

AVA Documents
Document Sharing Hub

Vorwort

Diese Norm wurde vom Arbeitskreis 411.1.1 „Starkstrombelastbarkeit von Kabeln“ und vom Unterkomitee 411.1 „Starkstromkabel“ der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE (DKE) erarbeitet.

Anhänge A und B sind informativ.

Änderungen

Gegenüber **DIN 57298-2 (VDE 0298 Teil 2):1979-11** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Norm aufgeteilt in Bestandteile zur Kabel-Aufbaunorm und dieser Norm.

Frühere Ausgaben

DIN 57265 (VDE 0265):1975-04

DIN 57298-2 (VDE 0298 Teil 2):1979-11

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	3
2 Normative Verweisungen	3
3 Begriffe, Formelzeichen	3
4 Allgemeines	4
5 Belastbarkeit im ungestörten Betrieb	4
6 Belastbarkeit beim Kurzschluß	8
Tabelle 1: Zuordnung von Kabeln zu den in Belastbarkeitstabellen aufgeführten Kabelbauarten	9
Tabelle 2: Betriebsbedingungen für Verlegung in Erde	10
Tabelle 3: Betriebsbedingungen für Verlegung in Luft	11
Tabelle 4: Umrechnungsfaktoren f_1 , Verlegung in Erde für alle Kabel (außer PVC-Kabel für 6/10 kV)	12
Tabelle 5: Umrechnungsfaktoren f_1 , Verlegung in Erde, PVC-Kabel für 6/10 kV	14
Tabelle 6: Umrechnungsfaktoren f_2 , Verlegung in Erde, einadrige Kabel in Drehstromsystemen, gebündelte Anordnung, lichter Systemabstand 7 cm	16
Tabelle 7: Umrechnungsfaktoren f_2 , Verlegung in Erde, einadrige Kabel in Drehstromsystemen, gebündelte Anordnung, lichter Systemabstand 25 cm	18
Tabelle 8: Umrechnungsfaktoren f_2 , Verlegung in Erde, einadrige Kabel in Drehstromsystemen, Anordnung nebeneinander, lichter Abstand 7 cm	20
Tabelle 9: Umrechnungsfaktoren f_2 , Verlegung in Erde, dreiadrige belastete Kabel in Drehstromsystemen, lichter Abstand 7 cm	22
Tabelle 10: Umrechnungsfaktoren für Häufung in Luft, einadrige Kabel in Drehstromsystemen	24
Tabelle 11: Umrechnungsfaktoren für Häufung in Luft, mehradrige Kabel und einadrige Gleichstromkabel	26
Tabelle 12: Umrechnungsfaktoren für abweichende Lufttemperaturen	28
Tabelle 13: Umrechnungsfaktoren, vieladrige Kabel mit den Leiternennquerschnitten von 1,5 mm ² bis 10 mm ² , Verlegung in Erde oder in Luft	28
Anhang A (informativ) Literaturhinweise	29
Anhang B (informativ) Erläuterungen	30

1 Anwendungsbereich

Die Umrechnungsfaktoren gelten für Starkstromkabel mit Nennspannungen 0,6/1 kV bis 18/30 kV.

2 Normative Verweisungen

Diese Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation.

DIN EN 60865-1 (VDE 0103)	Kurzschlußströme – Berechnung der Wirkung – Teil 1: Begriffe und Berechnungsverfahren (IEC 865-1:1993); Deutsche Fassung EN 60865-1:1993
DIN VDE 0141 (VDE 0141)	Erdungen für Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV
DIN VDE 0255 (VDE 0255)	Kabel mit massegetränkter Papierisolierung und Metallmantel für Starkstromanlagen (ausgenommen Gasdruck- und Ölkabel)
DIN VDE 0289-8 (VDE 0289 Teil 8)	Begriffe für Starkstromkabel und isolierte Starkstromleitungen – Strombelastbarkeit
DIN VDE 0295 (VDE 0295)	Leiter für Kabel und isolierte Leitungen für Starkstromanlagen
DIN VDE 0299-1 (VDE 0299 Teil 1)	Rechenverfahren mit fiktiven Durchmessern zur Ermittlung der Wanddicken für innere Schutzhüllen und Mäntel von Kabeln und isolierten Leitungen – Starkstromkabel
CENELEC-Report R064.001 zu HD 384.5.523:1991 ¹⁾ Strombelastbarkeiten für Kabel und Leitungen	

3 Begriffe, Formelzeichen

3.1 Begriffe

Begriffe der Strombelastbarkeit (Kurzbezeichnung: Belastbarkeit) siehe [DIN VDE 0289-8 \(VDE 0289 Teil 8\)](#).

3.2 Formelzeichen

Formelzeichen	Einheit ¹⁾	Bedeutung
d	mm	Kabelaußendurchmesser
f_1	1	Umrechnungsfaktor für Verlegung in Erde
f_2	1	Umrechnungsfaktor für Verlegung in Erde
Πf	1	Produkt von Umrechnungsfaktoren, außer f_1 und f_2
I_b	A	Belastung im ungestörten Betrieb
I_r	A	Bemessungsstrom, Belastbarkeit bei vereinbarten Betriebsbedingungen
I_{th}	A	thermisch wirksamer Kurzzeitstrom
I_{thr}	A	Bemessungs-Kurzzeitstrom
I_{thz}	A	Kurzschlußbelastbarkeit
I_z	A	Belastbarkeit
J_{thr}	A/mm ²	Bemessungs-Kurzzeitstromdichte für $t_{kr}=1$ s
S_n	mm ²	Leiternennquerschnitt
t_k	s	Kurzschlußdauer
t_{kr}	s	Bemessungs-Kurzschlußdauer
ϵ_r	1	Permittivitätszahl
ϑ_a	°C	Leitertemperatur zu Beginn des Kurzschlusses
ϑ_e	°C	zulässige Kurzschlußtemperatur
$\tan \delta$	1	Verlustfaktor

1) 1 steht für das Verhältnis zweier gleicher SI-Einheiten.

1) Bezugsquelle: DKE-Frankfurt, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt

4 Allgemeines

In der vorliegenden Norm werden Regeln für die Wahl des Leiternennquerschnittes hinsichtlich der Belastbarkeit im ungestörten Betrieb (siehe Abschnitt 5) und beim Kurzschluß (siehe [Abschnitt 6](#)) gegeben.

Die Wahl des Leiternennquerschnittes ist für die Belastung im ungestörten Betrieb und beim Kurzschluß zu treffen. Hierbei ist der größere der beiden nach [5.3.3](#) und [6.2.6](#) ermittelten Leiternennquerschnitte zu wählen.

5 Belastbarkeit im ungestörten Betrieb

5.1 Allgemeines, Einflußgrößen, Rechenverfahren

Für die Belastung I_b ist der Leiternennquerschnitt so zu wählen, daß der Leiter an keiner Stelle und zu keinem Zeitpunkt über die zulässige Betriebstemperatur erwärmt wird. Die Erwärmung bzw. Belastbarkeit I_z eines Kabels ist vom Aufbau, den Werkstoffeigenschaften und den Betriebsbedingungen abhängig. Eine zusätzliche Erwärmung durch Häufung mit anderen Kabeln, durch Heizkanäle, durch Sonneneinstrahlung usw. ist zu berücksichtigen.

Für die Berechnung wurden sowohl das Rechenverfahren als auch die Stoffkenngrößen wie spezifische elektrische und thermische Widerstände und dielektrische Eigenschaften weitgehend von IEC 287 [\[1\]](#) übernommen.

Das deutsche Berechnungsverfahren zur partiellen Bodenaustrocknung für Dauerlast hat in IEC 287 Eingang gefunden. Eine Beschreibung dieses Berechnungsverfahrens für erdverlegte Kabel als Basis dieser Norm kann [\[2\]](#) bis [\[5\]](#) entnommen werden.

Für luftverlegte Kabel kamen die Berechnungsformeln nach [\[2\]](#) zur Anwendung.

Die Berechnung vieradriger Kabel mit drei belasteten Adern wurde nach [\[6\]](#) durchgeführt.

5.2 Aufbau der Kabel und Werkstoffeigenschaften

Die nachfolgenden, von Kabelaufbau und Werkstoffeigenschaften bestimmten Größen sind als konstant angenommen. Sie wurden der Berechnung der Bemessungsströme I_r für die in [Tabelle 1](#) aufgelisteten Kabelbauarten zugrunde gelegt:

- Die zulässigen Betriebstemperaturen am Leiter sind in den Belastbarkeitstabellen enthalten.
- Die Wärmewiderstände der Kabel wurden mit Hilfe der spezifischen Wärmewiderstände nach [\[1\]](#) berechnet.
- Die Wirkwiderstände der Kabel sind ein Maß für die Stromwärmeverluste im Leiter und in den metallenen Hüllen. Dabei wurde für einadrige Kabel stets mit beidseitig verbundenen Mänteln oder Schirmen gerechnet, sofern solche vorhanden sind. Die Belastbarkeit dieser Kabel erhöht sich insbesondere bei großen Querschnitten, wenn durch geeignete Maßnahmen, z. B. einseitige Verbindung und Erdung der Metallmäntel oder Schirme, die Verluste in diesen verringert werden. Die hierbei auftretenden Induktionsspannungen, vor allem beim Kurzschluß, erfordern jedoch besondere Vorkehrungen nach [DIN VDE 0141 \(VDE 0141\)](#).
- Die dielektrischen Verluste in der Isolierung wurden nur bei PVC-Kabeln mit $U_0/U = 6/10$ kV mit $\varepsilon_r \cdot \tan \delta = 0,8$ berücksichtigt und bei allen anderen Kabeln wegen ihrer Kleinheit vernachlässigt [\[1\]](#).

In den Tabellen sind repräsentative Kabelbauarten aufgeführt. Die übrigen Kabelbauarten, denen dieselben Belastbarkeiten zugeordnet sind, können der [Tabelle 1](#) entnommen werden. Die hierbei akzeptierten Abweichungen der Bemessungsströme liegen in einem Bereich von ± 5 %. Die Untersuchungen hinsichtlich in Frage kommender Außenmäntel – PVC-Mäntel, PE-Mäntel, Juteumhüllungen – weisen maximale Belastbarkeitsabweichungen von etwa 1 % aus.

Einen stärkeren Einfluß nimmt eine querwasserdichte Mantelkonstruktion (Schichtenmantel). Vergleicht man ein Kabel mit Schichtenmantel mit einem Kabel ohne Schichtenmantel, so ergeben sich querschnittsabhängig Belastbarkeitsverringerungen, die bei gebündelter Verlegung rund 3 %, bei Einebenen-Anordnung rund 6 % nicht überschreiten.

Das eingesetzte „Rechenverfahren mit fiktiven Durchmessern zur Ermittlung der Wanddicken für innere Schutzhüllen und Mäntel von Kabeln und isolierten Leitungen“ nach [DIN VDE 0299-1 \(VDE 0299 Teil 1\)](#) stellt einen reproduzierbaren und von den jeweiligen Fertigungsgegebenheiten unabhängigen Kabelaufbau sicher. Soweit die Wanddicken (z. B. von Leitschichten) aus den Aufbauvorschriften oder aus den üblichen Kabelausführungen nur innerhalb eines Toleranzbereichs festzulegen waren, wurden die hinsichtlich der Belastbarkeitsberechnung ungünstigeren Größen ausgewählt. Auf diese Weise wurden Modellkabel entwickelt, deren Belastbarkeiten für die jeweilige Kabelbauart auf der sicheren Seite liegen.

Zur eindeutigen Festlegung der Leiterdurchmesser für die Belastbarkeitsberechnungen wurden die Leiterwiderstände nach [DIN VDE 0295 \(VDE 0295\)](#) zusammen mit einem Füllfaktor von 0,915 für mehrdrähtige Leiter bzw. 1,0 für eindrähtige Leiter sowie mit einer fiktiven elektrischen Leitfähigkeit von $55 \text{ S} \cdot \text{m}/\text{mm}^2$ bei Kupferleitern verwendet. Nennquerschnittsgleichen Aluminiumleitern wurden dieselben Durchmesser zugeordnet.

Alle Wanddicken und Durchmesser wurden entsprechend [DIN VDE 0299-1 \(VDE 0299 Teil 1\)](#) auf 0,1 mm gerundet.

5.3 Betriebsbedingungen und Belastbarkeit

Den Bemessungsströmen liegen vereinbarte

- Betriebsarten,
- Verlegebedingungen sowie
- Umgebungsbedingungen entsprechend den klimatischen Verhältnissen in Deutschland

zugrunde. Es wurden sinusförmige, symmetrisch auf die belasteten Leiter aufgeteilte Ströme mit einer Frequenz von 50 Hz angenommen.

Die für die Bemessung vereinbarten Betriebsbedingungen werden in 5.3.1 und 5.3.2 erläutert und in den Tabellen 2 und 3, Spalte 1, einzeln aufgeführt. Für Kabel mit genau diesen Betriebsbedingungen ist

$$I_z = I_r.$$

Für davon abweichende Betriebsbedingungen werden in der Spalte 2 dieser Tabellen und ebenfalls in 5.3.1 und 5.3.2 Hinweise für die Anwendung der Umrechnungsfaktoren gegeben.

5.3.1 Betriebsbedingungen und Belastbarkeit bei Verlegung in Erde

5.3.1.1 Betriebsart

Durch die Betriebsart wird der zeitliche Verlauf des Stromes beschrieben.

Den Bemessungsströmen I_r liegt eine in EVU-Netzen²⁾ übliche Betriebsart zugrunde („EVU-Last“). Diese wird durch ein Tageslastspiel mit ausgeprägter Größtlast und Belastungsgrad gekennzeichnet (24-h-Zyklus, Bild 1). Die Bemessungsströme I_r in den Tabellen für die Belastbarkeit in Erde gelten für die Größtlast und einen Belastungsgrad von 0,7. Faktoren f_1 und f_2 für die Berechnung von I_z bei den Belastungsgraden 0,5, 0,6, 0,85 und 1,0 („Dauerlast“) sind den Tabellen 4 bis 9 zu entnehmen. Zwischenwerte dürfen interpoliert werden.

Größtlast I_b und Belastungsgrad der Belastung sind aus dem Tageslastspiel oder Referenzlastspiel zu bestimmen. Der Belastungsgrad ergibt sich als Quotient aus der Fläche unter der Lastkurve und der Gesamtfläche des Rechtecks (Größtlast multipliziert mit 24 h). Erfolgte die Aufnahme des Tageslastspiels in Zeitabständen, die kleiner sind als 15 min, so ist jeweils über 15 min zu mitteln.

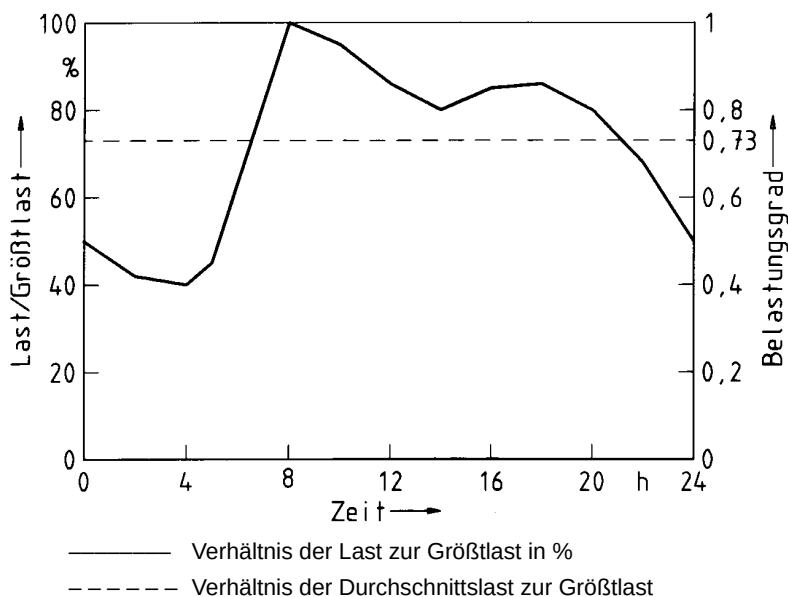


**Bild 1: Tageslastspiel und Bestimmung des Belastungsgrades
(Beispiel für einen Belastungsgrad von 0,73)**

5.3.1.2 Verlegebedingungen

5.3.1.2.1 Verlegetiefe

Als Verlegetiefe wurde rechnerisch der Abstand der Kabelachse – bei gebündelter Verlegung der Abstand der Bündelachse – zur Erdoberfläche mit 0,7 m gewählt. Mit zunehmender Verlegetiefe nimmt die Belastbarkeit ab. Im Bereich der üblichen Verlegetiefen von etwa 0,7 m bis 1,2 m wäre eine nur geringfügige Reduktion der

2) EVU = Energieversorgungsunternehmen

Belastbarkeit erforderlich, die zudem teilweise durch geringere Umgebungstemperatur und günstigeren spezifischen Wärmewiderstand des Erdbodens in größeren Tiefen kompensiert wird. Aus diesem Grunde kann bis zu einer Verlegetiefe von 1,2 m von einer Reduktion der Belastbarkeit abgesehen werden.

5.3.1.2.2 Anordnung der Kabel innerhalb eines Systems

Die Bemessungsströme I_r gelten für die Anordnungen nach [Tabelle 2](#), und zwar für ein einzelnes mehradriges Kabel oder ein einadriges Kabel im Gleichstromsystem sowie für drei einadrige Kabel im Drehstromsystem. Bei einer größeren Anzahl von Kabeln sind die Umrechnungsfaktoren aus den [Tabellen 4 bis 9](#) anzuwenden. Diese Umrechnungsfaktoren gelten ausschließlich für nebeneinander in einer Ebene angeordnete Kabel oder Systeme gleicher Bauart, die mit der gleichen Größtlast und dem gleichen Belastungsgrad gleichzeitig betrieben werden.

Zudem liegen der Berechnung einadriger Kabel Mantel/Schirm-Verluste zugrunde, die sich für ein einzelnes Kabelsystem ergeben. Bei Häufung von Systemen einadriger Kabel in Einebenenanordnung hängen nach [\[7\]](#) deren Mantel/Schirm-Verluste und damit auch ihre Belastbarkeiten in starkem Maße von der Phasenfolge aller Hauptleiterströme ab. Die Ergebnisse zeigen, daß man mit einer Phasenfolge der Hauptleiterströme von

— L1 - L2 - L3 — L1 - L2 - L3 — L1 - L2 - L3 —

auf der sicheren Seite liegt, wohingegen ungünstigere Phasenfolgen weitaus geringere Belastbarkeiten als hier angegeben bewirken können [\[7\]](#).

5.3.1.2.3 Bettungs- und Abdeckungsarten

Bettungs- und Abdeckungsarten nach [Tabelle 2](#) haben keinen belastbarkeitsmindernden Einfluß. Werden stärker gekrümmte Abdeckhauben verwendet, so daß Lufteinschlüsse nicht auszuschließen sind, sollte ein Reduktionsfaktor von 0,9 verwendet werden.

5.3.1.2.4 Kabel in Rohren

Bei Verlegung von Kabeln in Rohren ist insbesondere der Einfluß der wärmedämmenden Luftschicht zwischen Kabel und Rohrwand zu berücksichtigen [\[1\]](#). Falls eine eingehende Berechnung als zu aufwendig erscheint, sollte die Belastbarkeit mit dem Faktor 0,85 reduziert werden. Der Einfluß von Rohrhäufungen sollte berechnet werden.

5.3.1.3 Umgebungsbedingungen

5.3.1.3.1 Erdbodentemperatur

Als Erdbodentemperatur gilt die Temperatur in Verlegetiefe bei unbelasteten Kabeln.

Im Verlegebereich von 0,7 m bis 1,2 m ändert sich in Deutschland die Temperatur im Laufe des Jahres zwischen etwa 20 °C in den wärmsten Monaten und etwa 5 °C in den kältesten Monaten [\[2\]](#). Unter befestigten Oberflächen (z. B. Straßen), die starker Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind, ist besonders bei geringeren Verlegetiefen mit höheren Temperaturen bis etwa 25 °C zu rechnen.

Zur Berechnung der Bemessungsströme I_r wurde eine Erdbodentemperatur von 20 °C festgelegt.

5.3.1.3.2 Erdbodenwärmewiderstand

Der spezifische Erdbodenwärmewiderstand wird im wesentlichen bestimmt durch spezifisches Gewicht des trockenen Bodens und Wassergehalt der jeweiligen Bodenart. Bedingt durch die unterschiedlichen Bodenarten und die Abhängigkeit des Wassergehaltes vom Klima (Niederschläge, Erdbodentemperatur), von der Höhe des Grundwasserspiegels sowie der Bedeckung und dem Bewuchs der Erdoberfläche ist mit örtlichen und zeitlichen Schwankungen zu rechnen.

Bewirkt durch das Temperaturfeld des Kabels, benachbarter Kabel und anderer Wärmeträger kann der Boden austrocknen. Zur Berechnung der Bemessungsströme wurde deshalb zwischen einem die Kabel gegebenenfalls umgebenden Trockenbereich und einem Feuchtbereich unterschieden. Dabei wird davon ausgegangen, daß der Erdboden um das oder um die betrachteten Kabel bis zu einer Grenzisotheimerie hin austrocknen kann (Zweischichtenmodell). Für dieses Zweischichtenmodell wird eine linear vom Belastungsgrad abhängige Grenzerwärmung gewählt, die bei Dauerlast 15 K und bei EVU-Last (Belastungsgrad 0,7) 25 K beträgt.

Neben der Umgebungstemperatur des thermisch ungestörten Bodens sind damit als Bodenkenngrößen

- die Temperatur der Grenzisotheimerie,
- der spezifische Wärmewiderstand des feuchten Bodens sowie
- der spezifische Wärmewiderstand des Trockenbereiches zu beachten.

Als spezifischer Erdbodenwärmewiderstand des Feuchtbereiches wurde 1,0 K · m/W vereinbart. Diese Größe gilt für feuchte Sandböden bei maximalen Erdbodentemperaturen bis etwa 25 °C. Niedrigere spezifische Wärmewiderstände sind in den kälteren Jahreszeiten bei genügend hohen Niederschlagsmengen und für günstigere Bodenarten möglich. Höhere spezifische Wärmewiderstände sind in Zonen mit trockenen Böden einzusetzen.

In den [Tabellen 4 und 5](#) werden Umrechnungsfaktoren für die einzelnen spezifischen Erdbodenwärmewiderstände des Feuchtbereiches nur bis zu bestimmten, maximalen Erdbodentemperaturen angegeben. Einerseits ergeben

sich für höhere Erdbodentemperaturen größere querschnittsabhängige Abweichungen, andererseits erscheint diese Einschränkung durch die klimatischen Verhältnisse in der Regel erlaubt.

Bei mit Schutt, Schlacke, Asche, organischen Bestandteilen, Müll usw. durchsetzten Böden ist mit sehr hohen spezifischen Erdbodenwärmewiderständen zu rechnen. Hier sind gegebenenfalls Messungen und der Austausch des Bodens in der Umgebung der Kabel erforderlich.

Für Aufschüttungen aus üblichen Bodenarten, die jedoch nicht oder schlecht verdichtet sind und mit deren Verdichtung im Laufe der Zeit nicht zu rechnen ist, ist ein höherer spezifischer Erdbodenwärmewiderstand des Feuchtbereiches einzusetzen. Gleiches gilt, wenn die Kabelstrecke im Wurzelbereich von Hecken oder Bäumen verläuft.

Als spezifischer Erdbodenwärmewiderstand des Trockenbereiches wurde mit Rücksicht auf die häufig als Bettungsmaterial verwendeten Sandarten $2,5 \text{ K} \cdot \text{m/W}$ vereinbart. Günstigere Verhältnisse sind bei besonderen Bodenarten oder thermisch stabilem Bettungsmaterial möglich.

5.3.1.4 Vieladriges Kabel

Die Belastbarkeiten vieladrig belasteter Kabel sind durch Multiplikation der Bemessungsströme dreiadrig belasteter Kabel mit den Umrechnungsfaktoren nach [Tabelle 13](#), Spalte 2, zu ermitteln.

5.3.1.5 Belastbarkeit bei Verlegung in Erde

Das vorliegende Tabellenwerk führt zu mehreren Millionen Varianten, die sich in Kabelbauart, Verlegeart, Häufung, Belastungsgrad und Umgebungsbedingungen unterscheiden. Eine solche Darstellung gelingt nur über zusammenfassende Faktoren, wie z. B. die Faktoren f_1 und f_2 . Für eine bestimmte Kabelbauart repräsentieren diese Faktoren deren gesamten Querschnittsbereich, so daß sie naturgemäß nur Mittelwerte darstellen. Eine durch diese vereinfachte Darstellung mögliche Überschreitung der tatsächlichen Belastbarkeit bleibt jedoch unterhalb von 3 %.

Bei Betriebsbedingungen, die von den vereinbarten abweichen, ergibt sich die Belastbarkeit I_z aus dem Bemessungsstrom I_r wie folgt:

$$I_z = I_r \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot \Pi f$$

Es sind **stets** beide Umrechnungsfaktoren f_1 ([Tabellen 4 und 5](#)) und f_2 ([Tabellen 6 bis 9](#)) zu berücksichtigen, da beide vom spezifischen Erdbodenwärmewiderstand und vom Belastungsgrad abhängen. Πf ist das Produkt aller eventuell erforderlichen weiteren Umrechnungsfaktoren, z. B. bei vieladrigen Kabeln.

5.3.2 Betriebsbedingungen und Belastbarkeit bei Verlegung in Luft

5.3.2.1 Betriebsart

Den Bemessungsströmen I_r für Verlegung in Luft liegt Dauerbetrieb zugrunde. Wegen der wesentlich kürzeren Erwärmungs- und Abkühlungszeiten als bei Verlegung in Erde ergibt sich auch bei anderen Belastungsgraden keine höhere Belastbarkeit als bei Dauerbetrieb (Belastungsgrad 1,0).

5.3.2.2 Verlegebedingungen

Die Anordnung der Kabel entspricht der Darstellung in [Tabelle 3](#). Die Bemessungsströme I_r gelten für „frei in Luft“ verlegte Kabel und Systeme aus drei einadrigen Kabeln. Unter Verlegung „frei in Luft“ versteht man die ungehinderte Wärmeabgabe durch Strahlung und Konvektion unter Ausschluß fremder Wärmequellen, ohne daß sich hierbei die Umgebungstemperatur erhöht. Die hierfür vereinbarten Bedingungen sind in [Tabelle 3](#) angegeben. Faktoren für die Berechnung von I_z bei anderen Verlegebedingungen und bei Häufung von Kabeln sind den [Tabellen 10 und 11](#) zu entnehmen.

5.3.2.3 Umgebungsbedingungen

5.3.2.3.1 Umgebungstemperatur

Die vereinbarte Umgebungstemperatur ist die Temperatur der umgebenden Luft, wenn das betrachtete Kabel (-system) nicht belastet ist. Die Bemessungsströme I_r sind auf eine Umgebungstemperatur von 30 °C bezogen. Für abweichende Temperaturen sind die Umrechnungsfaktoren nach [Tabelle 12](#) anzuwenden.

5.3.2.3.2 Verlustwärme

Wird die Lufttemperatur durch Verlustwärme der Kabel erhöht (Kabelkanäle, Kabelböden usw.), so sind die Umrechnungsfaktoren nach [Tabelle 12](#) für abweichende Umgebungstemperaturen, gegebenenfalls zusammen mit den Umrechnungsfaktoren für Häufung, anzuwenden.

5.3.2.3.3 Wärmestrahlung

Wärmestrahlung, wie z. B. Sonneneinwirkung, ist zu berücksichtigen [\[1\]](#) bzw. zu verhindern, z. B. durch Abdeckungen. Werden Abdeckungen verwendet, so ist auf eine ungestörte Luftzirkulation zu achten.

5.3.2.4 Vieladrige Kabel

Die Belastbarkeiten vieladrig belasteter Kabel sind aus den Bemessungsströmen dreiadrig belasteter Kabel mit Hilfe der Umrechnungsfaktoren nach [Tabelle 13](#), Spalte 3, zu ermitteln.

5.3.2.5 Belastbarkeit bei Verlegung in Luft

Bei Betriebsbedingungen, die von den vereinbarten abweichen, ergibt sich die Belastbarkeit I_z aus dem Bemessungsstrom I_r wie folgt:

$$I_z = I_r \cdot \Pi f.$$

Πf ist das Produkt aller erforderlichen Umrechnungsfaktoren ([Tabellen 10 bis 13](#)).

5.3.3 Wahl des Leiternennquerschnittes für den ungestörten Betrieb

Der Leiternennquerschnitt ist nach der Beziehung

$$I_z \geq I_b$$

auszuwählen, wobei I_b die Belastung im ungestörten Betrieb ist.

6 Belastbarkeit beim Kurzschluß

6.1 Allgemeines

Bei einem Kurzschluß werden Kabel sowohl thermisch als auch mechanisch belastet. Der Leiternennquerschnitt, die Bauart und gegebenenfalls die Befestigung von Kabeln sind so zu wählen, daß die Kabel bei einem Kurzschluß nicht überlastet werden. Es gelten die Rechenverfahren und Begriffe nach [DIN VDE 0103 \(VDE 0103\)](#).

6.2 Thermische Kurzschlußfestigkeit

6.2.1 Einflußgrößen

Beim Kurzschluß wird die durch den Kurzschlußstrom erzeugte Wärme hauptsächlich im Leiter gespeichert. Der Leiter darf hierbei nicht über die zulässige Kurzschlußtemperatur ϑ_e erwärmt werden, wobei die Leitertemperatur ϑ_a zu Beginn des Kurzschlusses und die Kurzschlußdauer t_k zu beachten sind [\[8, 9\]](#).

6.2.2 Leitertemperatur ϑ_a zu Beginn des Kurzschlusses

Die Leitertemperatur ϑ_a hängt von der thermischen Belastung vor dem Kurzschluß ab. Falls nichts anderes bekannt ist, ist für ϑ_a die zulässige Betriebstemperatur einzusetzen.

6.2.3 Zulässige Kurzschlußtemperatur ϑ_e

Die zulässige Kurzschlußtemperatur ϑ_e ist mit Rücksicht auf die an den Leiter angrenzende Isolierung oder Leitschicht festgelegt.

6.2.4 Bemessungs-Kurzzeitstrom I_{thr}

Der für eine Bemessungs-Kurzschlußdauer t_{kr} von 1 s definierte Bemessungs-Kurzzeitstrom I_{thr} (Bemessungsgröße der Kurzschlußbelastbarkeit) der Kabel kann mit Hilfe der Bemessungs-Kurzzeitstromdichte J_{thr} durch Multiplikation mit dem Leiternennquerschnitt S_n ermittelt werden:

$$I_{thr} = J_{thr} \cdot S_n.$$

6.2.5 Kurzschlußbelastbarkeit I_{thz}

Die Kurzschlußbelastbarkeit I_{thz} für eine Kurzschlußdauer t_k beträgt:

$$I_{thz} = I_{thr} \sqrt{t_{kr}/t_k} \quad \text{mit } t_{kr} = 1 \text{ s.}$$

6.2.6 Wahl des Leiternennquerschnittes beim Kurzschluß

Der Leiternennquerschnitt ist hinsichtlich der thermischen Kurzschlußfestigkeit ausreichend dimensioniert, wenn für eine durch den thermisch wirksamen Kurzzeitstrom I_{th} nach [DIN EN 60865-1 \(VDE 0103\)](#) bestimmte Belastung folgende Bedingung erfüllt ist:

$$I_{th} \leq I_{thz}.$$

6.2.7 Belastbarkeit der Schirme von Kunststoffkabeln beim Kurzschluß

Die Querschnitte der Schirme von Kunststoffkabeln sind in Aufbauvorschriften festgelegt.

Die bisherigen Betriebserfahrungen mit Kunststoffkabeln haben gezeigt, daß nach dieser Zuordnung die Schirmquerschnitte für die auftretenden Kurzschlußbeanspruchungen in den Verteilungsnetzen ausreichend bemessen und größere Schirmquerschnitte wirtschaftlich nicht zu vertreten sind.

Die Zuordnung der Schirme von Kunststoffkabeln erfolgte aufgrund der langjährigen guten Erfahrung mit Dreibleimantelkabeln N(A)EKEBA in den Netzen der deutschen EVU. Die Belastbarkeit der Schirme ist mindestens ebenso groß oder größer als die Belastbarkeit der Mäntel von Dreibleimantelkabeln.

Über 50jährige positive Erfahrungen im Netzbetrieb haben gezeigt, daß die tatsächlich in üblichen 10-kV- und 20-kV-Netzen auftretenden Kurzschlußströme über die eigentliche Kurzschlußstelle hinaus keine den Betrieb beeinträchtigenden Auswirkungen auf die Bleimäntel der kurzschlußbetroffenen Kabel hatten. Als Ursache hierfür gelten:

- Dämpfung durch die vorgeschalteten Kabelimpedanzen,
- Dämpfung durch den über Erde fließenden Strom bei einem Doppelerdschluß,
- Dämpfung durch den Einfluß eines Lichtbogenwiderstandes.

Die ebenfalls positiven Erfahrungen mit modernen Kabelwerkstoffen und Kabelkonstruktionen während jetzt 20jährigem Netzbetrieb haben ergeben, daß es bei der bisherigen Zuordnung der Schirme von Kunststoffkabeln zu keinen negativen Auswirkungen bei Kurzschlußbelastungen kommt.

Tabelle 1: Zuordnung von Kabeln zu den in Belastbarkeitstabellen aufgeführten Kabelbauarten

1	2
Kabelbauarten, die in Belastbarkeitstabellen aufgeführt sind	Zugeordnete Bauarten
Masse-Kabel N(A)KBY N(A)HKBY N(A)EKEBY N(A)KY N(A)KLEY	N(A)KBA N(A)HKBA N(A)EKEBA, N(A)EKBY, N(A)EKBA N(A)KA
PVC-Kabel N(A)YY N(A)YCWY NYKY N(A)YFGY N(A)YSEY N(A)YSY	N(A)YCY N(A)YRGY, N(A)YCYFGY, N(A)YCEYFGY
VPE-Kabel N(A)2XY N(A)2XCWY N(A)2XSE2Y N(A)2XS2Y	N(A)2X2Y N(A)2XCW2Y, N(A)2XCY, N(A)2XC2Y N(A)2XSEY, N(A)2XSE(F)2Y N(A)2XSY, N(A)2XS(F)2Y