

ESTRALIN^{HVC}

**STARKSTROMKABEL UND
KABELSYSTEME
66-220 KV**



NEUESTE LÖSUNGEN

auf dem GEBIET der HOCHSPANNUNGSKABEL



Starkstromkabel mit einer Isolierung aus vernetztem Polyethylen	2
Herstellungsverfahren	3
Estralin HVC, ein Pionier in der Herstellung von VPE-Kabeln in Russland	4
Wichtigste Produkte und Dienstleistungen	5
Kabelkennzeichnung	6
Kabel mit VPE-Isolierung für die Spannung von 66-220 kV	7
Wesentliche Parameter	
Vorteile	
Allgemeine Beschreibung	
Technische Parameter	
Belastungsfähigkeit	
Kurzschlussströme	
Elektrische Eigenschaften	
Verlegebedingungen und Prüfungen nach Montagen	





Kabel für die Spannungsebenen von 66-220 kV sind für die Übertragung und Verteilung von Energie weit verbreitet, vor allem in großen Städten und Industrieanlagen, wo der Elektroenergiebedarf und die Lastdichte extrem hoch sind. Die Kosten für die Kabel machen einen wesentlichen Teil der Gesamtkosten des Übertragungssystems aus, so dass die Anforderungen an deren Zuverlässigkeit, Funktionalität und niedrige Wartungskosten von großer Bedeutung sind.

Kabel sollten jahrzehntelang funktionieren und die Verbraucher zuverlässig mit der vorgesehenen elektrischen Leistung versorgen. Im Gegensatz zu Kabeln mit papierimprägnierten oder ölgefüllten Isolationssystemen, deren Anwendung von Jahr zu Jahr rückläufig ist, entsprechen Kabel mit VPE-Isolierung (russische Bezeichnung SPE, englische XLPE, deutsche VPE, schwedische PEX) in vollem Maße dieser Anforderung. Auf Grund ihrer Konstruktion, moderner Fertigungsverfahren und perfekter Materialien besitzen Mittel- und Hochspannungskabeln mit VPE-Isolierung beste elektrische und mechanische Eigenschaften und die längste Lebensdauer unter allen serienmäßig hergestellten Kabelarten.

Hinsichtlich der Übertragungsfähigkeit sind VPE-Kabel den ölgefüllten Kabeln auf Basis einer Papierisolierung weit überlegen. Auf Basis internationaler Normen werden diese Kabel für einen Langzeitbetrieb mit einer Leitertemperatur von 90°C ausgelegt. Im Kurzzeitregime, z.B. nach Störungen, kann diese sogar überschritten werden. Mit Öl gefüllte Kabel auf Basis einer Papierisolierung hingegen lassen nur eine Erwärmung des Leiters bis 70°C zu.

Ein weiterer Vorteil der Kabel mit VPE-Isolation ist deren Umweltverträglichkeit. Das Fehlen von flüssigen Komponenten trägt zum Erhalt einer sauberen Umwelt bei. Dies ermöglicht eine Verlegung dieser Kabelsysteme in allen Bereichen und das Betreiben dieser Systeme ist praktisch wartungsfrei.

Aufgrund ihrer normaler Weise einadrigen Ausführung sind diese Kabel auch unter härtesten Bedingungen sehr einfach zu verlegen und zu montieren. VPE-Kabel mit einem PE-Mantel können bei Temperaturen bis zu minus 20°C bei einer Vorwärmung verlegt werden.



Die Technologie der Herstellung von Kabelisierungen aus vernetztem Polyethylen wurde in den 70-iger Jahren des XX. Jahrhunderts eingeführt. Die Vernetzung stellt sich durch die Bildung eines räumlichen Gitters im Ergebnis von Längs- und Querverbindungen zwischen den Polymermakromolekülen ein. Aufgrund seiner physikalischen und elektrischen Eigenschaften eignet sich das vernetzte Polyethylen ideal als Kabelisolation für die Mittel-, Hoch- und Höchstspannung.

Bei der Herstellung von VPE-Kabeln wird besonderes Augenmerk auf die Sauberkeit und Qualität der Isolierstoffen gelegt, weil jeder Fremdkörper in der Isolierung zu einer Reduzierung der Lebensdauer führt. Genau aus diesem Grund stellt das Konzept von Reinräumen, die das Eindringen von Fremdstoffen ausschließen, genauso wie die Zusammenarbeit mit zuverlässigen Lieferanten von qualitativ hochwertigen Rohstoffen eine der Grundlagen für eine zuverlässige Produktion von Kabeln mit langer Lebensdauer und störungsfreien Betrieb dar.



Die Isolierung und die beiden leitfähigen Abschirmungen werden im Prozess einer dreifachen Extrusion aufgebracht, danach erfolgt die Vernetzung aller drei Schichten gleichzeitig. Diese Technologie sorgt für eine gute Haftung zwischen den Schirmen und der Isolierung.

Die Vorteile dieses ausgereiften Designs und einer modernen Produktionstechnologie bei der Herstellung von VPE-isolierten Kabeln führten zur vorwiegenden Anwendung dieser Kabelart in Industrieländern und zu einem wesentlichen Rückgang beim Einsatz anderer Kabelarten.

Das Unternehmens «Estralin Hochspannungskabelwerk» («Estralin HVC») hat sich die Einführung neuer Technologien bei der Herstellung von Hochspannungskabeln zum Ziel gesetzt. Mit dem Angebot von qualitativ hochwertigen Erzeugnissen und Dienstleistungen helfen wir unseren Kunden, wettbewerbsfähiger zu sein und negative Auswirkungen auf die Umwelt zu verringern.

Bei seiner Arbeit legt das Unternehmen Estralin HVC großen Wert auf die Entwicklung und Verbesserung von Technologien, die eine hohe Qualität der hergestellten Produkte gewährleisten. Für die Kabelisolierung werden nur die besten Materialien von weltweit führenden Herstellern verwendet. Dies sind auf Peroxidbasis vernetzte Polyethylene, basierend sowohl auf treeingresistenten als auch copolymeren Mischungen. Hoch qualifizierte Mitarbeiter und der Einsatz von qualitativ hochwertigen Rohstoffen ermöglichen es, Erzeugnisse herzustellen, die den neuesten russischen und internationalen Standards

entsprechen und mit den analogen westeuropäischen Produkten konkurrieren können.

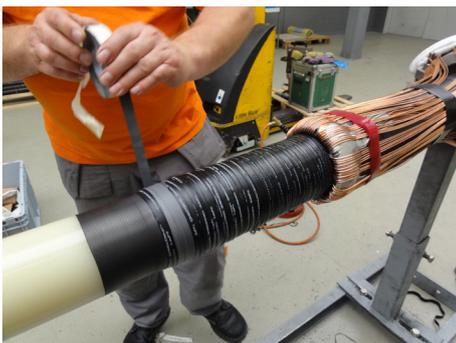
Eine ständige Überwachung in allen Arbeitsschritten, von der Kabel- und Garniturenauswahl in der Projektierungsphase bis hin zur Inbetriebnahme der fertigen Kabellinie, ermöglicht es, den ständig wachsenden Anforderungen unserer Kunden an moderne Kabelsysteme zu entsprechen. Das Unternehmen entspricht mit dieser systematischen Herangehensweise den internationalen Qualitätsstandards. Große Aufmerksamkeit wird auf die ökologischen Aspekte der Produktion gelegt. Die Erfolge von Estralin ZWK bei der Einführung und Anwendung zuverlässiger Qualitätsmanagementsysteme spiegeln sich in der Zertifizierung durch die größte unabhängige europäischen Zertifizierungsorganisation TÜV CERT wider, die dem Unternehmen Zertifikate über die Einhaltung der ISO-Normen 9001:2008 und ISO 14001:2004 ausgestellt hat.



Das Hauptgeschäft der Estralin HVC ist die Produktion von Kabeln für die Spannungsebenen von 66-220 kV für Netze mit ungeredetem und geredetem Nullpunkt.

Alle Kabel erfüllen in ihrer Bauweise, den technischen Parametern und Betriebseigenschaften die Anforderungen der russischen und internationalen Standards :IEC 60840 (66-150 kV Kabel), und IEC 62067 (220 kV Kabel), der GOST R-Zertifizierung im Bereich des Brandschutzes sowie technischen Bedingungen des Herstellers.

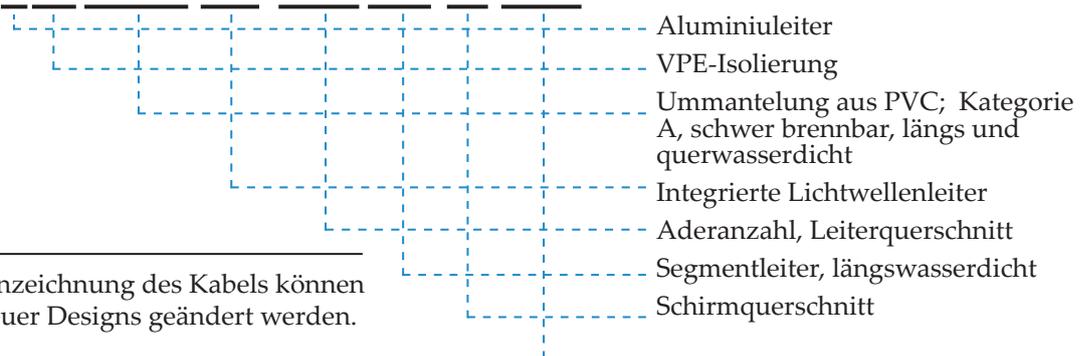
Neben Kabeln für die Spannung von 66-220 kV bietet unser Unternehmen folgende Produkte:
- Kabelgarnituren für Mittel- und Hochspannung;
- technische Unterstützung in allen Phasen des Engineering und der Projektausführung.



Leitermaterial	Ohne Kennzeichnung A RM RMS	Kupferleiter Querschnitt $\leq 1200 \text{ mm}^2$ - Rundleiter Aluminiumleiter Längswasserdichter Leiter Segmentierter Leiter, längswasserdicht Querschnitt $\geq 1200 \text{ mm}^2$
Material der Isolierung	2X	Isolierung aus vernetztem (vulkanisiertem) Polyethylen
Schirmmaterial	S SA (F) (FL)	Kupfer Aluminium Längswasserdichter Schirm mit wasserabweisenden Bändern Längs- und querwasserdichter Schirm mit wasserabweisenden Bändern und fest mit dem Mantel verschweißtem kaschiertem Aluminiumband
Bewehrung vorhanden	AWA	Wires armouring from galvanized steel
Ummantelung	K Y 2Y H	Bleimantel vorhanden Ummantelung aus PVC Ummantelung aus Polyethylen Polyethylen mit Verstärkungsrippen Ummantelung aus einer Polymerkomposition, flammwidrig, halogenfrei
Lichtwellenleiter	LWL (hinter der Kennzeichnung des Schirms)	In Stahlröhrchen, eingebaut in Kupferschirm

A2XS(FL)Y-A-LWL 1x1600RMS/185 64/110 kV

Example¹:



¹ Konstruktion und Kennzeichnung des Kabels können bei der Anwendung neuer Designs geändert werden.



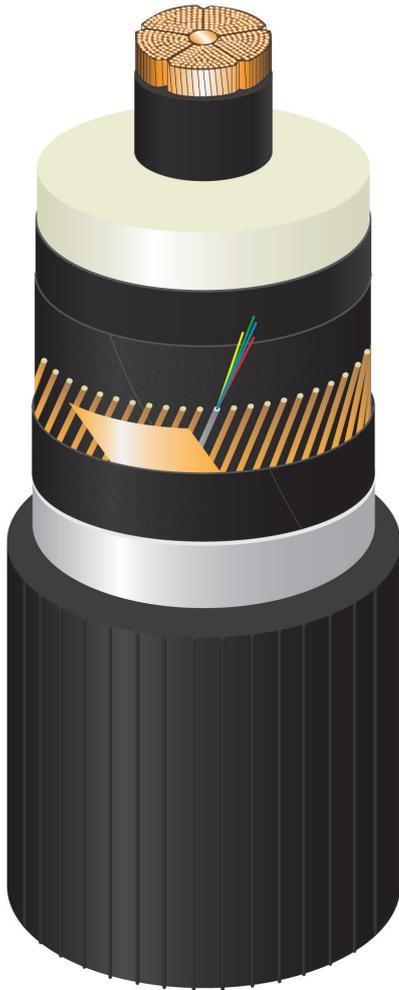
Parameter	Kabel mit VPE-Isolation	Öldruckkabel
Zulässige Dauertemperatur, °C	90	85
Zulässige Erwärmung bei Betriebsstörung, °C	105	90
Höchstzulässige Temperatur beim Kurzschlussstromdurchfluss, °C	250	200
Stromdichte bei 1-Sek. Kurzschlussstrom, A/mm ²		
- Kupferader	144	101
- Aluminiumader	93	67
Relative Dielektrizitätszahl bei 20°C	2,5	3,3
Dielektrischer Verlustfaktor tg bei 20°C	0,001	0,004

Wesentliche Vorteile eines Kabels mit VPE-Isolierung sind:

- hohe Nutzlast durch erhöhte zulässige Temperatur des Leiters;
- hoher Kurzzeitstrom im Kurzschlussfall, besonders wichtig, falls der Kabelquerschnitt nur aufgrund des Nennstroms beim Kurzschluss ausgewählt wurde;
- geringeres Gewicht, grössere mechanische Flexibilität und folglich einfachere Verlegung sowohl auf Kabelbahnen als auch im Boden auf schwierigen Trassen;
- feste Isolierung (keine ablaufenden Isoliermassen), sehr vorteilhaft bei der Verlegung im unwegsamen Gelände und bei großen Steigungen, d. h. auf Strecken mit einem großen Niveauunterschied;
- fehlen von Flüssigkeit (Öl) unter Druck und folglich von teuren Druckspeichern, was zu einer deutlichen Reduzierung der Betriebskosten sowie zur vereinfachten Montage der Anlagen (Reduzierung der benötigten Zeit und Kosten für die Verlegung und Installation) führt;
- Möglichkeit einer schnellen Reparatur im Falle eines Durchschlags;
- kein Ölaustritt und keine Gefahr der Umweltverschmutzung bei Beschädigungen des Mantels oder an den Garnituren.

Bauweise

Ein Kabel mit VPE-Isolation für die Spannung 66-220 kV besteht aus einem runden gefüllten oder segmentierten Kupfer- oder Aluminiumleiter, einer halbleitenden Schicht über dem Leiter, einer Isolierung aus vernetztem Polyethylen, einer halbleitenden Schicht über der Isolierung, halbleitenden Bändern, einem Schirm aus Kupferdraht und Kupferband, halbleitenden Bändern und einer Ummantelung aus Polyethylen oder PVC.



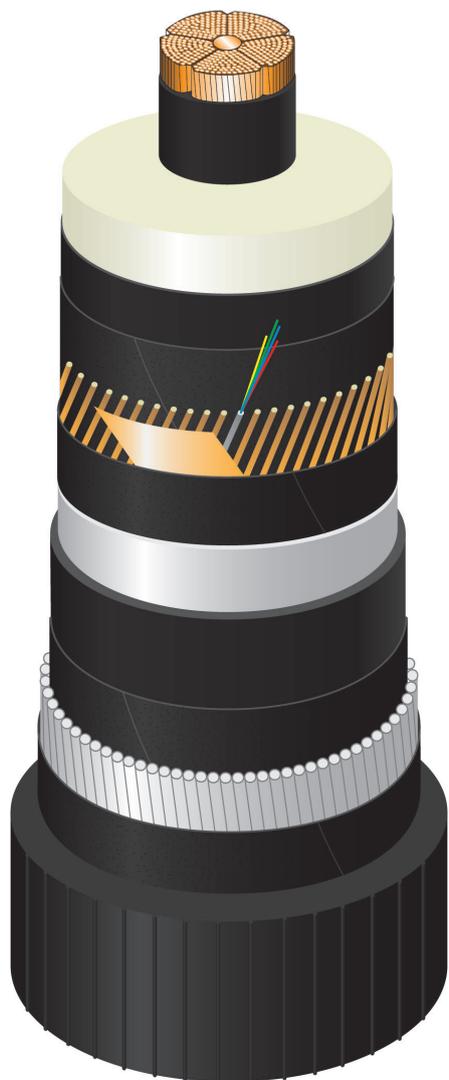
Auf den Leiter wird ein Schirm aus Halbleitermaterial, die Isolierung und ein weiterer halbleitender Schirm über der Isolierung extrudiert. Die drei Schichten sind fest miteinander verbunden und werden in einem Arbeitsgang aufgebracht. Abhängig vom Leiterdurchmesser und Spannungsebene werden standardmäßig unterschiedliche Wandstärken der Isolierung angeboten.

Der Metallschirm besteht aus Kupferdraht und Kupferband, das spiralförmig aus dem Kupferdraht gewickelt ist. Der Schirmquerschnitt wird entsprechend dem Kurzschlußbedingungen ausgewählt.

Um die Längswasserdichtigkeit in Kabeln mit der Index «F» sicherzustellen, wird eine Schicht aus wasserblockierendem Material verwendet. Beim Kontakt mit Wasser quillt diese Schicht und bildet eine Längsbarriere, wodurch die Ausbreitung von Feuchtigkeit im Falle einer Beschädigung der äußeren Ummantelung verhindert wird.

Kabel mit dem Index «FL» haben neben dem Längswasserschutz auch eine Ummantelung mit einem Aluminiumcopolymerband, das mit dem PE- bzw. PVC-Mantel verschweißt ist. Diese Konstruktion schafft eine wirksame Diffusionsbarriere gegen das Eindringen von Wasserdampf, und die äußere dient als mechanischer Schutz.

Kabel mit verstärktem PE-Mantel mit längslaufenden Verstärkungsrippen, die Beschädigungen des Mantels bei der Verlegung auf schwierigen Abschnitten von Kabelleitungen verhindern sollen. Auf Wunsch des Kunden können die 66 – 220 kV-Kabel mit integrierter optischer Faser zur Messung der Temperatur entlang der gesamten Länge des Kabels und zur Übertragung jedweder Signale gefertigt werden.



Bauweise

Zum Abdichten kann ebenfalls ein Bleimantel verwendet werden. In diesem Fall hat das Kabel den Index «K». Ein Bleimantel sorgt nicht nur für Abdichtung, sondern kann auch teilweise oder vollständig den Schirm ersetzen, weil er die Kurzschlussströme ableitet. Weitere Schirm- und Metallmantelkonstruktionen sind auf Kundenwunsch möglich.

Für zusätzlichen mechanischen Schutz kann in der Kabelkonstruktion eine Bewehrung, meist aus Drähten auf Basis einer Aluminiumlegierung, vorgesehen werden; Kennzeichnung «AWA».

Technische Parameter der Kabel für die Spannung von 66 kV

Leiterquerschnitt (S)	mm ²	185	240	300	350	400	500	630	800	1000	1200	1400	1600	2000
Schirmquerschnitt	mm ²	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Dicke der Isolierung	mm	11,5	11,0	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5
Mantelwandstärke	mm	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Kabeldurchmesser (D)	mm	63,6	64,9	66,2	67,8	69,4	72,4	75,6	79,5	83,7	89,3	93,2	96,4	102,4
Gewicht ca.														
	Al	kg/m	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	5,7	6,2	6,9	7,7	8,7	9,5	10,2
	Cu	kg/m	5,5	6,1	6,6	7,2	7,7	8,8	10,2	11,9	14,0	16,1	18,2	20,2
Mindestbiegeradius (15D)	m	0,954	0,974	0,993	1,017	1,041	1,086	1,134	1,193	1,256	1,340	1,398	1,446	1,536
Zulässige Zugkräfte														
	Al (30-S)	kN	5,55	7,20	9,00	10,5	12,0	15,0	18,9	24,0	30,0	36,0	42,0	48,0
	Cu (50-S)	kN	9,25	12,00	15,00	17,5	20,00	25,0	31,5	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0
Leiterwiderstand bei Gleichstrom														
	Al	Ω/km	0,1640	0,1250	0,1000	0,0890	0,0778	0,0605	0,0460	0,0367	0,0291	0,0247	0,0212	0,0186
	Cu	Ω/km	0,0991	0,0754	0,0601	0,0543	0,0470	0,0366	0,0280	0,0221	0,0176	0,0151	0,0129	0,0113
Induktivität zwischen den Adern		mH/km	0,4627	0,4439	0,4289	0,4209	0,4057	0,39	0,3781	0,363	0,351	0,339	0,334	0,330
Induktivität zwischen Leiter und Schirm		mH/km	0,228	0,206	0,187	0,178	0,170	0,183	0,181	0,132	0,121	0,114	0,106	0,101
Kapazität, je Phase		uF/km	0,167	0,188	0,210	0,221	0,232	0,252	0,274	0,300	0,328	0,366	0,392	0,413

Technische Parameter der Kabel für die Spannung von 66 kV bei Bleimantel vorhanden

Leiterquerschnitt (S)	mm ²	185	240	300	350	400	500	630	800	1000	1200	1400	1600	2000	
Schirmquerschnitt	mm ²	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
Dicke der Isolierung	mm	11,5	11,0	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	10,5	
Dicke der Bleimantel vorhanden	mm	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,4	2,4	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	
Mantelwandstärke	mm	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	
Kabeldurchmesser (D)	mm	67,6	68,9	70,2	71,8	73,4	76,4	80,0	83,9	88,5	94,1	98,2	101,4	107,6	
Gewicht ca.	kg/m	Al	8,6	8,9	9,2	9,5	9,9	10,6	11,9	12,9	14,6	16,1	17,5	18,5	20,9
		Cu	9,7	10,4	11,1	11,7	12,4	13,7	15,8	17,9	20,8	23,5	26,2	28,5	33,4
Mindestbiegeradius (20D)	m	1,352	1,378	1,404	1,436	1,468	1,528	1,600	1,678	1,770	1,882	1,964	2,028	2,152	
Zulässige Zugkräfte	kN	Al (30-S)	5,55	7,20	9,00	10,5	12,0	15,0	18,9	24,0	30,0	36,0	42,0	48,0	60,0
		Cu (50-S)	9,25	12,00	15,00	17,5	20,00	25,0	31,5	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	100,0
Leiterwiderstand bei Gleichstrom	Ω/km	Al	0,1640	0,1250	0,1000	0,0890	0,0778	0,0605	0,0460	0,0367	0,0291	0,0247	0,0212	0,0186	0,0149
		Cu	0,0991	0,0754	0,0601	0,0543	0,0470	0,0366	0,0280	0,0221	0,0176	0,0151	0,0129	0,0113	0,0090
Induktivität zwischen den Adern	 mH/km	0,479	0,456	0,436	0,425	0,416	0,400	0,386	0,371	0,358	0,348	0,339	0,332	0,321	
Induktivität zwischen Leiter und Schirm	mH/km	0,232	0,210	0,191	0,182	0,173	0,160	0,148	0,135	0,124	0,117	0,109	0,104	0,095	
Kapazität, je Phase	uF/km	0,167	0,188	0,210	0,221	0,232	0,252	0,274	0,300	0,328	0,366	0,392	0,413	0,453	

Dauerhaft zulässige Ströme bei der Verlegung von Kabeln für 66 kV im Boden

Die Belastungsfähigkeit von Hochspannungskabeln wird bei folgenden Verlegebedingungen berechnet:

- Verlegung im Erdboden;
- Verlegung im Dreieck nebeneinander;
- Verlegung in einer Ebene, der Abstand zwischen den Phasen ist ein lichter Abstand;
- Verlegungstiefe: 1,5 m;
- maximale Bodentemperatur: +15°C;
- spezifischer thermischer Widerstand des Bodens: 1,2 K·m/W;
- Temperatur des Leiters: +90°C;
- Anzahl der Kreise: 1;
- Belastungsfaktor (LF): 0,1 und 0,8.

Tabelle 1.1. Ströme bei einseitiger Erdung oder ausbalancierter Transposition

Leiterquerschnitt (S), mm ²			185	240	300	350	400	500	630	800	1000	1200	1400	1600	2000
 Dauerhaft zulässiger Strom, A	Cu	LF=0,8	489	568	642	682	734	834	945	1058	1164	1365	1474	1558	1664
		LF=1,0	438	506	571	605	650	737	832	927	1016	1186	1276	1345	1430
	Al	LF=0,8	380	442	500	534	576	659	754	856	959	1093	1187	1268	1395
		LF=1,0	340	394	445	474	510	582	664	750	837	950	1028	1095	1199
 Dauerhaft zulässiger Strom, A	Cu	LF=0,8	511	595	674	716	771	880	1001	1128	1251	1337	1423	1496	1620
		LF=1,0	456	528	597	634	682	776	883	990	1095	1168	1242	1303	1408
	Al	LF=0,8	397	462	524	560	603	692	793	903	1017	1103	1186	1259	1383
		LF=1,0	354	411	464	496	533	610	698	793	891	964	1035	1097	1202

Tabelle 1.2. Ströme bei beidseitiger Erdung

Leiterquerschnitt (S), mm ²			185	240	300	350	400	500	630	800	1000	1200	1400	1600	2000
 Dauerhaft zulässiger Strom, A	Cu	LF =0,8	460	524	582	613	651	722	794	865	927	1024	1075	1113	1162
		LF =1,0	410	466	516	541	574	634	695	752	803	881	922	952	989
	Al	LF =0,8	366	420	470	499	533	599	671	743	813	892	947	991	1058
		LF =1,0	327	374	417	442	471	527	588	648	706	770	814	849	902
 Dauerhaft zulässiger Strom, A	Cu	LF =0,8	448	501	547	570	599	649	706	752	791	840	868	891	916
		LF =1,0	396	441	479	499	523	564	612	649	681	721	743	762	781
	Al	LF =0,8	365	414	457	481	509	561	614	666	713	758	790	815	853
		LF =1,0	324	365	402	423	446	490	534	577	615	652	679	699	729

Dauerhaft zulässige Ströme bei der Verlegung von Kabeln für 66 kV in Luft

Belastungsfähigkeit von Hochspannungskabeln wird bei folgenden Verlegungsbedingungen berechnet:

- Verlegung in der Luft;
- Verlegung im Dreieck nebeneinander;
- Verlegung in einer Ebene, der Abstand zwischen den Phasen ist ein lichter Abstand;
- Temperatur der Ader: +90°C;
- Umgebungstemperatur: +25°C;
- Schutz vor Sonnenstrahlung: vorhanden.

Tabelle 1.3. Ströme bei einseitiger Erdung oder ausbalancierter Transposition

Leiterquerschnitt (S), mm ²	185	240	300	350	400	500	630	800	1000	1200	1400	1600	2000	
Dauerhaft zulässiger Strom, A 	Cu	563	661	756	809	876	1009	1156	1312	1464	1741	1901	2027	2200
	Al	438	514	589	633	687	797	922	1061	1205	1391	1528	1646	1840
Dauerhaft zulässiger Strom, A 	Cu	626	737	849	909	987	1142	1319	1511	1703	1994	2191	2350	2576
	Al	486	573	659	711	772	898	1043	1208	1382	1580	1742	1883	2120

Tabelle 1.4. Ströme bei beidseitiger Erdung

Leiterquerschnitt (S), mm ²	185	240	300	350	400	500	630	800	1000	1200	1400	1600	2000	
Dauerhaft zulässiger Strom, A 	Cu	536	620	698	741	795	895	1001	1109	1209	1362	1450	1518	1612
	Al	425	494	560	599	645	737	837	944	1050	1173	1262	1335	1453
Dauerhaft zulässiger Strom, A 	Cu	550	625	689	724	765	839	913	984	1049	1132	1182	1220	1276
	Al	448	515	575	611	650	726	805	884	959	1037	1092	1137	1207

Technische Parameter der Kabel für die Spannung von 110 kV

Leiterquerschnitt (S)	mm ²	185	240	300	350	400	500	630	800	1000	1200	1400	1600	2000
Schirmquerschnitt	mm ²	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Dicke der Isolierung	mm	16,0	16,0	16,0	16,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
Mantelwandstärke	mm	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Kabeldurchmesser (D)	mm	71,7	74,0	76,5	77,9	77,5	80,5	83,7	88,6	92,8	97,8	102,6	104,9	112,9
Gewicht ca.														
	Al	kg/m	5,5	5,8	6,2	6,4	6,5	7,0	7,6	8,4	9,3	10,6	11,5	12,2
	Cu	kg/m	6,6	7,3	8,1	8,6	8,9	10,1	11,6	13,5	15,7	18,0	20,2	22,1
Mindestbiegeradius (15D)	m	1,071	1,110	1,148	1,169	1,163	1,208	1,256	1,329	1,392	1,469	1,539	1,574	1,694
Zulässige Zugkräfte														
	Al (30-S)	kN	5,55	7,20	9,00	10,5	12,0	15,0	18,9	24,0	30,0	36,0	42,0	48,0
	Cu (50-S)	kN	9,25	12,00	15,00	17,5	20,00	25,0	31,5	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0
Leiterwiderstand bei Gleichstrom														
	Al	Ωm/km	0,1640	0,1250	0,1000	0,0890	0,0778	0,0605	0,0460	0,0367	0,0291	0,0247	0,0212	0,0186
	Cu	Ωm/km	0,0991	0,0754	0,0601	0,0543	0,0470	0,0366	0,0280	0,0221	0,0176	0,0151	0,0129	0,0113
Induktivität zwischen den Adern	mH/km	0,494	0,473	0,455	0,444	0,429	0,412	0,397	0,382	0,368	0,356	0,347	0,339	0,328
Induktivität zwischen Leiter und Schirm	mH/km	0,261	0,242	0,225	0,215	0,206	0,185	0,172	0,158	0,145	0,136	0,128	0,122	0,111
Kapazität, je Phase	µF/km	0,135	0,146	0,157	0,164	0,179	0,194	0,209	0,228	0,248	0,274	0,293	0,308	0,336

Technische Parameter der Kabel für die Spannung von 110 kV bei Bleimantel vorhanden

Leiterquerschnitt (S)	mm ²	185	240	300	350	400	500	630	800	1000	1200	1400	1600	2000	
Schirmquerschnitt	mm ²	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
Dicke der Isolierung	mm	16,0	16,0	16,0	16,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	
Dicke der Bleimantel vorhanden	mm	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,4	2,4	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	
Mantelwandstärke	mm	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	
Kabeldurchmesser (D)	mm	76,6	78,9	81,2	82,8	82,4	85,4	89,0	92,9	97,5	103,1	107,2	110,4	116,6	
Gewicht ca.	Al	kg/m	10,1	10,6	11,1	11,5	11,5	12,2	13,6	14,7	16,5	18,0	19,6	20,7	23,1
	Cu	kg/m	11,2	12,1	13,0	13,7	14,0	15,3	17,5	19,7	22,7	25,5	28,3	30,6	25,6
Mindestbiegeradius (20D)	m	1,532	1,578	1,624	1,656	1,648	1,708	1,780	1,858	1,950	2,062	2,144	2,208	2,332	
Zulässige Zugkräfte Al (30·S) Cu (50·S)	kN	Al (30·S)	5,55	7,20	9,00	10,5	12,0	15,0	18,9	24,0	30,0	36,0	42,0	48,0	60,0
		Cu (50·S)	9,25	12,00	15,00	17,5	20,00	25,0	31,5	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	100,0
Leiterwiderstand bei Gleichstrom	Ωm/km	Al	0,1640	0,1250	0,1000	0,0890	0,0778	0,0605	0,0460	0,0367	0,0291	0,0247	0,0212	0,0186	0,0149
		Cu	0,0991	0,0754	0,0601	0,0543	0,0470	0,0366	0,0280	0,0221	0,0176	0,0151	0,0129	0,0113	0,0090
Induktivität zwischen den Adern	mH/km	0,504	0,483	0,465	0,454	0,439	0,422	0,407	0,391	0,378	0,366	0,356	0,349	0,337	
Induktivität zwischen Leiter und Schirm	mH/km	0,265	0,245	0,228	0,218	0,203	0,188	0,175	0,161	0,148	0,139	0,131	0,124	0,114	
Kapazität, je Phase	µF/km	0,135	0,146	0,157	0,164	0,179	0,194	0,209	0,228	0,248	0,274	0,293	0,308	0,336	

Technische Parameter der Kabel für die Spannung von 132 kV

Leiterquerschnitt (S)	mm ²	240	300	350	400	500	630	800	1000	1200	1400	1600	2000
Schirmquerschnitt	mm ²	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Dicke der Isolierung	mm	18,5	17,5	17,5	16,5	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
Mantelwandstärke r	mm	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Kabeldurchmesser (D)	mm	79,0	79,3	80,9	80,5	82,5	85,7	89,6	93,8	99,4	103,3	106,5	112,5
Gewicht ca.													
Al	kg/m	6,0	6,1	6,4	6,4	6,8	7,4	8,2	9,0	10,1	10,9	11,7	13,3
Cu	kg/m	7,5	8,0	8,6	8,9	9,9	11,4	13,2	15,3	17,6	19,6	21,7	25,7
Mindestbiegeradius (15D)	m	1,185	1,190	1,214	1,208	1,238	1,286	1,344	1,407	1,491	1,550	1,598	1,688
Zulässige Zugkräfte													
Al (30-S)	kN	7,20	9,00	10,5	12,0	15,0	18,9	24,0	30,0	36,0	42,0	48,0	60,0
Cu (50-S)	kN	12,00	15,00	17,5	20,00	25,0	31,5	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	100,0
Leiterwiderstand bei Gleichstrom													
Al	Ω/km	0,1250	0,1000	0,0890	0,0778	0,0605	0,0460	0,0367	0,0291	0,0247	0,0212	0,0186	0,0149
Cu	Ω/km	0,0754	0,0601	0,0543	0,0470	0,0366	0,0280	0,0221	0,0176	0,0151	0,0129	0,0113	0,0090
Induktivität zwischen den Adern													
	mH/km	0,483	0,460	0,449	0,434	0,415	0,400	0,384	0,370	0,359	0,349	0,341	0,330
Induktivität zwischen Leiter und Schirm													
	mH/km	0,255	0,232	0,222	0,207	0,189	0,175	0,161	0,149	0,139	0,131	0,124	0,114
Kapazität, je Phase													
	uF/km	0,133	0,148	0,154	0,168	0,185	0,199	0,217	0,236	0,261	0,278	0,292	0,319

Technische Parameter der Kabel für die Spannung von 132 kV bei Bleimantel vorhanden

Leiterquerschnitt (S)	mm ²	240	300	350	400	500	630	800	1000	1200	1400	1600	2000
Schirmquerschnitt	mm ²	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Dicke der Isolierung	mm	18,5	17,5	17,5	16,5	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
Dicke der Bleimantel vorhanden	mm	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,4	2,4	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8
Mantelwandstärke r	mm	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Kabeldurchmesser (D)	mm	83,9	84,2	85,8	85,4	87,4	91,0	94,9	99,5	105,1	109,2	112,4	118,6
Gewicht ca.													
Al	kg/m	11,5	11,7	12,0	12,1	12,6	14,0	15,1	16,9	18,5	20,0	21,1	23,6
Cu	kg/m	13,0	13,5	14,2	14,5	15,7	17,9	20,1	23,2	26,0	28,8	31,1	36,1
Mindestbiegeradius (20D)	m	1,678	1,684	1,716	1,708	1,748	1,820	1,898	1,990	2,102	2,184	2,248	2,378
Zulässige Zugkräfte													
Al (30·S)	kN	7,20	9,00	10,5	12,0	15,0	18,9	24,0	30,0	36,0	42,0	48,0	60,0
Cu (50·S)	kN	12,00	15,00	17,5	20,00	25,0	31,5	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	100,0
Leiterwiderstand bei Gleichstrom													
Al	Ω/km	0,1250	0,1000	0,0890	0,0778	0,0605	0,0460	0,0367	0,0291	0,0247	0,0212	0,0186	0,0149
Cu	Ω/km	0,0754	0,0601	0,0543	0,0470	0,0366	0,0280	0,0221	0,0176	0,0151	0,0129	0,0113	0,0090
Induktivität zwischen den Adern													
	mH/km	0,495	0,472	0,461	0,446	0,427	0,412	0,396	0,382	0,370	0,360	0,352	0,340
Induktivität zwischen Leiter und Schirm													
	mH/km	0,261	0,238	0,227	0,212	0,194	0,180	0,166	0,153	0,144	0,135	0,129	0,118
Kapazität, je Phase													
	uF/km	0,133	0,148	0,154	0,168	0,185	0,199	0,217	0,236	0,261	0,278	0,292	0,319

Technische Parameter der Kabel für die Spannung von 150 kV

Leiterquerschnitt (S)	mm ²	300	350	400	500	630	800	1000	1200	1400	1600	2000
Schirmquerschnitt	mm ²	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Dicke der Isolierung	mm	18,5	18,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
Mantelwandstärke	mm	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Kabeldurchmesser (D)	mm	81,3	82,9	82,5	85,5	88,7	92,6	96,8	102,4	106,3	109,5	115,5
Gewicht ca.												
Al	kg/m	6,4	6,6	6,7	7,2	7,8	8,6	9,4	10,5	11,4	12,2	13,7
Cu	kg/m	8,2	8,8	9,2	10,3	11,7	13,5	15,7	18,0	20,1	22,1	26,2
Mindestbiegeradius (15D)	m	1,220	1,244	1,238	1,283	1,331	1,389	1,452	1,536	1,595	1,643	1,733
Zulässige Zugkräfte												
Al (30-S)	kN	9,00	10,5	12,0	15,0	18,9	24,0	30,0	36,0	42,0	48,0	60,0
Cu (50-S)	kN	15,00	17,5	20,0	25,0	31,5	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	100
Leiterwiderstand bei Gleichstrom												
Al	Ω/km	0,1000	0,0890	0,0778	0,0605	0,464	0,0367	0,0291	0,0247	0,0212	0,0186	0,0149
Cu	Ω/km	0,0601	0,0543	0,047	0,0366	0,028	0,0221	0,0176	0,0151	0,0129	0,0113	0,009
Induktivität zwischen den Adern	mH/km	0,465	0,454	0,439	0,422	0,407	0,391	0,376	0,365	0,354	0,347	0,335
												
Induktivität zwischen Leiter und Schirm	mH/km	0,238	0,228	0,213	0,197	0,184	0,169	0,156	0,146	0,137	0,131	0,120
Kapazität, je Phase	uF/km	0,142	0,149	0,161	0,174	0,187	0,203	0,221	0,243	0,259	0,272	0,297

Technische Parameter der Kabel für die Spannung von 150 kV bei Bleimantel vorhanden

Leiterquerschnitt (S)	mm ²	300	350	400	500	630	800	1000	1200	1400	1600	2000	
Schirmquerschnitt	mm ²	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	
Dicke der Isolierung	mm	18,5	18,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	
Dicke der Bleimantel vorhanden	mm	2,2	2,2	2,2	2,2	2,4	2,4	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	
Mantelwandstärke	mm	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	
Kabeldurchmesser (D)	mm	86,2	87,7	87,4	90,4	94,0	97,9	102,5	108,1	112,2	115,4	121,6	
Gewicht ca.	kg/m	Al	12,0	12,4	12,4	13,2	14,6	15,7	17,6	19,2	20,8	21,9	24,4
		Cu	13,9	14,6	14,9	16,3	18,6	20,7	23,8	26,7	29,5	31,8	36,9
Mindestbiegeradius (20D)	m	1,724	1,754	1,748	1,808	1,880	1,958	2,050	2,162	2,244	2,308	2,432	
Zulässige Zugkräfte	kN	Al (30-S)	9,00	10,5	12,0	15,0	18,9	24,0	30,0	36,0	42,0	48,0	60,0
		Cu (50-S)	15,00	17,5	20,0	25,0	31,5	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	100
Leiterwiderstand bei Gleichstrom	Ω/km	Al	0,1000	0,0890	0,0778	0,0605	0,464	0,0367	0,0291	0,0247	0,0212	0,0186	0,0149
		Cu	0,0601	0,0543	0,047	0,0366	0,028	0,0221	0,0176	0,0151	0,0129	0,0113	0,009
Induktivität zwischen den Adern	mH/km	0,477	0,465	0,450	0,433	0,418	0,402	0,388	0,375	0,365	0,358	0,345	
Induktivität zwischen Leiter und Schirm	mH/km	0,243	0,233	0,218	0,202	0,188	0,174	0,161	0,151	0,142	0,135	0,124	
Kapazität, je Phase	uF/km	0,142	0,149	0,161	0,174	0,187	0,203	0,221	0,243	0,259	0,272	0,297	

Dauerhaft zulässige Ströme bei der Verlegung von Kabeln für 110-150 kV im Boden

Die Belastungsfähigkeit von Hochspannungskabeln wird bei folgenden Verlegebedingungen berechnet:

- Verlegung im Erdboden;
- Verlegung im Dreieck nebeneinander;
- Verlegung in einer Ebene, der Abstand zwischen den Phasen ist ein lichter Abstand;
- Verlegungstiefe: 1,5 m;
- maximale Bodentemperatur: +15°C;
- spezifischer thermischer Widerstand des Bodens: 1,2 K·m/W;
- Temperatur des Leiters: +90°C;
- Anzahl der Kreise: 1;
- Belastungsfaktor (LF): 0,1 und 0,8.

Tabelle 1.5. Ströme bei einseitiger Erdung oder ausbalancierter Transposition

Leiterquerschnitt (S), mm ²			185	240	300	350	400	500	630	800	1000	1200	1400	1600	2000
Dauerhaft zulässiger Strom, A	Cu	LF = 0,8	490	569	644	684	736	837	949	1064	1173	1369	1479	1565	1669
		LF = 1,0	438	507	572	606	652	739	835	932	1023	1189	1280	1350	1437
	Al	LF = 0,8	380	442	501	535	577	661	756	859	964	1095	1189	1271	1396
		LF = 1,0	341	395	445	475	511	584	665	753	841	951	1030	1097	1202
Dauerhaft zulässiger Strom, A	Cu	LF = 0,8	510	592	671	714	769	878	1000	1128	1253	1444	1567	1661	1794
		LF = 1,0	456	529	598	634	683	777	883	994	1100	1266	1371	1450	1562
	Al	LF = 0,8	396	460	522	558	601	690	792	902	1017	1146	1247	1332	1478
		LF = 1,0	354	411	465	496	534	611	699	794	893	1004	1091	1164	1287

Tabelle 1.6. Ströme bei beidseitiger Erdung

Leiterquerschnitt (S), mm ²			185	240	300	350	400	500	630	800	1000	1200	1400	1600	2000
Dauerhaft zulässiger Strom, A	Cu	LF = 0,8	463	529	589	621	660	732	807	879	944	1038	1091	1130	1181
		LF = 1,0	413	470	521	548	581	641	704	763	816	892	933	964	1001
	Al	LF = 0,8	368	423	474	504	538	605	678	752	824	902	957	1003	1071
		LF = 1,0	328	376	420	445	475	532	593	655	714	777	822	858	911
Dauerhaft zulässiger Strom, A	Cu	LF = 0,8	451	505	552	576	605	656	706	752	791	840	868	891	916
		LF = 1,0	398	445	485	505	529	571	612	649	681	721	743	762	781
	Al	LF = 0,8	366	415	460	484	513	565	620	672	720	767	800	827	864
		LF = 1,0	325	368	405	426	450	494	539	583	622	660	687	710	739

Dauerhaft zulässige Ströme bei der Verlegung von Kabeln für 110-150 kV in Luft

Belastungsfähigkeit von Hochspannungskabeln wird bei folgenden Verlegungsbedingungen berechnet:

- Verlegung in der Luft;
- Verlegung im Dreieck nebeneinander;
- Verlegung in einer Ebene, der Abstand zwischen den Phasen ist ein lichter Abstand;
- Temperatur der Ader: +90°C;
- Umgebungstemperatur: +25°C;
- Schutz vor Sonnenstrahlung: vorhanden.

Tabelle 1.7. Ströme bei einseitiger Erdung oder ausbalancierter Transposition

Leiterquerschnitt (S), mm ²	185	240	300	350	400	500	630	800	1000	1200	1400	1600	2000	
Dauerhaft zulässiger Strom, A 	Cu	563	660	754	806	874	1006	1153	1310	1462	1729	1888	2013	2185
	Al	437	513	587	631	684	794	918	1056	1200	1380	1515	1632	1824
Dauerhaft zulässiger Strom, A 	Cu	618	727	833	892	968	1123	1296	1483	1671	1953	2145	2300	2519
	Al	480	565	647	697	756	882	1025	1185	1356	1548	1705	1842	2072

Tabelle 1.8. Ströme bei beidseitiger Erdung

Leiterquerschnitt (S), mm ²	185	240	300	350	400	500	630	800	1000	1200	1400	1600	2000	
Dauerhaft zulässiger Strom, A 	Cu	540	625	706	749	804	905	1015	1125	1229	1383	1474	1543	1639
	Al	426	497	563	603	649	741	843	952	1060	1183	1274	1348	1468
Dauerhaft zulässiger Strom, A 	Cu	552	628	696	732	776	852	929	1004	1072	1158	1210	1249	1306
	Al	447	514	576	612	653	731	812	894	972	1053	1110	1157	1229

Technische Parameter der Kabel für die Spannung von 220 kV

Leiterquerschnitt (S)	mm ²	400	500	630	800	1000	1200	1400	1600	2000	2500
Schirmquerschnitt	mm ²	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265
Dicke der Isolierung	mm	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0
Mantelwandstärke	mm	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Kabeldurchmesser (D)	mm	94,3	97,3	100,5	105,4	109,6	114,5	119,3	121,6	127,6	134,5
Gewicht ca.											
	Al	kg/m	9,6	10,2	10,9	11,9	12,8	14,1	15,1	15,9	17,6
	Cu		12,1	13,3	14,9	17,0	19,2	21,5	23,8	25,8	30,0
											19,7
											35,2
Mindestbiegeradius (20D)	m	1,884	1,946	2,010	2,108	2,192	2,290	2,386	2,432	2,552	2,690
Zulässige Zugkräfte											
	Al (30-S)	kN	12,0	15,0	18,9	24,0	30,0	36,0	42,0	48,0	60,0
	Cu (50-S)		20,0	25,0	31,5	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	100,0
Widerstand bei Gleichstrom											
	Al	Ω/km	0,0778	0,0605	0,464	0,0367	0,0291	0,0247	0,0212	0,0186	0,0149
	Cu		0,047	0,0366	0,028	0,0221	0,0176	0,0151	0,0129	0,0113	0,009
											0,0119
											0,0072
Induktivität zwischen den Adern	mH/km	0,468	0,450	0,434	0,416	0,401	0,386	0,375	0,367	0,354	0,341
Induktivität zwischen Leiter und Schirm	mH/km	0,246	0,230	0,214	0,199	0,184	0,171	0,161	0,154	0,142	0,130
Kapazität, pro Phase	uF/km	0,138	0,148	0,158	0,171	0,184	0,199	0,211	0,221	0,240	0,261

Technische Parameter der Kabel für die Spannung von 220 kV bei Bleimantel vorhanden

Leiterquerschnitt (S)	mm ²	400	500	630	800	1000	1200	1400	1600	2000	2500
Schirmquerschnitt	mm ²	265	265	265	265	265	265	265	265	265	265
Dicke der Isolierung	mm	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0
Dicke der Bleimantel vorhanden	mm	2,2	2,2	2,4	2,4	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	3,0
Mantelwandstärke	mm	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Kabeldurchmesser (D)	mm	98,4	101,4	105,0	108,9	113,5	119,1	123,2	126,4	132,6	139,9
Gewicht ca.											
	Al	kg/m	15,7	16,5	18,0	19,2	21,2	22,9	24,6	25,8	28,4
	Cu		18,2	19,6	22,0	24,2	27,5	30,4	33,3	35,7	40,9
										47,6	32,1
Mindestbiegeradius (20D)	m	1,968	2,028	2,100	2,178	2,270	2,382	2,464	2,528	2,652	2,798
Zulässige Zugkräfte											
	Al (30-S)	kN	12,0	15,0	18,9	24,0	30,0	36,0	42,0	48,0	60,0
	Cu (50-S)		20,0	25,0	31,5	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	100,0
Widerstand bei Gleichstrom											
	Al	Ω/km	0,0778	0,0605	0,464	0,0367	0,0291	0,0247	0,0212	0,0186	0,0149
	Cu		0,047	0,0366	0,028	0,0221	0,0176	0,0151	0,0129	0,0113	0,009
Induktivität zwischen den Adern	mH/km	0,474	0,456	0,441	0,423	0,408	0,395	0,384	0,376	0,362	0,350
Induktivität zwischen Leiter und Schirm	mH/km	0,247	0,230	0,215	0,199	0,185	0,174	0,164	0,156	0,144	0,133
Kapazität, pro Phase	uF/km	0,138	0,148	0,158	0,171	0,184	0,199	0,211	0,221	0,240	0,261

Dauerhaft zulässige Ströme bei der Verlegung von Kabeln für 220 kV im Boden

Die Belastungsfähigkeit von Hochspannungskabeln wird bei folgenden Verlegebedingungen berechnet:

- Verlegung im Erdboden;
- Verlegung im Dreieck nebeneinander;
- Verlegung in einer Ebene, der Abstand zwischen den Phasen ist ein lichter Abstand;
- Verlegungstiefe: 1,5 m;
- maximale Bodentemperatur: +15°C;
- spezifischer thermischer Widerstand des Bodens: 1,2 K·m/W;
- Leitertemperatur: +90°C;
- Anzahl der Kreise: 1;
- Belastungsfaktor (LF): 0,1 und 0,8.

Tabelle 1.9. Ströme bei einseitiger Erdung oder ausbalancierter Transposition

Leiterquerschnitt (S), mm ²			400	500	630	800	1000	1200	1400	1600	2000	2500	
	Dauerhaft zulässiger Strom, A	Cu	LF=0,8	731	832	944	1060	1169	1356	1465	1550	1658	1718
		Cu	LF=1,0	645	732	827	924	1015	1172	1261	1330	1415	1457
	Al	LF=0,8	573	657	751	853	958	1084	1177	1258	1258	1384	1488
		LF=1,0	506	577	658	744	832	937	1014	1079	1079	1182	1263
	Dauerhaft zulässiger Strom, A	Cu	LF=0,8	759	866	986	1112	1235	1421	1542	1638	1764	1837
		Cu	LF=1,0	675	768	873	982	1087	1247	1350	1431	1536	1595
	Al	LF=0,8	593	680	780	889	1002	1128	1227	1313	1313	1453	1570
		LF=1,0	528	604	690	784	882	990	1074	1148	1148	1266	1363

Tabelle 1.10. Ströme bei beidseitiger Erdung

Leiterquerschnitt (S), mm ²			400	500	630	800	1000	1200	1400	1600	2000	2500	
	Dauerhaft zulässiger Strom, A	Cu	LF=0,8	647	716	787	855	914	995	1042	1077	1121	1151
		Cu	LF=1,0	566	623	681	735	782	846	882	908	940	959
	Al	LF=0,8	530	595	664	735	802	871	922	963	963	1024	1073
		LF=1,0	464	519	577	634	689	743	783	814	814	861	897
	Dauerhaft zulässiger Strom, A	Cu	LF=0,8	615	670	723	772	814	866	896	918	947	967
		Cu	LF=1,0	538	583	627	666	700	741	765	782	804	819
	Al	LF=0,8	517	572	629	685	736	785	820	848	848	889	921
		LF=1,0	454	501	548	594	635	675	703	724	724	757	782

Dauerhaft zulässige Ströme bei der Verlegung von Kabeln für 220 kV in Luft

Belastungsfähigkeit von Hochspannungskabeln wird bei folgenden Verlegungsbedingungen berechnet:

- Verlegung in der Luft;
- Verlegung im Dreieck nebeneinander;
- Verlegung in einer Ebene, der Abstand zwischen den Phasen ist ein lichter Abstand;
- Leitertemperatur: +90°C;
- Umgebungstemperatur: +25°C;
- Schutz vor Sonnenstrahlung: vorhanden.

Tabelle 1.11. Ströme bei einseitiger Erdung oder ausbalancierter Transposition

Leiterquerschnitt (S), mm ²	400	500	630	800	1000	1200	1400	1600	2000	2500
 Dauerhaft zulässiger Strom, A Cu	863	992	1138	1292	1443	1695	1850	1973	2141	2250
	Al	676	782	904	1039	1181	1352	1483	1596	1782
 Dauerhaft zulässiger Strom, A Cu	942	1087	1253	1433	1613	1883	2066	2214	2423	2565
	Al	736	854	990	1144	1307	1492	1641	1773	1992

Tabelle 1.12. Ströme bei beidseitiger Erdung

Leiterquerschnitt (S), mm	400	500	630	800	1000	1200	1400	1600	2000	2500
 Dauerhaft zulässiger Strom, A Cu	791	891	997	1104	1203	1343	1428	1493	1581	1646
	Al	640	730	828	933	1037	1151	1236	1307	1418
 Dauerhaft zulässiger Strom, A Cu	798	886	975	1061	1140	1237	1298	1344	1408	1460
	Al	661	746	835	927	1015	1104	1171	1224	1307

Korrekturfaktoren für Kabel mit der Spannung 66-220 kV

Korrekturfaktoren für die Umgebungstemperatur												
Temperatur, °C	- 5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Im Erdboden	1,13	1,1	1,06	1,03	1,0	0,97	0,93	0,89	0,86	0,82	0,77	0,73
In der Luft	1,21	1,18	1,14	1,11	1,07	1,04	1,0	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78

Korrekturfaktoren für den spezifischen Bodenwiderstand						
Spezifischer thermischer Bodenwiderstand, K·m/W	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5
Korrekturfaktor	1,13	1,05	1,0	0,93	0,85	0,8

Korrekturfaktoren für die Verlegungstiefe											
Verlegungstiefe, m	1	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	3,0	4,0	5,0	10,0	
Korrekturfaktor	1,05	1,0	0,98	0,96	0,95	0,93	0,91	0,88	0,86	0,8	

Korrekturfaktoren bei der Verlegung des Kabels in Rohren im Erdboden			
Verlegungsbedingungen	Kabel teilweise in Rohren verlegt	Kabel in getrennten Rohren	Kabel im gemeinsamen Rohr
Korrekturfaktor	0,94	0,9	0,9

Korrekturfaktoren für die Anzahl nebeneinander verlaufender Systeme							
Abstand zwischen den Kabelsystemen, mm	Anzahl von parallelen Kabelsystemen						
	2	3	4	5	6	7	
500	0,86	0,76	0,72	0,68	0,65	0,63	
700	0,87	0,79	0,75	0,72	0,7	0,68	
900	0,89	0,81	0,78	0,75	0,73	0,72	
1000	0,9	0,82	0,79	0,76	0,75	0,74	
1500	0,92	0,86	0,84	0,82	0,81	0,8	
2000	0,94	0,9	0,88	0,87	0,86	0,85	
2500	0,95	0,92	0,9	0,89	0,89	0,88	
3000	0,96	0,93	0,92	0,91	0,91	0,91	
3500	0,97	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93	
4000	0,97	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	
4500	0,98	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	
5000	0,98	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95	
5500	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	
6000	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	

Beispiel für eine überschlägliche Lastberechnung für Kabel der Spannung von 66 bis 220 kV

Kabelsystem 110 kV

Leitermaterial : Kupfer;
Leiterquerschnitt : 800 mm²;
Verlegung im Erdboden;
Anordnung der Phasen: Dreieck, dicht nebeneinander;
Tiefe der Verlegung der Kabel: 3,0 m;
Anzahl der Systeme: 2;
Abstand zwischen parallelen Kreisen: 1,5 m;
Erdung der Kabelschirme: beidseitig;
Temperatur des Erdbodens: +30°C;
Belastungsfaktor: 1,0;
Spezifischer thermischer Bodenwiderstand: 2,0 K·m/W.

Diesen Angaben zufolge beträgt die zulässige Strombelastung unter Standardverlegebedingungen für ein System, mit Kupferkabeln des Querschnitts 800 mm² installiert mit beidseitiger Erdung bei einem Belastungsfaktor von 1,0 816 A. $I_{ST} = 816 \text{ A}$.

Korrekturfaktoren:

für die Verlegungstiefe $K_1=0,91$;
für parallel verlaufende Kabel $K_2=0,92$;
für die Umgebungstemperatur $K_3=0,86$;
für den spezifischen Bodenwiderstand $K_4=0,85$.

Die zulässige Dauerstrombelastung für diese Verlegungsbedingungen wird nach unten stehender Formel berechnet:

$$I_{zulz} = I_{ST} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 = 816 \cdot 0,91 \cdot 0,92 \cdot 0,86 \cdot 0,85 \approx 499 \text{ A.}^*$$

* Einen exakten Wert für die zulässige Dauerstrombelastung kann man bei der Berechnung nach dem Verfahren von IEC 60287 ermitteln.

Formeln für Zusatzberechnungen

1. Dynamische Kraft im Kurzschlussfall

$$F = \frac{0.2}{s} \cdot I_{max}^2 \text{ [N/m]}$$

hier: I_{max} – $2.5 \cdot I_{sc}$ [kA];
 I_{sc} – Kurzschlussstrom [kA];
 s – Abstand zwischen den Kabelachsen [m];
 F – maximale Kraft [N/m].

2. Elektrische Feldstärke

$$E_{max} = \frac{U_0}{r_1 \cdot \ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)} \text{ [kV/mm]}$$

$$E_{min} = \frac{U_0}{r_e \cdot \ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)} \text{ [kV/mm]}$$

hier: r_e – äußerer Radius der Isolierung [mm];
 r_i – innerer Radius der Isolierung [mm];
 U_0 – Nennspannung [kV];
 E_{max} – Spannung auf der inneren Halbleiterschicht [kV/mm];
 E_{min} – Spannung auf der äußeren Halbleiterschicht [kV/mm].

3. Dielektrische Verluste

$$W = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot U_0^2 \cdot C \cdot \tan(\delta) \text{ [W/km]}$$

hier: f – Frequenz [Hz];
 U_0 – Nennspannung [kV];
 C – Kapazität [μ F/km];
 $\tan(\delta)$ – dielektrischer Verlustfaktor.

4. Induktivität und induktiver Widerstand

$$L = 2 \cdot \ln\left(\frac{k \cdot b}{r_0}\right) \cdot 10^{-1} \text{ [mHn/kg]}$$

hier: $k=1$ bei Verlegung im Dreieck, $k=1.26$ bei Verlegung in einer Ebene;
 b – Abstand zwischen den Achsen [mm];
 r_0 – mittlerer Radius des Leiters [mm].

$$X = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}{1000} \text{ [Ohm/km]}$$

hier: f – frequenz [Hz];
 L – Induktivität [mHn/km];
 X – induktiver Widerstand [Ohm/km] ist

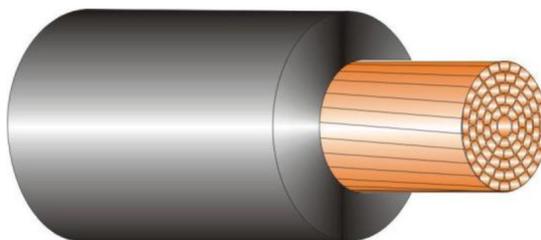
5. Zulässiger Kurzschlussstrom (1 Sek)

$$I_s = \frac{I_{sc}}{\sqrt{t_{sc}}} \text{ [kA]}$$

hier: I_{sek} – maximaler Kurzschlussstrom (1 Sekunde) [kA];
 I_{sc} – Kurzschlussstrom [kA];
 t_{sc} – Kurzschlussstromdauer [Sek] ist.

Erdungs/Crossbondingkabel der Serie PP

Kabel der Serie PP sind für Transposition oder Erdung von Hochspannungskabelschirmen bestimmt. Kabel der Serie PP können außerdem als zusätzliche Erdungsleitung verwendet werden, die bei der einseitigen Erdung des Kabelsystems die Erdungspunkte der Kabelschirmen verbindet. Bei einer einseitigen Schirmerdung können zusätzliche Erdungskabel verwendet werden, um in Fall eines äußeren Kurzschlusses mögliche induzierte Spannungen zu verringern.



Technische Parameter eines Erdungs- / Transpositionskabels

Leiterquerschnitt (S)	mm ²	240	400
Mantelwandstärke	mm	3,5	3,5
Kabelaußendurchmesser (D)	mm	25,1	30,6
Gewicht, ca.	kg/km	2414	3911
Minimaler Biegeradius (10· D)	m	0,251	0,306
DC-Widerstand des Leiters, bei 20°C, Cu	Om/km	0,754	0,0470

Zulässige Kurzschlussströme für Kabel der Serie PP

Leitertemperatur für Kabel der Serie PP:

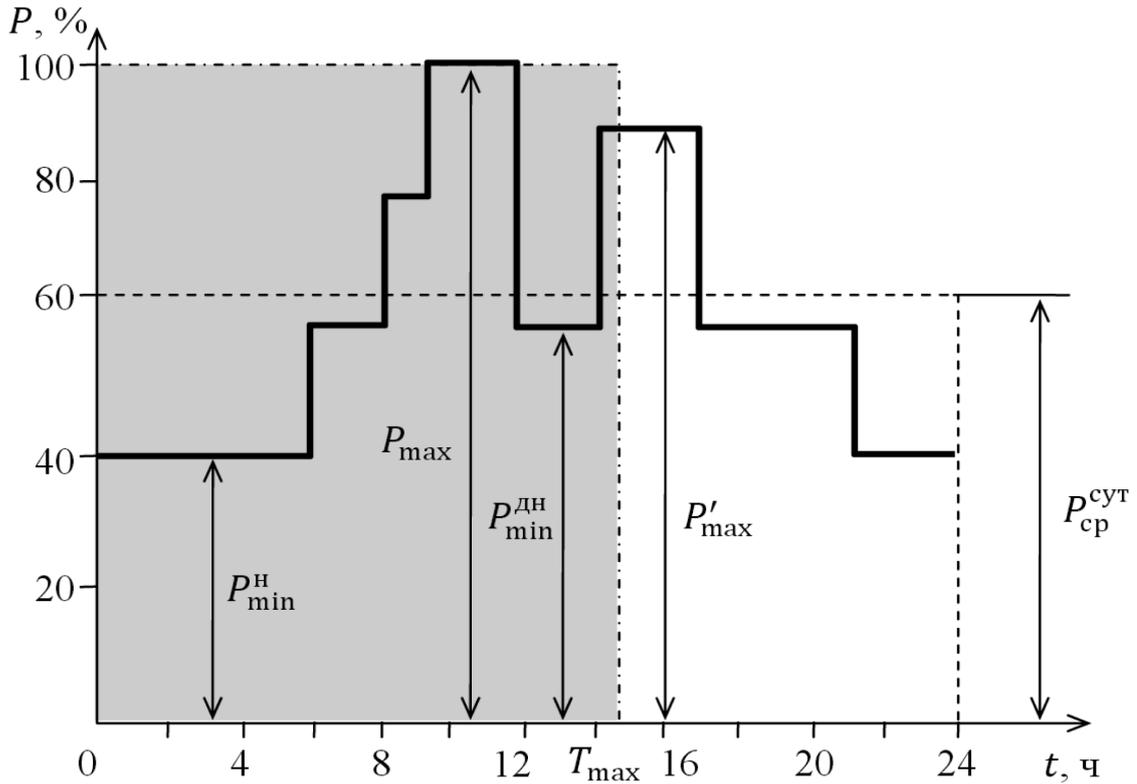
- vor dem Kurzschluss 40°C
- nach dem Kurzschluss 180°C

Zulässiger Kurzschlussstrom (1 Sek) im Kabel der Serie PP		
Querschnitt des Kabels PP, mm ²	240	400
Kurzschlussstrom, kA	35,3	58,7

Belastungsfaktor

Der Belastungsfaktor in % - ist das Verhältnis vom mittleren Lastwert innerhalb eines Tages zur Maximallast, welche sich bei einem unterbrechungsfreien Betrieb bei Höchstbelastung des Systems innerhalb des gleichen Zeitraums ergeben würde. Am anschaulichsten ist der Belastungsfaktor aus der graphischen Belastungsdarstellung des Kabelsystems ersichtlich.

Beispiel für eine graphische Darstellung der Belastung des Kabelsystems



Die Graphik zeigt, dass der Belastungsfaktor in diesem Fall gleich 0,6 ist. Der genaue Belastungsfaktor kann bei der regionalen Dispatcherverwaltung des Energieversorgers erfragt werden. Um den Belastungsfaktor zu ermitteln, kann ein Tageslastdiagramm verwendet werden:

$$K_H = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i \cdot t_i)}{24}$$

hier: t_i – Dauer eines Zeitintervalls i ;
 P_i (%) – Verhältnis der realen zur Maximalleistung im Zeitraum i .

Kurzschlussströme

Für alle Kabelarten und -querschnitte ist der Kurzschlussstrom auf der Grundlage von den unten aufgeführten Bedingungen zu berechnen:

Leitertemperatur:

- vor dem Kurzschluss 90°C
- nach dem Kurzschluss 250°C

Temperatur am Schirm aus Kupfer oder aus einer Aluminiumlegierung:

- vor dem Kurzschluss 70°C
- nach dem Kurzschluss 350°C

Temperatur am Bleimantel:

- vor dem Kurzschluss 70°C
- nach dem Kurzschluss 80°C

Ein Kabel mit VPE-Isolation kann einer Überbeanspruchung mit der Temperatur bis zu 105°C ausgesetzt werden. Dabei beeinflussen einzelne Notfall-Überlastungen die Lebensdauer des Kabels nur unerheblich. Die Gesamtdauer des Überlastbetriebs sollte 100 Stunden pro Jahr und 1000 Stunden während der Lebensdauer des Kabels nicht übersteigen. Die zulässigen Kurzschlussströme (1 Sek) am Leiter und am Schirm dürfen die in der Tabelle angegebenen Werte nicht übersteigen.

Zulässiger Kurzschlussstrom (1 Sek) am Leiter												
Leiterquerschnitt, mm ²	185	240	300	350	400	500	630	800	1000	1200	1600	2000
Kupferleiter	26,5	34,3	42,9	50,1	57,2	71,5	90,1	114,4	14	172,8	230	288
Aluminiumleiter	17,5	22,7	28,2	33,1	37,6	47	59,2	75,2	93,1	114,3	152	190

Zulässiger Kurzschlussstrom (1 Sek) am Schirm														
Querschnitt des Kupferschirms, mm ²	35	50	70	95	120	150	185	210	240	265	280	290	300	310
Querschnitt des Bleimantels, mm ²	249	383	551	769	968	1199	1493	1732	1963	2197	2288	2385	2458	2562
Kurzschlussstrom, kA	6,8	9,8	13,6	17,7	22,9	28,2	34,7	40,0	45,2	50,4	52,4	54,7	56,3	58,6

Zulässiger Kurzschlussstrom (1 Sek) am Schirm														
Querschnitt des Schirms aus Aluminiumlegierung, mm ²	35	50	70	95	120	150	185	210	240	265	280	290	300	310
Kurzschlussstrom, kA	4,4	6,4	9,2	12,2	15,6	19,0	23,4	26,9	30,4	34,0	35,02	36,8	37,8	39,4

Im Falle eines Kurzschlusses sollten neben der Erwärmung auch die dynamischen Kräfte berücksichtigt werden, die zwischen den Kabelphasen entstehen und deren Werte sehr hoch sein können. Bei der Wahl der Kabelbefestigung müssen diese berücksichtigt werden.

Anforderungen an die Verlegung sowie die an die Prüfungen nach der Verlegung und Montage von Hochspannungskabeln



Bei der Verlegung von VPE-isolierten Kabeln mit der Spannung von 66-220 kV muss der Biegeradius mindestens $20 \times D$ sein, wobei D der Außendurchmesser des Kabels ist. Nach erfolgter Verlegung der Kabel ist eine Biegung mit dem Radius von $15 \times D$ unter der Voraussetzung zulässig, dass eine spezielle Schablone verwendet wird (beispielsweise an den Endverschlüssen).

Beim Einziehen mit Kabelstrumpf oder am Leiter dürfen die Ziehkräfte folgende Werte nicht übersteigen:

$F = S \times 50$ N/mm² für Kupferleiter,
 $F = S \times 30$ N/mm² für Aluminiumleiter,
wobei S der Leiterquerschnitt in mm² ist.

Bei der Kabelverlegung sollte die Temperatur nicht unter -5°C sein. Sofern das Kabel jedoch vorgewärmt wird, ist auch eine Verlegung bei folgenden Bedingungen zulässig:

-15°C für Kabel mit einer Ummantelung aus PVC (verstärkter PE-Mantel);
 -20°C für Kabel mit einer PE-Ummantelung.

Nach der Montage der Kabelsysteme und vor der Inbetriebnahme empfehlen wir, jede Phase (Kabel und daran montierte Garnituren) eine Stunde lang einer Belastungsprobe mit hoher Wechselspannung auszusetzen, und zwar: für Kabel 110 kV mit der Spannung 128 kV, für Kabel 220 kV mit der Spannung 180 kV, im Frequenzbereich von 20 Hz bis 300 Hz. Die Wellenform muss dabei sinusoidal sein. Nach Absprache zwischen dem Herstellerbetrieb und dem Kunden kann statt der Prüfung durch hohe Wechselspannung auch eine Prüfung durch Nennbetriebswechselspannung innerhalb von 24 Stunden ohne Belastung erfolgen: für Kabel 110 kV mit der Spannung 64 kV, für Kabel 220 kV mit der Spannung 127 kV.

Die Kabelmäntel sollten mit einer Gleichspannung von 10 kV mindestens eine Minute getestet werden, angelegt zwischen Metallschirm und Erdung.

Bei der Verlegung von Kabeln der Firma Estralin HVC sind die Anforderungen der „Richtlinien zur Verlegung von Kabeln mit einer Isolierung aus vernetztem Polyethylen mit der Spannung von 110 bis 500 kV, Nr. TD-16-01P“ zu beachten, veröffentlicht im Jahr 2016 durch die nichtstaatliche private Bildungseinrichtung das Weiterbildungszentrum „Verlegung und Montage“.

ESTRALIN HOCHSPANNUNGSKABELWERK

111024, Moskau

Wtoraja Kabelnaja 2, Postfach 130

tel.: +7(495) 956 66 99

fax: +7(495) 234 32 94

e-mail: info@estralin.com

www.estralin.com

**Wir behalten uns das Recht vor, in diesem Katalog technische Änderungen
oder Berichtigungen ohne vorherige Ankündigung vorzunehmen.
Bei der Bestellung gelten nur vereinbarte Daten.**

