

Kabel und Leitungen für Starkstrom

Teil 1

Werkstoffe · Aufbau

Auswahlkriterien

Planung von Anlagen

Auslegen und Montage · Garnituren

Messen und Prüfen

Herausgeber: Lothar Heinhold

4., überarbeitete Auflage, 1987

Siemens Aktiengesellschaft

Inhalt

Aufbauelemente für isolierte Leitungen und Kabel

1	Leiter	11
1.1	Leitungen	12
1.2	Kabel	13
2	Isolierung	15
2.1	Polymere	15
2.1.1	Thermoplaste (Plastomere) Copolymere · Fluorkunststoffe · Polyvinylchlorid (PVC) · Polyethylen (PE) · Vernetztes Polyethylen (VPE)	17
2.1.2	Elastomere Thermoplastische Elastomere (TPE) · Leitgummi · Naturkautschuk (NR) · Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR) · Nitril-Butadien-Kautschuk (NBR) · Butylkautschuk (IIR) · Ethylen-Propylen-Kautschuk (EPR) · Silikonkautschuk (SiK) · Ethylen-Vinylacetat (EVA)	23
2.1.3	Duroplaste (Duromere)	26
2.2	Chemische Alterung von Polymeren	27
2.3	Einfluß von Feuchtigkeit auf Polyolefin-Isolierungen	30
2.4	Getränktes Papier	35
2.5	Literatur zu Abschnitt 2	35
3	Schutzmäntel	37
3.1	Kunststoffmäntel	37
3.2	Gummimäntel	38
3.3	Mantelwerkstoffe für Sonderzwecke	39
3.4	Metallmäntel	39
4	Korrosionsschutz	41
4.1	Kabel mit Bleimantel	41
4.2	Kabel mit Aluminiummantel	42
5	Bewehrung	43
6	Konzentrischer Leiter	44
7	Elektrische Schirmung	45
7.1	Leitfähige Schichten	45

7.2	Metallene Bauelemente der elektrischen Schirmung	46
7.3	Längswasserdichte Schirme	47

Isolierte Starkstromleitungen

8	Bauarten der Leitungen	49
8.1	Nationale und internationale Bestimmungen	49
8.1.1	VDE-Bestimmungen	49
8.1.2	Harmonisierte Bestimmungen	49
8.1.3	Nationale Bauarten	55
8.1.4	IEC-Bestimmungen	55
8.2	Auswahl der Leitungen	55
8.2.1	Leitungen für feste Verlegung	56
8.2.2	Flexible Leitungen	62
8.2.3	FLEXO-Leitungen	74
8.3	Schlauchleitungen für Bergbau und Industrie	75
8.4	Halogenfreie SIENOPYR-Starkstromleitungen mit verbessertem Verhalten im Brandfall	79
9	Aderkennzeichnung von Leitungen	82
10	Erläuterungen der Raumarten nach DIN VDE 0100	84
11	Einsatz und Verlegung von Leitungen	86
11.1	Nennspannung, Betriebsspannung	88
11.2	Wahl des Leiterquerschnitts	89

Starkstromkabel

12	Nationale und internationale Bestimmungen	93
12.1	VDE-Bestimmungen	93
12.2	Ausländische Bestimmungen	94
12.3	IEC- und CENELEC-Bestimmungen	94
13	Bauarten der Nieder- und Mittelspannungskabel	97
13.1	Allgemeines	97

13.2	Kurzzeichen	100
13.3	Auswahl der Kabel und Garnituren	102
14	Starkstromkabel für Sonderzwecke	124
14.1	Kabel mit Gummiisolierung	124
14.2	Schiffskabel	124
14.2.1	Aufbau und Eigenschaften	124
14.2.2	Verwendung und Montage	125
14.3	Halogenfreie Kabel mit verbessertem Verhalten im Brandfall	125
14.3.1	Prüfungen des Brandverhaltens	125
	Brandfortleitung · Korrosivität der Brandgase · Rauchdichte · Isolationserhalt bei Flammeneinwirkung	
14.3.2	Aufbau und Eigenschaften	128
14.3.3	Verlegung und Montage	129
14.4	Schacht- und Grubenstrecken-kabel	129
14.5	Fluß- und Seekabel	130
14.6	Flugplatzkabel	131
14.7	Kabel mit Kunststoffisolierung und Bleimantel	131
14.8	Isolierte Freileitungsseile	132
15	Hoch- und Höchstspannungskabel	134
15.1	Kabel mit Kunststoffisolierung	134
15.2	Niederdruck-Ölkabel mit Blei- oder Aluminiummantel	135
15.3	Thermisch stabile Kabel im Stahlrohr	138
15.3.1	Hochdruck-Ölkabel	138
15.3.2	Gasinnendruckkabel	139
15.3.3	Gasaußendruckkabel (Druckkabel)	139

Planung von Kabelanlagen

16	Leitfaden für die Planung von Kabelanlagen	141
17	Kabelnennspannungen	146
17.1	Zuordnung der Kabelnennspannungen	146
17.2	Nenn-Steh-Blitzstoßspannung	147
17.3	Spannungsbeanspruchung im Erdschlußfall	147
18	Strombelastbarkeit im ungestörten Betrieb	150
18.1	Begriffe, Definitionen und Regeln	150
18.2	Betriebsbedingungen und Projektierungstabellen	152
18.2.1	Betriebsbedingungen bei Verlegung in Erde	152

18.2.2	Betriebsbedingungen bei Verlegung in Luft	157
18.2.3	Projektierungstabellen	159
	Belastbarkeit bei Verlegung in Erde bzw. in Luft · Umrechnungsfaktoren für Verlegung in Erde, für abweichende Lufttemperaturen und für Häufung in Luft	
18.2.4	Anwendung der Tabellen	180
18.3	Berechnung der Belastbarkeit	181
18.4	Wärmewiderstände	184
18.4.1	Wärmewiderstand des Kabels	184
18.4.2	Wärmewiderstand der Luft	186
	Senkrechte Verlegung · Atmosphärischer Druck · Umgebungstemperatur · Sonneneinstrahlung · Anordnung der Kabel	
18.4.3	Wärmewiderstand des Erdbodens	197
	Temperaturfeld des Kabels · Definition des Wärmewiderstands · Tageslastspiel und charakteristischer Durchmesser · Bodenaustrocknung und Grenz-isotherme d_x · Fiktive Wärmewiderstände T'_x und T'_{xy} · Belastbarkeit	
18.4.4	Häufung in Erde	207
	Fiktive Zusatzwärmewiderstände $\Delta T'_{xy}$, $\Delta T'_{xy}$ durch Häufung · Belastbarkeit · Ausdehnung des Trockenbereichs · Belastbarkeit ungleicher Kabel	
18.4.5	Verlegung in Rohren	213
	Wärmewiderstände T'_R und T'_P · Belastbarkeit bei Verlegung der Rohre in Erde oder Luft oder in Rohrböcken	
18.4.6	Spezifischer Erdbodenwärmewiderstand	218
	Bodenphysikalische und thermische Eigenschaften · Einfluß der Feuchtigkeit · Messung · Vereinbarte Rechenwerte · Bettungsmaterial	
18.5	Verlegung in Kanälen	230
18.5.1	Unbelüftete Kanäle	230
18.5.2	Anordnen der Kabel in begehbaren Kanälen	233
18.5.3	Künstlich belüftete Kanäle	235
18.6	Belastbarkeit der Kabel bei Kurzzeit- und Aussetzbetrieb	239
18.6.1	Allgemeines	239
18.6.2	Rechnen mit Mindestzeitwerten	239
18.6.3	Adiabatische Erwärmung	241
18.6.4	Quadratischer Mittelwert des Stromes	241
18.6.5	Kurzzeitbetrieb	242
18.6.6	Aussetzbetrieb	243
18.7	Formelzeichen zu Abschnitt 18	245
18.8	Literatur zu Abschnitt 18	250
19	Strombelastbarkeit bei Kurzschluß	253
19.1	Allgemeines	253

19.2	Erwärmung des Leiters bei einpoligem Erdschluß	257	22.2	Betriebskapazitätsbelag C'_b	331
19.2.1	Leiter- und Mantelströme bei einpoligem Erdschluß	257	22.3	Ladestrom I'_c und Erschlußstrom I'_e eines Kabels	334
19.2.2	Belastbarkeit bei einpoligem Erdschluß	259	22.4	Dielektrische Verluste	336
19.3	Thermische Kurzschlußbelastbarkeit	265	23	Isolationswiderstand und Ableitungsbelag	337
19.3.1	Anleitung für die Projektierung	265	24	Ermittlung des Spannungsfalls	340
	Belastung und Belastbarkeit bei Kurz- schluß · Belastbarkeit des Leiters, der Schirme, der Mäntel oder der Bewehrung		24.1	Allgemeines	340
19.3.2	Berechnung der Kurzschluß- belastbarkeit	285	24.2	Kurze Verbindung	340
	Adiabatische und nichtadiabatische Erwärmung · Erwärmung bei Kurzschluß		24.3	Lange Verbindung	340
19.3.3	Thermomechanische Kräfte und Wärmedehnung	292	25	Wirtschaftlichkeitsrechnung	343
	Wirkung der Wärmedehnung auf die Kabel · Montage einadriger Kabel		25.1	Formelzeichen zu Abschnitt 25	347
19.3.4	Garnituren	296	25.2	Literatur zu Abschnitt 25	347
19.4	Mechanische Kurzschlußbelastbarkeit	297	26	Beeinflussung von Steuer- und Nach- richtenkabeln durch Starkstromanlagen	349
19.4.1	Stromkräfte	297	26.1	Induktive Beeinflussung	350
	Wirkung der Stromkräfte · Ein-, zwei- und dreipoliger Kurzschluß		26.1.1	Gegeninduktivität	351
19.4.2	Mehradrige Kabel	300	26.1.2	Induzierende Ströme	352
	Zugspannung F'_B · Flächendruck F'_F · Rechenwerte · Befestigungselemente		26.1.3	Stromreduktionsfaktor des beeinflussenden Starkstromkabels	352
19.4.3	Einadrige Kabel und ihre Befestigung	305	26.1.4	Spannungsreduktionsfaktor des beeinflussten Nachrichtenkabels	355
	Biegebeanspruchung · Flächendruck F'_F · Beanspruchung der Schellen und Bandagen		26.1.5	Reduktionsfaktoren von Kompensationsleitern	357
19.4.4	Garnituren	315	26.2	Fremdspannung in symmetrischen Kreisen	358
19.5	Formelzeichen zu Abschnitt 19	316	26.3	Ohmsche Beeinflussung	358
19.6	Literatur zu Abschnitt 19	319	26.4	Induktive und ohmsche Beeinflussung	359
20	Widerstand und Widerstandsbelag des Leiters	320	26.5	Angaben für die Projektierung	359
20.1	Widerstandsbelag bei Gleichstrom	320	26.6	Berechnungsbeispiele	360
20.2	Widerstandsbelag bei Wechselstrom	320	27	Gestalten und Berechnen von Verteilungsnetzen	362
20.3	Stromabhängige Verluste	321	27.1	Einführung	362
21	Induktivität und Induktivitätsbelag	322	27.2	Ermittlung des Leistungsbedarfs als Grundlage für die Planung	363
21.1	Induktivitätsbelag eines Leitersystems	322	27.2.1	Belastung durch Haushalte	363
21.2	Einadrige Kabel	322	27.2.2	Belastung durch Sonderabnehmer	365
21.2.1	Beidseitige Erdung	322	27.2.3	Gesamtbelastung	366
21.2.2	Anordnen der Kabel	326	27.3	Planung von Verteilungsnetzen	366
21.2.3	Ein- und beidseitige Erdung der Metallmäntel und Schirme	328	27.3.1	Allgemeines	366
21.2.4	Auskreuzen der Mäntel, Verdrillen der Kabel	328	27.3.2	Wahl der Verteilungsspannung	367
21.3	Mehradrige Kabel	329	27.3.3	Niederspannungsnetze	368
21.4	Nullimpedanz und Nullimpedanzbelag	329		Netzformen und Netzarten der öffent- lichen Versorgung · Erweiterung eines Niederspannungsnetzes · Gebäudenetze · Industrienetze · Stationsstandorte · Baulemente des Niederspannungsnetzes	
21.5	Literatur zu Abschnitt 21	330			
22	Kapazität und Kapazitätsbelag	331			
22.1	Allgemeines	331			

27.3.4	Mittelspannungsnetze	375
	Öffentliche Versorgung · Ausbau des Mittelspannungsnetzes · Gebäudenetze · Industriennetze · Ersatzstromversorgung · Bauelemente des Mittelspannungsnetzes · Ladestromkompensation und Stern- punktbehandlung · Das überlagerte Hochspannungsnetz	
27.4	Netzberechnung	381
27.4.1	Grundlagen	381
27.4.2	Berechnung eines Niederspannungs- netzes	383
27.4.3	Überprüfung der Schutzmaßnahmen gegen zu hohe Berührungsspannungen	385
27.4.4	Überprüfung von Kurzschlußschutz und Selektivität	389
27.4.5	DV-unterstützte Netzberechnung	392
27.5	Literatur zu Abschnitt 27	393

Auslegen und Montage

28	Kabelkennzeichen	395
28.1	Firmenzeichen, VDE-Kennzeichen	395
28.2	Farbe von Außenmänteln und Außenhüllen	395
28.3	Aderkennzeichnung der Kabel bis $U_0/U=0,6/1$ kV	397
28.4	Aderkennzeichnung der Kabel über $U_0/U=0,6/1$ kV	398
29	Auslegen der Kabel	399
29.1	Transport	399
29.2	Vorbereitung zum Legen der Kabel	400
29.3	Höhenunterschiede in der Trasse	401
29.4	Legen der Kabel in Erde	401
29.4.1	Kabeltrasse	401
29.4.2	Auslegen der Kabel	403
29.5	Legen der Kabel in Innenräumen	408
29.5.1	Kabel an Wänden, Decken und Gerüsten	408
29.5.2	Kabelkanäle	408
29.6	Kabelschellen	410
29.6.1	Ausführungen	410
29.6.2	Zuordnung und Maße	412
30	Montagehinweise	415
30.1	Zubereitung der Kabelenden	415
30.2	Erden der metallenen Umhüllung	416
30.3	Leiterverbindungen	418

31	Ausbessern beschädigter Außenhüllen	420
31.1	Außenmantel aus Polyvinylchlorid (PVC) und Polyethylen (PE)	420
31.2	Jutehülle auf Kabeln mit Bleimantel	423
32	Kabelgarnituren	424
32.1	Grundsätzliche Aufgaben	424
32.2	Anforderungen	424
32.3	Feldsteuerung	426
32.4	Grundsätzliche Technik für den Auf- bau sowie die Montage der Garnituren	427
32.4.1	Vergußtechnik	427
32.4.2	Gießharztechnik	429
32.4.3	Schrumpftechnik	433
32.4.4	Wickeltechnik	434
32.4.5	Aufschiebetechnik	435
32.4.6	Steckertechnik	436
32.5	Literatur zu Abschnitt 32	437
33	Kabelplan	438

Messen und Prüfen von Starkstromanlagen

34	Elektrische Messungen an der betriebs- fertigen Kabelanlage	439
35	Spannungsprüfungen	440
35.1	Allgemeines	440
35.2	Prüfung mit Gleichspannung	440
35.3	Prüfung mit Wechselspannung	442
36	Fehlerortbestimmung	443
36.1	Vormessungen	443
36.2	Ortungsmessungen nach klassischer Methode	444
36.3	Ortungsmessungen nach dem Impuls- reflexions-Meßverfahren	447
36.4	Vorbereiten der Fehlerstelle mit Brenn- gerät	449
36.5	Ortung mit Tonfrequenz	450
36.6	Prüfungen von Kunststoffmänteln	452
37	Aufbau und Widerstände der Leiter	454
38	Umrechnungstabelle der Maßsysteme	457
	Stichwortverzeichnis	458