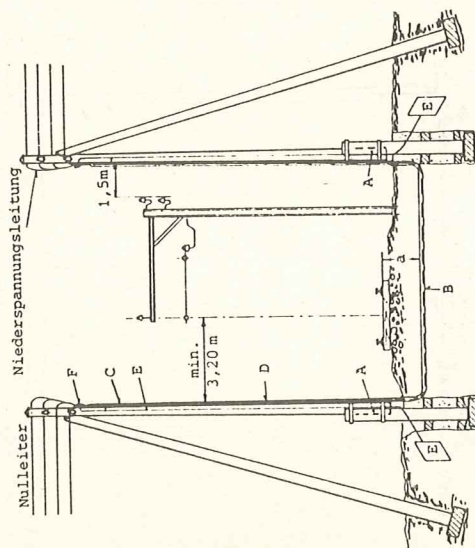


KREUZUNG VON NIEDERSpannungs-LEITUNG
MIT FAHR-LEITUNGEN ELEKTR. BAHNEN ÜBER 3,5 kV

- A Stangensockel
B Kabelschutzhülse
C Kabelschutzeisen
D Kabel
E Sondererde
F Kabel-Endverschluss
a $\geq 2,50$ m bis Schwellenoberkante (SBB)

ZULÄSSIGE KABEL-BELASTUNGEN
EIN- BIS VIER-LEITER-KABEL (Cu, Al)

3 1

Querschnitt	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	180	210	240	270	300	320	...
mm ²	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	180	210	240	270	300	320	...
Einleiter-Kabel	35	50	65	85	110	125	160	200	250	310	380	460	550	640	730	800	865	910	910	...
Zweileiter-Kabel	30	40	50	65	90	110	135	165	200	235	280	340	400	455	510	550	590	610	610	...
Drei-/Vierleiter-Kabel	25	35	45	60	80	110	130	160	190	225	270	305	350	390	420	445	470	470	470	...
Querschnitt	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	180	210	240	270	300	320	320	320	...
mm ²	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	180	210	240	270	300	320	320	320	...
Versilte Dreileiter-Kabel	35	50	65	85	110	130	160	200	250	310	380	460	550	640	730	800	865	910	910	...
mm ²	35	50	65	85	110	130	160	200	250	310	380	460	550	640	730	800	865	910	910	...
Versilte Vierleiter-Kabel	30	40	50	65	90	110	130	160	190	225	270	305	350	390	420	445	470	470	470	...
mm ²	30	40	50	65	90	110	130	160	190	225	270	305	350	390	420	445	470	470	470	...

Dauernd zulässige Stromstärke in Ampere bei Verlegung im Erdboden

Für Einleiter- und Zweileiter-Kabel
Für Vierleiter-Kupfer- oder Aluminium-Kabel
Für versilte Dreileiter- und Vierleiter-Kupfer- oder Aluminium-Kabel mit gemeinsamem Bleimantel

ZULÄSSIGE KABEL-BELASTUNGEN
AUS EINLEITER-KABELN VERSEILTE
DREILEITER-KABEL (CU, AL)

Aus Einleiterkabeln verseilte Dreileiter- Kupfer- oder Aluminium-Kabel
Höchste dauernd zulässige Stromstärke in Ampère bei Verlegung im Erdboden

Quer- schnitt mm ²	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500
Cu	65	85	115	150	185	225	270	315	370	420	470	540	615	710	800
Al	50	80	110	145	180	215	265	310	365	415	465	535	610	700	800
6 kV	60	85	115	150	185	225	270	315	370	420	470	540	615	710	800
Al	50	80	110	145	180	215	265	310	365	415	465	535	610	700	800
10 kV	55	75	100	135	170	205	245	285	335	385	440	515	590	680	780
Al	55	75	100	135	170	205	245	285	335	385	440	515	590	680	780
20 kV	50	70	90	125	160	195	235	275	325	375	430	505	580	670	770
Al	50	70	90	125	160	195	235	275	325	375	430	505	580	670	770
30 kV	45	65	85	115	150	185	225	265	315	365	420	495	570	660	760
Al	45	65	85	115	150	185	225	265	315	365	420	495	570	660	760
45 kV	40	60	80	110	145	180	220	260	310	360	415	490	565	655	755
Al	40	60	80	110	145	180	220	260	310	360	415	490	565	655	755
60 kV	35	55	75	105	140	175	215	255	305	355	410	485	560	650	750
Al	35	55	75	105	140	175	215	255	305	355	410	485	560	650	750

Für Kabel mit Kupferleitern mit metallumhüllten Adern (Höchstwerte aus den Tabellen 3-1 und 3-2 einzusetzen.
Bei Spannungen 30 - 60 kV sind die Werte um 5 % zu ermäßigen.

ZULÄSSIGE KABEL-BELASTUNGEN
EINZELN VERLEGTE, NICHT BEWEHRTE
EINLEITER-KABEL (DREHSTROM)

Für 3 einzeln verlegte, unbewehrte Einleiter- Kupfer- oder Aluminium-Kabel in Drehstromsystemen
Höchste dauernd zulässige Stromstärke in Ampère bei Verlegung im Erdboden

Quer- schnitt mm ²	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300	400	500	625	800	1000
Cu	140	180	220	270	325	390	445	500	550	625	785	985	1185	1485	1885	2385
Al	115	145	175	215	255	305	355	400	440	505	625	785	985	1185	1485	1885
3 kV	110	140	170	210	250	300	350	400	440	505	625	785	985	1185	1485	1885
Al	110	140	170	210	250	300	350	400	440	505	625	785	985	1185	1485	1885
6 kV	105	135	165	205	245	295	345	390	430	495	615	775	975	1175	1475	1875
Al	105	135	165	205	245	295	345	390	430	495	615	775	975	1175	1475	1875
10 kV	90	115	145	175	215	255	295	340	380	445	565	725	925	1125	1425	1825
Al	90	115	145	175	215	255	295	340	380	445	565	725	925	1125	1425	1825
20 kV	80	105	135	165	195	235	275	315	355	420	540	700	900	1100	1400	1800
Al	80	105	135	165	195	235	275	315	355	420	540	700	900	1100	1400	1800
30 kV	70	95	125	155	185	225	265	295	335	400	520	680	880	1080	1380	1780
Al	70	95	125	155	185	225	265	295	335	400	520	680	880	1080	1380	1780
45 kV	60	85	115	145	175	215	255	285	325	390	510	670	870	1070	1370	1770
Al	60	85	115	145	175	215	255	285	325	390	510	670	870	1070	1370	1770
60 kV	50	75	105	135	165	195	235	265	305	370	490	650	850	1050	1350	1750
Al	50	75	105	135	165	195	235	265	305	370	490	650	850	1050	1350	1750

Umgebungs- Temperatur in ° C.	Anzahl Kabelstränge 1 2 - 4 5 + mehr	Art der Verlegung	Im Erdboden		70 cm tief		In Räumen	
			Verlegung in feuchtem Sand mit Deckplatten, Decksteinen oder in Kanälen mit Deckplatten	bis 25	Verlegung ohne Sand in Röhren oder in Kanälen mit Deckplatten	bis 25	Offene Verlegung auf Traversen oder Böden, an Decken oder an Wänden	Verlegung ohne Sand in Bodenkanälen mit Deckplatten
40	0,45							
35	0,55							
30	0,65							
25	0,75							
20	0,85							
15	0,95							
10	1,05							
5	1,15							
0	1,25							
-5	1,35							
-10	1,45							
-15	1,55							
-20	1,65							
-25	1,75							
-30	1,85							
-35	1,95							
-40	2,05							
-45	2,15							
-50	2,25							
-55	2,35							
-60	2,45							
-65	2,55							
-70	2,65							
-75	2,75							
-80	2,85							
-85	2,95							
-90	3,05							
-95	3,15							
-100	3,25							

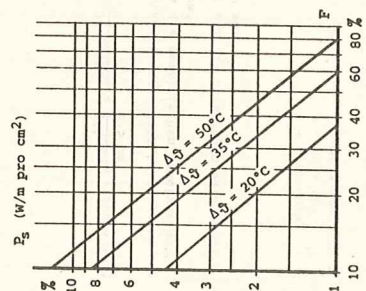
* Je 3 einzeln verlegte Einkleiterkabel in Drehstromsystemen gelten als 1 Kabelstrang.

Pritschenfüllfaktor

$$F = \frac{\text{Summe aller vollen Kabelquerschnitte über Armierung}}{\text{Pritschenquerschnitt (Breite x Füllhöhe)}} \cdot 100\%$$

F soll in der Regel nicht mehr als 50 % betragen.

Richtwerte für die zulässigen spezifischen Kabelverluste P_s ($W/m \text{ pro cm}^2$) bei zulässigen Leitererwärmungen $\Delta\theta$ gemäß nachstehendem Diagramm:



Zulässige spezifische Kabelverluste P_s ($W/m \text{ pro cm}^2$) in Funktion des Pritschenfüllfaktors F. Zulässige Leitererwärmungen $\Delta\theta$ als Parameter.

Aus den zulässigen spezifischen Kabelverlusten P_s sind für alle Kabeldimensionen die absoluten Verluste P_a zu ermitteln.

$$P_a = P_s \cdot A \quad (W/m)$$

Daraus ergeben sich die Leiterströme

$$I = \sqrt{P_a / n \cdot R}$$

Legende:

- A = Kabelquerschnitt in cm^2
- R = Leiterwiderstand in Ω/m
- n = Anzahl belasteter Leiter im Kabel

Beispiel:

Auf einer Pritsche werden in einem Kabelgang folgende TT-1-kV-Kabel verlegt:

- 5 Kabel 4x95 mm² Cu, Kabel-Aussendurchmesser 46 mm
10 Kabel 4x35 mm² Cu, Kabel-Aussendurchmesser 31 mm
10 Kabel 4x10 mm² Cu, Kabel-Aussendurchmesser 17 mm
Pritsche 50x7,5 cm = 375 cm² Pritschenquerschnitt
Zulässige Kabelerwärmung $\Delta\theta = 40^\circ\text{C}$

Mit welchen Belastungsströmen können alle Kabel gleichzeitig belastet werden?

a) Fullfaktor der Pritsche

$$F = \frac{5,4 \cdot 2 \cdot 0,785 \cdot 10 \cdot (3,12 \cdot 0,785 + 1,72 \cdot 0,785)}{50 \cdot 7,5} = \frac{182 \text{ cm}^2 \cdot 100 = 49 \text{ A}}{375 \text{ cm}^2}$$

b) Bei einer zulässigen Kabelerwärmung von $\Delta\theta = 40^\circ\text{C}$ lassen sich aus Fig. für den Fullfaktor $F = 49 \text{ A}$ die spezifischen Kabelverluste bestimmen zu $P_S = 1,40 \text{ W/m pro cm}^2$

c) Die absoluten Verluste der Kabel und die zulässigen Belastungsströme lassen sich nun berechnen zu:

Kabel 4x95 mm²

$$\begin{aligned} \text{Leiterwiderstand bei } 60^\circ\text{C} & R = 0,22 \text{ m}\Omega/\text{m} \\ \text{Querschnittsfläche bei } 46 \text{ mm } \varnothing & Q = 16,6 \text{ cm}^2 \\ \text{Absolute Verluste } P_A & = 1,40 \cdot 16,6 \\ & = 23,2 \text{ W/m} \end{aligned}$$

$$\text{Belastungsstrom } I = \sqrt{23,2 / (3 \cdot 2 \cdot 10^{-4})} = 188 \text{ A}$$

Kabel 4x35 mm²

$$\begin{aligned} \text{Leiterwiderstand bei } 60^\circ\text{C} & R = 0,6 \text{ m}\Omega/\text{m} \\ \text{Querschnittsfläche bei } 31 \text{ mm } \varnothing & Q = 7,5 \text{ cm}^2 \\ \text{Absolute Verluste } P_A & = 1,40 \cdot 7,5 \\ & = 10,5 \text{ W/m} \end{aligned}$$

$$\text{Belastungsstrom } I = \sqrt{10,5 / (3 \cdot 6 \cdot 10^{-4})} = 76 \text{ A}$$

Kabel 4x10 mm²

$$\begin{aligned} \text{Leiterwiderstand bei } 60^\circ\text{C} & R = 2,11 \text{ m}\Omega/\text{m} \\ \text{Querschnittsfläche bei } 17 \text{ mm } \varnothing & Q = 2,3 \text{ cm}^2 \\ \text{Absolute Verluste } P_A & = 1,40 \cdot 2,3 \\ & = 3,22 \text{ W/m} \end{aligned}$$

$$\text{Belastungsstrom } I = \sqrt{3,22 / (3 \cdot 21 \cdot 10^{-4})} = 22,5 \text{ A}$$

Nennquerschnitt des Leiters	2-adrige Kabel		3- u. 4-adrige Kabel		3 einadrige Kabel gebündelt im Dreieck angeordnet	
	Belastbarkeit in Ampère		Belastbarkeit in Ampère		Belastbarkeit in Ampère	
	Erde	Luft auf Wand	Erde	Luft auf Wand	Erde	Luft auf Wand
mm ² Cu						
1,5	30	19,5	27	17,5	-	-
2,5	41	26	36	24	-	-
4	53	35	46	32	-	-
6	66	46	58	41	-	-
10	88	63	77	57	-	-
16	115	85	100	76	110	85
25	150	112	130	101	140	112
35	180	138	155	125	170	138
50	210	168	185	151	200	168
70	260	213	230	192	245	213
95	315	258	275	232	295	258
120	360	299	315	269	335	299
150	400	344	355	309	380	344
185	460	392	400	353	430	392
240	530	461	465	415	490	461
300	590	530	520	475	550	530
400	680	630	600	565	650	630
500	-	-	-	-	740	730
mm ² Al						
4	41	27	36	25	-	-
6	51	36	45	32	-	-
10	68	49	60	44	-	-
16	89	66	78	59	84	66
25	115	87	100	79	110	87
35	140	108	120	97	130	108
50	165	131	145	118	155	131
70	200	166	175	150	190	166
95	245	200	215	181	230	200
120	275	232	245	210	260	232
150	315	268	275	240	295	268
185	355	305	310	275	330	305
240	415	360	360	323	380	360
300	465	413	410	371	430	413
400	540	495	470	444	500	495
500	-	-	-	-	570	570
Umgebungs-temperatur	20°C	30°C	20°C	30°C	20°C	30°C

Vereinfachte Ermittlung der Belastungsströme

d) Vergleicht man nun die unter c) errechneten Belastungsströme mit den aus den Reduktionsfaktorkurven abgeleiteten Strömen, so ist:

Kabel 4x95 mm² Zulässiger Belastungsstrom in Luft nach Tabelle I = 232 A

Reduktionsfaktor nach Kurve, für F = 49 % RF = 70 %

Zulässiger Belastungsstrom gerechnet I = 0,7 · 232 = 162 A

Theoretisch zulässiger Strom nach c) I = 188 A

Kabel 4x35 mm² Zulässiger Belastungsstrom in Luft I = 125 A

Reduktionsfaktor nach Kurve, für F = 49 % RF = 55 %

Zulässiger Belastungsstrom gerechnet I = 0,55 · 125 = 69 A

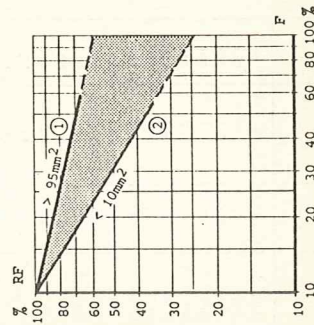
Theoretisch zulässiger Strom nach c) I = 76 A

Kabel 4x10 mm² Zulässiger Belastungsstrom in Luft I = 57 A

Reduktionsfaktor nach Kurve, für F = 49 % RF = 36 %

Zulässiger Belastungsstrom gerechnet I = 0,36 · 57 = 20 A

Theoretisch zulässiger Strom nach c) I = 22,5 A



MINIMALE KRÜMMUNGS-RADIEN

Zur Bestimmung der minimalen Krümmungsradien sind die nachstehenden Koeffizienten mit dem äußeren Kabeldurchmesser zu multiplizieren.

Kabeltypen	armiert	unarmiert
<u>Schwachstromkabel</u>		
Papierisolation	15	10
Kunststoffisolation	12	8
<u>Niederspannungskabel</u>		
Papierisolation	15	12
Kunststoffisolation	12	10
Hochspannungskabel		
Papierisolation	20	15
Polyäthylenisolation bis 30 kV	15	12
Druckkabel und Kabel über 30 kV	20	20

MINIMALE VERLEGUNGS-TEMPERATUREN

Müssen Kabel im Winter bei tieferen als die nachstehend erwähnten Temperaturen verlegt werden, so sind sie vor der Verlegung während mindestens 24 Stunden in einem temperierten Raum (15°C oder mehr) zu lagern. Die Verlegung darf in diesem Fall nicht länger als max. 1 bis 2 Stunden dauern.

Kabeltypen	°C
Schwachstrom, Kunststoff- oder trockene Papierisolation	- 5
Niederspannung, imprägnierte Papierisolation	+ 1
Niederspannung, Kunststoffisolation	- 5
Niederspannung, wärmebeständige Kunststoffisolation	+10
Hochspannung, imprägnierte Papierisolation ohne Oelkabel	+ 5
Hochspannung, Polyäthylenisolation	- 5
Hochspannung, imprägnierte Papierisolation. Oel, Gas	- 5

Total Zugkraft

$$F = F_1 + F_2 + F_3$$

Reibungswiderstand

$$F_1 = a \cdot l \cdot g + a' \cdot l' \cdot g + \dots$$

Einfluss der Höhendifferenz

$$F_2 = h \cdot g$$

Widerstand durch Richtungsänderung

$$F_3$$

Legende:

a = Reibungskoeffizient 0,12 - 0,15 für Verlegung mit Rollen
0,3 - 0,6 wenn Rohrinnen- ϕ min. 6 cm
Mit Schmiermittel kann der Reibungs-
koeffizient herabgesetzt werden

l = Länge des der Reibung a ausgesetzten Kabels in Metern

l' = Länge in Metern mit Reibung a'

g = Kabelgewichte per Meter in kg

h = Höhendifferenz zwischen Anfang und Endpunkt des Trassé

so ist: $h = l \cdot \sin \alpha$

Wenn die Neigung des Hanges p bekannt ist,

so ist:

$$h = \frac{l \cdot p}{\sqrt{1 + p^2}}$$

Beispiel:

Bei 70 % Neigung ($p = 0,7$) und $l = 220$ m

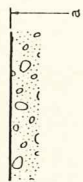
$$h = \frac{220 \cdot 0,7}{\sqrt{1 + 0,7^2}} = 126 \text{ m}$$

F_2 ist positiv, wenn das Kabel nach oben, und negativ, wenn es nach unten gezogen wird.

Am Anfang (Trommelseite) des Zuges liegende Kurven üben eine geringere Bremsung aus als diejenigen, welche dort liegen, wo bereits eine grosse Zugbeanspruchung vorhanden ist.
Dieser Widerstand ist ebenfalls vom Gewicht des Kabels abhängig.
Es wird mit $F_3 = 200$ kg (für kleine Kabel) bis zu 400 kg (für grosse Kabel) für eine gut vorbereitete Kurve von 90° gerechnet.

NORMALE VERLEGUNGSTIEFE VON KABELN

$a \geq 50$ cm Wiesland und Gärten
 70 cm Strassen und Plätze



Kabelschutzhülse

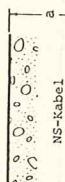


Starkstrom-Kabel

NB. Kabelschutz bei Kreuzungen:
Schutzhülse aus Polyäthylen,
Zementrohr (ev. Halbschalen),
Kabelschutz aus Stampfbeton

PARALLELFÜHRUNG VON HOCHSPANNUNGS-
MIT NIEDERSPANNUNGS-KABELN

$a \geq 50$ cm Wiesland und Gärten
 70 cm Strassen und Plätze



NS-Kabel

HS-Kabel

$b \geq 20$ cm

$c \geq 30$ cm

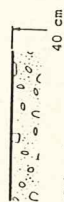
PARALLELFÜHRUNG VON SCHWACHSTROM- MIT STARKSTROM-KABELN

Für Hochspannungskabel

$c \geq 50$ cm

Für Niederspannungskabel

$c \geq 30$ cm



Schwachstrom-Kabel

40 cm

25-30 cm

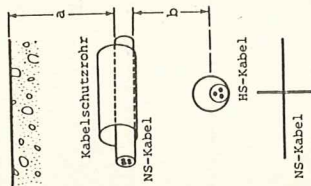
Starkstrom-Kabel

Für Kabel mit erheblicher Fernwirkung
(Einphasenkabel + Gleichstromkabel):

$c \geq 60$ cm

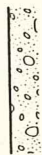
Für Starkstromkabel: Nur wenn

$c < 30$ cm geschl. Schutzkanal

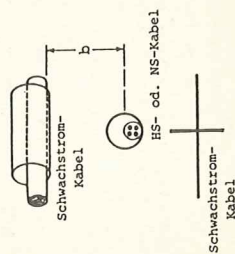
KREUZUNG VON HOCHSPANNUNGS- MIT
NIEDERSPANNUNGS-KABELN

a $\geq$ 50 cm Wiesland und Gärten
a $\geq$ 70 cm Strassen und Plätze

b $\geq$ 30 cm

KREUZUNG VON STARKSTROM- MIT
SCHWACHSTROM-KABELN

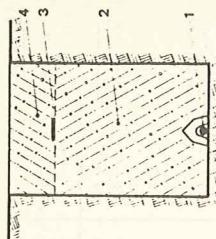
b $\geq$ 30 cm, wenn weniger, so ist
das Starkstromkabel in ge-
schlossene Schutzkanäle aus
Zement oder Stampfbeton zu
verlegen.



WARNBAND, HORIZONTALE VERLEGUNG

2 Arbeitsgänge für Grabenfüllung

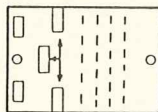
- 1 = Kabel-Leitung
- 2 = Erste Grabenfüllung
- 3 = Warnband
- 4 = Zweite Grabenfüllung



KABEL-SCHILDER

Farbe	Grösse in mm
Blau (Niederspannung)	135 x 95
Gold (Hochspannung)	135 x 95

Text: Vorsicht Starkstromkabel



Rundes Bezeichnungsschild
mit eingegossener
Anticorodalsschraube

Blau Grösse 60 mm ϕ



KENN-STEINE

(aus Granit, Modell SBB)

Loch Grösse in mm

1	400x150x150
2	400x150x150



KENN-BOLZEN ZU KENN-STEIN

(Modell SBB)

Bezeichnung

"N" Niederspannungs- kabel	N
"H" Hochspannungs- kabel	H
"S" Signal- kabel	S

