

Nieder- und Mittelspannungskabel Produktkatalog

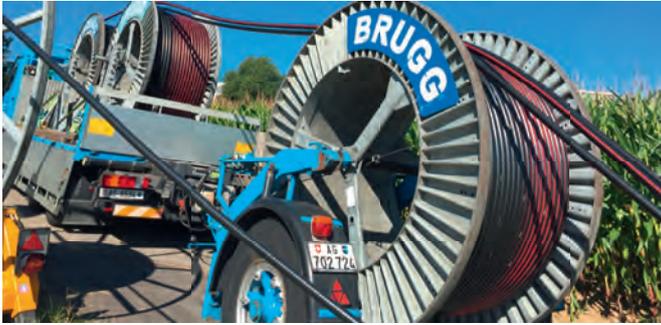


Referenzen	3
Referenzprojekte	4
Referenzen	4
NS-Kabel	7
Allgemeine Informationen	9
Niederspannungs-Netzkabel	9
NS-Energiekabel, Cu	10
GKN 1-Leiter NS-Polymerkabel 1/0.6kV	10
GKN 4-Leiter NS-Polymerkabel 1/0.6kV	11
NS-Energiekabel, Al	12
GKN 1-Leiter Alrm NS-Polymerkabel 1/0.6kV	12
GKN 4-Leiter Alrm NS-Polymerkabel 1/0.6kV	13
GKN 4-Leiter Alse NS-Polymerkabel 1/0.6kV	14
Flexible Trafokabel	15
PURWIL TrafoCable mit Mantel (TN-C)	15
PURWIL TrafoCable bandiert (TN-C)	16
G-Seil EPR 4x1xEinleiter (TN-C)	17
MS-Kabel	19
Allgemeine Informationen	20
Mittelspannungskabel	20
MS-Kabel, Cu	22
XKDT 1-Leiter MS-Polymerkabel 20/12kV	22
XKDT-YT 3-Leiter MS-Polymerkabel 20/12kV	24
XKDT-Y 3-Leiter MS-Polymerkabel 20/12kV	25
XD-ALT 1-Leiter MS-Polymerkabel 20/12kV	26
XD-ALT-YT 3-Leiter MS-Polymerkabel 20/12kV	28
MS-Kabel, Al	30
XKDT Alrm 1-Leiter MS-Polymerkabel 20/12kV	30
XKDT-YT Alrm 3-Leiter MS-Polymerkabel 20/12kV	32
XKDT-Y Alrm 3-Leiter MS-Polymerkabel 20/12kV	33
XD-ALT Alrm 1-Leiter MS-Polymerkabel 20/12kV	34
XD-ALT-YT Alrm 3-Leiter MS-Polymerkabel 20/12kV	36
NS-MS Zubehör	39
Allgemeine Informationen	40
NS/MS-Zubehör	40
Wissenswertes	43
Allgemeine Informationen	44
Brandschutz bei Kabeln	44
Kabeldimensionierung	46
Transport und Verlegung	58
Prüfungen	66
Materialkonstanten	67
SI-Einheiten	68

Referenzen

Referenzen

Verkabelung Mittelspannungs- Freileitung



Kundennutzen

- Höhere Versorgungssicherheit
- Weniger Unterhalt
- Wirtschaftlicher Betrieb

Herausforderung

- Kabelverlegung in z.T. sehr anspruchsvoller Umgebung

Brugg-Lösungen

- Längs- und querwasserdichtes Mittelspannungskabel mit einem Aluminiumschichtenmantel inkl. der zugehörigen Garnituren

Erbrachte Leistung

- Materiallieferung
- Unterstützung bei der Kabelverlegung

Produkte und Dienstleistungen

- 13500 m XD-ALT 1x500/50AL
- Diverse Zubehörmaterialien
- Auslegung der Verankerungsbriden um ein Abrutschen der Kabel zu verhindern

Aufgrund der Erneuerung der Netzinfrastruktur im Versorgungsgebiet hat unser Elektrizitätswerkscunde 13.5 Kilometer Mittelspannungsfreileitungen mit einem Kabel vom Typ XD-ALT unterirdisch verkabelt. Durch dieses Projekt wurde die Versorgungssicherheit in der Region erhöht, da es durch Umwelteinflüsse immer wieder zu Schäden an der Freileitung gekommen ist.

Seeverkabelung



Kundennutzen

- Einfache Installation
- Weniger Unterhalt
- Wirtschaftlicher Betrieb

Herausforderung

- Hohe mechanische Beanspruchung der Kabel

Brugg-Lösungen

- Spezialaufbau mit doppeltem Kabelmantel und zusätzlichem Aluminiumschichtenmantel
- Spezielle Erdungsmaterialien

Erbrachte Leistung

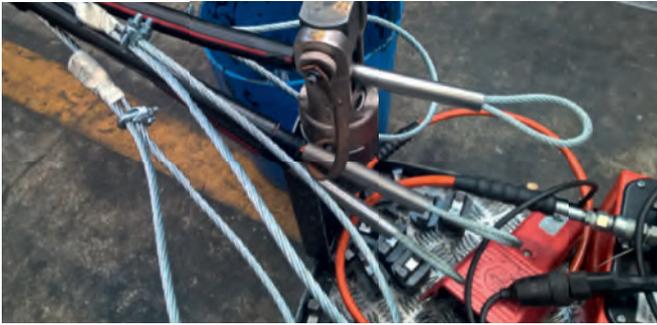
- Entwicklung Kabeldesign
- Technische Beratung und Schulung bei der Montage

Produkte und Dienstleistungen

- Niederspannungskabel NN-ALN in diversen Querschnitten
- Garnituren mit speziellen Erdungsanbindungen

Bis 2016 wurde in der Rotsee Naturarena für TV-Grossleinwände, Zeitmessungen, Catering, VIP-Zelte sowie die TV-Liveübertragungen die Energiekabel provisorisch dem See entlang verlegt. Auf Anfrage, designte und produzierte Brugg Cables Seekabel vom Typ NN-ALN, welche direkt in den See eingeschwemmt werden konnten. Mit dieser Lösung werden zukünftige Installationsarbeiten auf ein Minimum reduziert, was für den Endkunden eine massive Reduktion der Kosten zur Folge hat.

Erneuerung der Energieversorgung im Strassentunnel



Kundennutzen

- Hohe Sicherheit bei der Kabelverlegung
- Sicherer Betrieb

Herausforderung

- Extreme mechanische Belastungen
- Raue Umgebungsbedingungen

Brugg-Lösungen

- XKDT-YT 3x1x50/16mm² mit 3 zusätzlich verseilten 9mm Stahlseilen

Erbrachte Leistung

- Engineering
- Erstellung von Seilschlaufen an den Zugseilen
- Lieferung

Produkte und Dienstleistungen

- XKDT-YT 3x1x50/16mm²+3x9mm Stahlseile

Die 15-kV Versorgungsleitungen im Gotthardstrassentunnel wurden erneuert. Dabei wurden Mittelspannungskabel bis zu einer max. Länge von 900m senkrecht vom Strassentunnel nach Andermatt in verschiedene Schachtköpfe gezogen. Um diesen sehr hohen Zugkräften während des Kabelzugs standzuhalten und den langjährigen, sicheren Betrieb zu gewährleisten, designte und produzierte Brugg Cables ein spezielles Kabel. Typ: XKDT-YT 3x1x50/16mm²+3x9mm Stahlseile. Dank der Zusammenarbeit zwischen Brugg Cables und der Brugg Lifting wurde für den Kunden eine einfache und sichere Lösung realisiert.

Verkabelung Nationalstrasse



Kundennutzen

- Verlegung in einer Länge
- Günstig dank Alu Kabel
- Strom im Tunnel

Herausforderung

- Trasse Länge 2200 m
- Zufahrt
- Tunnel

Brugg-Lösungen

- Alu Kabel
- Lieferung mit 3 Verlege-Wagen
- Überwachung

Erbrachte Leistung

- Grundidee / Berechnungen
- Lieferung Kabel
- Verlegewagen
- Unterstützung bei der Kabelverlegung

Produkte und Dienstleistungen

- XKDT 20 kV 1x400 mm² Alrm
- Verlegewagen
- Überwachung und Beihilfe zur Verlegung

Das Projekt wurde von der BKW für die Nationalstraßen geplant. Brugg machte ein Angebot für mehrere Kabelstrecken an die ausführende Verlege-Unternehmung. Die Verlege-Unternehmung hat das Projekt mit Produkten von Brugg Cables gewonnen. In Zusammenarbeit (BKW, Verlege-Unternehmung und Brugg Cables) wurde nach einer Begehung die Verlegung organisiert und das Projekt erfolgreich durchgeführt.

NS-Kabel

Niederspannungs-Netzkabel

Allgemeine Informationen

Sie dienen vorwiegend der Übertragung elektrischer Energie in Niederspannungsnetzen und werden in der Schweiz zu 90 % in Kunststoff-Rohranlagen eingezogen. Ihr Einsatzgebiet liegt im Spannungsbereich grösser 50 V bis 1000 V. Standardmässig werden Ausführungen mit 1-, und 4-Leitern produziert. Das Ceanderkabel, bei welchem der PEN-Leiter wellenförmig aufgebracht ist, wird mit zwei gelben Längsstreifen gekennzeichnet.

Kabelkonstruktion und Werkstoffe

Die Leiter der Polymerkabel bestehen aus Kupfer oder Aluminium. Bis zu 10 mm² werden in der Regel eindrätige und ab 16 mm² mehrdrätige Rundleiter verwendet. Bei den 4-Leiter-Kabeln werden für Cu-Querschnitte ab 95 mm² auch eindrätige sektorförmige Aluminiumleiter eingesetzt (150 Alse und 240 Alse).

Die Leiterisolation besteht aus vernetztem EPR. Netzkabel erhalten vorschriftsgemäss eine metallische Umhüllung als Personenschutz.

Beim Ceanderkabel wird die Armierung durch den vierten Leiter, den konzentrischen Aussenleiter (PEN-Leiter), ersetzt. Er besteht aus einer Lage von Rundkupferdrähten, die konzentrisch um die Polleiter angeordnet sind. Die Rundkupferdrähte werden sinuslinienförmig aufgebracht, für die elektrische Querverbindung mit einem Kupferband miteinander verbunden und mit einem Aussenmantel vor Korrosion geschützt.

Normen

In der Schweiz haben die Niederspannungs-Netzkabel den Regeln des Electrosuisse (SEV Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik) und CENELEC (Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung) HD 603 zu entsprechen.

Kurzbezeichnung Niederspannungs-Netzkabel in der Schweiz

Um dem Fachmann den Umgang mit den verschiedenen Kabeltypen und Kabelausführungen zu erleichtern, wurden für die hauptsächlichsten Kabelkonstruktionen Kurzbezeichnungen eingeführt.

Leiterisolation

- G vernetzter Gummi (EPR), halogenfrei
- X vernetztes Polyethylen (XLPE), halogenfrei

Abschirmung

- K konzentrischer Aussenleiter (PEN-Leiter) bei Ceanderkabeln

Aussenmantel

- N halogenfreies PE oder schwerbrennbares, halogenfreies, Brand-nicht-fortleitendes Material

Leiterzahl, -querschnitt, -material und -aufbau

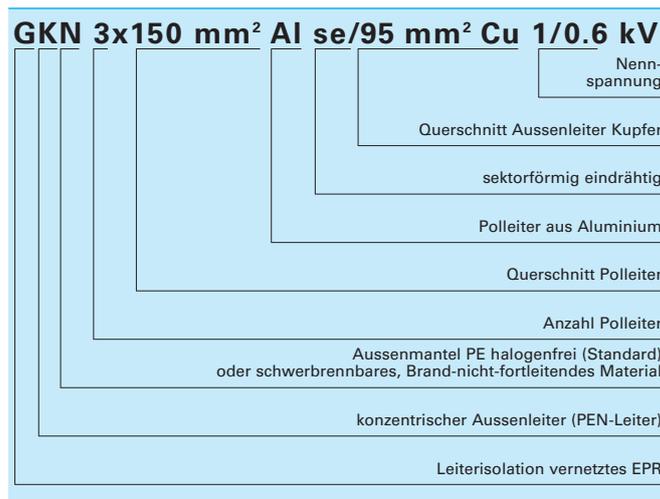
Nach dem Kabeltyp folgen Angaben über Anzahl, Querschnitt, Material (bei Aluminiumleiter folgt der Zusatz Al) und Aufbau der Leiter. Haben Kabel einen konzentrischen Aussenleiter (PEN-Leiter), wird dieser Querschnitt mit einem Schrägstrich (/) getrennt.

Ergänzende Kurzzeichen

mm ²	Leiterquerschnitt in Quadratmillimeter
rm	runde Leiter, mehrdrätig (Normalausführung, Angabe nicht erforderlich)
re	runde Leiter, eindrätig
se	sektorförmige Leiter, eindrätig
Cu	Kupfer als Leitermaterial (Normalausführung, Angabe nicht erforderlich)
Al	Aluminium als Leitermaterial
kV	Nennspannung in Kilovolt

Beispiel

Vierleiter-Niederspannungs-Polymer-Netzkabel (Ceanderkabel)



Sondertypen

Auf Anfrage werden auch Sondertypen hergestellt, welche gemäss Kundenwunsch konstruiert und produziert werden.

GKN 1-Leiter NS-Polymerkabel 1/0.6kV

GKN

Ceanderkabel

Aufbau

- Kupferleiter, verseilt
- Leiterisolation aus EPR, vernetzt
- konzentrischer Aussenleiter aus Kupferdrähten mit Kupferwendel
- Aussenmantel aus PE, halogenfrei, schwarz mit zwei gelben Längsstreifen
- Aderfarbe: L schwarz
- UV beständig

Anwendung

In Verteilnetzen und Industrieanlagen. Verlegung in Rohranlagen, in Innenräumen, Kabelkanälen und im Erdreich. Der PE-Mantel garantiert sehr gute Isolationswerte im Betrieb, ist verschleissfest und damit optimal für die Verlegung. Das passende Zubehör finden Sie im Kapitel Zubehör.

Normen

HD 603, Part 7, Section E (2004)
CPR Brandklasse Fca



Technische Daten

Artikel-Nr.	Querschnitt mm ²	Durchmesser mm	Gewicht kg/100 m	Wechselstromwiderstand bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Reaktanz bei 50 Hz Ω/km	Impedanz bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Kapazität bei 50 Hz µF/km	min. Biegeradius bei Verlegung mm	min. Biegeradius bei Installation mm	max. zulässige Zugkraft kN	Brandlast MJ/m
53378	1x150/50	28	225	0.145	0.097	0.174	0.483	350	250	9.0	12.3
58293	1x240/80	33	340	0.089	0.093	0.129	0.489	400	300	14.4	16.4
45994	1x300/100	35	440	0.072	0.093	0.118	0.489	450	300	18.0	17.8

Belastbarkeit

Verlegung	im Rohr in Erde					in Luft		
	Dauerlast		Industrielast		Notbetrieb ¹	Dauer- oder Industrielast		Notbetrieb ¹
	60 °C	90 °C	60 °C	90 °C		60 °C	90 °C	
Betriebsart Leitertemperatur Erdung Querschnitt mm ²								
	A	A	A	A	A	A	A	A
1x150/50	276	346 ²	295	383	430	326	474	547
1x240/80	354	431 ²	380	496	558	433	632	732
1x300/100	396	483 ²	426	559	630	481	704	817

¹ Notbetrieb während höchstens 8h/Tag und 100h/Jahr (Rohrtemperatur darf 50 °C übersteigen)

² Begrenzung durch Rohroberflächentemperatur von 50 °C

Angaben über Spannungsabfall, Transport, Verlegung, Montage und Prüfungen siehe Kapitel "Technische Informationen"

GKN 4-Leiter NS-Polymerkabel 1/0.6kV

GKN

Ceanderkabel

Aufbau

- Kupferleiter bis 10 mm² eindrätig, ab 16 mm² verseilt
- Leiterisolation aus EPR, vernetzt
- drei isolierte Leiter miteinander verseilt
- Polster aus Gummiregenerat
- konzentrischer Aussenleiter aus Kupferdrähten mit Kupferwendel
- Aussenmantel aus PE, halogenfrei, schwarz mit zwei gelben Längsstreifen
- Aderfarben: 3x6/6 mm², 3x10/10 mm², 2LN oder 3L ab 3x16/16 mm², 3L
- UV beständig

Anwendung

In Verteilnetzen und Industrieanlagen. Verlegung in Rohranlagen, in Innenräumen, Kabelkanälen und im Erdreich. Der PE-Mantel garantiert sehr gute Isolationswerte im Betrieb, ist verschleissfest und damit optimal für die Verlegung. Das entsprechende Zubehör finden Sie im Kapitel Zubehör.

Normen

HD 603, Part 7, Section E (2004)
CPR Brandklasse Fca



Technische Daten

Artikel-Nr.	Querschnitt mm ²	Durchmesser mm	Gewicht kg/100 m	Wechselstromwiderstand bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Reaktanz bei 50 Hz Ω/km	Impedanz bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Kapazität bei 50 Hz μF/km	min. Biegeradius bei Verlegung mm	min. Biegeradius bei Installation mm	max. zulässige Zugkraft kN	Brandlast MJ/m
61174 ¹	3x6/6 2LN	17	48	3.564	0.085	3.564	0.136	200	150	0.7	6.5
58321 ²	3x6/6 3L	17	48	3.564	0.085	3.564	0.136	200	150	0.7	6.5
61176 ¹	3x10/10 2LN	19	69	2.118	0.080	2.120	0.146	200	150	1.2	7.7
58496 ²	3x10/10 3L	19	69	2.118	0.080	2.120	0.146	200	150	1.2	7.7
58483	3x16/16	22	97	1.331	0.075	1.333	0.155	250	150	1.9	9.4
47582	3x25/25	26	145	0.842	0.075	0.845	0.158	300	200	3.0	12.1
47583	3x50/50	32	257	0.449	0.072	0.455	0.166	350	200	6.0	17.0
58477	3x95/95	41	455	0.225	0.070	0.236	0.174	450	250	11.4	26.6
47732	3x150/150	50	703	0.146	0.070	0.162	0.174	550	300	18.0	40.5
61134	3x240/240	62	1090	0.091	0.069	0.114	0.175	650	400	28.8	62.4

Belastbarkeit

Verlegung Betriebsart Leitertemperatur Erdung Querschnitt mm ²	Dauerlast		im Rohr in Erde Industriellast		Notbetrieb ³ 110 °C	in Luft		
	60 °C	90 °C	60 °C	90 °C		Dauer- oder Industriellast 60 °C	90 °C	Notbetrieb ³ 110 °C
	A	A	A	A	A	A	A	A
3x6/6	38	49	39	51	57	38	55	63
3x10/10	52	67	53	69	77	53	75	86
3x16/16	68	88	71	91	102	71	101	116
3x25/25	89	115	93	119	133	94	134	153
3x50/50	130	168	135	175	195	140	199	229
3x95/95	196	254	206	266	297	218	312	358
3x150/150	252	326	266	344	384	287	409	470
3x240/240	333	432	353	459	514	385	552	634

¹ Aderfarbe: schwarz / rot / blau

² Aderfarbe: schwarz / rot / weiss

³ Notbetrieb während höchstens 8h/Tag und 100h/Jahr (Rohrtemperatur darf 50 °C übersteigen)

Angaben über Spannungsabfall, Transport, Verlegung, Montage und Prüfungen siehe Kapitel "Technische Informationen"

Technische Änderungen jederzeit vorbehalten.

20170628-1

GKN 1-Leiter Alrm NS-Polymerkabel 1/0.6kV

GKN

Ceanderkabel

Aufbau

- Aluminiumleiter, verseilt
- Leiterisolation aus EPR, vernetzt
- konzentrischer Aussenleiter aus Kupferdrähten mit Kupferwendel
- Aussenmantel aus PE, halogenfrei, schwarz mit zwei gelben Längsstreifen
- Aderfarbe: L schwarz
- UV beständig

Anwendung

In Verteilnetzen und Industrieanlagen.
Verlegung in Rohranlagen, in Innenräumen, Kabelkanälen und im Erdreich.
Der PE-Mantel garantiert sehr gute Isolationswerte im Betrieb, ist verschleissfest und damit optimal für die Verlegung.

Normen

HD 603, Part 7, Section E (2004)
CPR Brandklasse Fca

Bemerkungen

Das passende Zubehör finden Sie im Kapitel Zubehör.



Technische Daten

Artikel-Nr.	Querschnitt mm ²	Durchmesser mm	Gewicht kg/100 m	Wechselstromwiderstand bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Reaktanz bei 50 Hz Ω/km	Impedanz bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Kapazität bei 50 Hz µF/km	min. Biegeradius bei Verlegung mm	min. Biegeradius bei Installation mm	max. zulässige Zugkraft kN	Brandlast MJ/m
53381	1x150Alrm/32	26	114	0.240	0.097	0.259	0.448	320	210	4.5	11.4
53382	1x240Alrm/50	31	168	0.147	0.094	0.174	0.534	375	250	7.2	15.2
53384	1x300Alrm/62	34	219	0.118	0.091	0.149	0.560	410	275	9.0	17.4
53383	1x400Alrm/80	38	270	0.092	0.089	0.128	0.594	460	305	12.0	21.1

Belastbarkeit

Verlegung	 im Rohr in Erde					 in Luft			
	Dauerlast		Industrielast		Notbetrieb ¹ 110 °C	Dauer- oder Industrielast		Notbetrieb ¹ 110 °C	
	60 °C	90 °C	60 °C	90 °C		60 °C	90 °C		
Betriebsart Leitertemperatur Erdung Querschnitt mm ²									
	A	A	A	A	A	A	A	A	
1x150Alrm/32	211	273 ²	224	290	304	244	351	404	
1x240Alrm/50	279	361 ²	298	386	403	340	491	566	
1x300Alrm/62	313	405 ²	334	434	453	388	561	648	
1x400Alrm/80	356	464 ²	382	498	519	452	656	758	

¹ Notbetrieb während höchstens 8h/Tag und 100h/Jahr (Rohrtemperatur darf 50 °C übersteigen)

² Begrenzung durch Rohroberflächentemperatur von 50 °C

Weitere Informationen siehe Dokument Kabeldimensionierung, Kapitel 3.6 Bedingungen für die Berechnung der Belastbarkeiten.

GKN 4-Leiter Alrm NS-Polymerkabel 1/0.6kV

GKN

Ceanderkabel mit Aluminiumleiter

Aufbau

- Aluminiumleiter verseilt
- Leiterisolation aus EPR, vernetzt
- drei isolierte Leiter miteinander verseilt
- Polster aus Gummiregenerat
- konzentrischer Aussenleiter aus Kupferdrähten mit Kupferwendel
- Aussenmantel aus PE, halogenfrei, schwarz mit zwei gelben Längsstreifen
- Aderfarben: 3L
- UV beständig

Anwendung

In Verteilnetzen und Industrieanlagen.
Verlegung in Rohranlagen, in Innenräumen, Kabelkanälen und im Erdreich.
Der PE-Mantel garantiert sehr gute Isolationswerte im Betrieb, ist verschleissfest und damit optimal für die Verlegung.

Normen

HD 603, Part 7, Section E (2004)
CPR Brandklasse Fca

Bemerkungen

Das entsprechende Zubehör finden Sie im Kapitel Zubehör.



Technische Daten

Artikel-Nr.	Querschnitt mm ²	Durchmesser mm	Gewicht kg/100 m	Wechselstromwiderstand bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Reaktanz bei 50 Hz Ω/km	Impedanz bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Kapazität bei 50 Hz μF/km	min. Biegeradius bei Verlegung mm	min. Biegeradius bei Installation mm	max. zulässige Zugkraft kN	Brandlast MJ/m
61150	3x95Alrm/50	38	215	0.372	0.071	0.379	0.174	400	250	5.7	25.4
61151	3x150Alrm/95	48	340	0.240	0.071	0.250	0.174	500	300	9.0	38.3
61152	3x240Alrm/150	60	534	0.147	0.070	0.163	0.175	600	400	14.4	60.2

Belastbarkeit

Verlegung Betriebsart Leitertemperatur Erdung Querschnitt mm ²	Dauerlast		im Rohr in Erde Industrielast		Notbetrieb ¹ 110 °C	in Luft Dauer- oder Industrielast		Notbetrieb ¹ 110 °C
	60 °C	90 °C	60 °C	90 °C		60 °C	90 °C	
3x95Alrm/50	150	193	157	203	227	165	240	271
3x150Alrm/95	196	253	206	266	298	221	318	365
3x240Alrm/150	264	340	280	360	401	303	435	498

¹ Notbetrieb während höchstens 8h/Tag und 100h/Jahr (Rohrtemperatur darf 50 °C übersteigen)

Angaben über Spannungsabfall, Transport, Verlegung, Montage und Prüfungen siehe Kapitel "Technische Informationen"

GKN 4-Leiter Alse NS-Polymerkabel 1/0.6kV

GKN Alse

Ceanderkabel mit Aluminiumleiter

Aufbau

- Aluminiumleiter, eindrätig, sektorförmig
- Leiterisolation aus EPR, vernetzt
- drei isolierte Leiter miteinander verseilt
- Polster aus Gummiregenerat
- konzentrischer Aussenleiter aus Kupferdrähten mit Kupferwendel
- Aussenmantel aus PE, halogenfrei, schwarz mit zwei gelben Längsstreifen
- Aderfarben: 3L
- UV beständig

Anwendung

In Verteilnetzen und Industrieanlagen.
Verlegung in Rohranlagen, in Innenräumen, Kabelkanälen und im Erdreich.
Der PE-Mantel garantiert sehr gute Isolationswerte im Betrieb, ist verschleissfest und damit optimal für die Verlegung.
Das entsprechende Zubehör finden Sie im Kapitel Zubehör.

Normen

HD 603
CPR Brandklasse Fca



Technische Daten

Artikel-Nr.	Querschnitt mm ²	Durchmesser mm	Gewicht kg/100 m	Wechselstromwiderstand bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Reaktanz bei 50 Hz Ω/km	Impedanz bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Kapazität bei 50 Hz μF/km	min. Biegeradius bei Verlegung mm	min. Biegeradius bei Installation mm	max. zulässige Zugkraft kN	Brandlast MJ/m
61127	3x150Alse/95	42	299	0.239	0.077	0.251	0.154	450	300	9.0	26.5
58458	3x240Alse/150	50	474	0.145	0.076	0.164	0.155	550	300	14.4	38.5

Belastbarkeit

Verlegung Betriebsart Leitertemperatur Erdung Querschnitt mm ²	Dauerlast		im Rohr in Erde			in Luft		
	60 °C	90 °C	Industrielast		Notbetrieb ¹	Dauer- oder Industrielast		Notbetrieb ¹
	60 °C	90 °C	60 °C	90 °C	110 °C	60 °C	90 °C	110 °C
	A	A	A	A	A	A	A	A
3x150Alse/95	195	251	204	264	296	220	316	363
3x240Alse/150	262	339	277	359	401	301	432	496

¹ Notbetrieb während höchstens 8h/Tag und 100h/Jahr (Rohrtemperatur darf 50 °C übersteigen)

Angaben über Spannungsabfall, Transport, Verlegung, Montage und Prüfungen siehe Kapitel "Technische Informationen"

PURWIL TrafoCable mit Mantel (TN-C)

23_1_1_2

Flexibles, symmetrisch angeordnetes, verseiltes 4x1-Einleiter-Polyurethankabel (EPR/PUR)

- bandiert
- PUR Polyurethan Aussenmantel

S1BQ-F

Entscheidende Vorteile

- **Massive Verbesserung der EMV** in der gesamten Elektroinstallation
- Keine Induktionsströme in benachbarte Metallkonstruktionen und Datenkabel, etc.
- **geringe EMF-Abstrahlung**
- keine "Brummeffekte"
- Perfektes, symmetrisches System
- Weniger Leitungsverluste
- Geringe Kurzschlusskräfte
- Installationsfreundlich
- Halogenfrei und flammwidriges Kabel

Anwendung

- Induktionsfreie und stahlungsarme Sekundärabgänge bei Transformatoren
- Spital-, Büro-, Gewerbe- und Industriebauten
- Forschung und Entwicklung
- Pharma und Chemie
- Öffentliche Gebäude
- Rechenzentren
- Generell ab ca. 150A Strombelastung

Aufbau

- Cu-Leiter flex Kl. 5 (IEC 60228), feindrätig
- EPR Isolation, schwarz, nummeriert
- symmetrisch verseilt

Beschreibung

- Betriebsspannung U_0/U 600/1000 V
- Min. Biegeradius:
mit Zugbelastung $15 \times D$,
fest verlegt $6 \times D$

Temperaturbereich

-40° ... +90°C

Mantelfarbe

Grau, ähnlich RAL 7011

Normen

IEC 60228 Cu-Leiter Kl.5
Ader in Anlehnung an DIN VDE 0250-602
SEV TP20B/3C
IEC 60332-1 Flammwidrigkeit
IEC 60754-1 Halogenfreiheit
IEC 60754-2 Korrosivität der Brandgase
CPR Brandklasse Eca

Bemerkungen

Passendes Zubehör siehe "Übersicht Zubehör
PURWIL-Einleiterkabel"

**Technische Daten**

Querschnitt mm ²	Artikel-Nr.	Aderfarbe	Ø d1 ca. mm	Ø D ca. mm	Cu-Zahl kg/km	Gewicht kg/km	Brandlast MJ/m
4x150	23500	schwarz	21.8	60.3	5760	6700	54.7
4x185	23501	schwarz	24.2	66.0	7104	8370	63.7
4x240	23502	schwarz	27.8	75.1	9216	10630	75.7
4x300	23503	schwarz	30.2	81.6	11520	13120	95.0

Elektrische Daten (max. Strombelastung bei Verlegung in Luft 30°C)

Querschnitt mm ²	AC-Widerstand bei 60°C, 50 Hz Ω/km	Reaktanz bei 50 Hz Ω/km	Impedanz Z bei 60°C, 50 Hz Ω/km	max. Belastung bei 60°C Leitertemp. A	max. Belastung bei 90°C Leitertemp. A
4x150	0.146	0.080	0.167	285	405
4x185	0.117	0.080	0.142	327	463
4x240	0.090	0.080	0.120	388	549
4x300	0.073	0.080	0.108	440	624

Für höhere Strombelastungen dürfen mehrere Leitungen parallel verlegt werden.

PURWIL TrafoCable bandiert (TN-C)

23_1_1

Flexibles, symmetrisch verseiltes 4x1-Einleiter-Polyurethankabel (EPR/PUR)**Temperaturbereich**

-40°C ... +90°C

CH-S1BQ-F

Anwendung

- Induktionsfreie und strahlungsarme Sekundärverkabelung von Transformatoren (TN-C)
- Installationskabel für TN-C Verbindungen

Aufbau

- Cu-Leiter flex Kl. 5 (IEC 60228), feindrahtig
- EPR Isolation, schwarz
- PUR Polyurethan Adermantel
- 4 Einleiter verseilt; 4L nummeriert
- bandiert

Beschreibung

- Reduziert die Montagezeit
- Geringe EMF - Abstrahlung
- Hohe Kurzschlussfestigkeit zwischen den Phasenleitern
- Min. Biegeradius:
mit Zugbelastung 15 x D,
ohne Zugbelastung 10 x D

Mantelfarbe

Grau, ähnlich RAL 7011

Normen

IEC 60754-2 Korrosivität der Brandgase
IEC 60754-1 Halogenfreiheit
SEV TP20B/3C
CPR Brandklasse Fca

Bemerkungen

Passendes Zubehör siehe "Übersicht Zubehör
PURWIL-Einleiterkabel"

**Technische Daten**

Querschnitt mm ²	Artikel-Nr.	Aderfarbe	Ø d1 ca. mm	Ø D ca. mm	Cu-Zahl kg/km	Gewicht kg/km	Brandlast MJ/m
4x1x150	23481	schwarz	25.0	60.7	5760	6312	41.8
4x1x185	23479	schwarz	27.6	66.9	7104	7910	47.3
4x1x240	23480	schwarz	31.6	76.6	9216	10132	60.6
4x1x300	23485	schwarz	34.4	83.4	11520	12540	75.6

Elektrische Daten (max. Strombelastung bei Verlegung in Luft 30°C)

Querschnitt mm ²	AC-Widerstand bei 60°C, 50 Hz Ω/km	Reaktanz bei 50 Hz Ω/km	Impedanz Z bei 60°C, 50 Hz Ω/km	max. Belastung bei 60°C Leitertemp. A	max. Belastung bei 90°C Leitertemp. A
4x1x150	0.146	0.080	0.167	315	455
4x1x185	0.117	0.080	0.142	352	511
4x1x240	0.090	0.079	0.120	422	614
4x1x300	0.073	0.079	0.108	483	704

G-Seil EPR 4x1xEinleiter (TN-C)

23_2_1

Flexible, verseilte G-Seile, EPR vernetzt

NormenSEV TP20B/3C
CPR Brandklasse Fca**Anwendung**

- Sekundärabgänge bei Transformatoren
- Verlegung in trockenen Räumen

Aufbau

- Cu-Leiter flex Kl. 5 (IEC 60228), feindrätig
- EPR Isolation, schwarz
- 4 Einleiter verseilt; 4L nummeriert, bandiert

Beschreibung

- Reduziert die Montagezeit
- Geringe EMF - Abstrahlung
- Hohe Kurzschlussfestigkeit zwischen den Phasenleitern
- Min. Biegeradius:
mit Zugbelastung 15 x D,
ohne Zugbelastung 10 x D

Temperaturbereich

-40°C ... +90°C

Bemerkungen

Passendes Zubehör siehe "Übersicht Zubehör PURWIL-Einleiterkabel"

**Technische Daten**

Querschnitt mm ²	Artikel-Nr.	Aderfarbe	Ø d1 ca. mm	Ø D ca. mm	Cu-Zahl kg/km	Gewicht kg/km	Brandlast MJ/m
4x185	23476	schwarz	24.2	58.5	7104	7260	29.1
4x240	23477	schwarz	27.8	67.5	9216	9300	35.6
4x300	23471	schwarz	30.2	73.3	11520	11540	44.4

Elektrische Daten (max. Strombelastung bei Verlegung in Luft 30°C)

Querschnitt mm ²	AC-Widerstand bei 60°C, 50 Hz Ω/km	Reaktanz bei 50 Hz Ω/km	Impedanz Z bei 60°C, 50 Hz Ω/km	max. Belastung bei 60°C Leitertemp. A	max. Belastung bei 90°C Leitertemp. A
4x185	0.118	0.072	0.138	322	471
4x240	0.091	0.071	0.115	387	567
4x300	0.074	0.071	0.103	443	651

MS-Kabel

Mittelspannungskabel

Allgemeine Informationen

Die Betriebsspannung dieser Kabel ist über 1000 V bis 36 kV. Sie dienen der Übertragung elektrischer Energie und werden in Verteil- und Industrienetzen eingesetzt. Die Verlegung erfolgt hauptsächlich in Kunststoff-Rohranlagen, direkt in Erde, in Innenräumen, in Kabelkellern, auf Kabelpörschen oder in Kabelkanälen. Sie werden in Ein- oder Dreileiter-Ausführung hergestellt.

Kabelkonstruktion und Werkstoffe

Die Mittelspannungs-Polymerkabel haben runde Leiter, bestehend aus Kupfer oder Aluminium. Die Leiter werden in mehrdrätiger Ausführung angeboten.

Die Leiterisolation besteht aus vernetztem XLPE. Die Isolation wird mit den inneren und äusseren halbleitenden Feldsteuerungsschichten im gleichen Arbeitsgang extrudiert und fest verschweisst.

Der äussere Halbleiter zusammen mit einer Lage Rundkupferdrähten – meist in Ceanderform – aufgebracht, bilden die elektrische Abschirmung. Jedem Leiterquerschnitt ist ein entsprechender Schirmquerschnitt zugeordnet, welcher länder- oder kundenspezifisch angepasst werden kann. Für die elektrische Querverbindung der Kupferdrahtabschirmung wird ein Kupferband schraubenförmig aufgebracht.

Die Abschirmung wird mit einem halogenfreien Aussenmantel aus Polyethylen (Standard) oder schwerbrennbarem Material geschützt. Der Aussenmantel ist schwarz und weist in der Schweiz zur Kennzeichnung zwei rote, um 180 ° versetzte Längsstreifen auf.

Drei Einleiterkabel können zusammen zum Dreileiterkabel verseilt und mit einem zusätzlichen Schutzmantel versehen werden. Für Erdbodenverlegungen oder für das mechanische Einziehen können die Kabel eine Zug- und Schutzarmierung aus einer Lage verzinkter Flachstahldrähte erhalten. Zur Kennzeichnung der Kabel wird ein Flachstahldräht durch einen roten Kunststoffkenndraht ersetzt.

Normen

Bei Brugg werden die Mittelspannungskabel nach den Regeln des Electrosuisse (SEV Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik) und CENELEC (Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung) HD 620 S2, Section N, oder nach VDE 0276-620 gefertigt.

Kurzbezeichnung Mittelspannungskabel

Um den Umgang mit den verschiedenen Kabeltypen und Kabelführungen zu erleichtern, wurden für die Kabelkonstruktionen Kurzbezeichnungen eingeführt.

Leiterisolation

G vernetzter Gummi (EPR), halogenfrei
X vernetztes Polyethylen (XLPE), halogenfrei

Abschirmung

K konzentrischer Kupferdrahtschirm
D längswasserdichter Schirmbereich
AL querwasserdichtes Aluminiumband

Aussenmantel

T halogenfreies Polyethylen (PE)
N schwerbrennbares, halogenfreies, Brand-nichtfortleitendes Material

Die Leiterisolation und der Schutzmantel werden durch einen Bindestrich (-) von der Armierung und vom Aussenmantel getrennt.

Y drei Einleiterkabel miteinander verseilt

Schutzmantel

T halogenfreies Polyäthylen (PE)
N schwerbrennbares, halogenfreies, Brand-nichtfortleitendes Material
YT Dreileiter-Kabel mit halogenfreiem PE-Mantel

Armierung

F Zugarmierung aus verzinkten Flachstahldrähten

Leiteranzahl, -querschnitt, -material und -aufbau

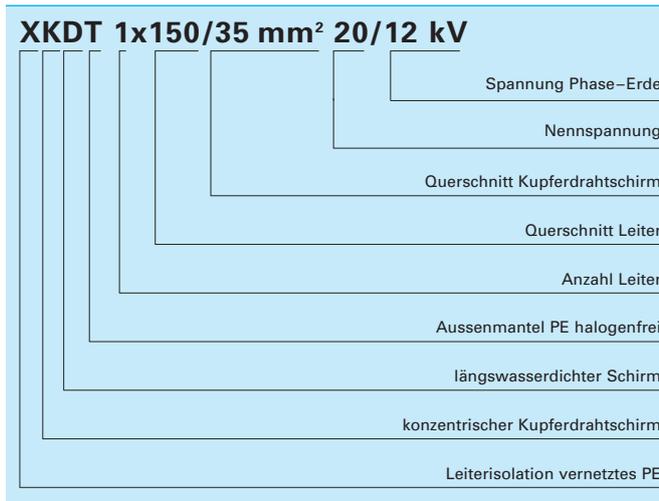
Nach dem Kabeltyp folgen Angaben über Anzahl, Querschnitt, Material (bei Aluminiumleiter folgt der Zusatz Al) und Aufbau der Leiter. Haben Kabel einen konzentrischen Kupferdrahtschirm, wird dessen Querschnitt mit einem Schrägstrich (/) getrennt.

Ergänzende Kurzzeichen

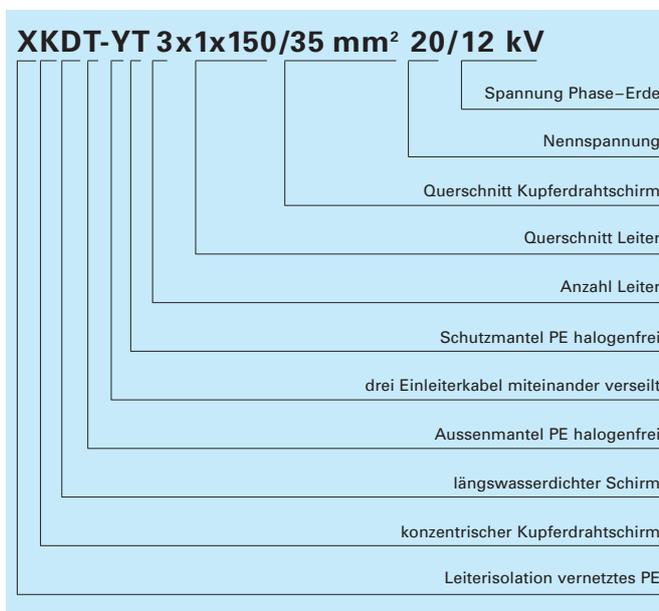
- mm² Leiterquerschnitt in Quadratmillimeter
- rm runde Leiter, mehrdrähtig (Normalausführung, Angabe nicht erforderlich)
- Cu Kupfer als Leitermaterial (Normalausführung, Angabe nicht erforderlich)
- Al Aluminium als Leitermaterial
- kV Nennspannung in Kilovolt

Beispiele

Einleiter-Mittelspannungs-Polymerkabel



Dreileiter-Mittelspannungs-Polymerkabel in Dreieckform



Sondertypen

Auf Anfrage werden auch Sondertypen hergestellt, welche gemäss Kundenwunsch konstruiert und produziert werden.

Technische Änderungen jederzeit vorbehalten.

20170628-1

XKDT 1-Leiter MS-Polymerkabel 20/12kV

XKDT

längswasserdicht

Aufbau

- Kupferleiter, verseilt
- innere Halbleiterschicht, vernetzt
- Isolation aus XLPE, vernetzt
- äussere Halbleiterschicht, vernetzt, fest verschweisst
- Quellband halbleitend
- Abschirmung aus Kupferdrähten mit Kupferwendel
- Quellband isolierend
- Aussenmantel aus PE, halogenfrei, schwarz mit zwei roten Längsstreifen

Innerer Halbleiter, Isolation und äusserer Halbleiter werden in einem Arbeitsgang aufgebracht.

Anwendung

In Verteilnetzen und Industrieanlagen.
Verlegung in Rohranlagen, in Innenräumen, Kabelkanälen oder im Erdreich.
Durch Einbetten des Kupferschirms in Quell-

bänder wird die Längswasserdichtheit gewährleistet.

Der PE-Mantel garantiert sehr gute Isolationswerte im Betrieb, ist verschleissfest und damit optimal für die Verlegung.

Das passende Zubehör finden Sie im Kapitel Zubehör.

Bemerkungen

Bis Leiterquerschnitt 500mm² wird der Kupferdrahtschirm ceanderförmig aufgebracht mit der Kabelbezeichnung: XKDT

ab 500mm² spiralförmig mit der Kabelbezeichnung: XDRCU-T

Normen

HD 620 S2, Part 10, Section N (2010)

CPR Brandklasse Fca



Technische Daten

Artikel-Nr.	Querschnitt mm ²	Durchmesser mm	Gewicht kg/100 m	Wechselstromwiderstand bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Reaktanz bei 50 Hz  Ω/km	Impedanz bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Kapazität bei 50 Hz µF/km	min. Biegeradius bei Verlegung mm	min. Biegeradius bei Installation mm	max. zulässige Zugkraft kN	Brandlast MJ/m
73642	50/16	29	112	0.448	0.139	0.469	0.176	450	350	3.0	20.6
73643	95/25	32	164	0.224	0.125	0.257	0.217	500	400	5.7	24.3
73644	150/35	35	232	0.144	0.117	0.186	0.254	550	450	9.0	28.7
73645	240/35	41	336	0.089	0.109	0.141	0.307	650	500	14.4	36.0
73676	300/35	43	406	0.072	0.107	0.129	0.339	650	550	18.0	43.2
61323	400/50	46	504	0.057	0.103	0.118	0.378	750	600	24.0	47.6
61326	500/50 ¹	50	615	0.046	0.101	0.111	0.413	800	650	30.0	55.6
61329	630/70 ¹	56	783	0.038	0.099	0.106	0.464	850	700	37.8	63.4

Belastbarkeit bei Verlegung im Rohr in Erde

Verlegung ² Betriebsart Leitertemperatur Erdung Querschnitt mm ²	Dauerlast				Industrielast				Notbetrieb ³	
	60 °C		90 °C		60 °C		90 °C		110 °C	
										
50/16	150	149	189 ⁴	189 ⁴	159	159	205	205	229	229
95/25	219	218	269 ⁴	268 ⁴	234	233	302	301	337	335
150/35	283	280	344 ⁴	340 ⁴	305	302	394	390	439	436
240/35	371	364	440 ⁴	432 ⁴	401	394	517 ⁴	508 ⁴	579	571
300/35	427	417	506 ⁴	494 ⁴	465	455	602	590	672	661
400/50	484	465	566 ⁴	544 ⁴	529	509	675 ⁴	650 ⁴	767	745
500/50	546	520	632 ⁴	601 ⁴	599	570	755 ⁴	720 ⁴	871	839
500/50 ²	640		726 ⁴		708		875 ⁴		1015	
630/70	613	566	697 ⁴	643 ⁴	676	625	835 ⁴	773 ⁴	988	930
630/70 ²	731		816 ⁴		813		985 ⁴		1169	

Belastbarkeit bei Verlegung in Luft

Verlegung									
	Dauer- oder Industrielast				Notbetrieb ³		Achsabstand $s = 2 \cdot d$		
	60 °C		90 °C		110 °C		Dauer- oder Industrielast	90 °C	Notbetrieb ³
Betriebsart Leitertemperatur Erdung Querschnitt mm ²	 A	 A	 A	 A	 A	 A	 A	 A	 A
50/16	172	171	245	244	280	280	204	287	328
95/25	259	258	370	368	424	422	309	437	499
150/35	339	335	484	480	556	552	406	574	656
240/35	456	449	654	646	751	743	549	777	888
300/35	525	514	752	740	864	851	631	893	1021
400/50	607	586	872	848	1004	979	735	1043	1194
500/50	697	667	1004	968	1157	1120	849	1206	1382
630/70	805	752	1166	1099	1347	1277	993	1416	1625

¹ Typenbezeichnung "XDRCU-T"

² ausser: Ebene Verlegung, Achsabstand $s=25$ cm

³ Notbetrieb während höchstens 8h/Tag und 100h/Jahr (Rohrtemperatur darf 50 °C übersteigen)

⁴ Begrenzung durch Rohroberflächentemperatur von 50 °C

Angaben über Spannungsabfall, Transport, Verlegung, Montage und Prüfungen siehe Kapitel "Technische Informationen"

Technische Änderungen jederzeit vorbehalten.

20170628-1

XKDT-YT 3-Leiter MS-Polymerkabel 20/12kV

XKDT-YT

längswasserdicht

Aufbau

Einleiterkabel XKDT:

- Kupferleiter, verseilt
- innere Halbleiterschicht, vernetzt
- Isolation aus XLPE, vernetzt
- äussere Halbleiterschicht, vernetzt, fest verschweisst
- Quellband halbleitend
- Abschirmung aus Kupferdrähten mit Kupferwendel
- Quellband isolierend
- Aussenmantel aus PE, halogenfrei, schwarz mit zwei roten Längsstreifen
- drei Einleiterkabel XKDT miteinander verseilt
- Schutzmantel aus PE, halogenfrei, schwarz mit zwei roten Längsstreifen

In innerer Halbleiter, Isolation und äusserer Halbleiter werden in einem Arbeitsgang aufgebracht.

Anwendung

In Verteilnetzen und Industrieanlagen.
Verlegung in Rohranlagen, in Innenräumen, Kabelkanälen oder im Erdreich.
Durch Einbetten des Kupferschirms in Quellbänder wird die Längswasserdichtheit gewährleistet.
Die PE-Mäntel garantieren sehr gute Isolationswerte im Betrieb, sind verschleissfest und damit optimal für die Verlegung.
Das passende Zubehör finden Sie im Kapitel Zubehör.

Normen

HD 620 S2, Part 10, Section N (2010)
CPR Brandklasse Fca



Technische Daten

Artikel-Nr.	Querschnitt	Durchmesser	Gewicht	Wechselstromwiderstand bei 60 °C und 50 Hz	Reaktanz bei 50 Hz	Impedanz bei 60 °C und 50 Hz	Kapazität bei 50 Hz	min. Biegeradius bei Verlegung	min. Biegeradius bei Installation	max. zulässige Zugkraft	Brandlast
	mm ²	mm	kg/100 m	Ω/km	Ω/km	Ω/km	μF/km	mm	mm	kN	MJ/m
61316	50/16	65	375	0.448	0.139	0.469	0.176	800	700	6.0	77.8
61267	95/25	72	533	0.224	0.125	0.257	0.217	900	750	11.4	90.7
61212	150/35	79	745	0.144	0.117	0.186	0.254	950	800	18.0	105.8
61302	240/35	91	1067	0.089	0.109	0.141	0.307	1100	900	28.8	130.3
61308	300/35	98	1314	0.072	0.107	0.129	0.339	1200	1000	36.0	154.0

Belastbarkeit

Verlegung Betriebsart Erdung	Dauerlast		im Rohr in Erde			in Luft		
	Leitertemperatur		Industrielast		Notbetrieb ¹	Dauer- oder Industrielast		Notbetrieb ¹
	60 °C	90 °C	60 °C	90 °C		110 °C	60 °C	
Querschnitt mm ²	A	A	A	A	A	A	A	A
50/16	147	188	156	200	223	168	236	269
95/25	217	279	232	298	332	250	353	403
150/35	275	348 ²	295	380	423	323	456	522
240/35	357	442 ²	385	497	554	429	608	696
300/35	401	491 ²	434	560	626	488	693	794

¹ Notbetrieb während höchstens 8h/Tag und 100h/Jahr (Rohrtemperatur darf 50 °C übersteigen)

² Begrenzung durch Rohroberflächentemperatur von 50 °C

Angaben über Spannungsabfall, Transport, Verlegung, Montage und Prüfungen siehe Kapitel "Technische Informationen"

XKDT-Y 3-Leiter MS-Polymerkabel 20/12kV

XKDT-Y

längswasserdicht

Aufbau

Einleiterkabel XKDT:

- Kupferleiter, verseilt
- innere Halbleiterschicht, vernetzt
- Isolation aus XLPE, vernetzt
- äussere Halbleiterschicht, vernetzt, fest verschweisst
- Quellband halbleitend
- Abschirmung aus Kupferdrähten mit Kupferwendel
- Quellband isolierend
- Aussenmantel aus PE, halogenfrei, schwarz mit zwei roten Längsstreifen
- drei Einleiterkabel XKDT miteinander verseilt

Anwendung

In Verteilnetzen und Industrieanlagen.

Verlegung in Rohranlagen, in Innenräumen, Kabelkanälen oder im Erdreich.

Durch Einbetten des Kupferschirms in Quellbänder wird die Längswasserdichtheit gewährleistet.

Die PE-Mäntel garantieren sehr gute Isolationswerte im Betrieb, sind verschleissfest und damit optimal für die Verlegung.

Das passende Zubehör finden Sie im Kapitel Zubehör.

Normen

HD 620 S2, Part 10, Section N (2010)

CPR Brandklasse Fca



Technische Daten

Artikel-Nr.	Querschnitt mm ²	Durchmesser mm	Gewicht kg/100 m	Wechselstromwiderstand bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Reaktanz bei 50 Hz Ω/km	Impedanz bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Kapazität bei 50 Hz μF/km	min. Biegeradius bei Verlegung mm	min. Biegeradius bei Installation mm	max. zulässige Zugkraft kN	Brandlast MJ/m
47574	50/16	62	343	0.448	0.139	0.469	0.176	750	650	6.0	62.1
47876	95/25	69	502	0.224	0.125	0.257	0.217	850	700	11.4	73.4
47755	150/35	76	710	0.144	0.117	0.186	0.254	950	800	18.0	86.5
46061	240/35	86	1028	0.089	0.109	0.141	0.307	1050	900	28.8	108.6
46062	300/35	94	1242	0.072	0.107	0.129	0.339	1150	950	36.0	130.2

Belastbarkeit

Verlegung Betriebsart Leitertemperatur Erdung Querschnitt mm ²	Dauerlast		im Rohr in Erde			in Luft		
	Industrielast		Industrielast		Notbetrieb ¹	Industrielast		Notbetrieb ¹
	60 °C	90 °C	60 °C	90 °C	110 °C	60 °C	90 °C	110 °C
	A	A	A	A	A	A	A	A
50/16	149	189 ²	159	205	229	171	244	280
95/25	218	268 ²	223	301	335	258	368	422
150/35	280	340 ²	302	390	436	335	480	552
240/35	364	432 ²	394	508	571	449	646	743
300/35	417	494 ²	455	590	661	514	740	851

¹ Notbetrieb während höchstens 8h/Tag und 100h/Jahr (Rohrtemperatur darf 50 °C übersteigen)

² Begrenzung durch Rohroberflächentemperatur von 50 °C

Angaben über Spannungsabfall, Transport, Verlegung, Montage und Prüfungen siehe Kapitel "Technische Informationen"

XD-ALT 1-Leiter MS-Polymerkabel 20/12kV

XD-ALT

längs- und querwasserdicht

Aufbau

- Kupferleiter, verseilt
- innere Halbleiterschicht, vernetzt
- Leiterisolation aus XLPE, vernetzt
- äussere Halbleiterschicht, vernetzt, fest verschweisst
- Quellband halbleitend
- Abschirmung aus Aluminiumband
- Aussenmantel aus PE, halogenfrei, schwarz mit zwei roten Längsstreifen

Besonderheit

Das Aluminiumband, das bei der Extrusion einseitig mit dem Schutzmantel verschweisst wird, bildet zusammen mit dem Quellband eine sehr gute längs- und querwasserdichte Abdichtung. Der PE-Mantel garantiert sehr gute Isolationswerte im Betrieb, ist verschleissfest und damit optimal für die Verlegung.

Anwendung

In Verteilnetzen und Industrieanlagen.
Verlegung in Rohranlagen, in Innenräumen, Kabelkanälen oder im Erdreich.

Normen

HD 620 S2, Part 10, Section N (2010)
CPR Brandklasse Fca

Bemerkungen

Das passende Zubehör finden Sie im Kapitel "Energiekabel Zubehör".



Technische Daten

Artikel-Nr.	Querschnitt mm ²	Durchmesser mm	Gewicht kg/100 m	Wechselstromwiderstand bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Reaktanz bei 50 Hz Ω/km	Impedanz bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Kapazität bei 50 Hz μF/km	min. Biegeradius bei Verlegung mm	min. Biegeradius bei Installation mm	max. zulässige Zugkraft kN	Brandlast MJ/m
19583	50/16 Al	28	90	0.448	0.130	0.466	0.176	400	350	3.0	21.6
19584	95/18 Al	31	150	0.224	0.116	0.252	0.217	450	400	5.5	25.5
19585	150/20 Al	34	200	0.145	0.108	0.181	0.254	500	400	9.0	29.0
19586	240/24 Al	38	300	0.089	0.101	0.135	0.307	600	500	14.0	35.3
19634	300/24 Al	41	350	0.072	0.099	0.122	0.339	650	500	18.0	40.1
73635	500/29 Al	48	450	0.046	0.093	0.104	0.413	750	600	30.0	50.2

Belastbarkeit bei Verlegung im Rohr in Erde

Verlegung ¹ Betriebsart Leitertemperatur Erdung Querschnitt mm ²	Dauerlast				Industrielast				Notbetrieb ²	
	60 °C		90 °C		60 °C		90 °C		110 °C	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
50/16 Al	146	146	184 ³	184 ³	155	155	200	199	223	222
95/18 Al	218	217	269 ³	269 ³	233	232	300	300	335	335
150/20 Al	278	277	336 ³	336 ³	298	297	385	386	430	429
240/24 Al	369	367	441 ³	438 ³	399	397	517	514	577	575
300/24 Al	426	420	507 ³	500 ³	464	460	603	596	671	668
500/29 Al	545	538	632 ³	623 ³	597	589	755 ³	746 ³	870	862

Belastbarkeit bei Verlegung in Luft

Verlegung									
	Dauer- oder Industrielast				Notbetrieb ²		Achsabstand $s = 2 \cdot d$		
	60 °C		90 °C		110 °C		Dauer- oder Industrielast	Dauer- oder Industrielast	Notbetrieb ²
Betriebsart Leitertemperatur Erdung	60 °C		90 °C		110 °C		60 °C	90 °C	110 °C
Querschnitt mm ²	A	A	A	A	A	A	A	A	A
50/16 Al	159	159	228	228	262	262	191	271	310
95/18 Al	241	240	346	345	398	397	291	414	474
150/20 Al	315	314	453	452	521	520	383	545	625
240/24 Al	427	424	615	612	708	705	522	745	854
300/24 Al	488	485	704	700	811	807	600	856	981
500/29 Al	648	640	940	931	1086	1077	810	1160	1333

Kurzschlussstrombelastung ALU-Schirm

Querschnitt mm ²	Kurzschlussstrom (1.0 s) kA
50/16 Al	2.0
95/18 Al	2.0
150/20 Al	2.0
240/24 Al	2.0
300/24 Al	2.0
500/29 Al	2.0

¹ ausser: Ebene Verlegung, Achsabstand $s=25$ cm

² Notbetrieb während höchstens 8h/Tag und 100h/Jahr (Rohrtemperatur darf 50 °C übersteigen)

³ Begrenzung durch Rohroberflächentemperatur von 50 °C

Angaben über Spannungsabfall, Transport, Verlegung, Montage und Prüfungen siehe Kapitel "Technische Informationen"

XD-ALT-YT 3-Leiter MS-Polymerkabel 20/12kV

XD-ALT-YT

längs- und querwasserdicht

Aufbau

- Kupferleiter, verseilt
- innere Halbleiterschicht, vernetzt
- Leiterisolation aus XLPE, vernetzt
- äussere Halbleiterschicht, vernetzt, fest verschweisst
- Quellband halbleitend
- Abschirmung aus Aluminiumband
- Aussenmantel aus PE, halogenfrei, schwarz mit zwei roten Längsstreifen

Besonderheit

Das Aluminiumband, das bei der Extrusion einseitig mit dem Schutzmantel verschweisst wird, bildet zusammen mit dem Quellband eine sehr gute längs- und querwasserdichte Abdichtung. Der PE-Mantel garantiert sehr gute Isolationswerte im Betrieb, ist verschleissfest und damit optimal für die Verlegung.

Anwendung

In Verteilnetzen und Industrieanlagen.
Verlegung in Rohranlagen, in Innenräumen, Kabelkanälen oder im Erdreich.

Normen

HD 620 S2, Part 10, Section N (2010)
CPR Brandklasse Fca

Bemerkungen

Das passende Zubehör finden Sie im Kapitel "Energiekabel Zubehör".



Technische Daten

Artikel-Nr.	Querschnitt mm ²	Durchmesser mm	Gewicht kg/100 m	Wechselstromwiderstand bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Reaktanz bei 50 Hz Ω/km	Impedanz bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Kapazität bei 50 Hz μF/km	min. Biegeradius bei Verlegung mm	min. Biegeradius bei Installation mm	max. zulässige Zugkraft kN	Brandlast MJ/m
67223	50/16 Al	64	310	0.488	0.130	0.467	0.176	750	600	6.0	80.3
67224	95/18 Al	71	500	0.224	0.116	0.252	0.217	850	700	11.0	93.8
67225	150/20 Al	77	660	0.145	0.108	0.181	0.254	900	750	18.0	106.0
67226	240/24 Al	86	970	0.089	0.101	0.135	0.307	1050	850	28.5	127.4
19628	300/24 Al	92	1120	0.072	0.099	0.122	0.339	1100	950	36.0	143.4

Belastbarkeit

Verlegung Betriebsart Leitertemperatur Erdung Querschnitt mm ²	im Rohr in Erde					in Luft		
	Dauerlast		Industrielast		Notbetrieb ¹	Dauer- oder Industrielast		Notbetrieb ¹
	60 °C	90 °C	60 °C	90 °C		60 °C	90 °C	
	A	A	A	A	A	A	A	A
50/16 Al	144	185	152	196	218	155	220	251
95/18 Al	213	273 ²	228	293	326	232	330	377
150/20 Al	272	342 ²	291	375	417	301	428	490
240/24 Al	363	450 ²	391	504	562	404	575	659
300/24 Al	409	502 ²	442	570	636	460	656	752

Kurzschlussstrombelastung ALU-Schirm

Querschnitt mm ²	Kurzschlussstrom (1.0 s) kA
50/16 Al	2.0
95/18 Al	2.0
150/20 Al	2.0
240/24 Al	2.0
300/24 Al	2.0

¹ Notbetrieb während höchstens 8h/Tag und 100h/Jahr (Rohrtemperatur darf 50 °C übersteigen)

² Begrenzung durch Rohroberflächentemperatur von 50 °C

Angaben über Spannungsabfall, Transport, Verlegung, Montage und Prüfungen siehe Kapitel "Technische Informationen"

XKDT Alrm 1-Leiter MS-Polymerkabel 20/12kV

XKDT Alrm

längswasserdicht

Aufbau

- Aluminiumleiter, verseilt
- innere Halbleiterschicht, vernetzt
- Isolation aus XLPE, vernetzt
- äussere Halbleiterschicht, vernetzt, fest verschweisst
- Quellband halbleitend
- Abschirmung aus Kupferdrähten mit Kupferwendel
- Quellband isolierend
- Aussenmantel aus PE, halogenfrei, schwarz mit zwei roten Längsstreifen

Innerer Halbleiter, Isolation und äusserer Halbleiter werden in einem Arbeitsgang aufgebracht.

Anwendung

In Verteilnetzen und Industrieanlagen.
Verlegung in Rohranlagen, in Innenräumen, Kabelkanälen oder im Erdreich.
Durch Einbetten des Kupferschirms in Quell-

bänder wird die Längswasserdichtheit gewährleistet.

Der PE-Mantel garantiert sehr gute Isolationswerte im Betrieb, ist verschleissfest und damit optimal für die Verlegung.

Das passende Zubehör finden Sie im Kapitel Zubehör.

Bemerkungen

Bis Leiterquerschnitt 500mm² wird der Kupferdrahtschirm ceanderförmig aufgebracht mit der Kabelbezeichnung: XKDT

ab 500mm² spiralförmig mit der Kabelbezeichnung: XDRCU-T

Normen

HD 620 S2, Part 10, Section N (2010)

CPR Brandklasse Fca



Technische Daten

Artikel-Nr.	Querschnitt mm ²	Durchmesser mm	Gewicht kg/100 m	Wechselstromwiderstand bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Reaktanz bei 50 Hz Ω/km	Impedanz bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Kapazität bei 50 Hz μF/km	min. Biegeradius bei Verlegung mm	min. Biegeradius bei Installation mm	max. zulässige Zugkraft kN	Brandlast MJ/m
73554	50Al/10	29	70	0.744	0.139	0.757	0.169	450	350	1.5	20.6
73602	95Al/16	32	97	0.372	0.124	0.392	0.209	500	400	2.8	24.4
73608	150Al/25	35	131	0.240	0.116	0.267	0.244	550	450	4.5	28.7
61214	240Al/35	40	183	0.146	0.108	0.182	0.303	650	500	7.2	36.6
67358	300Al/35	44	214	0.117	0.107	0.159	0.330	700	550	9.0	43.3
67368	400Al/35	47	248	0.092	0.102	0.137	0.373	750	600	12.0	48.2
45833	500Al/35 ¹	51	292	0.072	0.100	0.123	0.403	800	650	15.0	56.0
45835	630Al/50 ¹	56	358	0.057	0.096	0.112	0.451	850	700	18.9	62.0

Belastbarkeit bei Verlegung im Rohr in Erde

Verlegung Betriebsart Leitertemperatur Erdung Querschnitt mm ²	Dauerlast				Industrielast				Notbetrieb ²	
	60 °C		90 °C		60 °C		90 °C		110 °C	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
50Al/10	114	114	143 ³	143 ³	122	122	156	156	169	169
95Al/16	170	170	210 ³	210 ³	182	182	235	234	261	261
150Al/25	220	219	269 ³	267 ³	238	236	306	305	341	340
240Al/35	292	288	345 ³	341 ³	316	312	407	403	454	450
300Al/35	337	331	399 ³	393 ³	368	362	474	467	528	522
400Al/35	387	379	451 ³	443 ³	424	416	540 ³	531 ³	610	601
500Al/35	442	430	515 ³	495 ³	486	477	611 ³	593 ³	699	685
630Al/50	506	482	576 ³	550 ³	558	532	693 ³	660 ³	804	776

Belastbarkeit bei Verlegung in Luft

Verlegung	○○						○○○		
	Dauer- oder Industrielast				Notbetrieb ²		Achsabstand $s = 2 \cdot d$		
	60 °C		90 °C		110 °C		Dauer- oder Industrielast	90 °C	Notbetrieb ²
Betriebsart Leitertemperatur Erdung Querschnitt mm ²									
	A	A	A	A	A	A	A	A	A
50AI/10	133	133	189	189	217	217	158	223	254
95AI/16	201	200	286	286	328	328	240	339	387
150AI/25	263	262	376	374	431	429	315	445	508
240AI/35	360	356	514	509	589	585	431	609	695
300AI/35	414	407	591	583	677	670	494	698	797
400AI/35	487	478	696	686	799	788	583	825	942
500AI/35	564	551	808	792	927	911	676	957	1093
630AI/50	660	633	947	914	1088	1055	794	1126	1287

¹ Typenbezeichnung "XDRCU-T"

² Notbetrieb während höchstens 8h/Tag und 100h/Jahr (Rohrtemperatur darf 50 °C übersteigen)

³ Begrenzung durch Rohroberflächentemperatur von 50 °C

Angaben über Spannungsabfall, Transport, Verlegung, Montage und Prüfungen siehe Kapitel "Technische Informationen"

XKDT-YT Alrm 3-Leiter MS-Polymerkabel 20/12kV

XKDT-YT Alrm

längswasserdicht

Aufbau

Einleiterkabel XKDT Alrm:

- Aluminiumleiter, verseilt
- innere Halbleiterschicht, vernetzt
- Isolation aus XLPE, vernetzt
- äussere Halbleiterschicht, vernetzt, fest verschweisst
- Quellband halbleitend
- Abschirmung aus Kupferdrähten mit Kupferwendel
- Quellband isolierend
- Aussenmantel aus PE, halogenfrei, schwarz mit zwei roten Längsstreifen
- drei Einleiterkabel XKDT Alrm miteinander verseilt
- Schutzmantel aus PE, halogenfrei, schwarz mit zwei roten Längsstreifen

In innerer Halbleiter, Isolation und äusserer Halbleiter werden in einem Arbeitsgang aufgebracht.

Anwendung

In Verteilnetzen und Industrieanlagen. Verlegung in Rohranlagen, in Innenräumen, Kabelkanälen oder im Erdreich. Durch Einbetten des Kupferschirms in Quellbänder wird die Längswasserdichtheit gewährleistet. Die PE-Mäntel garantieren sehr gute Isolationswerte im Betrieb, sind verschleissfest und damit optimal für die Verlegung. Das passende Zubehör finden Sie im Kapitel Zubehör.

Normen

HD 620 S2, Part 10, Section N (2010)
CPR Brandklasse Fca



Technische Daten

Artikel-Nr.	Querschnitt mm ²	Durchmesser mm	Gewicht kg/100 m	Wechselstromwiderstand bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Reaktanz bei 50 Hz Ω/km	Impedanz bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Kapazität bei 50 Hz µF/km	min. Biegeradius bei Verlegung mm	min. Biegeradius bei Installation mm	max. zulässige Zugkraft kN	Brandlast MJ/m
61201	50Al/10	65	265	0.744	0.139	0.757	0.169	800	650	3.0	77.9
61211	95Al/16	72	331	0.372	0.124	0.392	0.209	900	750	5.7	91.1
61213	150Al/25	79	436	0.240	0.116	0.267	0.244	950	800	9.0	105.8
61215	240Al/35	90	602	0.146	0.108	0.182	0.303	1100	900	14.4	132.5
61230	300Al/35	98	700	0.117	0.107	0.159	0.330	1200	1000	18.0	154.5
61222	400Al/35	106	801	0.092	0.102	0.137	0.373	1300	1100	24.0	173.8

Belastbarkeit

Verlegung Betriebsart Leitertemperatur Erdung Querschnitt mm ²	Dauerlast		im Rohr in Erde Industriellast		Notbetrieb ¹ 110 °C	in Luft Dauer- oder Industriellast		
	60 °C	90 °C	60 °C	90 °C		60 °C	90 °C	Notbetrieb ¹ 110 °C
	A	A	A	A	A	A	A	
50Al/10	119	152	126	162	169	128	182	209
95Al/16	169	218	182	234	260	196	278	317
150Al/25	215	273 ²	232	298	332	254	360	411
240Al/35	283	350 ²	306	394	439	342	484	554
300Al/35	317	390 ²	344	443	493	386	547	625
400Al/35	363	440 ²	395	509	568	451	639	730

¹ Notbetrieb während höchstens 8h/Tag und 100h/Jahr (Rohrtemperatur darf 50 °C übersteigen)

² Begrenzung durch Rohroberflächentemperatur von 50 °C

Angaben über Spannungsabfall, Transport, Verlegung, Montage und Prüfungen siehe Kapitel "Technische Informationen"

XKDT-Y Alrm 3-Leiter MS-Polymerkabel 20/12kV

XKDT-Y Alrm

längswasserdicht

Aufbau

Einleiterkabel XKDT:

- Aluminiumleiter, verseilt
- innere Halbleiterschicht, vernetzt
- Isolation aus XLPE, vernetzt
- äussere Halbleiterschicht, vernetzt, fest verschweisst
- Quellband halbleitend
- Abschirmung aus Kupferdrähten mit Kupferwendel
- Quellband isolierend
- Aussenmantel aus PE, halogenfrei, schwarz mit zwei roten Längsstreifen
- drei Einleiterkabel XKDT miteinander verseilt

Anwendung

In Verteilnetzen und Industrieanlagen.

Verlegung in Rohranlagen, in Innenräumen, Kabelkanälen oder im Erdreich.

Durch Einbetten des Kupferschirms in Quellbänder wird die Längswasserdichtheit gewährleistet.

Die PE-Mäntel garantieren sehr gute Isolationswerte im Betrieb, sind verschleissfest und damit optimal für die Verlegung.

Das passende Zubehör finden Sie im Kapitel Zubehör.

Normen

HD 620 S2, Part 10, Section N (2010)

CPR Brandklasse Fca



Technische Daten

Artikel-Nr.	Querschnitt mm ²	Durchmesser mm	Gewicht kg/100 m	Wechselstromwiderstand bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Reaktanz bei 50 Hz Ω/km	Impedanz bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Kapazität bei 50 Hz μF/km	min. Biegeradius bei Verlegung mm	min. Biegeradius bei Installation mm	max. zulässige Zugkraft kN	Brandlast MJ/m
61197	50Al/10	62	213	0.744	0.139	0.757	0.169	750	650	3.0	62.1
61207	95Al/16	69	297	0.372	0.124	0.392	0.209	850	700	5.7	73.6
61210	150Al/25	76	401	0.240	0.116	0.267	0.244	950	800	9.0	86.5
61216	240Al/35	87	560	0.146	0.108	0.182	0.303	1050	900	14.4	110.5
61200	300Al/35	94	646	0.117	0.107	0.159	0.330	1150	950	18.0	130.6
61231	400Al/35	102	759	0.092	0.102	0.137	0.373	1250	1050	24.0	145.4

Belastbarkeit

Verlegung Betriebsart Leitertemperatur Erdung Querschnitt mm ²	Dauerlast		im Rohr in Erde Industrielast			in Luft Dauer- oder Industrielast		
	60 °C	90 °C	60 °C	90 °C	Notbetrieb ¹ 110 °C	60 °C	90 °C	Notbetrieb ¹ 110 °C
	A	A	A	A	A	A	A	A
50Al/10	114	143 ²	122	153	169	133	189	217
95Al/16	170	210 ²	182	234	261	200	286	328
150Al/25	219	267 ²	236	305	340	262	374	429
240Al/35	288	341 ²	312	403	450	356	509	585
300Al/35	331	393 ²	362	467	522	407	583	670
400Al/35	379	443 ²	416	531	601	478	686	788

¹ Notbetrieb während höchstens 8h/Tag und 100h/Jahr (Rohrtemperatur darf 50 °C übersteigen)

² Begrenzung durch Rohroberflächentemperatur von 50 °C

Angaben über Spannungsabfall, Transport, Verlegung, Montage und Prüfungen siehe Kapitel "Technische Informationen"

XD-ALT Alrm 1-Leiter MS-Polymerkabel 20/12kV

XD-ALT Alrm

längs- und querwasserdicht

Aufbau

- Aluminiumleiter, verseilt
- innere Halbleiterschicht, vernetzt
- Leiterisolation aus XLPE, vernetzt
- äussere Halbleiterschicht, vernetzt, fest verschweisst
- Quellband halbleitend
- Abschirmung aus Aluminiumband
- Aussenmantel aus PE, halogenfrei, schwarz mit zwei roten Längsstreifen

Innerer Halbleiter, Isolation und äusserer Halbleiter werden in einem Arbeitsgang aufgebracht.

Besonderheit

Das Aluminiumband, das bei der Extrusion einseitig mit dem Schutzmantel verschweisst wird, bildet zusammen mit dem Quellband eine sehr gute längs- und querwasserdichte Abdichtung. Der PE-Mantel garantiert sehr gute Isolationswerte im Betrieb, ist verschleissfest und damit optimal für die Verlegung.

Anwendung

In Verteilnetzen und Industrieanlagen. Verlegung in Rohranlagen, in Innenräumen, Kabelkanälen oder im Erdreich.

Normen

HD 620 S2, Part 10, Section N (2010)
CPR Brandklasse Fca

Bemerkungen

Das passende Zubehör finden Sie im Kapitel "Energiekabel Zubehör".



Technische Daten

Artikel-Nr.	Querschnitt mm ²	Durchmesser mm	Gewicht kg/100 m	Wechselstromwiderstand bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Reaktanz bei 50 Hz Ω/km	Impedanz bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Kapazität bei 50 Hz μF/km	min. Biegeradius bei Verlegung mm	min. Biegeradius bei Installation mm	max. zulässige Zugkraft kN	Brandlast MJ/m
19671	95 Al / 18 Al	31	90	0.372	0.123	0.392	0.209	500	400	2.8	25.8
19672	150 Al / 20 Al	34	144	0.240	0.114	0.266	0.244	550	450	4.5	29.2
19673	240 Al / 24 Al	39	152	0.146	0.106	0.180	0.303	600	500	7.2	36.3
19674	400 Al / 27 Al	45	213	0.092	0.098	0.134	0.373	700	550	12.0	44.0

Belastbarkeit bei Verlegung im Rohr in Erde

Verlegung Betriebsart Leitertemperatur Erdung Querschnitt mm ²	Dauerlast				Industrielast				Notbetrieb ¹	
	60 °C		90 °C		60 °C		90 °C		110 °C	
	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
95 Al / 18 Al	170	170	210 ²	210 ²	182	182	235	234	261	261
150 Al / 20 Al	220	219	269 ²	267 ²	238	236	306	305	341	340
240 Al / 24 Al	292	288	345 ²	341 ²	316	312	407	403	454	450
400 Al / 27 Al	387	379	451 ²	443 ²	424	416	540 ²	531 ²	610	601

Belastbarkeit bei Verlegung in Luft

Verlegung									
	Dauer- oder Industrielast				Notbetrieb ¹		Achsabstand $s = 2 \cdot d$		
	60 °C		90 °C		110 °C		Dauer- oder Industrielast	90 °C	Notbetrieb ¹
Betriebsart Leitertemperatur Erdung									
Querschnitt mm ²	A	A	A	A	A	A	A	A	A
95 Al / 18 Al	201	200	286	286	328	328	240	339	387
150 Al / 20 Al	263	262	376	374	431	429	315	445	508
240 Al / 24 Al	360	356	514	509	589	585	431	609	695
400 Al / 27 Al	487	478	696	686	799	788	583	825	942

Kurzschlussstrombelastung ALU-Schirm

Querschnitt mm ²	Kurzschlussstrom (1.0 s) kA
95/18 Al	2.0
150/20 Al	2.0
240/24 Al	2.0
400/27 Al	2.0

¹ Notbetrieb während höchstens 8h/Tag und 100h/Jahr (Rohrtemperatur darf 50 °C übersteigen)

² Begrenzung durch Rohroberflächentemperatur von 50 °C

Angaben über Spannungsabfall, Transport, Verlegung, Montage und Prüfungen siehe Kapitel "Technische Informationen"

XD-ALT-YT Alrm 3-Leiter MS-Polymerkabel 20/12kV

XD-ALT-YT-Alrm

längs- und querwasserdicht

Aufbau

- Aluminiumleiter, verseilt
- innere Halbleiterschicht, vernetzt
- Leiterisolation aus XLPE, vernetzt
- äussere Halbleiterschicht, vernetzt, fest verschweisst
- Quellband halbleitend
- Abschirmung aus Aluminiumband
- Aussenmantel aus PE, halogenfrei, schwarz mit zwei roten Längsstreifen

Besonderheit

Das Aluminiumband, das bei der Extrusion einseitig mit dem Schutzmantel verschweisst wird, bildet zusammen mit dem Quellband eine sehr gute längs- und querwasserdichte Abdichtung. Der PE-Mantel garantiert sehr gute Isolationswerte im Betrieb, ist verschleissfest und damit optimal für die Verlegung.

Anwendung

In Verteilnetzen und Industrieanlagen. Verlegung in Rohranlagen, in Innenräumen, Kabelkanälen oder im Erdreich.

Normen

HD 620 S2, Part 10, Section N (2010)
CPR Brandklasse Fca

Bemerkungen

Das passende Zubehör finden Sie im Kapitel "Energiekabel Zubehör"



Technische Daten

Artikel-Nr.	Querschnitt mm ²	Durchmesser mm	Gewicht kg/100 m	Wechselstromwiderstand bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Reaktanz bei 50 Hz Ω/km	Impedanz bei 60 °C und 50 Hz Ω/km	Kapazität bei 50 Hz μF/km	min. Biegeradius bei Verlegung mm	min. Biegeradius bei Installation mm	max. zulässige Zugkraft kN	Brandlast MJ/m
19681	95 Al / 18 Al	71	275	0.372	0.123	0.392	0.209	900	750	5.7	94.7
19682	150 Al / 20 Al	77	349	0.240	0.114	0.266	0.244	950	800	9.0	106.6
19683	240 Al / 24 Al	88	465	0.146	0.106	0.180	0.303	1100	900	14.4	130.5
19684	400 Al / 27 Al	100	652	0.092	0.098	0.134	0.373	1200	1000	24.0	156.7

Belastbarkeit

Verlegung Betriebsart Leitertemperatur Erdung Querschnitt mm ²	Dauerlast		im Rohr in Erde Industrielast		Notbetrieb ¹ 110 °C	in Luft Dauer- oder Industrielast		Notbetrieb ¹ 110 °C
	60 °C	90 °C	60 °C	90 °C		60 °C	90 °C	
95 Al / 18 Al	169	218	182	234	260	196	278	317
150 Al / 20 Al	215	273 ²	232	298	332	254	360	411
240 Al / 24 Al	283	350 ²	306	394	439	342	484	554
400 Al / 27 Al	363	440 ²	395	509	568	451	639	730

Kurzschlussstrombelastung ALU-Schirm

Querschnitt mm ²	Kurzschlussstrom (1.0 s) kA
95/18 Al	2.0
150/20 Al	2.0
240/24 Al	2.0
400/27 Al	2.0

¹ Notbetrieb während höchstens 8h/Tag und 100h/Jahr (Rohrtemperatur darf 50 °C übersteigen)

² Begrenzung durch Rohroberflächentemperatur von 50 °C

Angaben über Spannungsabfall, Transport, Verlegung, Montage und Prüfungen siehe Kapitel "Technische Informationen"

NS-MS Zubehör

NS/MS-Zubehör

Kabel sind an ihren Enden und bei Muffen so abzuschliessen, dass weder in die Leiter noch in die Spindel Feuchtigkeit eindringen kann. Zudem ist dafür zu sorgen, dass sowohl die elektrischen als auch die mechanischen Anforderungen erfüllt sind.

Niederspannungs-Endverschlüsse

Trafo Anschlussklemmen

Trafo Anschlussklemmen werden zur einfachen Montage an Transformatoren verwendet und ermöglichen den Anschluss von bis zu vier Parallelkabeln. Eine berührungssichere Isolation der Anschlussklemmen garantieren die dazugehörigen Hauben.

Warmschrumpf-Endverschlüsse

Für Freiluft- und Innenmontage hat sich in den letzten Jahren die Warschrumpftechnik durchgesetzt. Sämtliche Kabeltypen können mit den Schrumpf-Endverschlüssen betriebssicher abgeschlossen werden.

Niederspannungs-Muffen

Verbindungsmuffen

Bei der Montage von Verbindungsmuffen wird aus Kostengründen vermehrt die Schrumpftechnik eingesetzt. Mehrere Schrumpfschläuche mit Heisschmelzkleber bilden den Aufbau des Kabels nach.

Abzweigmuffen

Für Abzweigmuffen werden fast ausschliesslich Gehäuse eingesetzt, die vergossen werden. Dies ermöglicht eine einfache und rasche Montage. Vergussmassen haben dabei die Aufgabe, das Eindringen von Feuchtigkeit zu verhindern. Als Vergussmasse stehen Zweikomponenten-Systeme und Warmvergussmassen zur Verfügung.

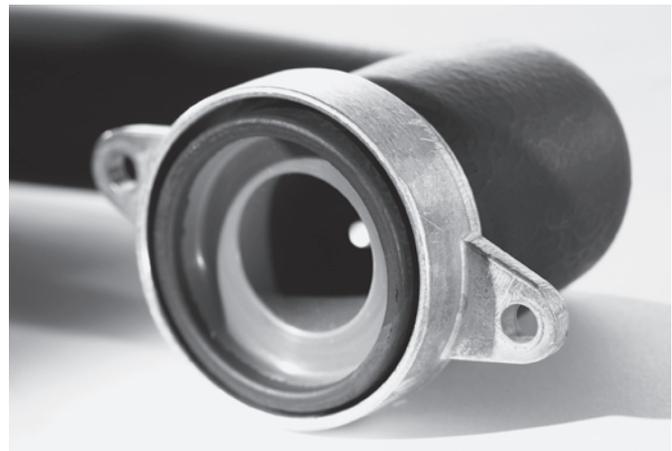
Brugg Cables bietet zudem eine interessante alternative Montagetechnik mit Schrumpf-Abzweigmuffen, die sich wachsender Beliebtheit erfreut und seit Jahren betriebssicher angewendet wird.



Mittelspannungs-Endverschlüsse

Steck-Endverschlüsse

Steck-Endverschlüsse ermöglichen das berührungssichere Anschliessen von Polymerkabeln an Kompaktschaltanlagen, Transformatoren oder Motoren. Das umfangreiche Zubehör ermöglicht vielfältige Anschlusskombinationen. Überspannungsableiter komplettieren das Sortiment.



Aufschiebe-Endverschlüsse

Aufschiebe-Endverschlüsse bestehen aus vorfabrizierten Silikonbauteilen. Sie lassen sich schnell und sicher, ohne spezielle Werkzeuge auf die vorbereiteten Kabelenden montieren. Bei beengten Platzverhältnissen ist die kurze Bauform ein entscheidender Vorteil.

Warmschrumpf-Endverschlüsse

Schrumpf-Endverschlüsse sind aus wärmeschrumpfenden, kriechstromfesten Schrumpfschläuchen aufgebaut. Sie eignen sich für Innenraum- und Freiluftanwendungen.

Mittelspannungs-Muffen

Warm- und Kalt-Schrumpftechnik

Die verschiedenen Komponenten bestehen aus vorfabrizierten Einzelteilen. Dank dem grossen Schrumpfbereich ist diese Technik universell für alle Kabeltypen einsetzbar. Da keine Spezialwerkzeuge nötig sind, lassen sich diese Muffen rasch und zuverlässig installieren.



Übergangsmuffen

Als Übergangsmuffe bezeichnet man Verbindungsmuffen, die für das Verbinden von Polymerkabeln mit Masse- oder Haftmassenkabeln eingesetzt werden. Brugg Cables empfiehlt dazu ausschliesslich Warmschrumpfmuffen zu verwenden, die seit Jahren betriebs sicher angewendet werden.

Kabelbriden

Bei der Verlegung von Kabeln ist zu beachten, dass sich die Längenänderungen infolge späterer thermischer Belastungen nicht nachteilig auf die Muffen auswirken. Durch den Einsatz von geeigneten Briden können diese Belastungen eliminiert werden. Für Kabel mit Kunststoffmantel werden Briden mit Gummieinlagen empfohlen. Brugg Cables bietet Unterstützung bei der Berechnung und Auswahl der Bridentypen und Kabelgurte an.



Befestigungsbriden

Unter Befestigungsbriden versteht man Kabelbriden, die in bestimmten Abständen die Kabel fixieren. Entsprechend dem Kabeltyp ist die dazugehörige Kabelbride zu wählen.

Verankerungsbriden

Verankerungsbriden verhindern ein Abgleiten des Kabels in Steilhängen, und werden mittels Montagelehren oder Anschlagplatten montiert. Die Haltekraft ist abhängig vom Kabeltyp, der Kabelkonstruktion und der gewählten Bride.

Kabelgurte

BRIFIX®-Kabelgurte kommen zur kurzschluss sicheren Verlegung von Einleiterkabel zum Einsatz. Sie eignen sich für alle Kabelarten und Spannungen. Entsprechend der zu erwartenden Kurzschluss-Beanspruchung ist der notwendige Abstand zu wählen.

Werkzeuge

Kabelanlagen haben im Betrieb hohen Anforderungen über eine lange Zeit zu genügen. Zudem erfordert die Betriebssicherheit eine saubere und exakte Montage von Kabel und Zubehör. Um diese Voraussetzungen zu erfüllen, ist es unerlässlich, auch entsprechendes Werkzeug einzusetzen. Brugg Cables bietet für die Montage von Nieder- und Mittelspannungsgarnituren geeignetes Werkzeug an.

Detaillierte Informationen und Datenblätter zu den einzelnen Zubehör-Produkten sind Online im e-Catalog zu finden.

Wissenswertes

Brandschutz bei Kabeln

Einführung

Mit der neuen CPR (Construction Products Regulation No 305/2011) wurde auch das Brandverhalten von Kabelanlagen relevant. Die von der Schweiz ins Bauproduktengesetz übernommene Verordnung ist seit Oktober 2014 gültig. Spätestens ab 1. Juli 2017 dürfen Bauprodukte (nach harmonisierter technischer Norm), nicht mehr ohne Leistungserklärung in den Handel gebracht werden. Fest verbaute elektrische und optische Kabel gelten nun als Bauprodukte und unterliegen deshalb auch dieser Verordnung.

Die neue Bauprodukteverordnung soll einheitliche Informationen zu Bauprodukten, inklusive einer einheitlichen Klassifizierung, liefern. Diese Aufgabe wird mit Hilfe einer "gemeinsamen technischen Sprache in Europa" erfüllt. Einheitliche Verfahren zur Beurteilung der Leistung wurden in harmonisierten Standards spezifiziert. Eine Empfehlung für den Schweizer Markt hat Brugg Cables zusammen mit der electrosuisse und weiteren Kabelherstellern erarbeitet.

Brandklassen

Für das Brandverhalten von Kabeln werden unter der Bauprodukteverordnung verschiedene Leistungsklassen, die als Brandverhalten für elektrische Kabel (Brandklassen) bezeichnet sind, definiert.

Spezifikationen der Brandtests

Die Klassifizierungskriterien wie Wärmefreisetzung, Flammausbreitung, Brandentwicklung, Rauchentwicklung, brennendes Abtropfen sowie Azidität der Rauchgase werden nach genormten Tests ermittelt.

EN 50575	Anforderungen an Kabel in Bezug auf das Brandverhalten
EN 50399	Allgemeine Prüfverfahren für das Verhalten von Kabeln im Brandfall
EN 60332-1-2	Prüfung der vertikalen Flammenausbreitung
EN 61034-2	Prüfverfahren und Anforderungen zur Messung der Rauchdichte
EN 60754-2	Bestimmung der Azidität bei der Verbrennung der Werkstoffe von Kabeln

Die Prüfungen der Kabel werden von notifizierten Stellen (Zertifizierungsstellen und Prüflabore) durchgeführt. Diese Stellen bescheinigen die Erstellung der Leistungserklärung durch die Wirtschaftsakteure (Hersteller, Importeure, Händler usw.).

Brandklasse	Flammausbreitung		Wärmefreisetzung	Brandentwicklung
	Auf Leiter	Einzeln	EN 50399	EN 50399
	EN 50399	EN 60332-1-2		
B1ca	FS ≤ 1,75 m bei 30 kW und 1200 s	H ≤ 425 mm bei 1 kW und 60 s	THR _{1200s} ≤ 10 MJ Peak-HRR ≤ 20 kW	FIGRA ≤ 120 Ws-1
B2ca	FS ≤ 1,5 m bei 20,5 kW und 1200 s	H ≤ 425 mm bei 1 kW und 60 s	THR _{1200s} ≤ 15 MJ Peak-HRR ≤ 30 kW	FIGRA ≤ 150 Ws-1
Cca	FS ≤ 2,0 m bei 20,5 kW und 1200 s	H ≤ 425 mm bei 1 kW und 60 s	THR _{1200s} ≤ 30 MJ Peak-HRR ≤ 60 kW	FIGRA ≤ 300 Ws-1
Dca	keine Anforderung	H ≤ 425 mm bei 1 kW und 60 s	THR _{1200s} ≤ 70 MJ Peak-HRR ≤ 400 kW	FIGRA ≤ 1300 Ws-1
Eca	keine Anforderung	H ≤ 425 mm bei 1 kW und 60 s	keine Anforderung	keine Anforderung
Fca	keine Anforderung	keine Anforderungen	keine Anforderung	keine Anforderung

zusätzliche Klassifizierung für Klassen B1ca, B2ca, Cca + Dca

	Rauchentwicklung		Abtropfen	Azidität
	Entwicklung	Dichte		
	EN 50399	EN 61034		
s1	TSP ₁₂₀₀ ≤ 50 m ² Peak-SPR ≤ 0,25 m ² /s	Transmission S1a ≥ 80 % S1b ≥ 60 %	d0 kein brennendes Abtropfen	a1 < 2,5 µS/mm pH-Wert > 4,3
s2	TSP ₁₂₀₀ ≤ 400 m ² Peak-SPR ≤ 1,5 m ² /s	keine Anforderung	d1 brennendes Abtropfen ≤ 10 s	a2 < 10 µS/mm pH-Wert > 4,3
s3	keine Anforderung		d2 keine Anforderung	a3 keine Anforderung

Anwendungen mit Brandschutz-Bedarf

Von der CPR sind alle Kabel betroffen, die dauerhaft in Bauwerken installiert werden. Unter Bauwerken versteht man hier Hochbauten wie Häuser, Gewerbebauten, Gartenhäuser, Brücken, Strassen und Tiefbauten wie Tunnel, U-Bahnen usw, die den Vorschriften zur Sicherheit im Brandfall unterliegen, einschliesslich der Vorgabe, die Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch zu beschränken.

Ausgenommen von der CPR sind spezielle Bereiche wie zum Beispiel Aufzugsanlagen/ Fahrtreppen, Produktionsanlagen nach der Maschinenverordnung, Seilbahnanlagen, alternative Energieerzeugungsanlagen im Freien und temporäre Installationen.

Kabel mit Funktionserhalt sind derzeit von einer Bewertung des Brandverhaltens nach EN 50575 der Bauprodukteverordnung ebenfalls ausgenommen.

In Anwendungen ausserhalb von Bauwerken können weiterhin bewährte Netzkabel verwendet werden, wie zum Beispiel GKN und XKDT von Brugg Cables. Auf Grund der besseren mechanischen und elektrischen Eigenschaften dieser Kabel, sollten diese sogar bevorzugt installiert werden.

Zuständige Stellen für die Umsetzung der Bauprodukteverordnung in der Schweiz

Niederspannungs-Installationsnorm (NIN)

Die NIN 2015 klassifiziert Räumlichkeiten in insgesamt vier Stufen BD1 bis BD4, je nach Räumungsmöglichkeiten, Rettungswegen und Personenanzahl. Als Mindestanforderung wird die Klasse E_{ca} vorgegeben. Für die Stufen BD2 bis BD4 fordert die NIN Kabel aus flammwidrigem Material und mit verzögerter Entwicklung von Rauch und giftigen Gasen.

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF)

Die VKF definiert in ihren Richtlinien das Brandverhaltensgruppen und ein kritisches Verhalten. Ein Kabel weist ein kritisches Verhalten im Sinne der VKF auf, wenn Brandgeschwindigkeit, Rauchentwicklung, brennendes Abtropfen oder Säuregehalt bestimmte Grenzwerte überschreiten. Im Bereich von Flucht- und Rettungswegen ist es verboten, Kabel mit diesem kritischen Verhalten zu verbauen.

Im Bereich von Flucht- und Rettungswegen	D _{ca} -s2,d1,a2
Ausserhalb von Flucht- und Rettungswegen	E _{ca}

Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren (KBOB)

Die KBOB-Empfehlung als Leitfaden für öffentliche Bauherren dagegen differenziert nicht nach Fluchtwegen, sondern nach Bauten und Anlagen mit erhöhter Personengefährdung, Sachwertschutz und/oder hoher Versorgungssicherheit. Für erhöhte Anforderungen wird die Brandklasse C_{ca}-s1,d1,a1 gefordert. Für allgemeine Anforderungen die Brandklasse D_{ca}-s2,d2,a2.

Erhöhte Anforderungen	C _{ca} -s1,d1,a1
Allgemeine Anforderungen	D _{ca} -s2,d2,a2

Leistungserklärung

Die Klassifizierung der Kabel und die Abwesenheit von gefährlichen Inhaltsstoffen werden in einer Leistungserklärung dokumentiert und von demjenigen, der das Kabel "in Verkehr bringt", bereitgestellt.

Zusätzlich wird eine Etikettierung auf der Verpackung (Kabeltrommel) angebracht mit den signifikanten Daten der Leistungserklärung.



Bild 2: Beispiel einer Leistungserklärung

Sofern Kabel als Bauprodukt auf den Markt gebracht werden, erfolgt die Kennzeichnung nach der Bauprodukteverordnung. Da die Schweiz kein Mitgliedsstaat der EU ist, besteht innerhalb der Schweiz grundsätzlich keine CE-Kennzeichnungspflicht. Da Brugg Cables einen Teil der Produktion von Energie-, Daten- und Kommunikationskabel in den europäischen Raum exportiert, wird auf diesen Produkten eine CE-Kennzeichnung erfolgen.

Auf den Datenblättern in diesem Katalog sind die Brandklassen der Kabel und die Brandlasten pro Kabelquerschnitt angegeben. Weitere Kabel mit erhöhten Anforderungen an das Brandverhalten sind auf Anfrage verfügbar.

Für weitere Informationen zum Thema werden Kurse bei der Brugg Cables Academy angeboten.

Technische Änderungen jederzeit vorbehalten.

20170628-1

Kabeldimensionierung

1. Einleitung

Kabel und Zubehöre müssen die Typenprüfungen und Langzeitprüfungen nach den nationalen und internationalen Normen vor der Vermarktung erfolgreich bestanden haben:

- Niederspannungskabel nach HD 603 S1, Part 7, Section E, und Part 8, Section B
- Mittelspannungskabel nach HD 620 S2, Parts 10, 11, Section N

Brugg Cables besitzt langjährige Erfahrungen in der Materialtechnik, den elektrischen und mechanischen Prüfungen bei Produktentwicklung, Produktion, Verlegung, Montage und Inbetriebsetzung. Die Qualitätssicherung gemäss ISO 9001 und 14001 garantiert zudem zuverlässige Entwicklungs- und Produktionsverfahren. Dies alles bietet Gewähr, dass die Kabelsysteme während ihrer Lebensdauer von 30 bis 40 Jahren einwandfrei elektrische Leistung von der Erzeugung zu den Stromkunden hin übertragen.

Brugg Cables stellt Kabel und Zubehöre von 1 kV bis 500 kV her; in diesem Katalogteil für Nieder- und Mittelspannung wird nur auf Spannungen bis 30 kV eingetreten. Für ausserordentliche Fälle stehen unsere Ingenieure mit ihren zugeschnittenen Berechnungsprogrammen zur Verfügung. Bei Vorgabe der Verlegeart, Übertragungsleistung, Spannung, Kurzschlussstrom, Schirmbehandlung und Art der Installation lassen sich die Strombelastungen, Spannungsabfälle, Verluste u. a. m. in genügender Genauigkeit berechnen.

1.1 Lebensdauer und Zuverlässigkeit

Unter der Lebensdauer einer Kabelanlage wird deren Betriebsdauer verstanden. Die Komponenten sind auf die gesamte Betriebsdauer ausgelegt. Die Lebensdauer kann von negativen Faktoren beeinflusst werden, wie transienten Überspannungen, Kurzschlüssen, Übertemperaturen, mechanischen Belastungen wie Bodensenkungen, Wasser und Feuchte, chemischen Einflüssen und auch Nagetieren. Die Sicherheit einer Kabelanlage wird durch das Einhalten der zulässigen thermischen Belastbarkeit, der Kurzzeit- und der Kurzschlussströme sowie der Betriebsspannung gewährleistet.

1.2 Verluste und Wirtschaftlichkeit

Die Verluste und die Wirtschaftlichkeit einer Kabelanlage sind eng miteinander verknüpft und lassen sich kaum voneinander trennen. Kabel dürfen durchaus an ihren Leistungsgrenzen betrieben werden, dazu sind sie entwickelt und produziert worden. Die PEN-Leiter der Niederspannungskabel werden beidseitig geerdet, einerseits zur Erhöhung der Sicherheit und andererseits zur Gewährleistung der Nullung in genullten Netzen. Die Schirme von verseilten Mittelspannungskabeln bis 240 mm² oder Einleiter-MS-Kabeln des gleichen Querschnittsbereichs wer-

den in gebündelter Form, mit Bezug auf die Berührungssicherheit, bevorzugt beidseitig geerdet. Einleiterkabel mit Abstand zwischen den Phasen und alle Kabel mit Querschnitten ab 300 mm² werden zur Reduktion der Schirmverluste mit Vorteil einseitig geerdet und am offenen Ende mit Mantelüberspannungsableitern geschützt. Damit lassen sich positive ökonomische und ökologische Gesichtspunkte erzielen. Bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sollen ganz allgemein nicht nur die Kabel-, sondern auch die gesamten Anlagekosten mit dem Trasseebau einbezogen werden.

2. Dimensionierung von Nieder- und Mittelspannungsanlagen

Die Strombelastungsberechnungen werden für beide Spannungsebenen nach IEC 60287 für die verschiedenen Verlegungsarten ausgeführt. Für die Dimensionierung werden die nachstehenden Vorgaben benötigt:

- Nenn- und max. Betriebsspannung
- Stossspannungshöhe
- Übertragungsleistung oder Nennstrom
- Kurzschlussleistung oder Kurzschlussstrom mit Dauerangabe
- Betriebsart: Dauerbetrieb oder Teillastbetrieb
- Verlegeart
- Umgebungstemperaturen
- Spez. thermischer Widerstand des Bodens

2.1 Leiterwiderstände, Kapazitäten, Induktivitäten

Die Formeln und Tabellenwerte können den Produktdatenblättern entnommen werden. Die Berechnungsformeln sind in Ziffer 4 und den "Formeln" aufgeführt.

2.2 Verluste in Kabeln

In Nieder- und Mittelspannungskabeln fallen praktisch nur die ohmschen Leiterverluste und die Schirmverluste ins Gewicht. Die dielektrischen Verluste sind im Verhältnis zu den ohmschen Verlusten sehr klein. Die ohmschen Leiterverluste sind material- und temperaturabhängig. Für die Berechnung von $P = I^2 \cdot R$ muss der für 20 °C angegebene Leiterwiderstand auf die Betriebstemperatur T des Kabels umgerechnet werden:

$$R_T = R_{20} \cdot \{1 + \alpha (T - 20^\circ\text{C})\}$$

$$\alpha = 0.00393 \text{ für Kupfer}$$

$$= 0.00403 \text{ für Aluminium}$$

2.3 Feldstärkenverlauf und Ladestrom

Die Isolation der Kabel kann als homogener Zylinderkondensator betrachtet werden. Das Dielektrikum eines Kabels hat einen Feldstärkenverlauf gemäss Bild 1 und gehorcht der Formel:

$$E_x = \frac{U_0}{r_x \cdot \ln(r_a/r_i)} \text{ [kV/mm]}$$

- U_0 = angelegte Phasenspannung [kV]
- r_x = Radius an der Stelle x [mm]
- r_a = Aussenradius über der Isolation [mm]
- r_i = Radius über der inneren Feldbegrenzung [mm]

Der Spannungsgradient (elektrische Feldstärke) ist über dem inneren Halbleiter ($r_x = r_i$) am grössten, über der Isolation (unter dem äusseren Halbleiter, $r_x = r_a$) am kleinsten.

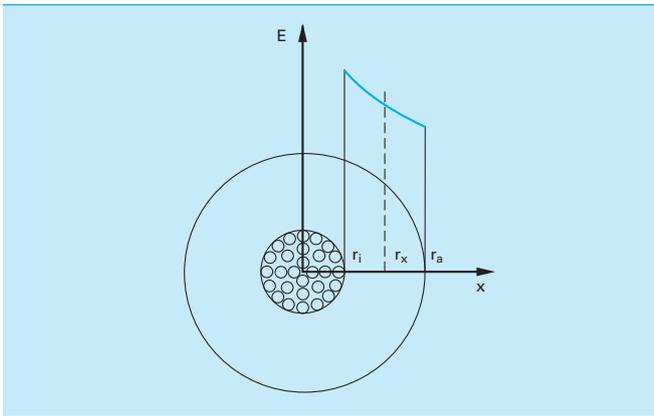


Bild 1: Radialer Feldstärkeverlauf.

2.4 Niederspannungsnetz-kabel

Niederspannungsnetz-kabel werden in zwei Netzsystemen eingesetzt:

- NS-Netze mit Schutz-erdung
- NS-Netze mit Nullung

In jedem System werden bevorzugt unterschiedliche Kabeltypen verwendet:

- In Schutz-erdungsnetzen: Vierleiterkabel Typ 3LPE mit leichter bis starker Armierung. Der isolierte PE-Leiter dient als Nullleiter, die Armierung dient als Schutzleiter, zusammen mit einem elektrisch durchverbundenen Wasserleitungssystem.
- In genullten Netzen: Vierleiterkabel Typ 3L mit konzentrischem Aussenleiter, Typ Ceander. Der Aussenleiter dient als PEN-Leiter zwischen den Gebäude-erdern.
- Die Schutz-erdung wird wegen der elektrischen Unterbrechungsstellen des Wasserleitungssystem in vermehrtem Masse durch die Nullung abgelöst.
- Armierte Vierleiterkabel lassen sich in genullten Netzen durch Verbinden des Nullleiters mit der Armierung problemlos einsetzen.
- Anders verhält es sich mit den kostengünstigen Ceanderkabeln im schutzgeerdeten System: Der konzentrische Aussenleiter darf nur als PEN-Leiter verwendet werden.

2.5 Mittelspannungsnetz-kabel

Mittelspannungsnetz-kabel sind mit einem metallischen Schirm versehen, der geerdet sein muss. Im Betrieb entstehen Schirmverluste durch:

- Magnetisierungsströme
- Wirbelströme
- Schirmausgleichsströme infolge induzierter Schirm-längsspannungen

Die Schirme der Mittelspannungsnetz-kabel werden im Normalfall beidseitig geerdet. Durch die induzierte Schirm-längsspannung U_{iS} fliesst bei der beidseitigen Schirm-erdung der Schirmstrom I_S , der die Schirmzusatzverluste erzeugt. Der Schirmstrom berechnet sich mit:

$$I_S = \frac{U_{iS}}{Z_S}$$

Z_S ist die Schirmimpedanz, die sich gemäss der folgenden Gleichung berechnen lässt:

$$Z_S = \sqrt{R_S^2 + X_S^2}$$

Der Schirmwiderstand kann aus der Geometrie und der Leitfähigkeit des Schirmmaterials errechnet werden. Die Schirmreaktanz X_S für im Dreieck verlegte Kabel lautet:

$$X_S = 1.26 \cdot 10^{-3} \cdot f \cdot \ln\left(\frac{2s}{d_S}\right) \text{ [\Omega/km]}$$

- f = Frequenz
- s = Achsabstand [mm]
- d_S = mittlerer Durchmesser des Schirms [mm]

Die Schirmspannung lautet:

$$U_S = Z_S \cdot I \cdot L \text{ [V]}$$

- I = Leiterstrom [A]
- L = Kabellänge [km]

Die Schirmverluste errechnen sich aus der Formel:

$$P_S = I_S^2 \cdot R_S$$

Eine Übersicht über die Betriebsverluste geben die folgenden Kapitel.

2.6 Verseilte Dreileiter- oder gebündelte Einleiterkabel mit Kupferdrahtschirmen

Diese Kabel haben bei einseitiger Erdung bis zu einem Leiterquerschnitt von 240 mm² nur unwesentliche Schirmverluste, bezogen auf die Gesamtverluste. Ab 300 mm²

Technische Änderungen jederzeit vorbehalten.

20170628-1

finden praktisch nur noch Einleiterkabel Verwendung, welche im Dreieck gebündelt oder in Ebene berührend verlegt werden sollen. Bei der beidseitigen Schirmerdung übersteigen die Schirmverluste dieser grossquerschnittigen Kabel die 5%-Grenze, bezogen auf die Gesamtverluste. Für diese Kabel empfiehlt es sich, eine einseitige Schirmerdung vorzusehen, um die Schirmverluste zu senken. Von einer distanzierten Verlegung der Einleiterkabel und gleichzeitiger, beidseitiger Schirmerdung ist abzuraten, da in diesem Fall die Schirmverluste 20–40 % der Gesamtverluste betragen können. Metallschirme, Muffen oder freie Kabelenden sind bei der einseitigen Schirmerdung entsprechend zu isolieren und am freien Ende mit Mantelüberspannungsableitern vor unzulässig hohen Schalt- bzw. atmosphärischen Überspannungen zu schützen. Nachteilig bei der einseitigen Schirmerdung ist der Anstieg der Nullimpedanz, die mit einem zusätzlichen Erdband tief gehalten werden kann.

3. Berechnungsgrundlagen

3.1 Betriebsarten der Kabel

Dauerlast

Bei Dauerlast wird die Last über den ganzen Tag und das ganze Jahr auf einem konstanten Wert gehalten und somit fliesst ein konstanter Strom durch das Kabel. Diese Lastart ist in Mittel- und Niederspannungsnetzen selten anzutreffen. Meistens ist dies nur in Energieerzeugungsanlagen und Unterwerken der Fall.

Industrielast

In Verteilnetzen ist die Belastung meistens zeitabhängig. Für die Auslegung einer Kabelanlage ist es von Vorteil, die Belastungskurve über 24 h zu kennen. Daraus lässt sich der Belastungsgrad (Engl.: load factor, Franz.: facteur de charge) als Verhältniszahl zur Spitzenlast bestimmen. Bei konstanter Netzspannung variiert der Strom. Der Belastungsgrad lässt sich mit einer linearen Integralrechnung bestimmen:

$$BG = \frac{1}{24h \cdot I_{max}} \cdot \int_0^{24h} I(t) \cdot dt$$

Für die Belastungsberechnungen von im Boden verlegten Kabeln ist der Verlustleistungsfaktor von Bedeutung. Dieser Faktor berücksichtigt die Trägheit der Wärmeableitung im Boden. Er lässt sich aus dem quadratischen Integral berechnen (Engl.: loss factor, Franz.: facteur d'utilisation).

$$LF = \frac{1}{24h \cdot I_{max}^2} \cdot \int_0^{24h} I^2(t) \cdot dt$$

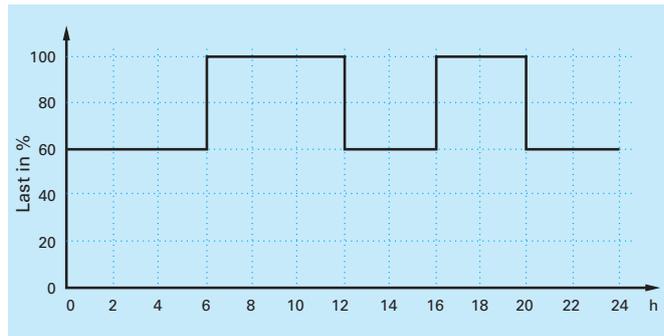


Bild 2: Tageslastkurve für Industrielast, d. h. 10 h 100 % und 14 h 60 % Nennstrom.

3.2 Grenztemperaturen

Die maximal zulässigen Leitertemperaturen sind von den verwendeten Isoliermaterialien und der verlangten Lebensdauer abhängig.

Niederspannungskabel und Mittelspannungskabel	Zulässige Leitertemperaturen		
	Dauerbetrieb °C *	Notbetrieb °C **	Kurzschlussfall °C ***
Vernetztes Polyethylen XLPE und vernetztes EPR (Ethylen-Propylen-Rubber)	90	110	250

- * Dauer-Übergangstemperatur zum Erdboden (Kabeloberfläche, Rohr, Rohrblock): 50 °C
- ** Notbetrieb während 6–8 Stunden pro Tag und maximal 100 Stunden pro Jahr
- *** Grenztemperatur nach IEC 60986 und HD 620 S2: bis 5 sec.

3.3 Bestimmung der zulässigen Kurzschlussströme

Die Kurzschlussdauer setzt sich aus der Eigenzeit des Schutzschalters und der Relaiszeit zusammen. Der Kurzschlussstrom wird aus folgenden Netzgrössen abgeleitet:

$$I_{KS} = \frac{S_{KS}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

- I_{KS} = Kurzschlussstrom
- S_{KS} = Kurzschlussleistung
- U_n = verkettete Nennspannung

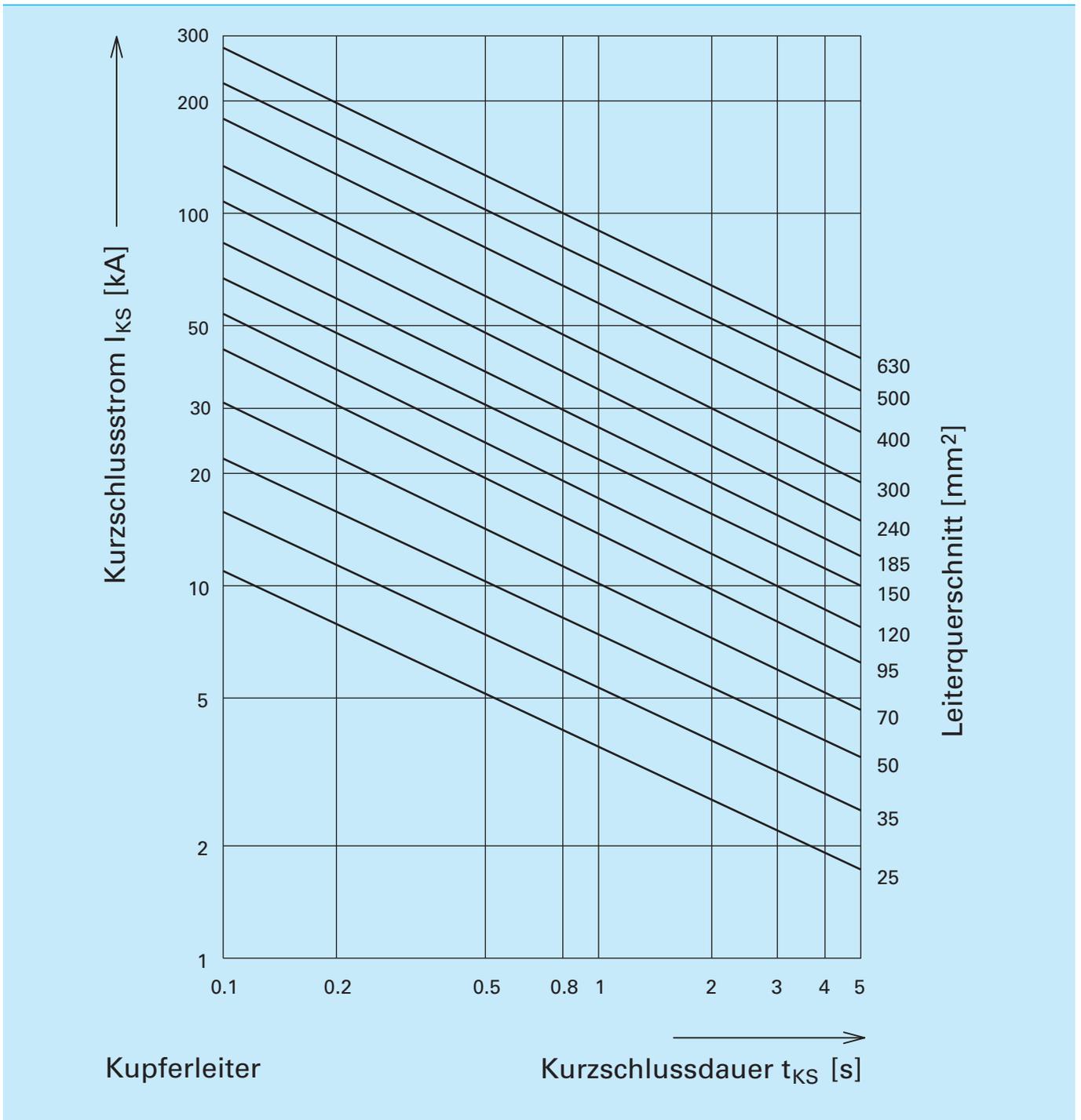


Bild 3: Bestimmung der zulässigen Kurzschlussströme der Kupferleiter.

Dauertemperatur des Leiters bei Beginn des Kurzschlusses: 90 °C
 Zulässige Temperatur bei Kurzschlussende: 250 °C

Bei Kurzschlussströmen > 40 kA ist die Grenze der dynamischen Beanspruchung erreicht. Für höhere Kurzschlussströme sind Befestigungsbriden und Kabelgurte gemäss Berechnungsvorgaben einzusetzen.

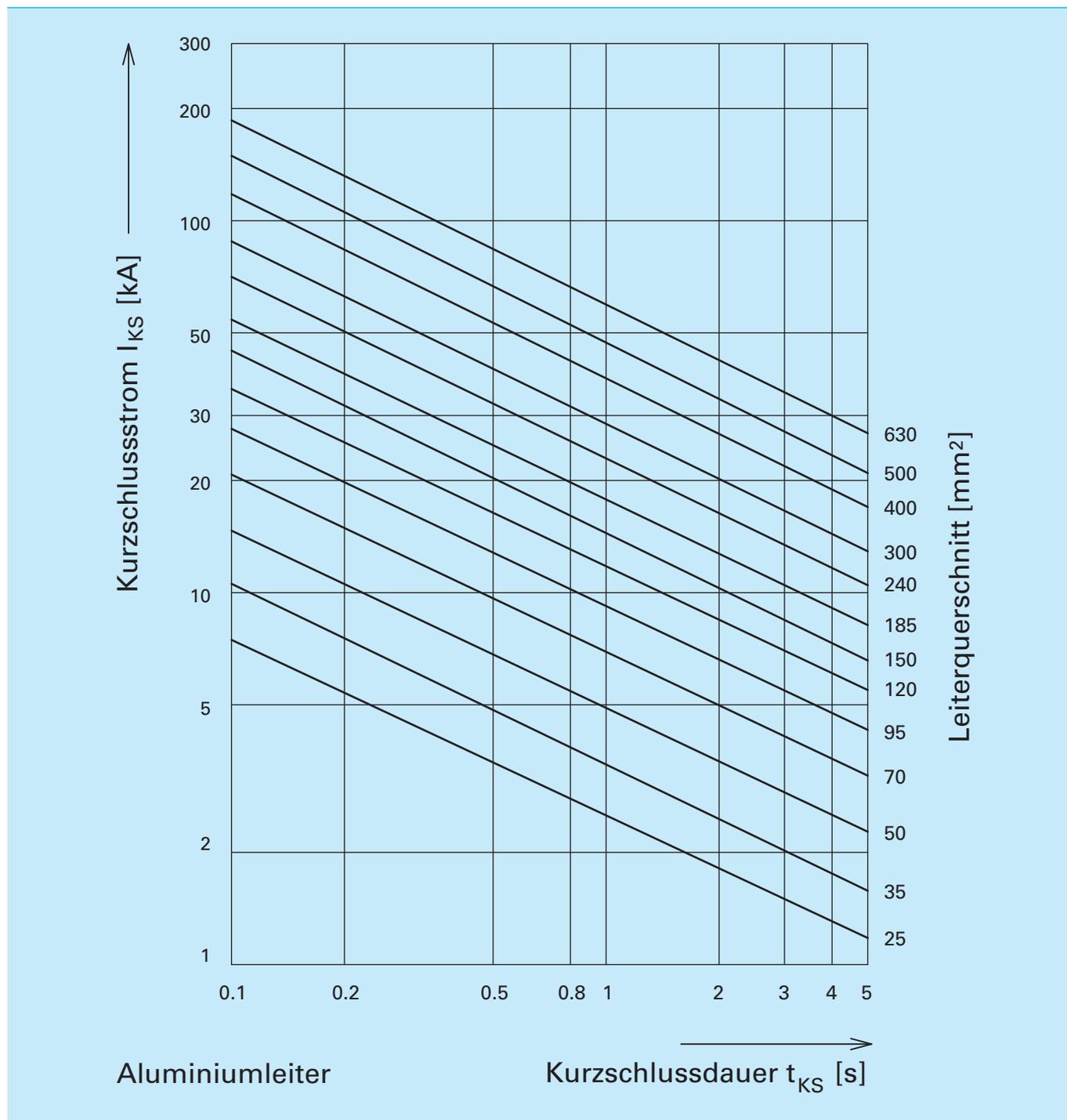


Bild 4: Bestimmung der zulässigen Kurzschlussströme der Aluminiumleiter.

Dauertemperatur des Leiters bei Beginn des Kurzschlusses: 90 °C
 Zulässige Temperatur bei Kurzschlussende: 250 °C

Bei Kurzschlussströmen > 40 kA ist die Grenze der dynamischen Beanspruchung erreicht. Für höhere Kurzschlussströme sind Befestigungsbriden und Kabelgurte gemäss Berechnungsvorgaben einzusetzen.

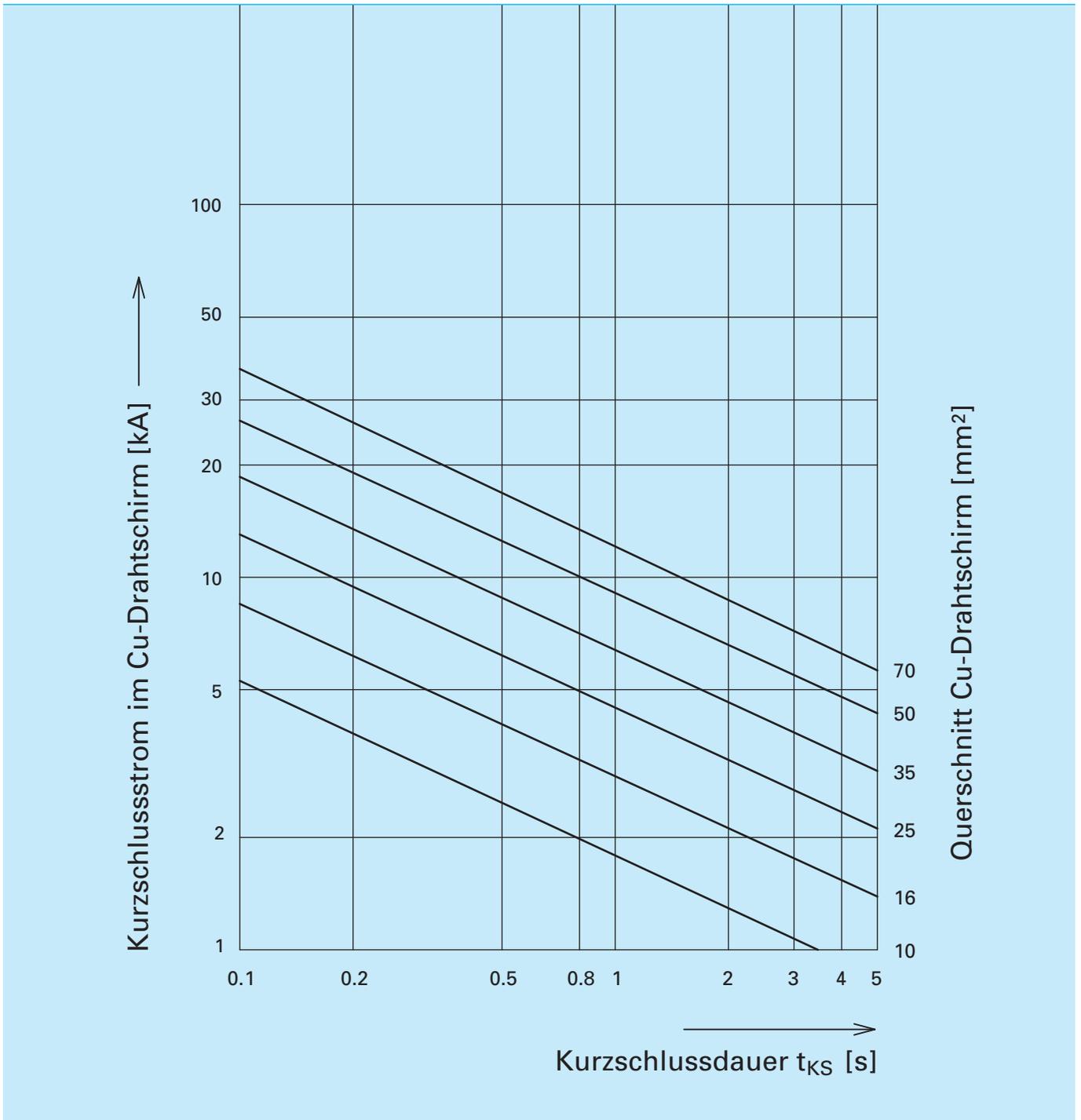


Bild 5: Zulässige Kurzschlussströme im Rundkupferdrahtschirm.

Dauertemperatur des Leiters bei Beginn des Kurzschlusses: 50 °C

Zulässige Temperatur bei Kurzschlussende: 250 °C

3.4 Dynamische Beanspruchung der Kabel

Die dynamische Beanspruchung der Kabel lässt sich aus dem Stosskurzschlussstrom ableiten.

$$I_S = k \cdot \sqrt{2} \cdot I_{KS}$$

I_S = Stosskurzschlussstrom [A]

k = Stossfaktor (allg. mit 1.8 angenommen)

I_{KS} = Kurzschlussstrom [A]

Die dynamische Kraft, die ein umschlingendes Band aufzunehmen hat, ist:

$$F_B' = \beta \cdot \frac{\mu_0 \cdot I_S^2}{2\pi \cdot s} \quad [\text{N/m}]$$

F_B' = radiale Bandbeanspruchung [N/m]

β = Anordnungsfaktor

für ebene Verlegung $\beta = 0.404$

für Verlegung im Dreieck $\beta = 0.5$

μ_0 = Induktionskonstante = $4\pi \cdot 10^{-7}$ [N/A²]

s = Distanz zwischen den Leiterachsen [m]

oder vereinfacht mit $k = 1.8$:

$$F_B' = 1.3 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\beta \cdot I_{KS}^2}{s} \quad [\text{N/m}]$$

Bei Kurzschlussströmen über 40 kA ist die Grenze der dynamischen Beanspruchung erreicht. Verseilte Mehrleiterkabel überstehen die Kurzschlusskräfte im Wesentlichen unbeschädigt. Einleiterkabel und die aufgeteilten Enden der Mehrleiterkabel müssen in kurzen Abständen mit Kabelbriden oder Kabelgurten befestigt werden. Brugg Cables verfügt über die entsprechenden Berechnungsprogramme.

3.5 Verlegung der Kabel im Boden

Ein Kabel, das im Boden verlegt ist, kann seine Verlustwärme nur an das umgebende Erdreich abgeben. Für die Wärmeableitung hat der spezifische thermische Widerstand des Erdbodens ρ_E einen massgebenden Einfluss. Die Dichte und der Feuchtigkeitsgehalt des umgebenden Materials bestimmen diesen ρ_E -Wert. Der spezifische thermische Widerstand eines Materials schwankt stark mit dem Feuchtigkeitsgehalt. Im trockenen Zustand sind die Werte etwa doppelt so gross wie im feuchten. Mit höherer Materialdichte sinken die Wärmewiderstände.

Im nicht gestörten Zustand weisen die meisten Materialien einen spezifischen thermischen Widerstand von 0.6–0.8 K·m/W auf. In Anbetracht der Abhängigkeit zwischen Temperatur und Feuchtigkeit ist der für die Berechnungen angenommene Grenzwert $\rho_E = 1$ K·m/W richtig gewählt. Dieser Wert entspricht IEC 60287.

Beton hat einen tiefen spezifischen thermischen Widerstand und ist relativ wenig feuchtigkeitsabhängig. Zudem wird die Berührungsfläche zum Erdreich durch einen Betonrohrblock vergrössert, was die Wärmeableitung begünstigt.

3.6 Bedingungen für die Berechnung der Belastbarkeiten

Verlegung im Boden, direkt in Erde oder in Rohren

Berechnung für ein Kabelsystem

– Dauerlastbetrieb	24 h 100 %
Belastungsgrad	BG = 1
Verlustleistungsfaktor	LF = 1
– Industrielastbetrieb	10 h 100 %, 14 h 60 %
Belastungsgrad	BG = 0.767
Verlustleistungsfaktor	LF = 0.627
– Leitertemperatur	60 °C, 90 °C
– Verlegetiefe	1 m
– Temperatur im Boden	20 °C
– Spezifischer thermischer Widerstand des Bodens	1 K·m/W

Verlegung in Luft

Berechnung für ein Kabelsystem

– Dauerbetrieb	24 h 100 %
Verlustleistungsfaktor	LF = 1
– Leitertemperatur	60 °C, 90 °C
– Temperatur der Luft	30 °C

3.7 Bestimmung des Querschnitts

Der Leiterquerschnitt kann wie folgt bestimmt werden:

1. Berechnen des Betriebsstroms aus der Übertragungsleistung:

$$I_B = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}$$

I_B = Betriebsstrom [A]

S = Übertragungsleistung [kVA]

U = verkettete Netzspannung [kV]

2. Art der Verlegung ermitteln (im Boden, in Rohren oder direkt in Erde, in Luft).
3. Schirmerdungsart ermitteln.
4. Bei Abweichungen von Normalbedingungen: Korrekturfaktoren gemäss Kapitel 4 mit einbeziehen.
5. Leiterquerschnitt aus Strombelastbarkeitstabellen bestimmen.
6. Mittelspannungskabel: Kurzschlussfestigkeit des ausgewählten Leiterquerschnitts und der metallischen Abschirmung überprüfen. Eventuell ist der Querschnitt wegen der Kurzschlussfestigkeit zu erhöhen.

Berechnung des Kurzschlussstroms aus der Kurzschlussleistung:

$$I_{KS} = \frac{S_{KS}}{\sqrt{3} \cdot U}$$

I_{KS} = Kurzschlussstrom [kA]

S_{KS} = Kurzschlusswechselstromleistung [MVA]

U = verkettete Netzspannung [kV]

7. Niederspannungskabel: Der Spannungsabfall ist für einen ausgewählten Querschnitt zu berechnen und mit den Vorgaben zu vergleichen. Je nach Ergebnis ist der Querschnitt höher auszuwählen.
8. Bestimmung des wirtschaftlichen Leiterquerschnitts gemäss Kapitel 5.

4. Tabellen und Korrekturfaktoren

4.1 Maximale Gleichstrom-Leiterwiderstände nach IEC 60228 bei 20 °C Leitertemperatur

Leiterquerschnitt mm ²	Kupfer Ω/km	Aluminium Ω/km
1.5	12.10	—
2.5	7.41	—
4	4.61	—
6	3.08	—
10	1.83	3.08
16	1.15	1.91
25	0.727	1.20
35	0.524	0.868
50	0.387	0.641
70	0.268	0.443
95	0.193	0.320
120	0.153	0.253
150	0.124	0.206
185	0.0991	0.164
240	0.0754	0.125
300	0.0601	0.100
400	0.0470	0.0778
500	0.0366	0.0605
630	0.0283	0.0469
800	0.0221	0.0367

4.2 Umrechnungsfaktoren für den Gleichstrom-Leiterwiderstand bei von 20 °C abweichenden Temperaturen

Leitertemperatur °C	Faktor 1 + (α ₂₀ · Δθ)	
	Kupfer	Aluminium
20	1.000	1.000
25	1.020	1.020
30	1.039	1.040
35	1.059	1.060
40	1.079	1.081
45	1.098	1.101
50	1.118	1.121
55	1.138	1.141
60	1.157	1.161
65	1.177	1.182
70	1.196	1.204
75	1.216	1.225
80	1.236	1.245
85	1.255	1.265
90	1.275	1.285
95	1.293	1.305
100	1.314	1.325

4.3 Umrechnungsfaktoren der Strombelastbarkeit bei abweichender Umgebungstemperatur

Verlegung der Kabel in Kunststoffrohren in Erde

Leitertemperatur °C	Bodentemperatur °C			
	10	20	30	40
60	1.10	1.00	0.91	0.87
75	1.08	1.00	0.92	0.86
90	1.07	1.00	0.93	0.85

Verlegung der Kabel in Luft

Leitertemperatur °C	Lufttemperatur °C				
	10	20	30	40	50
60	1.35	1.18	1.00	0.79	0.52
75	1.24	1.12	1.00	0.86	0.71
90	1.18	1.09	1.00	0.90	0.79

Bei parallel verlegten Kabeln in Luft (ungehinderte Luftzirkulation), mit Abstand zwischen den Kabeln > 0.75 x Kabeldurchmesser, ist keine Reduktion zu berücksichtigen.

4.4 Umrechnungsfaktoren der Strombelastbarkeit für Parallelverlegung

Dreileiter-Mittelspannungskabel in Kunststoffrohren parallel verlegt, Achsabstand 25 cm

XKDT-YT 3x1x...	Querschnitt	
	25–70 mm ²	95–240 mm ²
	0.90	0.85
	0.78	0.75
	0.72	0.70

4.5 Umrechnungsfaktoren der Strombelastbarkeit bei abweichendem, spezifischem thermischem Bodenwiderstand

Verlegung der Kabel in Kunststoffrohren in Erde

Querschnitt mm ²	Spezifischer thermischer Bodenwiderstand (K · m/W)						
	0.7	1.0	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0
25 bis 95	1.13	1.00	0.94	0.84	0.75	0.68	0.63
120 bis 630	1.14	1.00	0.93	0.84	0.73	0.66	0.61

Technische Änderungen jederzeit vorbehalten.

20170628-1

5. Bestimmung des wirtschaftlichen Querschnittes

In den Strombelastungstabellen sind die maximal zulässigen, thermischen Betriebsströme aufgeführt. Die wirtschaftliche Strombelastbarkeit liegt in der Regel wesentlich tiefer als der thermische Grenzstrom. Deshalb ist es in vielen Fällen angezeigt, einen höheren Leiterquerschnitt mit Bezug auf die Wirtschaftlichkeit zu überprüfen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Mehrkosten für den nächstgrösseren Leiterquerschnitt durch die geringeren ohmschen Verluste in wenigen Jahren amortisiert werden.

Der wirtschaftliche Leiterquerschnitt steigt mit:

- dem höheren Einkaufspreis der Elektrizität,
- steigender Benutzungsdauer,
- längerer Abschreibungsdauer,
- fallendem Zinssatz,
- fallendem Preisunterschied des Kabels mit dem nächstgrösseren Leiterquerschnitt.

Der wirtschaftliche Leiterquerschnitt kann aus der Differenz der Kabelpreise und den eingesparten und kapitalisierten ohmschen Verlusten berechnet werden. Die speziellen Berechnungen lassen sich mit den Berechnungsprogrammen von Brugg Cables auf Anfrage durchführen.

6. Spannungsabfall

Der Spannungsabfall ist vor allem bei Niederspannungsnetzen mitbestimmend für die Wahl eines Kabelquerschnittes. Bei Kabellängen über ca. 250 m wirkt der Spannungsabfall lastmindernd. Schematisch lässt er sich wie folgt darstellen:

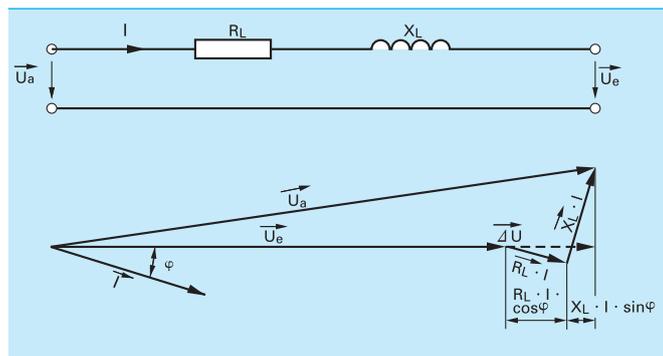


Bild 6: Schematische Darstellung des Spannungsabfalls

In einem gut ausgelegten Versorgungsnetz sollte der Spannungsabfall zwischen dem sekundärseitigen Abgang des Quartiertransformators und dem Hausanschlusskasten maximal 3% betragen, da der problemlose Betrieb spannungsempfindlicher Geräte wie von Radios, Fernsehern, speicherprogrammierbaren Geräten, Leuchten usw. stark von einer konstanten Spannung, d.h. voller Spannungshöhe ohne Schwankungen, abhängt. Nur in Ausnahmefällen, bei denen ein hoher Aufwand für den Anschluss nicht mehr wirtschaftlich ist, z. B. bei abseits gele-

genen Abnehmern, ist ein Unterschied von 5–7% vertretbar. Der zusätzliche Spannungsverlust in der Hausinstallation wird meist mit 2% angesetzt und ist ebenfalls zu berücksichtigen.

Der Spannungsunterschied ΔU wird in Prozenten der Betriebsspannung U angegeben. Er beträgt für eine bekannte Übertragungsleitung P:

$$\Delta U = \frac{P \cdot L \cdot 100 \cdot (R_w \cdot \cos\varphi + X_L \cdot \sin\varphi)}{U_V^2 \cdot \cos\varphi}$$

oder bei einem bekannten Strom I:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot L \cdot 100 \cdot (R_w \cdot \cos\varphi + X_L \cdot \sin\varphi)}{U_V \cdot \cos\varphi}$$

- P = Übertragungsleistung [W]
- L = Trasseelänge [km]
- R_w = Wirkwiderstand der Leitung [Ω/km]
- X_L = induktiver Widerstand der Leitung [Ω/km]
- U_V = verkettete Netzspannung [V]
- ΔU = Spannungsunterschied [%]
- I = Strom [A]
- φ = Phasenwinkel der Last

Näherungsformel für die Abschätzung des Spannungsabfalls:

$$\Delta U = \frac{Z_{60} \cdot \sqrt{3} \cdot I \cdot L \cdot 100}{U_V}$$

Z₆₀ = Impedanz bei 60°C und 50 Hz
Werte siehe unter den Kabeldatenblättern.

Der Spannungsunterschied ist dem Lastmoment P · L direkt proportional. Zum Bestimmen des Leiterquerschnittes kann für die Betriebsspannung U/U₀ = 400/230 V Bild 7 benutzt werden.

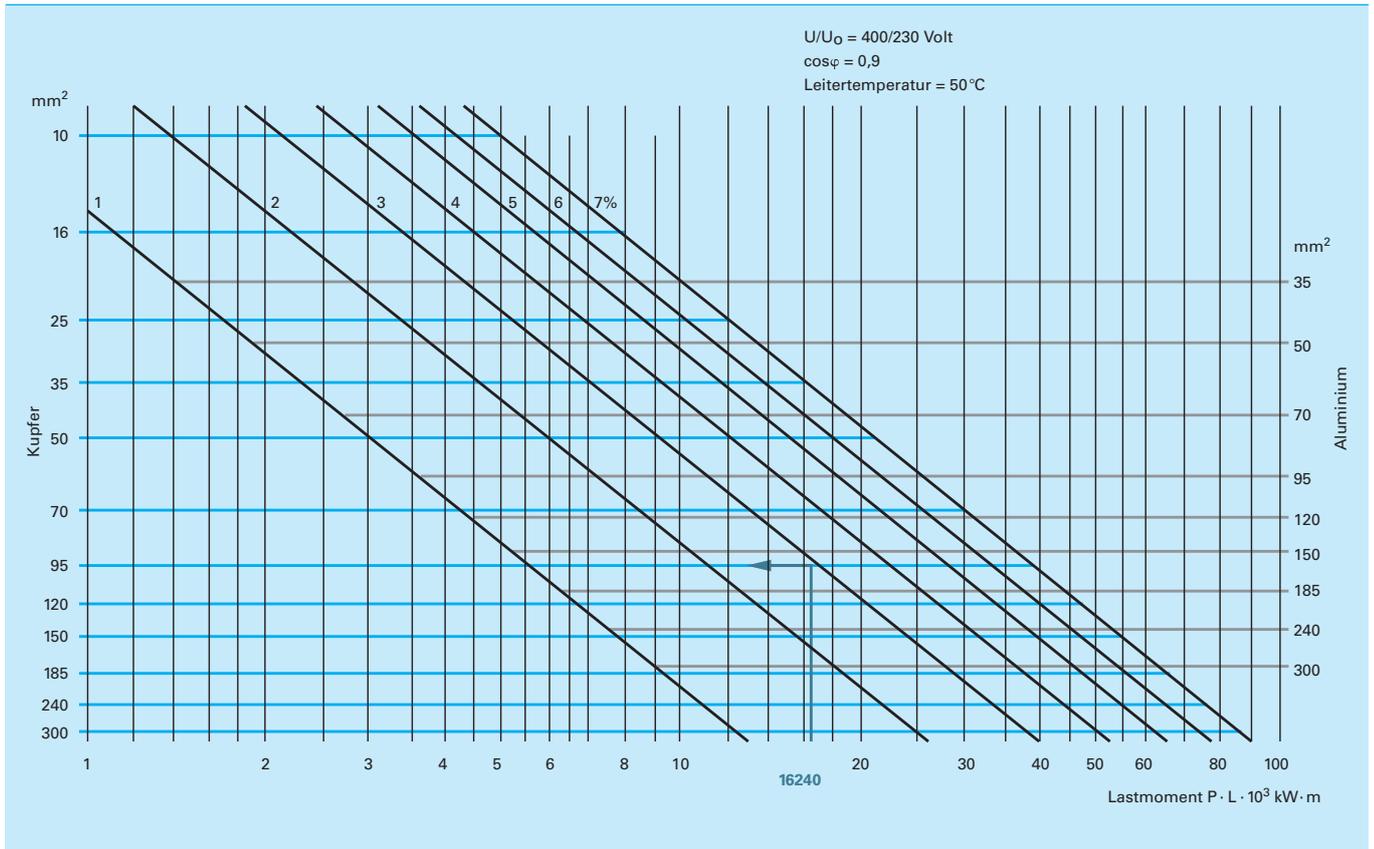


Bild 7: Kabelquerschnitt unter Mitberücksichtigung des Spannungsabfalls.

Beispiel: Gegeben ist der folgende Fall mit Trafostation:

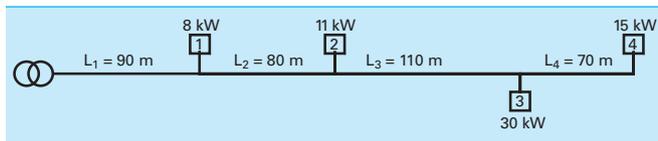


Bild 8: Niederspannungsstrang.

Gesucht: Kabelquerschnitt in Cu für $\Delta U = 3\%$

Lösung:

1. Lastmomente errechnen

$$\begin{aligned}
 P_1 \cdot L_1 &= 8 \text{ kW} \cdot 90 \text{ m} = 720 \text{ kW} \cdot \text{m} \\
 P_2 \cdot (L_1 + L_2) &= 11 \text{ kW} \cdot 170 \text{ m} = 1870 \text{ kW} \cdot \text{m} \\
 P_3 \cdot (L_1 + L_2 + L_3) &= 30 \text{ kW} \cdot 280 \text{ m} = 8400 \text{ kW} \cdot \text{m} \\
 P_4 \cdot (L_1 + L_2 + L_3 + L_4) &= 15 \text{ kW} \cdot 350 \text{ m} = \underline{5250 \text{ kW} \cdot \text{m}} \\
 &= 16240 \text{ kW} \cdot \text{m}
 \end{aligned}$$

2. Aus dem Diagramm können die Querschnitte und effektiven Spannungsabfälle direkt abgelesen werden. In diesem Fall:

Beim Lastmoment $16240 \text{ kW} \cdot \text{m}$ und max. 3% Spannungsabfall ergibt sich der minimale Leiterquerschnitt $\text{Cu} = 95 \text{ mm}^2$

7. Erdung der Kabelabschirmungen

Wird der Kabelschirm einseitig an Erde gelegt, entsteht in der Abschirmung eine vom Leiterstrom induzierte Längsspannung. Aus Sicherheitsgründen werden die Kabelschirme von Mittelspannungskabeln normalerweise beidseitig starr geerdet. Es fließt deshalb in den Abschirmungen ein Strom, der von der induzierten Mantellängsspannung hervorgerufen wird. Der Betrag des Schirmstroms ist proportional zum Leiterstrom. Bei distanzierter Verlegung und Kabelquerschnitten über 240 mm^2 wird wegen der hohen Schirmverluste oder bei Gefahr vor Potenzialverschleppung die einseitige Schirmerdung empfohlen. Um die Sicherheit trotzdem zu gewährleisten, muss das offene Ende jeder Phase mit einem Überspannungsableiter geschützt und der gesamte Aufbau mit einer Vorsichtstafel versehen werden. Das Prinzip der einseitigen Schirmerdung ist aus Bild 9 ersichtlich. Kabelschirme und Kabelendverschlüsse sind als unter Spannung stehend zu betrachten. Die Auslegung der Überspannungsableiter hängt vom Kurzschlussstrom und von der Verlegeanordnung ab.

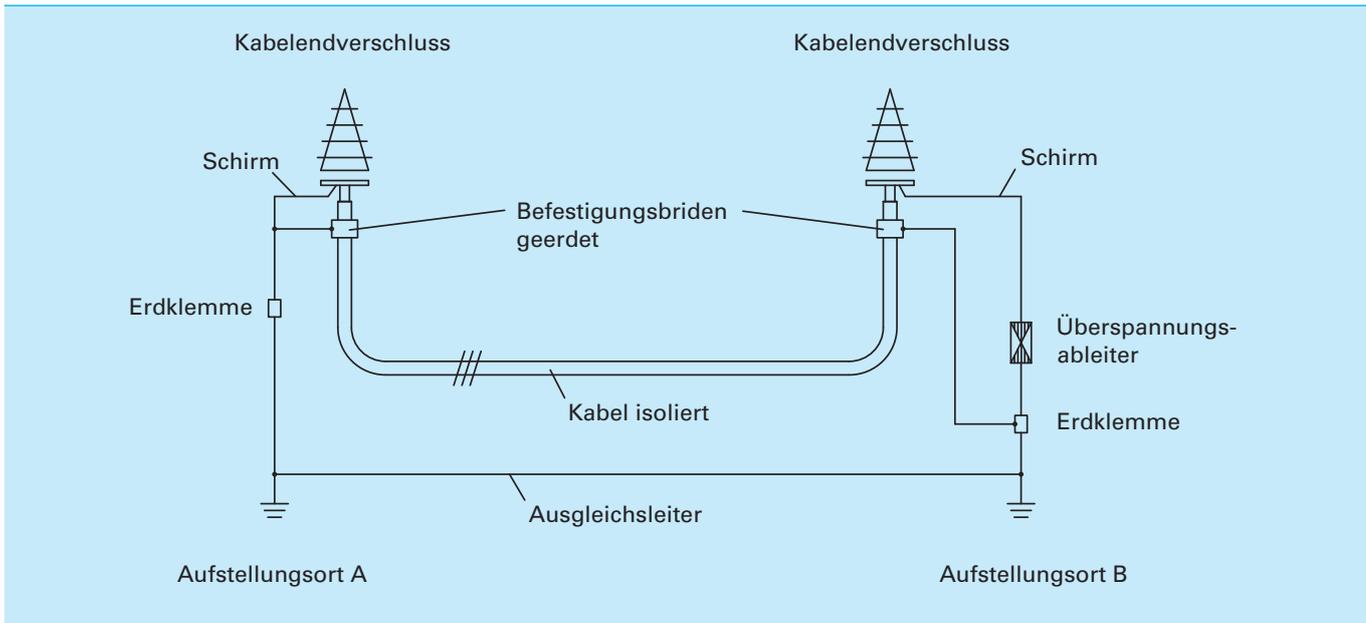


Bild 9: Prinzip der einseitigen Schirmerdung.

8. Mehrere parallel geschaltete Kabel pro Phase. Stromaufteilung im Dreiphasen-System

Die Parallelschaltung von Kabeln drängt sich vor allem in der Niederspannung auf, wenn hohe Ströme zu übertragen sind. Dies gilt natürlich gleichwohl für die Mittelspannung, wenn hohe Ströme auftreten. Die nachstehende Beschreibung bezieht sich auf Niederspannungs-Dreileitersysteme mit Nullleiter.

Ein Drei- oder Vierleiterkabel mit regelmässiger Verseilung stellt ein perfektes, symmetrisches System mit ausgeglichenen Phasenreaktanzen dar. Durch die Wahl gleicher Querschnitte und Verlegelängen wird eine sehr gute Stromverteilung erreicht.

Werden nicht verseilte Einleiterkabel eingesetzt, ist vordringlich darauf zu achten, dass die Induktivitäten der Parallelliter jeder Phase gleich gross sind. Dies lässt sich mit symmetrischen Phasenarrangements bezüglich eines Punktes oder einer Achse erreichen. Jeder Leiter ist in diesem Fall der gleichen Rückwirkung (Gegeninduktivität) aller anderen Leiter ausgesetzt.

Mit zwei oder vier Parallelsystemen (-strängen) kann normalerweise eine sehr gute Symmetrie und Stromaufteilung erreicht werden. Für ein System mit drei Parallellitern ist eine Dreieckanordnung zu empfehlen. Enorm wichtig ist, dass die Teilstränge eines Parallellitersystems in Einzelsträngen von L1, L2, L3, N angeordnet werden, die mit Vorteil berührend verlegt werden.

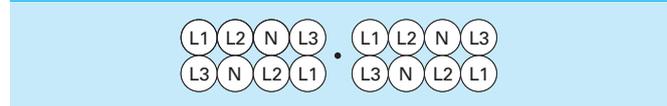
Anordnung von Einleiterkabeln mit 2 resp. 4 Parallelkabelsystemen

in gleicher Ebene



Achsensymmetrie

im Viereck (oder Dreieck)



Punktsymmetrie

Bild 10: Anordnung Einleiterkabel.

9. NISV und elektromagnetische Verträglichkeit

NISV heisst: nichtionisierende Strahlungsverordnung. Unter die nichtionisierenden Strahlungen fallen die elektromagnetischen Strahlen.

Niederspannungs- und Mittelspannungskabel haben beide eine Abschirmung, sowohl als Ein-, Drei- wie auch als Vierleiterkabel. Diese Abschirmung ist mindestens einseitig, sicherheitsmässig besser zweiseitig an Erde zu legen. Durch diese Erdung wird das elektrische Potenzial auf Null gelegt. Innerhalb der Abschirmung weist das Kabel eine elektrische Feldstärke entsprechend seiner Betriebsspannung auf, ausserhalb beträgt die elektrische Strahlung Null. Ungeschirmte Kabel haben diesen Vorteil nicht; man trifft diese Kabel in der Niederspannung an und dort muss die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) sehr speziell beurteilt werden.

Niederspannungs-Drei- und -Vierleiterkabel sowie Einleiter-Niederspannungs- und Mittelspannungs-Netzkabel, die im gleichen Rohr in Erde verlegt sind, bedürfen keines NISV-Nachweises. Den Hintergrund bilden die kleinen Abstände zwischen den drei Phasenleitern, die nur niedrige elektromagnetische Felder (EMF) verursachen, die als unkritisch beurteilt werden.

Magnetische Strahlung

Die magnetischen Strahlungen von Mittelspannungskabeln sind in den Verteilnetzen extrem selten kritisch hoch, d. h. über 1 μT (1 Mikrottesla). In den Niederspannungsabgängen von Transformatoren mit hohen Strömen oder bei Sammelschienenabgängen können hohe magnetische Feldstärken entstehen. In diesen Fällen ist es wichtig, die geometrische Anordnung von Einleiterkabeln physikalisch richtig und handwerklich optimal auszulegen. Es ist extrem wichtig, die einfachen Regeln für die Verlegung und die Führung der Kabel gemäss dem vorausgegangenen Unterkapitel «Stromaufteilung im Dreiphasensystem» in der Praxis anzuwenden. Die Erfahrung hat auch gezeigt, dass vier Einleiterkabel L1, L2, L3 und N, zu einem symmetrischen Vierleiterkabel verseilt, die geringsten Abweichungen in Bezug auf die Stromaufteilung von parallel geschalteten Phasenleitern ergeben.

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

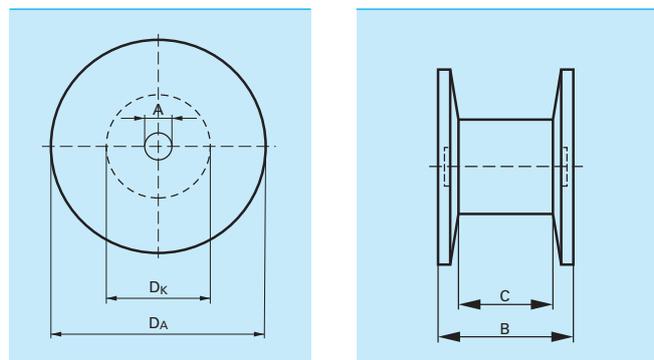
Die Kabel werden im Allgemeinen auf Rollen geliefert. Bei der Kabelrolle muss der Kerndurchmesser dem Kabeldurchmesser angepasst sein und das Fassungsvermögen der Kabelrolle dem vorgesehenen Kabel entsprechen.

Der Mindestdurchmesser des Rollenkernes 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
	DA	DK	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.

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.

20170628-1

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 Kunststoffrohanlagen 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



Kunststoffrohanlage 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 Kunststoffschur eingblasen wird, darf kein Zement in die Rohre eindringen.

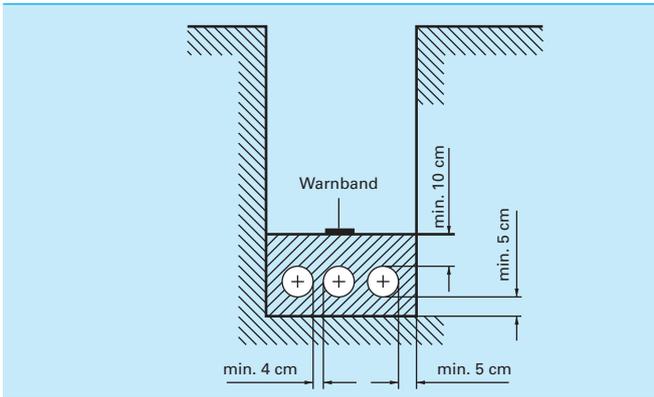
Rohranlage im Erdreich

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.

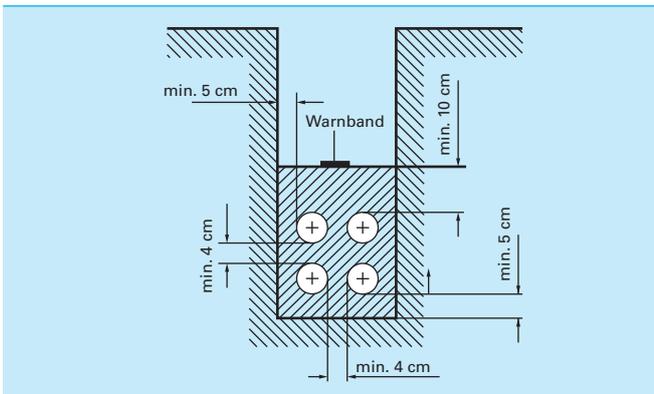
Rohranlage einbetoniert

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.

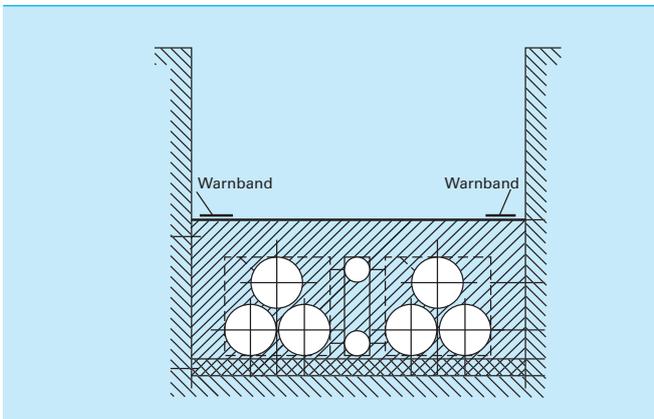
Einbetonierte Rohranlagen:



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 Biegradius 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 Kunststoffsnur 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 eingezo-gen 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.

Technische Änderungen jederzeit vorbehalten.

20170628-1



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 Trasseeprofil 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 Kabeltrasseee 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

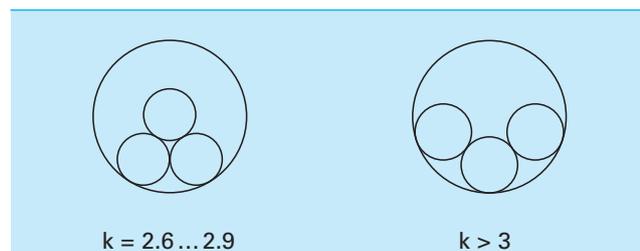
Die Verlegerichtung soll so gewählt werden, dass die kleinste Zugbeanspruchung am Verlegende auftritt. Diese wird dann erreicht, wenn die Kabelrolle an dem Ende mit den meisten resp. den engsten Kurven steht. Wenn immer möglich wird bei Trassees mit Höhenunterschieden von oben nach unten gezogen.

Höhenunterschiede

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

Einzug von drei Einleiterkabeln

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



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

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

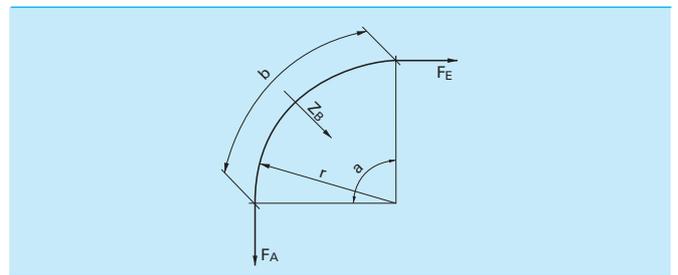
$$Z_B = \frac{F \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{r \cdot \pi \cdot \frac{\alpha}{360^\circ}}$$

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.

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

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

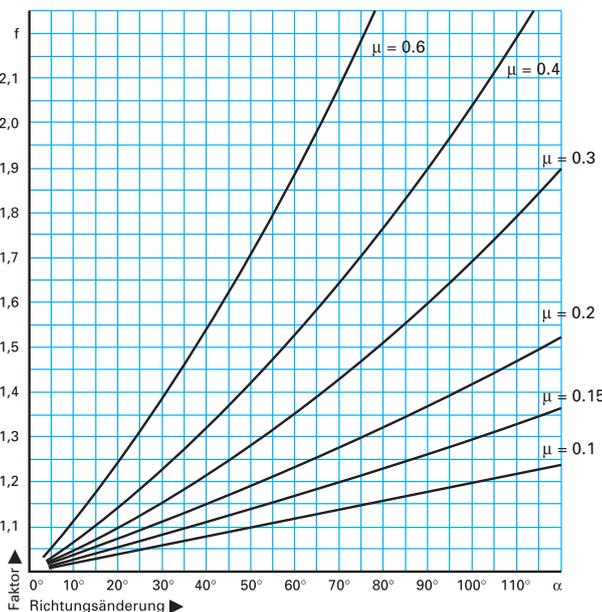
Berechnung der Zugkraft bei Krümmungen

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

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

- 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:



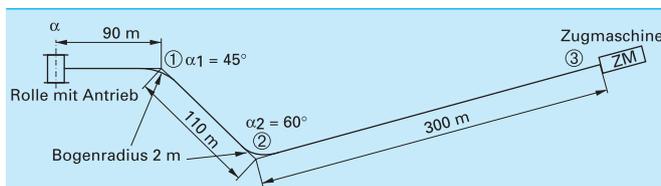
Reibungskoeffizienten

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-

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

	Kabel mit äusserem Kunststoffmantel μ	Kabel mit äusserer Zugarmierung 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

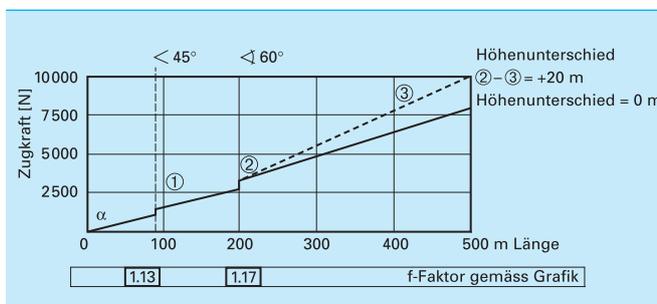
Berechnungsbeispiel für eine Kabelverlegung
Einzug von 3 Einleiterkabeln in PE-Rohr Ø 120 mm



Kabeltyp: XKDT 1x240/35 mm², 20/12 kV
 Kabelgewicht pro m m = 3.36 kg
 Kabeldurchmesser D_A = 41 mm
 Min. Biegeradius = 15 · D_A = 15 · 41 = 615 mm
 Trasseelänge L = 500 m
 Höhendifferenz h = 0 m
 Verlegetemperatur ϑ = +5 °C
 Schmierung Gleitfett

Berechnungsschema: 3 Kabel 3 x 3.36 x 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 · 100 · 90 = 1 350	1 350 · 1.13 = 1 525	8 215
0...2	L ₂ = 110	1 525 + 0.15 · 100 · 110 = 3 175	3 175 · 1.17 = 3 715	
0...3	L ₃ = 300	3 715 + 0.15 · 100 · 300 = 8 215	Kein Bogen mehr	



Kontrolle der vier Bedingungen

1. Zulässige Zugkraft nicht überschreiten

$$F_{zul} = 3 \cdot 240 \text{ mm}^2 \cdot 40 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 28\,800 \text{ N}$$

$$8\,215 \text{ N} < 28\,800 \text{ N}$$

2. Zulässige Radialkraft nicht überschreiten

$$Z_{Bzul} = \frac{F_E}{r} = \frac{3\,715 \text{ N}}{2 \text{ m}} = 1\,858 \text{ N/m}$$

$$1\,858 \text{ N/m} < 10\,000 \text{ N/m}$$

3. Biegeradius nicht unterschreiten

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

4. Minimale Verlegetemperatur nicht unterschreiten

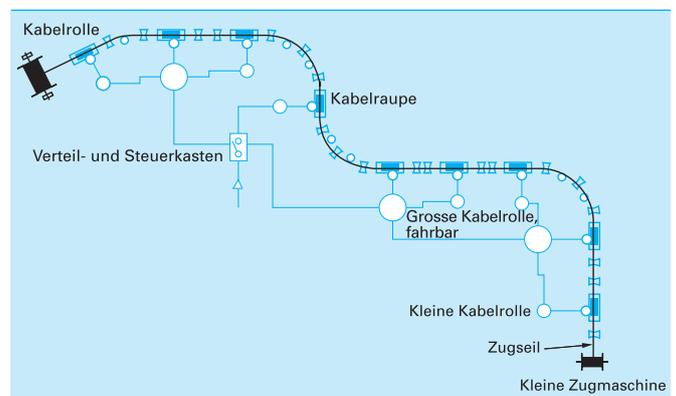
$$+5 \text{ °C} > -5 \text{ °C}$$

Alle vier Bedingungen sind erfüllt.

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

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

Die vier Bedingungen bleiben erfüllt.



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

Technische Änderungen jederzeit vorbehalten.

20170628-1

Prüfungen

Routine-Prüfungen an allen Kabellängen

Jedes Kabel wird vor dem Verlassen des Werks einer Stückprüfung unterzogen. Im Mittelspannungsbereich wird die Teilentladungsfreiheit unter erhöhter Spannungsbelastung gemessen. Die langjährige Erfahrung mit der Teilentladungsprüftechnik bestätigt die Richtigkeit dieses Vorgehens. In Bild 1 ist der abgeschirmte Raum für die Spannungsprüfung und die Teilentladungsmessung wiedergegeben.



Bild 1: Abgeschirmter Raum.

An jeder einzelnen Kabellänge werden nach den internen QS-Richtlinien folgende Messungen durchgeführt, protokolliert und auf die Norm-Konformität überprüft:

- Isolationswiderstand (nur bei 1-kV-Kabeln)
- Kabelaufbau
- Leiterwiderstand
- Spannungsprüfung und Teilentladungsmessung

Niederspannungskabel 1 kV

Spannungsprüfung	3.5 kV, 50 Hz, 10 min
Isolationswiderstand	PE, EPR $\geq 50 \text{ M}\Omega \cdot \text{km}$

Mittelspannungskabel 10–30 kV

Auszug aus den Normen

	HD 620-N Schweiz	VDE 0276-620	IEC 60502-2
Spannungsprüfung	20 min, $4 \cdot U_0$	5 min, $3.5 \cdot U_0$	5 min, $3.5 \cdot U_0$
Teilentladungsmessung	$4 \cdot U_0$ $< 5 \text{ pC}$	$2 \cdot U_0$ $\leq 2 \text{ pC}$	$1.73 \cdot U_0$ *)

*) keine erkennbare Teilentladung aus dem Prüfobjekt

Typenprüfungen und fertigungsbegleitende Prüfungen

Für alle Kabel werden den Normen entsprechend spezielle Typprüfungen durchgeführt. Diese sehr aufwändigen Prüfungen mit Langzeittests werden im Hochspannungslabor von Brugg Cables durchgeführt. Zur Sicherung der Qualität werden auch Kabel aus der laufenden Fertigung entnommen und den Ein- resp. Zweijahreslangzeitprüfungen in speziell eingerichteten Prüffeldern nach HD 605 S2 (2008) unterworfen. Mit neuen und weiterentwickelten Kabelprodukten wird ebenfalls die Langzeitprüfung mit anschließender Stufenprüfung durchgeführt. Mit der Langzeitprüfung können Alterungsvorgänge unter der Einwirkung von Wasser nachgebildet werden.



Bild 2: Langzeitprüfung nach HD 605 S2 und HD 620 S2



Bild 3: Biegeprüfung vor dem Start zur elektrischen Typprüfung.



Bild 4: Stossspannungsgenerator zur Prüfung des Stossspannungsverhaltens der Kabel.

Materialkonstanten

Isolierstoffe

Isolierstoff	Relative Dielektrizitätskonstante ϵ_r	Verlustfaktor $\tan\delta$ bei 50 Hz $\times 10^{-4}$	Wärmeleitwiderstand ρ_{th} $K \cdot m/W$	Wärmekapazität C $\times 10^6 \cdot J/(K \cdot m^3)$	Dichte g/cm^3
XLPE	2.3 ... 2.5	< 10	3.5	2.4	0.91 ... 0.97
EPR	2.7 ... 3.5	< 40	5.0	2.0	1.2
PE	2.3	< 10	3.5	2.4	0.91 ... 0.97
PVC	5 ... 8	< 1000	6.0	1.7	1.2 ... 1.5

Metalle

Metall	elektrische Leitfähigkeit κ bei 20 °C $m/(\Omega \cdot mm^2)$	Dichte g/cm^3	Wärmedehnungskoeffizient α $\times 10^{-6}/K$	Temperaturkoeffizient α $\times 10^{-3}/K$	Wärmekapazität C $\times 10^6 \cdot J/(K \cdot m^3)$	Schmelzpunkt $^{\circ}C$
Kupfer	57	8.9	16.2	3.93	3.4	1084
Kupferlegierung SF-Cu F22 (Kupferwellmantel)	48					
Aluminium	36	2.7	23.8	4.03	2.5	658
Aldrey	30	2.7	23	3.6	2.4	
Stahl	7.2	7.8	11.5	4.5	3.8	1400
Edelstahl	1.2	7.9	16			
Blei	4.7	11.3	29	4.0	1.4	327

SI-Einheiten

1. Internationales Einheitensystem SI

Gemäss Comité International des Poids et Mesures (CIPM)

Basisgrössen

Symbol	Physikalische Grösse	SI-Basiseinheit	Weitere SI-Einheiten
<i>l</i>	Länge	m (Meter)	km, dm, cm, mm, μ m, nm, pm
<i>m</i>	Masse	kg (Kilogramm)	Mg, g, mg, μ g
<i>t</i>	Zeit	s (Sekunde)	ks, ms, μ s, ns
<i>I</i>	Elektrische Stromstärke	A (Ampère)	kA, mA, μ A, nA, pA
<i>T</i>	Thermodynamische Temperatur	K (Kelvin)	
<i>n</i>	Stoffmenge	mol (Mol)	Gmol, Mmol, kmol, mmol, μ mol
<i>I_v</i>	Lichtstärke	cd (Candela)	Mcd, kcd, mcd

2. Abgeleitete SI-Einheiten

Formelzeichen für Grössen werden schräg (kursiv), Einheitenzeichen senkrecht geschrieben.

Grösse	Formelzeichen	Einheitenname	Einheitenzeichen	Beziehung/Bemerkung
Geometrie				
Fläche	<i>A</i>	Quadratmeter	m ²	
Volumen	<i>V</i>	Kubikmeter	m ³	
Zeit				
Frequenz	<i>f</i>	Hertz	Hz	1 Hz = 1/s
Kreisfrequenz	ω	rez. Sekunde	1/s	$\omega = 2\pi f$
Drehzahl	<i>n</i>	rez. Sekunde	1/s	
Mechanik				
Dichte	ρ	Kilogramm pro Kubikmeter	kg/m ³	
Geschwindigkeit	<i>v</i>	Meter pro Sekunde	m/s	
Beschleunigung	<i>a</i>	Meter pro Sekundenquadrat	m/s ²	
Kraft	<i>F</i>	Newton	N	1 N = 1 kgm/s ²
Impuls	<i>I</i>	Newtonsekunde	Ns	1 Ns = 1 kgm/s
Druck (mech.)	<i>p</i>	Pascal	Pa	1 Pa = 1 N/m ² = 10 ⁻⁵ bar
Energie, Arbeit	<i>W</i>	Joule	J	1 J = 1 Nm = 1 Ws
Moment	<i>M</i>	Newtonmeter	Nm	1 Nm = 1 kgm ² /s ²
Drehmoment	<i>T</i>	Newtonmeter	Nm	1 Nm = 1 kgm ² /s ²
Leistung	<i>P</i>	Watt	W	1 W = 1 Nm/s = 1 J/s
Wärme				
Temperatur	ϑ	Grad Celsius	°C	$\vartheta = T - T_0$ mit $T_0 = 273.15$ K
Temperaturdifferenz	ΔT	Kelvin	K	bevorzugt
	$\Delta\vartheta$	Grad Celsius	°C	1°C = 1 K
Wärmemenge	<i>Q</i>	Joule	J	1 J = 1 Nm = 1 Ws
Wärmestrom	ϕ	Watt	W	1 W = 1 Nm/s = 1 J/s
Elektrizität				
El. Spannung	<i>U</i>	Volt	V	1 V = 1 W/A
El. Ladung	<i>Q</i>	Coulomb	C	1 C = 1 As
El. Kapazität	<i>C</i>	Farad	F	1 F = 1 C/V = 1 As/V
El. Durchflutung	θ	Ampère	A	Ampèrewindungszahl der Spule
El. Widerstand	<i>R</i>	Ohm	Ω	1 Ω = 1 V/A
El. Leitwert	<i>G</i>	Siemens	S	G = 1/R 1 S = 1 A/V = 1/ Ω

2. Fortsetzung Abgeleitete SI-Einheiten

Formelzeichen für Grössen werden schräg (kursiv), Einheitenzeichen senkrecht geschrieben.

Grösse	Formelzeichen	Einheitenname	Einheitenzeichen	Beziehung/Bemerkung
Elektrizität				
El. Leitfähigkeit	κ	Siemens pro Meter	S/m	$\kappa = 1/\rho$
Spez. el. Widerstand	P	Ohmmeter	Ωm	$1 \Omega\text{m} = 1 \text{Vm/A}$
Magn. Fluss	Φ	Weber	Wb	$1 \text{Wb} = 1 \text{Vs}$
Magn. Feldstärke	H	Ampère pro Meter	A/m	
Magn. Flussdichte	B	Tesla	T	$1 \text{T} = 1 \text{Wb/m}^2 = 1 \text{Vs/m}^2$
Induktivität	L	Henry	H	$1 \text{H} = 1 \text{Wb/A} = 1 \text{Vs/A}$
Scheinleistung	S	Voltampère	VA	
Wirkleistung	P	Watt	W	$1 \text{W} = 1 \text{J/s}$
Blindleistung	Q	Voltampère	Var	
Energie	W	Joule	J	$1 \text{J} = 1 \text{Nm} = 1 \text{Ws}$
Scheinwiderstand, Impedanz	Z	Ohm	Ω	
Blindwiderstand Reaktanz	X	Ohm	Ω	
Phasenverschiebungswinkel	φ	Radian	rad	$1 \text{rad} = 1$

Grösse	Formelzeichen	Beziehung/Bemerkung
Permittivität des Vakuums	ϵ_0	$= 8.854 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$
magnetische Permeabilität	μ_0	$= 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$

3. Begriffe und Beziehungen

Symbol	Physikalische Grösse	Einheit	Beziehung
R	Ohmscher Widerstand	$[\Omega = \frac{\text{V}}{\text{A}}]$	$R = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{l}{G}$ $R_w = R_{20} \cdot (1 + \alpha_{20} \cdot \Delta T)$
X X_L	Reaktanz Induktive Reaktanz	$[\Omega]$	$X_L = \omega L$
X_C	Kapazitive Reaktanz	$[\Omega]$	$X_C = - \frac{1}{\omega C}$
Z	Impedanz	$[\Omega]$	$\omega = 2\pi f = \text{Kreisfrequenz}$ (Wechselstromwiderstand) $Z = \sqrt{R_w^2 + X_L^2}$
ϵ_r	Rel. Dielektrizitätskonstante		
$\text{tg}\delta$	Verlustwinkel		
φ	Phasenverschiebungswinkel		$\cos \varphi = P/S$
S	Scheinleistung	[VA]	$S = \sqrt{3} \cdot I \cdot U$ (3-ph.)
P	Wirkleistung	[W]	$P = \sqrt{3} \cdot I \cdot U \cdot \cos \varphi$ (3-ph.)
Q	Blindleistung	[Var]	$Q = \sqrt{3} \cdot I \cdot U \cdot \sin \varphi$ (3-ph.)

Technische Änderungen jederzeit vorbehalten.

20170628-1

4. Wichtige Formeln der Kabeltechnik

4.1 Betriebskapazität C_B und Ladestrom I_C

Für Radialfeldkabel wie Polymer-Hochspannungskabel gilt:

$$C_B = \frac{5.56 \cdot \epsilon_r}{\ln(D/d)} \cdot 10^{-2} \text{ [\mu F/km]}$$

D = Durchmesser über der Isolation [mm]
 d = Durchmesser über der Leiterglättung des Leiters [mm]

Ladestrom I_C und Erdschlussstrom I_E

$$I_C = I_E = U_0 \cdot \omega \cdot C_B \cdot 10^{-3} \text{ [A/km]}$$

U_0 = Phasenspannung

4.2 Kapazitive Blindleistung P_C

$$P_C = 3 \cdot I_C \cdot U_0 \text{ [kVA]}$$

wobei
 I_C = Ladestrom in A
 U_0 = Phasenspannung in kV

4.3 Verluste im Kabel

Dielektrische Verluste

$$P_d = U_0^2 \cdot \omega \cdot C_B \cdot \text{tg}\delta \cdot 10^{-3} \text{ [kW/km]}$$

Verlustfaktoren tgδ

XLPE (1.5 bis 3.5) · 10⁻⁴
 EPR (4 bis 30) · 10⁻⁴

Ohmsche Leiterverluste pro Phase

$$P_{Cu} = I^2 \cdot R_T \cdot 10^{-3} \text{ [kW/km]}$$

wobei:

$$R_T = R_{20} \cdot [1 + \alpha_{th} (T - 20^\circ\text{C})] \text{ [kW/km]}$$

R_T = Widerstand des betriebswarmen Leiters
 R_{20} = Gleichstromwiderstand bei 20 °C
 T = Temperatur des betriebswarmen Leiters
 α_{th} = Temperaturkoeffizient
 für Kupfer: 0,00393/K
 für Aluminium: 0,00403/K

4.4 Induktivität L

Induktivität je Phase für Dreileiterkabel oder 3 Einleiterkabel im Dreieck verlegt:

$$L' = 2 \left(0.25 + \ln \frac{2s}{d} \right) \cdot 10^{-4} \text{ [H/km]}$$

wobei
 s = Abstand der Leiterachsen [mm]
 d = Leiterdurchmesser [mm]

Für armierte Kabel erhöht sich die Induktivität um folgende Werte:

- leichte Stahlbandarmierung -CL: +5 %
- übrige Armierungen -C, -F, -FF: +10 %

4.5 Thermische Längenausdehnung der Kabel

$$\Delta l = \alpha_{th} \cdot l \cdot \Delta T \text{ [m]}$$

α_{th} = thermischer Ausdehnungskoeffizient
 für Kupfer: 16.2 · 10⁻⁶/K
 für Aluminium: 23.8 · 10⁻⁶/K

4.6 Griechisches Alphabet

Alpha	A α	Ny	N ν
Beta	B β	Xi	Ξ ξ
Gamma	Γ γ	Omikron	Ο ο
Delta	Δ δ	Pi	Π π
Epsilon	E ε	Rho	Ρ ρ
Zeta	Z ζ	Sigma	Σ σ
Eta	H η	Tau	Τ τ
Theta	Θ θ	Ypsilon	Υ υ
Jota	I ι	Phi	Φ φ
Kappa	K κ	Chi	Χ χ
Lambda	Λ λ	Psi	Ψ ψ
My	M μ	Omega	Ω ω

4.7 SI-Vorsätze

Faktor	Vorsatz	Zeichen
1 000 000 000 000 = 10 ¹²	billionenfach	Tera T
1 000 000 000 = 10 ⁹	milliardenfach	Giga G
1 000 000 = 10 ⁶	millionenfach	Mega M
1 000 = 10 ³	tausendfach	Kilo k
100 = 10 ²	hundertfach	Hekto h
10 = 10 ¹	zehnfach	Deka da
0.1 = 10 ⁻¹	Zehntel	Dezi d
0.01 = 10 ⁻²	Hundertstel	Zenti c
0.001 = 10 ⁻³	Tausendstel	Milli m
0.000 001 = 10 ⁻⁶	Millionstel	Mikro μ
0.000 000 001 = 10 ⁻⁹	Milliardenstel	Nano n
0.000 000 000 001 = 10 ⁻¹²	Billionstel	Piko p

Schweiz

Brugg Kabel AG
Klosterzelgstrasse 28
CH-5201 Brugg
Tel. +41 56 460 33 33
info.energiekabel@brugg.com

Brugg Cables Academy
Klosterzelgstrasse 28
CH-5201 Brugg
Tel. +41 56 460 33 33
info.academy@brugg.com



BRUGG CABLES ACADEMY
Stay connected.

Informieren Sie sich über unser aktuelles Kursprogramm unter www.bruggcables.com/academy