

Leitsätze für Hochspannungskabel : mit masseimprägnierter Papierisolation und Metallmantel für Nennspannungen bis 60 kV

Objektyp: **Group**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins : gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **52 (1961)**

Heft 13

PDF erstellt am: **01.09.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Leitsätze für Hochspannungskabel

mit masseimprägnierter Papierisolation und Metallmantel für Nennspannungen bis 60 kV

Der Vorstand des SEV veröffentlicht im folgenden den Entwurf zu Regeln für Hochspannungskabel. Der Entwurf wurde vom Fachkollegium 20 (Hochspannungskabel)¹⁾ des CES ausgearbeitet und vom Schweizerischen Elektrotechnischen Komitee (CES) genehmigt.

Der Vorstand lädt die Mitglieder ein, den Entwurf zu prüfen und Bemerkungen dazu bis *spätestens Samstag, den 22. Juli 1961, in doppelter Ausfertigung*, dem Sekretariat des SEV, Seefeldstrasse 301, Zürich 8 einzureichen. Sollten keine Bemerkungen eingehen, so würde der Vorstand annehmen, die Mitglieder seien mit dem Entwurf einverstanden. Er würde dann auf Grund der ihm von der 75. Generalversammlung (1959) erteilten Vollmacht über die Inkraftsetzung beschliessen.

Entwurf

Leitsätze für Hochspannungskabel

mit masseimprägnierter Papierisolation und Metallmantel für Nennspannungen bis 60 kV

Einleitung

Die Commission Electrotechnique Internationale (CEI) gab im Jahre 1957 eine 2. Auflage der Publikation 55 «Recommandations pour les essais des câbles isolés au papier imprégné et recouverts d'une enveloppe métallique pour des tensions de 10 kV à 66 kV» heraus. Ausserdem erschien im Jahre 1958 eine 2. Auflage der Publikation 71 der CEI «Directives pour la coordination de l'isolement». Da in beiden Publikationen wesentliche Änderungen gegenüber den vorangehenden Auflagen bestehen, hat es das FK 20 des Comité Electrotechnique Suisse (CES) als nötig erachtet, die Publikation 164 vom November 1953 ebenfalls neu zu bearbeiten und den Empfehlungen der CEI, die auch von der Schweiz angenommen sind, anzupassen.

Folgendes sind die hauptsächlichsten Änderungen:

Die Prüfspannungen für die Dauerprüfungen auf Durchschlagsicherheit und für Ermittlung des Verlustfaktoranstieges werden jetzt von der Nennspannung des Kabels und nicht mehr vom Spannungsgradienten her ermittelt. Die Dauer der Spannungsproben im Werk und nach Verlegung ist in Übereinstimmung mit den CEI-Empfehlungen zeitlich etwas verkürzt worden.

Die Prüfspannungen bei Industriefrequenz und bei Stoss sind für die Kabel und Zubehörteile Haltespannungen und nicht Überschlagspannungen. Diese Praxis stimmt mit den Regeln für die Koordination der Isolation (Publ. Nr. 0183.1957) überein.

¹⁾ Das FK 20 war zur Zeit der Ausarbeitung des Entwurfes wie folgt zusammengesetzt:

- P. Müller, Direktor, Kabelwerke Brugg AG, Brugg (AG) (Vorsitzender)
E. Foretay, Ingénieur, S. A. des Câbleries et Tréfileries Cossonay-Gare (VD) (Protokollführer)
A. Borel, Directeur technique, Société d'exploitation des câbles électriques, Cortaillod (NE)
P. Buchschacher, Ingenieur, Elektro-Watt AG, Talacker 16, Postfach, Zürich 22
G. Ding, Ingenieur, Dätwyler AG, Schweizerische Draht-, Kabel- und Gummiwerke, Altdorf (UR)
E. Eichenberger, Ingenieur, Motor-Columbus AG., Baden (AG)
R. Gasser, Oberingenieur, Starkstrominspektorat, Seefeldstrasse 301, Zürich 8
M. Hürbin, Oberingenieur, Elektrizitätswerk der Stadt Zürich, Postfach Zürich 23
P. Meystre, Chef du Service de l'électricité de la Ville de Lausanne
E. Schneebell, Ingenieur, Materialprüfanstalt des SEV, Seefeldstrasse 301, Zürich 8
J. Vachoux, Sous-chef, Service de l'électricité de Genève, 12, rue de Stand, Genève
O. Wanner, Chef des Leitungsbüros, Elektrizitätswerk Basel, Basel
W. Werdenberg, Direktor, S. A. des Câbleries et Tréfileries, Cossonay-Gare (VD)
J. Wettler, Sektionschef für Kraftwerkbetrieb der Abteilung Kraftwerke der SBB, Bern
H. Marti, Sekretär des CES, Seefeldstrasse 301, Zürich 8
Bearbeitender Ingenieur ist R. Shah, Ingenieur, Sekretariat des SEV, Zürich 8

Diese beiden Änderungen sind mit Ausnahme der Reduktion der Prüfdauer bereits in Publ. Nr. 0216.1959, «Leitsätze für Hochspannungskabel und Leiter mit Kunststoffisolation» berücksichtigt worden.

Die weiteren Änderungen sind redaktioneller Natur; der Text wurde in folgende 5 Abschnitte gegliedert: Allgemeines, Normale Werkprüfungen, Spezielle Prüfungen, Prüfung der Zubehöerteile, Prüfung nach Verlegung.

Die vorliegenden Leitsätze haben keine Gültigkeit für Öl- und Gasdruckkabel, für die besondere Leitsätze vorgesehen sind.

Die CEI-Empfehlungen enthalten keine Tabellen über die zulässige Belastbarkeit. Die Tabellen über die zulässige Belastbarkeit sind darum ohne Änderung von der früheren Auflage übernommen worden.

1 Grundlagen

Die vorliegenden Leitsätze stützen sich auf die Verordnung des Bundesrates über die Erstellung, den Betrieb und den Unterhalt von elektrischen Starkstromanlagen vom 7. Juli 1933 (Starkstromverordnung) samt den bisher zu dieser Verordnung erschienenen Änderungen und Ergänzungen.

2 Gültigkeit

2.1 Geltungsbeginn

Diese Leitsätze wurden vom Vorstand des SEV am genehmigt. Sie treten am in Kraft.

2.2 Geltungsbereich

Die Leitsätze gelten für die Prüfung von Hochspannungskabeln mit masseimprägnierter Papierisolation und Metallmantel für Nennspannungen bis 60 kV und Industriefrequenzen von 50 bis 60 Hz. Gasdruck- und Ölkabel fallen nicht unter diese Leitsätze.

3 Begriffsbestimmungen

3.1 Die *Nennspannung eines Kabels* U_n ist die Spannung, nach welcher die Isolation zwischen den Leitern bemessen wird. (Ein Kabel im Sinne dieser Leitsätze kann auch aus mehreren Einleiterkabeln bestehen.)¹⁾

3.2 Die *Nennspannung Pol-Erde* U_0 ist die Spannung, nach der die Isolation zwischen dem Leiter und dem Metallmantel bemessen wird²⁾.

4 Allgemeines

4.1 Prüfarten

4.1.1 Generelles

Die Prüfungen der Kabel werden in 3 Gruppen unterteilt:

- Normale Werkprüfungen
- Spezielle Prüfungen
- Prüfungen nach Verlegung

Die Prüfungen werden in der angegebenen Reihenfolge und bei den in Ziff. 4.2 erwähnten Prüfbedingungen ausgeführt.

¹⁾ Die Nennspannung der Kabel ist nicht unbedingt gleich der Nennspannung des Netzes, in dem die Kabel verwendet werden (siehe Ziff. 3).

Insbesondere ist eine kurze Kabelstrecke, die in eine Freileitung eingeschaltet wird, denselben atmosphärischen Ueberspannungen ausgesetzt wie die Freileitung. In bestimmten Fällen, z. B. in einer Gegend, die häufigen und starken Gewittern ausgesetzt ist, und in Verbindung mit Holzmastenleitungen, kann der Einbau von Überspannungsableitern nötig werden oder auch die Verwendung eines Kabels mit höherer Nennspannung als jene der Leitung.

²⁾ Wenn nichts anderes vereinbart ist, gelten die Garantien sinngemäss für die beiden Nennspannungen, die vom Fabrikanten angegeben werden.

Genormte Nennspannungen U_n siehe Publ. Nr. 0159 des SEV, «Genormte Werte der Spannungen, Frequenzen und Ströme für elektrische Netze und elektrisches Material».

4.1.2 Normale Werkprüfungen

Die folgenden Prüfungen werden an allen Leitern jeder Kabellänge der Lieferung durchgeführt:

	Ziff.
1. Messung des Leiterwiderstandes	5.1
2. Spannungsprüfung	5.2
3. Messung der dielektrischen Verluste	5.3
4. Kontrolle der Dimensionen	5.4

4.1.3 Spezielle Prüfungen

Die folgenden Prüfungen werden an kurzen Abschnitten einer Kabellieferung ausgeführt.

	Ziff.
1. Stabilitätsprüfung	6.1
2. Biegeprüfung	6.2
3. Prüfung auf Durchschlagsicherheit	6.3
4. Prüfung der Zubehöreile	7

Weitere spezielle Prüfungen werden nur vorgenommen, wenn sie auf Grund einer besonderen Vereinbarung zwischen Besteller und Fabrikant festgelegt worden sind.

4.1.4 Prüfung der Zubehöreile

	Ziff.
1. Allgemeines	7.1
2. Spannungsprüfung bei Industriefrequenz	7.2
3. Spannungsprüfung mit Stoss	7.3
4. Fabrikationskontrollen	7.4

4.1.5 Prüfung nach Verlegung

Die Prüfungen nach Verlegung werden an der betriebsbereiten Anlage ausgeführt.

	Ziff.
1. Spannungsprüfung	8.1

4.2 Prüfbedingungen

4.2.1 Frequenz und Kurvenform bei den Wechselspannungsprüfungen

Die Frequenz soll zwischen 49 und 61 Hz liegen und die Spannungskurve praktisch sinusförmig sein.

4.2.2 Kurvenform der Stoßspannungen

Die Frontdauer des Spannungsstosses soll zwischen 1 und 5 μ s, die Halbwertdauer des Stosses 40...60 μ s betragen, wobei die Bedingungen der Publ. Nr. 173 des SEV, «Regeln für Spannungsprüfungen», sinngemäss Anwendung finden.

4.2.3 Raumtemperatur

Als Raumtemperatur wird eine Temperatur zwischen 18 und 28 °C angenommen.

4.3 Betriebsanforderungen

Die Betriebsspannung zwischen den Leitern darf im allgemeinen die Nennspannung des Kabels (U_n) dauernd um nicht mehr als 10 % überschreiten; ist die Nennspannung des Kabels eine Normspannung nach Publ. Nr. 0159 des SEV, «Genormte Werte der Spannungen, Frequenzen und Ströme», so wird die maximal zulässige Betriebsspannung gleich dem dort angegebenen Werte. Die nach diesen Leitsätzen gebauten Dreiphasenkabel dürfen ohne Unterschied in Netzen mit oder ohne Sternpunktterdung verwendet werden, vorausgesetzt dass ein Betrieb bei Erdschluss eines Pols nicht länger als 8 Stunden dauert.

4.4 Einteilung

Man unterscheidet hinsichtlich der dielektrischen Beanspruchung zwei Hauptgruppen von Kabeln:

- Kabel mit radialer oder praktisch radialer dielektrischer Beanspruchung
- Kabel mit nicht ausschliesslich radialer dielektrischer Beanspruchung (Gürtelkabel).

4.5 Aufbau und Dimensionen

Die runden Leiter werden gemäss Norm SNV 24700, «Runde Leiter und Seile in Kupfer oder Aluminium», hergestellt. Die Sektorleiter sind nicht genormt.

4.6 Bezeichnungen

4.6.1 Spannung

Die Kabel werden durch ihre Nennspannung und die Nennspannung Pol-Erde bezeichnet, beide Werte ausgedrückt in kV und durch Schrägstrich getrennt.

Beispiel 1: Dreiphasen-Kabelanlage, bestehend aus drei Einleiterkabeln. Nennspannung des Kabels: 45 kV; Nennspannung Pol-Erde: $45/\sqrt{3} = 26$ kV. Das Kabel wird durch 45/26 kV bezeichnet.

Beispiel 2: Dreiphasen-Dreimantelkabel mit Glimmschutz. Nennspannung des Kabels: 20 kV; Nennspannung Pol-Erde: $20/\sqrt{3} = 11,5$ kV. Das Kabel wird durch 20/11,5 kV bezeichnet.

Beispiel 3: Dreileiterkabel mit Glimmschutz. Nennspannung des Kabels: 15 kV; Nennspannung Pol-Erde: $15/\sqrt{3} = 9$ kV. Das Kabel wird durch 15/9 kV bezeichnet.

Beispiel 4: Dreileiterkabel mit Gürtelisolierung. Nennspannung des Kabels: 15 kV; Nennspannung Pol-Erde: 15 kV. Das Kabel wird durch 15/15 kV bezeichnet.

Beispiel 5: Einphasenkabelanlage bestehend aus zwei Einleiterkabeln. Nennspannung des Kabels: 60 kV; Nennspannung Pol-Erde: 30 kV. Die Kabel werden durch 60/30 kV bezeichnet.

4.6.2 Querschnitt und Leiterzahl

Die Leiterzahl wird der Querschnittsbezeichnung vorausgestellt und durch das Multiplikationszeichen getrennt. Der Leiterquerschnitt ist in mm^2 anzugeben.

Beispiel 1: Dreileiterkabel, Leiterquerschnitt 240 mm^2 . Das Kabel wird bezeichnet: $3 \times 240 \text{ mm}^2$.

Beispiel 2: Dreiphasen-Dreimantelkabel, bestehend aus 3 miteinander verseilten Einleiterkabeln von 150 mm^2 Querschnitt. Das Kabel wird bezeichnet: $3 \times 1 \times 150 \text{ mm}^2$.

5 Normale Werkprüfungen

5.1 Messung des Leiterwiderstandes

Der mit Gleichstrom gemessene Widerstand jedes Leiters eines fertig fabrizierten Kabels, bezogen auf eine Temperatur von 20 °C, darf nicht mehr als 4 % höher sein als der Wert, den ein massiver und homogener Leiter gleichen Materials, gleichen Nennquerschnittes und von der Länge des fertigen Kabels aufweist.

Die zulässigen Höchstwerte des Leiterwiderstandes sind in Tabelle I zusammengestellt.

Zulässige Höchstwerte des Leiterwiderstandes fertig fabrizierter Kabel, berechnet nach den in Ziff. 5.1 gegebenen Materialkonstanten und der vorgeschriebenen maximalen Widerstandszunahme von 4 % des verseilten Leiters gegenüber dem massiven und homogenen Leiter.

Tabelle I

Nennquerschnitt mm^2	Leitermaterial Cu	Leitermaterial Al
	Widerstand bei 20 °C Ω/km	Widerstand bei 20 °C Ω/km
1	17,93	29,33
2,5	7,172	11,73
4	4,482	7,332
6	2,988	4,888
10	1,793	2,933
16	1,121	1,833
25	0,7172	1,173
35	0,5123	0,8380
50	0,3586	0,5866
70	0,2561	0,4190
95	0,1887	0,3087
120	0,1494	0,2444
150	0,1195	0,1955
185	0,09691	0,1585
240	0,07470	0,1222
300	0,05976	0,09776
400	0,04482	0,07332
500	0,03586	0,05866
1000	0,01793	0,02933

Der spezifische Widerstand des weichen Elektrolytkupfers gemäss Norm SNV 10827 beträgt 0,01724 $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ bei 20 °C. Der spezifische Widerstand des halbhartes Aluminiums beträgt nach Publ. Nr. 157 des SEV, «Regeln für Aluminium», 0,0282 $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$.

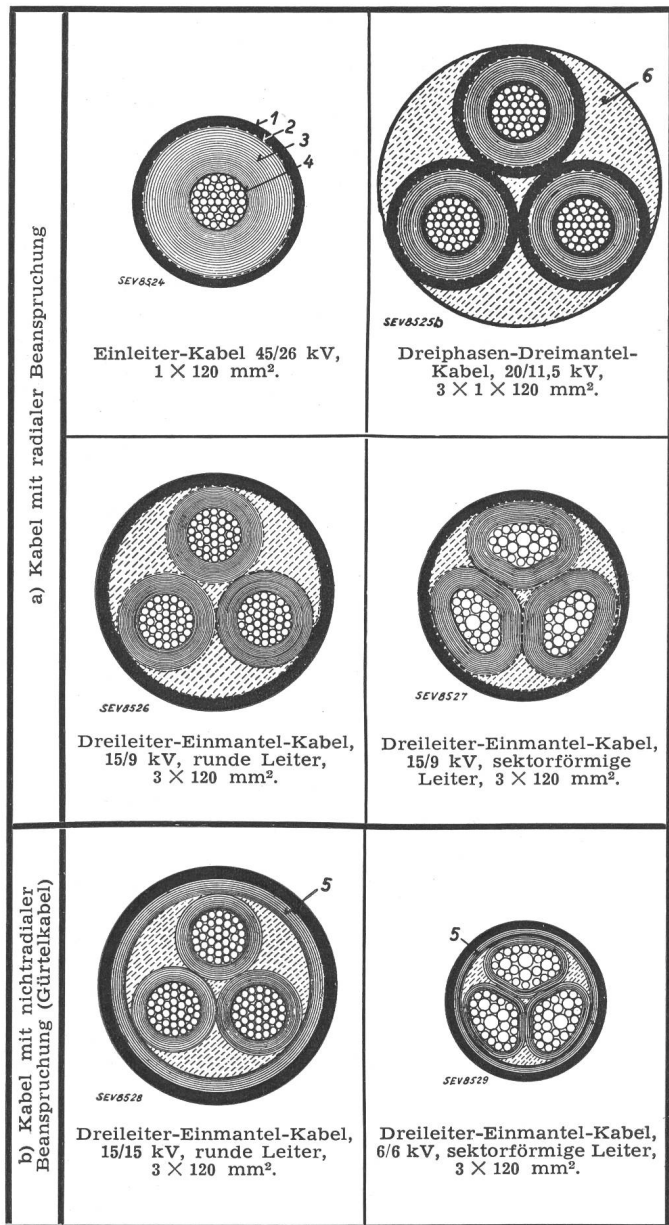


Fig. 1

Erläuterung der Klassifizierung von Kabeln

Beispiele: Drehstromkabel

- 1 Metallmantel; 2 Glimmschutz; 3 Isolation; 4 Leiter; 5 Gürtel; 6 Beilauf

Der bei einer Temperatur von t °C gemessene Wert R_t des Widerstandes wird nach der Formel

$$R_{20} = \frac{R_t}{1 + \alpha (t - 20 \text{ °C})}$$

auf den Wert bei 20 °C umgerechnet. Der Wert von α beträgt für Kupfer und Aluminium 0,00393. (Wenn Zweifel bestehen, ob Leiter- oder Raumtemperatur übereinstimmen, ist die Messung nach 24stündiger Lagerung des Kabels im Prüfraum vorzunehmen.)

5.2 Spannungsprüfung

Die Prüfwechselspannung wird zwischen den Leitern und zwischen Leiter und Metallmantel folgendermassen angelegt:

5.2.1 Kabel mit radialer dielektrischer Beanspruchung

Bei dieser Prüfung wird das Mehrleiterkabel gleich behandelt wie das Einleiterkabel; die Spannung ist zwischen den Leitern und dem Metallmantel anzulegen. Die Höhe der Prüfspannung beträgt $2,5 U_0$, die Dauer der Prüfung 15 min. Während der Prüfung darf kein Durchschlag erfolgen.

5.2.2 Kabel mit nicht radialer dielektrischer Beanspruchung (Gürtelkabel)

Die Spannung wird zwischen einem Leiter und den beiden andern mit dem Metallmantel verbundenen Leitern angelegt. Die Prüfspannung beträgt $2,5 U_n$, die Prüfdauer 10 Minuten für jeden Leiter. Während der Prüfung darf kein Durchschlag erfolgen.

5.3 Messung der dielektrischen Verluste

Die dielektrischen Verluste werden an allen Kabeln, deren Nennspannung 15 kV oder mehr beträgt, gemessen. Sie werden in der Regel charakterisiert durch den Verlustfaktor:

$$\text{tg } \delta = \frac{\text{dielektrische Verluste}}{\text{Blindleistung des Kabels}}$$

Die Messung des Verlustfaktors $\text{tg } \delta$ wird im allgemeinen mit einer Brücke, z. B. der Scheringbrücke, ausgeführt. Die Prüfung erfolgt einphasig.

Bei Kabeln mit radialem Feld wird die Prüfspannung zwischen Leiter und Metallmantel angelegt. Die Messungen werden bei den drei Spannungen $0,5 U_0$; $1,25 U_0$ und $2,0 U_0$ vorgenommen.

Bei den Kabeln mit nicht radialem Feld (Gürtelkabel) wird die Spannung zwischen einem Leiter und den übrigen Leitern, die mit dem Metallmantel verbunden werden, angelegt. Die Messungen werden bei den drei Spannungen $0,5 U_n$; $1,25 U_n$ und $2,0 U_n$ vorgenommen.

Bei diesen Messungen darf der ermittelte Verlustfaktor bei 0,5fachem Wert der Nennspannung nicht mehr als 0,01 betragen. Der Anstieg des Verlustfaktors darf den in Tabelle II angegebenen Wert nicht überschreiten.

Maximal zulässiger Anstieg des Verlustfaktors

Tabelle II

Nennspannung	Kabel mit radialem Feld	Kabel mit nicht radialem Feld
zwischen dem 0,5- und 1,25fachen Wert der Nennspannung	0,001	0,003
zwischen dem 1,25- und 2fachen Wert der Nennspannung	0,003	0,006

5.4 Kontrolle der Dimensionen

Die Kontrolle der Dimensionen hat an mehreren gleichmässig über den Umfang verteilten Stellen des Kabels, die mindestens 30 cm vom Ende entfernt sind, zu erfolgen. Die Mittelwerte der Messungen der Dimensionen der Isolation, des Metallmantels und der Armierung müssen den in der Bestellung vereinbarten Werten genügen.

Die grössten örtlichen Abweichungen dürfen für die einzelnen Konstruktionsteile betragen:

- Bleimantel³⁾, Armierung — 10 %
- Isolation — 5 %, im Minimum 0,2 mm
- Jute oder andere Schutzschichten — 20 %

6 Spezielle Prüfungen

6.1 Stabilitätsprüfung

Bei grossen Lieferungen wird eine Stabilitätsprüfung ausgeführt, wenn eine solche zwischen Besteller und Fabrikant vereinbart ist. Bei dieser Prüfung soll festgestellt werden, ob sich der Verlustfaktor unter dem Einfluss der betriebsmässigen Temperaturschwankungen ändert.

An einem Versuchsstück von ca. 10 m Länge werden die dielektrischen Verluste gemessen:

1. bei Raumtemperatur (vgl. Ziff. 4.2.3)
2. nach Erwärmung der Leiter auf 50 °C
3. nach Abkühlung auf Umgebungstemperatur.

Das Kabel ist durch Strom in den Leitern oder durch eine andere geeignete Massnahme in ungefähr 4 h auf 50 °C zu erwärmen. Die Abkühlung ist so rasch als möglich durchzuführen. Die Leitertemperatur wird wenn möglich aus der Widerstandszunahme der Leiter bestimmt.

³⁾ Die zulässigen Abweichungen für Metallmäntel (ausschliesslich Bleimäntel) sind durch Vereinbarung zwischen Besteller und Fabrikant festzulegen.

Der Verlustfaktor darf nach erfolgter Abkühlung beim Spannungswert $0,5 U_0$ bzw. $0,5 U_n$ nicht grösser sein als

- 0,010 bei Kabeln mit radialem Feld
- 0,012 bei Kabeln mit nicht radialem Feld.

Der Anstieg der Verlustkurve darf die in Ziff. 5.3 genannten Werte nicht überschreiten.

6.2 Biegeprüfung

Ein Kabelabschnitt von mindestens 5 m Länge wird bei Raumtemperatur der Biegeprüfung nach folgendem Verfahren unterworfen: Das Kabelstück wird auf eine Trommel mit einem Kerndurchmesser D aufgewickelt, anschliessend wieder abgewickelt und gerade gerichtet, dann in entgegengesetzter Richtung wieder aufgewickelt und gerade gerichtet. Dieses Verfahren wird dreimal wiederholt und anschliessend das Prüfstück der Spannungsprüfung gemäss Ziff. 5.2 mit $4 U_0$ während 10 min unterworfen. Dabei darf kein Durchschlag auftreten.

Das Verhältnis zwischen Kerndurchmesser D und Aussendurchmesser des zu prüfenden Kabels muss dem in Tabelle III enthaltenen Wert entsprechen.

Verhältnis zwischen Kerndurchmesser D und Aussendurchmesser

Tabelle III

A) Kabel deren Nennspannungen U_n unter 30 kV oder U_0 unter 20 kV liegen	
Einleiterkabel armiert	20
Einleiterkabel blank	25
Mehrleiterkabel armiert	12
Mehrleiterkabel blank	15
B) Kabel deren Nennspannungen U_n 30 kV und darüber oder U_0 20 kV und darüber betragen	
Einleiterkabel armiert	26
Einleiterkabel blank	33
Mehrleiterkabel armiert	16
Mehrleiterkabel blank	20

6.3 Dauerprüfung auf Durchschlagsicherheit

Bei grossen Lieferungen und besonders bei Nennspannungen von 15/8,7 kV und mehr, wird eine Dauerprüfung ausgeführt, wenn eine solche zwischen Besteller und Fabrikant vereinbart ist. Das Prüfstück, ein Abschnitt von ungefähr 10 m Länge, muss bei Raumtemperatur eine Wechselfspannung von $4 U_0$ während 4 h aushalten.

Diese Spannung wird bei Kabeln mit radialem Feld zwischen Leiter und geerdetem Mantel angelegt; bei Kabeln mit nicht radialem Feld ist ein Leiter an Spannung, die übrigen Leiter sind mit dem Metallmantel gemeinsam an Erde zu legen.

Während dieser Prüfung darf kein Durchschlag erfolgen.

7 Prüfung der Zubehörteile

7.1 Allgemeines

Die Kabelendverschlüsse in ein- oder mehrpoliger Ausführung werden für Freiluft- oder Innenmontage vorgesehen.

Die Nennspannungen der Endverschlüsse sollen genormte Werte gemäss Publ. Nr. 0159 des SEV, «Genormte Werte der Spannungen, Frequenzen und Ströme», sein.

Die Kabelnennspannung ist indes oft ein Zwischenwert zwischen 2 genormten Spannungen. In solchen Fällen muss man die Endverschlüsse entsprechend dem nächsthöheren genormten Wert der Nennspannung wählen. So wird z. B. ein Kabel der Nennspannung 16/9,2 kV mit Endverschlüssen der Nennspannung 20 kV ausgerüstet. Die Prüfspannungen sollen den Ziff. 7.2 und 7.3 entsprechen. Endverschlüsse und Verbindungsmuffen sind für nachstehende Querschnitte vorgesehen:

- 6, 10, 16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185, 240, 300, 400 mm².

Der Nennstrom ist keine kennzeichnende Grösse der Endverschlüsse und Verbindungsmuffen. Die Endverschlüsse werden durch die Nennspannung und die Leiterquerschnitte (Höchstwert) gekennzeichnet.

Die Abmessungen werden nicht durch Vorschriften bestimmt. Die Eignung der Garnituren wird durch eine Spannungsprüfung und eine Dimensionskontrolle bei der Herstellung beurteilt.

Die Prüfungen sind Spezialprüfungen und werden gemäss Publ. Nr. 0173 des SEV, «Leitsätze für Spannungsprüfungen», und Nr. 0183, «Regeln und Leitsätze für die Koordination der Isolation in Wechselstrom-Hochspannungsanlagen» durchgeführt; insbesondere ist Ziff. 44 dieser Regeln zu beachten.

Zur Durchführung der Prüfungen sind Endverschlüsse und Muffen betriebsmässig zu montieren.

Das bei der Prüfung verwendete Kabel soll ein Abschnitt gleichen Typs sein, wie dasjenige, wozu die Zubehörteile bestimmt sind; man darf jedoch im Einverständnis von Besteller und Fabrikant ein Kabel höherer Nennspannung verwenden.

Beim Einleiterendverschluss wird die Spannung zwischen dem Leiter und dem geerdeten Endverschlussgehäuse angelegt, beim Mehrleiterendverschluss zwischen einem der Leiter und den übrigen mit dem Endverschlussgehäuse gemeinsam an Erde verbundenen Leitern.

7.2 Spannungsprüfung bei Industriefrequenz

Die Prüfspannungen sind in Tabelle IV festgelegt.

Prüfspannungen

Tabelle IV

Nennspannung U_n (Effektivwert) kV	Höchste Betriebsspannung U_m (Effektivwert) kV	Prüfspannung U_p (Effektivwert) kV
3	3,6	21
10	12	35
20	24	55
30	36	75
45	52	105
60	72,5	140

Die Prüfspannung wird während 1 min angelegt.

Die Freiluftendverschlüsse sind gemäss Publ. Nr. 0173 des SEV, «Leitsätze für Spannungsprüfungen», Ziff. 20, unter Regen zu prüfen.

Während der Prüfung darf am Prüfobjekt weder ein Überschlag noch ein Durchschlag auftreten.

7.3 Spannungsprüfung mit Stoss

Die Stosshaltespannungen sind in Tabelle V festgelegt.

Stosshaltespannungen

Tabelle V

Nennspannung U_n (Effektivwert) kV	Höchste Betriebsspannung U_m (Effektivwert) kV	Stosshaltespannung U_h (Scheitelwert) kV
3	3,6	45
10	12	75
20	24	125
30	36	170
45	52	250
60	72,5	325

Die Freiluftendverschlüsse werden in trockenem Zustande geprüft.

Während der Prüfung darf am Prüfobjekt weder ein Überschlag noch ein Durchschlag auftreten.

7.4 Fabrikationskontrollen

Die Fabrikationskontrollen umfassen keine elektrischen Prüfungen, da der für die Montage nötige Aufwand unverhältnismässig gross ist. Durch eine Kontrolle der Hauptabmessungen wird die Übereinstimmung mit den Konstruktionszeichnungen festgestellt.

8 Prüfung nach Verlegung

8.1 Spannungsprüfung

Nach Verlegung und Montage der Zubehörteile werden die Kabel mit Nennspannung von 6/3,5 kV und darüber, einer Wech-

Querschnitt mm ²		A) Einleiter-Papierbleikabel mit Kupfer- oder Aluminium-Leitern im Drehstrombetrieb																	
		Maximale zulässige Stromstärke pro Kabel in Ampère																	
		Nennspannung in kV (siehe Bezeichnung Ziff. 4.6)																	
		Erste Zahl: Nennspannung des Kabels									Zweite Zahl: Nennspannung Pol-Erde								
		3/1,75		6/3,5		10/6		15/9		20/11,5		25/14,5		30/17,5		45/52		60/35	
		Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
16	135	110	130	105	110	90	105	85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	175	140	170	135	145	115	140	110	135	105	130	100	—	—	—	—	—	—	—
35	215	170	210	165	175	140	170	135	165	130	160	125	155	125	—	—	—	—	—
50	265	210	260	205	220	175	215	170	205	160	195	155	190	155	—	—	—	—	—
70	320	255	310	250	265	215	260	205	250	200	240	195	235	190	—	—	—	—	—
95	385	305	375	300	315	255	305	245	295	235	285	230	280	225	265	210	—	—	—
120	440	350	430	345	360	290	350	280	340	270	330	260	320	255	300	240	285	230	—
150	495	395	485	390	410	330	400	320	390	310	375	300	265	290	340	270	325	260	—
185	545	435	535	430	460	365	445	355	430	345	415	335	405	325	385	310	365	295	—
240	620	495	615	490	520	415	505	405	490	390	475	380	465	370	440	350	420	335	—
300	690	550	680	545	570	455	555	445	540	430	525	420	515	410	490	390	465	370	—
400	780	625	770	620	645	515	630	505	615	490	600	480	590	470	565	450	535	430	—
500	850	680	845	675	705	565	690	555	675	540	660	530	650	520	—	—	—	—	—

Querschnitt mm ²		B) Dreileiter-Papierbleikabel mit Gürtelisolierung oder Glimmschutz (H-Kabel) mit Kupfer- oder Aluminium-Leitern																	
		Maximal zulässige Stromstärke pro Leiter, in Ampère																	
		Nennspannung in kV (siehe Bezeichnung Ziff. 4.6)																	
		Erste Zahl: Nennspannung des Kabels									Zweite Zahl: Nennspannung Pol-Erde								
		Gürtelisolierung (Kabel ohne Glimmschutz)									Kabel mit Glimmschutz (H-Kabel)								
		3/3		6/6		10/10		15/15		20/20		15/9		20/11,5		25/14,5			
		Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al		
6	60	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	80	65	75	60	65	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	105	85	100	80	85	70	80	65	—	—	85	70	—	—	—	—	—	—	—
25	135	110	130	105	110	90	105	85	105	85	115	90	110	90	—	—	—	—	—
35	165	130	160	130	135	110	130	105	125	100	140	110	135	105	130	100	—	—	—
50	200	160	195	155	165	130	155	125	150	120	170	135	160	130	155	125	—	—	—
70	245	195	235	190	200	160	195	155	185	150	210	165	200	160	190	150	—	—	—
95	290	230	280	225	240	190	230	185	225	180	245	195	235	190	230	180	—	—	—
120	335	270	325	260	280	225	265	215	260	210	280	230	275	220	255	205	—	—	—
150	380	305	370	295	320	255	305	245	300	240	325	260	315	250	295	240	—	—	—
185	435	350	420	335	360	290	350	280	340	270	365	295	355	280	330	260	—	—	—
240	505	405	490	390	420	340	410	330	400	320	430	345	415	330	380	305	—	—	—
300	570	455	560	445	475	385	407	375	—	—	485	390	—	—	—	—	—	—	—
400	660	530	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Dreimantelkabel können 5% höher belastet werden als Einmantel-Dreileiter-H-Kabel

Reduktions-Faktoren

Tabelle VII

Art der Verlegung		max. Umgebungstemperatur in °C	Anzahl Kabelstränge *)			
			1	parallel verlegt		
			2	4	6	
Im Erdboden 70 cm tief	Verlegung in Sand mit Deckplatten oder Decksteinen	bis 25	1,0	0,90	0,80	0,75
	Verlegung ohne Sand in Rohren oder in Kanälen mit Deckplatten	bis 25	0,85	0,80	0,70	0,65
In Räumen ohne besond. Ventilation	Offene Verlegung auf Traversen oder Böden, an Decken oder an Wänden	bis 25	0,75	0,7	0,65	0,65
		30	0,7	0,6	0,55	0,55
		35	0,55	0,5	0,45	0,45
		40	0,45	0,4	0,35	0,35
	Verlegung ohne Sand in Bodenkanälen mit Deckplatten	bis 25	0,7	0,65	0,6	0,6
		30	0,65	0,6	0,55	0,55
		35	0,55	0,5	0,45	0,45
		40	0,45	0,4	0,35	0,35

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

sel- oder Gleichspannungsprüfung unterzogen, wenn die Kabelstrecke mindestens 500 m beträgt.

Die Prüfspannung beträgt bei Anwendung von Wechselstrom $1,73 U_0$, bei Gleichspannung $4 U_0$.

Bei Einleiter- und Mehrleiterkabeln mit radialem Feld wird die Prüfspannung zwischen den miteinander verbundenen Leitern und dem geerdeten Metallmantel angelegt. Die Prüfdauer beträgt 15 min.

Bei Mehrleiter-Gürtelkabeln mit nicht radialem Feld wird die Prüfspannung zwischen einem Leiter und den beiden andern mit dem geerdeten Metallmantel verbundenen Leitern angelegt.

In zyklischer Vertauschung beträgt die Dauer der Prüfungen 3×10 min.

9 Belastbarkeit der Kabel

9.1 Allgemein zulässige Belastungen

Die Kabel können im Betrieb gemäss Tabelle VI belastet werden.

9.1.1 Allgemeines

Die Werte der Tabelle VI fussen auf folgenden Annahmen:

1. Verlegung des Kabels im Erdboden in 70 cm Tiefe
2. Bodentemperatur 25°C
3. Maximale Erwärmung der Kabelleiter:

35°C für Kabel bis und mit Nennspannung 6 kV
 25°C für Kabel, deren Nennspannung mehr als 6 kV beträgt.

Bemerkung:

Im Betrieb soll die Leitertemperatur folgende Werte nicht überschreiten: 60°C für Nennspannungen bis und mit 6 kV und 50°C für Nennspannungen über 6 kV.

9.1.2 Belastungsart

Die Belastungstabellen setzen eine normale industrielle Belastung voraus, d. h. die maximale Belastung tritt während nicht mehr als 10 h täglich auf; während den restlichen 14 h beträgt sie im Mittel nur 70 % der in den Tabellen angeführten Werte.

Bei Kabelanlagen die über längere Zeit gleichmässig belastet werden (Generatorenkabel, elektrochemische Betriebe), müssen die Leiterquerschnitte unter Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse und der Betriebsanforderungen besonders berechnet werden.

9.1.3 Parallelschaltung

Beim Parallelschalten von querschnittgleichen Kabeln ist darauf zu achten, dass die Impedanzen der parallelgeschalteten Kabel einer Phase möglichst gleich gemacht werden.

9.1.4 Kabel in Luft

Bei Verlegung von Kabeln in Luft ist die zulässige Belastung besonders durch die Sonnenbestrahlung und die Luftbewegung beeinflusst. Kabel, die gegen direkte Sonnenbestrahlung geschützt sind, können bei ungehinderter Luftzirkulation im allgemeinen gleich belastet werden wie die im Boden verlegten Kabel.

9.2 Einfluss der Verlegungsart und der Umgebungstemperatur

Die Verlegungsart, die Zahl der nebeneinander verlegten Kabel, sowie die Umgebungstemperatur ist durch die in Tabelle VII enthaltenen Reduktionsfaktoren zu berücksichtigen. Die zulässigen Belastungswerte sind mit den jeweiligen Reduktionsfaktoren zu multiplizieren.

Die zulässigen Belastungswerte, die den Tabellen VI und VII entnommen werden, dienen nur als Richtlinie. Wenn die Zahl der nebeneinanderliegenden Kabel gross ist, oder auch bei Verlegung in Stollen oder Gängen, ist es nötig, genauere Rechnungen anzustellen oder entsprechende Versuche durchzuführen.

9.3 Spannungsabfall und Wirkungsgrad der Kabelübertragung

Die Querschnitte langer Kabelleitungen sollen nicht nur nach der zulässigen Erwärmung, sondern auch nach dem Spannungsabfall bemessen werden.

Wenn es sich um grosse zu übertragende Leistungen handelt, ist auch der Einfluss der Verluste auf die Wirtschaftlichkeit der Übertragung in Betracht zu ziehen.

Herausgeber:

Schweizerischer Elektrotechnischer Verein, Seefeldstrasse 301, Zürich 8.
Telephon (051) 34 12 12.

Redaktion:

Sekretariat des SEV, Seefeldstrasse 301, Zürich 8.
Telephon (051) 34 12 12.

«Seiten des VSE»: Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke, Bahnhofplatz 3, Zürich 1.
Telephon (051) 27 51 91.

Redaktoren:

Chefredaktor: H. Marti, Ingenieur, Sekretär des SEV.
Redaktor: E. Schiessl, Ingenieur des Sekretariates.

Inseratenannahme:

Administration des Bulletins SEV, Postfach Zürich 1.
Telephon (051) 23 77 44.

Erscheinungsweise:

14täglich in einer deutschen und in einer französischen Ausgabe. Am Anfang des Jahres wird ein Jahreshft herausgegeben.

Bezugsbedingungen:

Für jedes Mitglied des SEV 1 Ex. gratis. Abonnemente im Inland: pro Jahr Fr. 60.-, im Ausland: pro Jahr Fr. 70.-. Einzelnummern im Inland: Fr. 5.-, im Ausland: Fr. 6.-.

Nachdruck:

Nur mit Zustimmung der Redaktion.

Nicht verlangte Manuskripte werden nicht zurückgesandt.