt werden, damit ein einwandfreies Aufrollen des Seiles garantiert ist. Das Zug-

seil muss mit einem Ausgleichswirbel ausgerüstet sein, damit sich das Seil drehen kann. Die Zugkraft soll ständig auf ihre Gleichmässigkeit überwacht werden. Der Bedienungsmann an der Zugmaschine soll den Zugvorgang jederzeit unterbrechen können.

Kabelförderer

Tritt bei einer Kabelverlegung ein zu hoher Zug auf, können Kabelförderer die Zugkraft auf dem Kabeltrasse reduzieren. Die Kabelförderer sollen immer vor den Kurven und auf dem ersten Teilabschnitt der Leitung eingebaut werden.

Befehlsübertragungen

Die Arbeiten bei der Kabelrolle, an der Spitze des Kabels und bei der Zugmaschine müssen gut koordiniert werden. Dazu werden normalerweise tragbare Sprechfunkgeräte oder Mobiltelefone eingesetzt. Diese Anlagen sollen betriebssicher sein.

Ihre Funktion ist vor der Verlegung streng zu prüfen.

Verlegerichtung

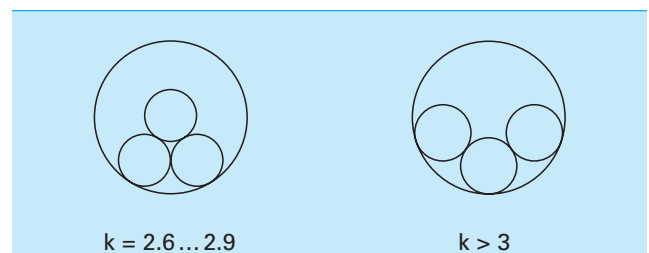
Die Verlegerichtung soll so gewählt werden, dass die kleinste Zugbeanspruchung am Verlegeende auftritt. Diese wird dann erreicht, wenn die Kabelrolle an dem Ende mit den meisten resp. den engsten Kurven steht. Wenn immer möglich wird bei Trassees mit Höhenunterschieden von oben nach unten gezogen.

Höhenunterschiede

Bei grossen Höhendifferenzen, Mastaufstiegen sowie bei Verbindungsmuffen soll das Kabel durch Verankerungsbriden gesichert werden.

Einzug von drei Einleiterkabeln

Sind drei Einleiterkabel im selben Rohr vorgesehen, müssen alle drei Kabel miteinander eingezogen werden. Das Verhältnis k von Rohrrinnendurchmesser zu Kabeldurchmesser bestimmt die Lage der Einleiterkabel im Rohr.



Wird bei $k > 3$ eine Dreieckskonfiguration gefordert, müssen die Kabel beim Einzug gebündelt werden.

Allgemeine Informationen

5. Zug- und Radialkräfte

Nicht armierte Kabel

(Typ XKDT, XKDT-YT usw.)

Nicht armierte Kabel werden am Leiter maschinell eingezogen. Die Leiter werden durch eine Press- oder Verschraubhülse oder durch einen Ziehstrumpf mit dem Zugseil verbunden.

Für den Zug am Leiter gilt:

Bei Kupfer-Einleiterkabeln $\sigma_{zul} = 60 \text{ N/mm}^2$

Bei Aluminium-Einleiterkabeln $\sigma_{zul} = 30 \text{ N/mm}^2$

Bei Kupfer-Mehrleiterkabeln $\sigma_{zul} = 40 \text{ N/mm}^2$

Bei Aluminium-Mehrleiterkabeln $\sigma_{zul} = 20 \text{ N/mm}^2$

Die Werte für die Mehrleiterkabel liegen tiefer als die für die Einleiterkabel, weil in den Kurven die Zugverteilung auf die Leiter nicht gleichmässig erfolgt.

Zulässige Zugkraft

Die zulässige Zugkraft ist gegeben durch das Produkt des Querschnittes A der beanspruchten Kabelaufbauelemente und der entsprechenden zulässigen Beanspruchung σ_{zul}

$$F_{zul} = A \cdot \sigma_{zul} \text{ [N]}$$

Zugarmierte Kabel

(Typ XKDT-F usw.)

Bei diesen Kabeln wird angenommen, dass die Armierung die gesamte Zugkraft übernimmt. Die Rund- oder Flachstahldrähte weisen eine Bruchfestigkeit von etwa 350 N/mm² auf. Unter Berücksichtigung der Dralllänge der Drähte und der Nebeneinwirkungen, wie Drehen des Kabels, darf mit einer zulässigen Beanspruchung σ_{zul} von 70 bis 100 N/mm² gerechnet werden. Da die Anzahl der Zugdrähte nicht immer bekannt ist, wird normalerweise mit der folgenden Faustregel gerechnet:

Kabel mit einfacher Zugarmierung $K_{zul} = 300$

Kabel mit doppelter Zugarmierung $K_{zul} = 400$

Da das Verhältnis der zugbeanspruchten Kabelaufbauelemente ungefähr proportional zum Kabeldurchmesser steht, kann man folgende Faustregel anwenden:

$$F_{zul} = K_{zul} \cdot D_A \text{ [N]}$$

D_A = Aussendurchmesser in mm

K_{zul} = Konstante der beanspruchten Aufbauelemente

Radialkräfte in Kurven

Beim Kabeleinzug um Kurven werden die Kabel einer Radialkraft unterworfen. Die Radialkraft pro Längeneinheit ist abhängig von der Zugkraft in Längsrichtung, von der Richtungsänderung und vom Kurvenradius.

Unter der Annahme, dass $F_A = F_E = F$, gilt:

$$Z = 2F \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$b = 2\pi \cdot r \cdot \frac{\alpha}{360^\circ}$$

und somit Z_B = Radialkraft pro Längeneinheit

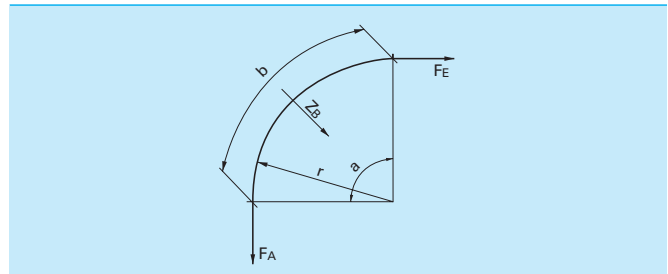
$$Z_B = \frac{F \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{r \cdot \pi \cdot \frac{\alpha}{360^\circ}}$$

Im Bereich 0° bis 90° gilt annähernd

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \pi \cdot \frac{\alpha}{360^\circ}$$

$$Z_B \approx \frac{F}{r} \text{ [N/m]}$$

Der Fehler bei Winkeländerungen unter 90° bleibt mit dieser vereinfachten Formel kleiner als 10 %.



Zulässige Radialkräfte für Verlegung in Kunststoffrohren:

Unarmierte Kabel $Z_{B\ zul} = 10\,000 \text{ N/m}$

Einfacharmierte Kabel $Z_{B\ zul} = 15\,000 \text{ N/m}$

Doppelarmierte Kabel $Z_{B\ zul} = 18\,000 \text{ N/m}$

Maximal erlaubte Anpresskraft pro Verlegerolle in Kurven:

Unarmierte Kabel $Z_{r\ zul} = 1\,500 \text{ N/m}$

Einfacharmierte Kabel $Z_{r\ zul} = 2\,500 \text{ N/m}$

Doppelarmierte Kabel $Z_{r\ zul} = 3\,000 \text{ N/m}$

Bei Anwendung von Rollenketten (5 Rollen pro m):

Unarmierte Kabel $Z_{B\ zul} = 7\,500 \text{ N/m}$

Einfacharmierte Kabel $Z_{B\ zul} = 12\,500 \text{ N/m}$

Doppelarmierte Kabel $Z_{B\ zul} = 15\,000 \text{ N/m}$

Bei Ausbau der Kurven mit Rollen (3 Rollen pro m):

Unarmierte Kabel $Z_{B\ zul} = 4\,500 \text{ N/m}$

Einfacharmierte Kabel $Z_{B\ zul} = 7\,500 \text{ N/m}$

Doppelarmierte Kabel $Z_{B\ zul} = 9\,000 \text{ N/m}$

6. Minimale Biegeradien

Es sind zwei Arten von minimal zulässigen Biegeradien zu beachten und unbedingt einzuhalten. Bei der Verlegung kann unter Umständen eine grosse Länge des Kabels ein oder mehrere Male gebogen werden. Bei der Montage geht es in der Regel um ein einmaliges Biegen (ohne Radialkraft) zum Zweck der Zubehörmontage.

Allgemeine Informationen

Die zulässigen Biegeradien, ohne Berücksichtigung der Radialkräfte bei der Verlegung, werden wie folgt bestimmt:

Kabeltyp	Kabelaussendurchmesser · Koeffizient = min. Krümmungsradius bei Verlegung			
	bei Verlegung		bei Montage	
Niederspannung	Mehrleiter	Einleiter	Mehrleiter	Einleiter
Polymerisolation:				
- T, X	10	12	8	10
- G	10	12	6	8
Mittelspannung	Mehrleiter	Einleiter	Mehrleiter	Einleiter
Polymerisolation:				
- X	12	15	10	12
- G	12	15	8	9

7. Minimale Verlegetemperaturen

Kabelverlegungen können, sofern die Kabel sorgfältig behandelt werden, bis zu -5 °C erfolgen. Wenn man Kabel bei tieferen Temperaturen verlegt, sollen sie vor der Verlegung vorgewärmt werden. Die Verlegung muss in diesem Falle beschleunigt werden, damit das Kabel nicht unter die Mindesttemperatur abgekühlt wird. Die Berechnungsgrundlagen sind im Rapport-Nr. 206 der CI-GRE 1964 zusammengefasst.

8. Kabelzugberechnung

Berechnung der Zugkraft auf geraden Strecken ohne Höhenunterschied

Die Zugkraft (F) am Ende einer Verlegestrecke ist gegeben:

$$F = m \cdot g \cdot l \cdot \mu$$

wobei:

F = Endzug [N]
m = Kabelgewicht pro m [kg]
l = Trasseelänge [m]
μ = Reibungskoeffizient
g = 9.81 [m/s²]

Berechnung der Zugkraft auf geraden Strecken mit Höhenunterschied

Der Höhenunterschied wird, je nachdem, ob auf- oder abwärts gezogen wird, den Endzug vergrößern oder verkleinern. Die Zugkraft wird damit gegeben durch:

$$F = m \cdot g \cdot l \cdot (\mu \cdot \cos \beta \pm \sin \beta)$$

wobei:

β = Neigungswinkel
+ = Aufwärtszug
- = Abwärtszug

Bis zu einem Neigungswinkel von β = 20° (36 %) gilt:

$$F = m \cdot g \cdot l \cdot \mu \pm m \cdot g \cdot h$$

h = Höhenunterschied [m]

Berechnung der Zugkraft bei Krümmungen

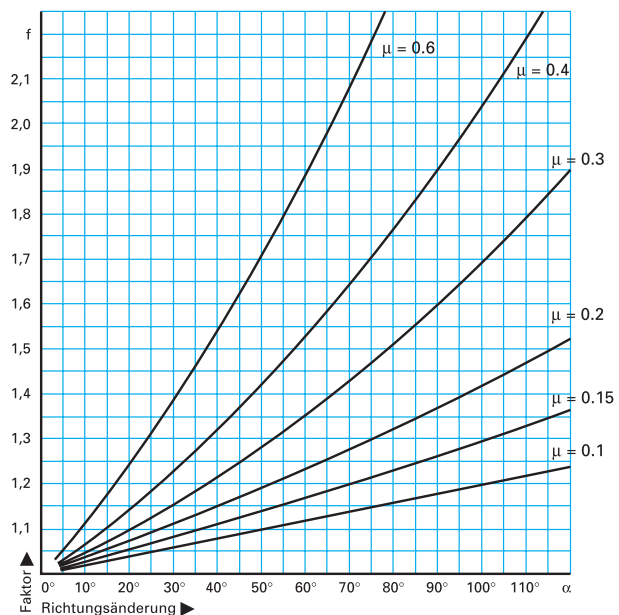
Durch Richtungsänderungen erhöht sich die Zugkraft F um einen Faktor f, der von μ und dem Winkel α abhängig ist.

$$F_E = F_A \cdot f = F_A \cdot e^{\mu\alpha}$$

wobei:

F_E = Zug am Ende der Kurve
F_A = Zug am Anfang der Kurve
α = Kurvenwinkel
μ = Reibungskoeffizient

Zur Berechnung von F_E lässt sich f = e^{μ_α} aus der folgenden Grafik herauslesen:



Reibungskoeffizienten

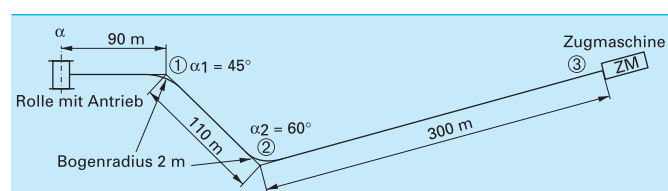
Die Reibungskoeffizienten (μ) sind von den zwei aufeinander gleitenden Werkstoffen sowie vom Schmiermittel abhängig. Kabel mit äusserem Kunststoffmantel dürfen nie auf längere Strecken (l ≥ 50 m) ohne Schmierung in Kunststoffrohre eingezogen werden, da die lokale Reibungs-

Allgemeine Informationen

erwärmung, speziell in Krümmungen, zu einem Festkleben führen kann.

	Kabel mit äusserem Kunststoff- mantel μ	Kabel mit äusserer Zug- armierung μ
Einzug auf Verlegerollen	0.20 – 0.30	0.15 – 0.25
Einzug in Zementrohre	0.40 – 0.60	0.40 – 0.50
Einzug in Kunststoffrohre		
– mit Spezialfett	0.10 – 0.20	0.10 – 0.20
– mit Wasser	0.15 – 0.25	0.15 – 0.25
– mit Fett und Wasser	0.10 – 0.15	0.10 – 0.15

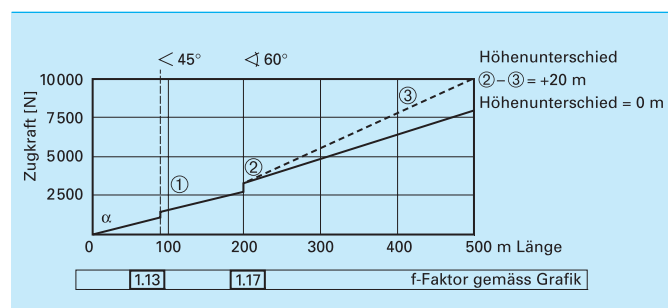
Berechnungsbeispiel für eine Kabelverlegung Einzug von 3 Einleiterkabeln in PE-Rohr Ø 120 mm



Kabeltyp: XKDT 1x240/35 mm², 20/12 kV
 Kabelgewicht pro m $m = 3.36$ kg
 Kabeldurchmesser $D_A = 41$ mm
 Min. Biegeradius $= 15 \cdot D_A = 15 \cdot 41 = 615$ mm
 Trasseelänge $L = 500$ m
 Höhendifferenz $h = 0$ m
 Verlegetemperatur $\vartheta = +5^\circ\text{C}$
 Schmierung Gleitfett

Berechnungsschema: 3 Kabel $3 \times 3.36 \times 9.81 = 100$ N/m

Abschnitt	Länge [m]	$F_E + \mu \cdot m \cdot g \cdot l$ [N]	Zugkraft F_E nach Bogen [N]	F [N]
0 ... 1	$L_1 = 90$	$0 + 0.15 \cdot 100 \cdot 90 = 1350$	$1350 \cdot 1.13 = 1525$	
0 ... 2	$L_2 = 110$	$1525 + 0.15 \cdot 100 \cdot 110 = 3175$	$3175 \cdot 1.17 = 3715$	
0 ... 3	$L_3 = 300$	$3715 + 0.15 \cdot 100 \cdot 300 = 8215$	Kein Bogen mehr	8215



Kontrolle der vier Bedingungen

1. Zulässige Zugkraft nicht überschreiten

$$F_{zul} = 3 \cdot 240 \text{ mm}^2 \cdot 40 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 28800 \text{ N}$$

$$8215 \text{ N} < 28800 \text{ N}$$

2. Zulässige Radialkraft nicht überschreiten

$$Z_{Bzul} = \frac{F_E}{r} = \frac{3715 \text{ N}}{2 \text{ m}} = 1858 \text{ N/m}$$

$$1858 \text{ N/m} < 10000 \text{ N/m}$$

3. Biegeradius nicht unterschreiten

$$2 \text{ m} > 15 \cdot 41 = 615 \text{ mm}$$

4. Minimale Verlegetemperatur nicht unterschreiten

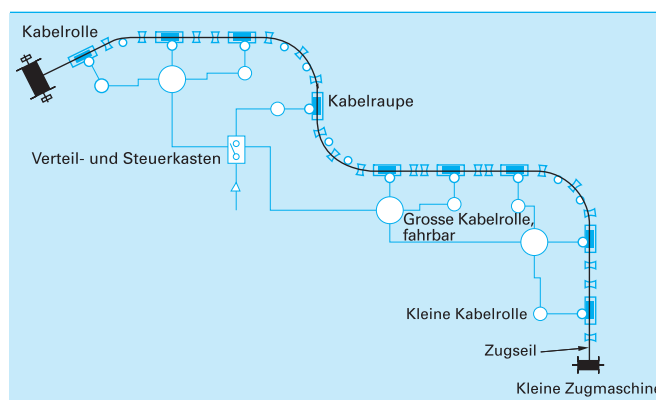
$$+5^\circ\text{C} > -5^\circ\text{C}$$

Alle vier Bedingungen sind erfüllt.

Variante mit Höhenunterschied Abschnitt 2...3 : $h = +20$ m

$$\begin{aligned} \text{Zugrafterhöhung: } m \cdot g \cdot h &= 100 \text{ N} \cdot 20 = 2000 \text{ N} \\ F &= 8215 + 2000 = 10215 \text{ N} \end{aligned}$$

Die vier Bedingungen bleiben erfüllt.



Verlegebeispiel mit Kabelraupen. Einsatz in Gräben, Stollen, Kabelkanälen, Briport.