

	Kurzschlußströme – Berechnung der Wirkung Teil 1: Begriffe und Berechnungsverfahren (IEC 865-1:1993) Deutsche Fassung EN 60865-1:1993	DIN EN 60865-1
VDE	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Vorstand beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter nebenstehenden Nummern in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekanntgegeben worden.	Klassifikation VDE 0103
Diese Norm enthält die deutsche Übersetzung der Internationalen Norm IEC 865-1 ICS 29.240.00; 01.040.29 Deskriptoren: Kurzschlußstrom, elektromagnetisch, thermisch, Wirkung, Berechnung Short-circuit currents – Calculation of effects – Part 1: Definitions and calculation methods (IEC 865-1:1993) – German version EN 60865-1:1993 Courants de court-circuit – Calcul des effets – Partie 1: Définitions et méthodes de calcul (CEI 865-1:1993) – Version allemande EN 60865-1:1993 Die Europäische Norm EN 60865-1:1993 hat den Status einer Deutschen Norm. Beginn der Gültigkeit Die EN 60865-1 wurde am 22. September 1993 von CENELEC angenommen. Norm-Inhalt war veröffentlicht als Entwurf DIN VDE 0103:1992-06. Fortsetzung Seite 2 bis 4 und 44 Seiten EN Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE)		

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung der EN 60865-1 wurde vom Unterkomitee 121.2 „Mechanische und thermische Kurzschlußfestigkeit“ der Deutschen Elektrotechnischen Kommission im DIN und VDE (DKE) erarbeitet und autorisiert und vom Komitee 121 „Kurzschlußströme“ freigegeben.

Die der EN 60865-1 zugrunde liegende Internationale Norm IEC 865-1:1993 hat das Technische Komitee TC 73 „Short-circuit currents“ ausgearbeitet.

Die bisherige Norm **DIN VDE 0103 (VDE 0103), Ausgabe 04.88**, in der zugleich die IEC 865:1986 eingearbeitet war, galt – entsprechend der IEC 865:1986 – nur für Anlagen mit Nennspannungen bis 72,5 kV und benötigte noch zahlreiche Ergänzungen für Anlagen mit höheren Nennspannungen, die oftmals mit Leitungsseilen ausgeführt werden. Diese Ergänzungen konnten zusammen mit neuen Erkenntnissen für Seile, die an Gerüsten mit Spannungsfeldlängen bis 60 m abgespannt sind, in die laufenden Beratungen bei IEC TC 73 eingebracht werden.

Die wesentlichen Änderungen der vorliegenden Norm gegenüber **DIN VDE 0103 (VDE 0103):1988-04** sind:

- Die einzelnen Abschnitte wurden neu beziffert, um klar gliedern zu können.
- Alle Gleichungen werden nur noch als Größengleichungen angegeben.
- Die Berechnungen für Anlagen mit Leitungsseilen gelten nun uneingeschränkt für Spannungsfeldlängen bis 60 m.
- Nach 2.3.1 sind die Seilzugkräfte sowohl für die niedrigste Betriebstemperatur (Winter) als auch für die höchste Betriebstemperatur zu berechnen, um daraus den härtesten Fall zu ermitteln.
- Nach 2.3.3 läßt sich jetzt auch die Seilzug-Kraftspitze von Seilbündeln berechnen, gleichgültig, ob die Bündelseile im Kurzschlußfall zusammenschlagen oder nicht.
- In 2.4 werden die Bemessungslasten auch für Leitungsseile angegeben, die an Gerüsten o. ä. abgespannt sind.
- Alle Funktionen, die den Diagrammen zugrunde liegen, werden entweder im Text oder im Anhang A aufgeführt. Dies vermeidet Ables- oder Programmierfehler.

Der Abschnitt 2.2, der sich mit der Beanspruchung biegesteifer Leiter befaßt, wurde nur wenig verändert.

Bei der Berechnung der wirksamen Abstände wird zwischen Leitern im Rundprofil und Rechteckprofil unterschieden und die zum Bild 1 führende Gleichung im Anhang A angegeben.

Im Bild 4 wird für V_F , V_σ und $V_{\sigma s}$ der Faktor κ als neue Einflußgröße eingeführt. Dem Bild 5 wird für V_T eine einheitliche Pausenzeit von 0,3 s zugrunde gelegt.

Im Abschnitt 3, mit der Beschreibung der thermischen Beanspruchung im Kurzschlußfall, wird alternativ eine Berechnung mit Hilfe des Joule-Integrals eingeführt.

Die IEC 865-1:1993-09 enthält Fehler, die in dieser Fassung wie folgt bereinigt wurden:

- Im Abschnitt 1.3.2 (Formelzeichen) wurde das Formelzeichen f : Frequenz des Stromkreises [Hz] eingefügt.
- Im Anhang A, A2: Bild 1, muß in der letzten Kette der Gleichung bei „+2 arctan“ die 2 entfallen.
- Im Anhang A, A4: Bild 4, muß in der Tabelle V_σ , für f_c/f mit 0,04 bis 0,8 bei $V_{\sigma 1}$ der 1. Summand lauten „0,755“.
- Im Anhang B, 2. Berechnungsgruppe, muß nach der Gleichung (59) f_n berechnet werden.

Zusammenhänge zwischen zitierten Internationalen Normen, Europäischen Normen/Harmonisierungsdokumenten und entsprechenden Deutschen Normen

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
HD 533 S1	IEC 909	DIN VDE 0102 (VDE 0102)	VDE 0102
–	IEC 949	≈ DIN VDE 0298-2 (VDE 0298 Teil 2)	VDE 0298 Teil 2
–	IEC 986	≈ DIN VDE 0298-2 (VDE 0298 Teil 2)	VDE 0298 Teil 2

Die Titel der Deutschen Normen sind im **Nationalen Anhang NA** aufgeführt.

Änderungen

Gegenüber **DIN VDE 0103 (VDE 0103):1988-04** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- EN 60865-1: Dezember 1993 übernommen, siehe auch Nationales Vorwort.

Frühere Ausgaben

VDE 0103 (VDE 0103):1961-01

DIN 57103/VDE 0103 (VDE 0103):1974-05, 1982-02

DIN VDE 0103 (VDE 0103):1988-04

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise in nationalen Zusätzen

DIN VDE 0102 (VDE 0102) Berechnung von Kurzschlußströmen in Drehstromnetzen

DIN VDE 0298-2 (VDE 0298 Teil 2) Verwendung von Kabeln und Leitungen für Starkstromanlagen – Empfohlene Werte für die Strombelastbarkeit von Kabeln mit Nennspannungen U_0/U bis 18/30 kV

Zum besseren Verständnis des Anwenders über die Zusammenhänge und Hintergründe wird auf das folgende Schrifttum hingewiesen:

- Lehmann, W.: Elektrodynamische Beanspruchung paralleler Leiter. ETZ-A 76 (1955), S. 481–488.
- Wagner, E.: Dauer- und Kurzschlußbeanspruchung von Bündelleitern in Hochspannungsschaltanlagen. ÖZE 18 (1965), S. 18–25.
- Lehmann, W.; Sieber, P.: Mechanische Kurzschlußbeanspruchung durch Leitungsseile in Schaltanlagen. VDE-Fachberichte 24 (1966), S. 149–153.
- Körner, G.: Hinweise zur Bemessung von Schaltanlagen mit Leitungsseilen auf mechanische Kurzschlußfestigkeit. VDE-Fachberichte 24 (1966), S. 154–161.
- Mavromaras, D.; Sieber, P.: Beitrag zur Ermittlung der bei Kurzschlüssen für Stromleiter zulässigen mechanischen Beanspruchung. ETZ-A 89 (1968), S. 34–38.
- Klar, F.: Die Induktivität gestreckter Leiterschleifen mit rechteckigem Querschnitt. Wissenschaftliche Zeitschrift der Elektrotechnik 11 (1968), S. 82–100.
- Mathejczyk, M.; Stein, N.: Kurzschlußseilzug enggebündelter Doppelseile in Schaltanlagen. etz-a 97 (1976), S. 323–328.
- Hosemann, G.; Tsanakas, D.: Beitrag zur analytischen Berechnung der dynamischen Kurzschlußbeanspruchung von Schaltanlagen. etz-a 97 (1976), S. 493–498.
- Tsanakas, D.: Der Einfluß der ungleichen Stützabstände auf die mechanische Kurzschlußbeanspruchung von Schaltanlagen. etz-a 98 (1977), S. 155–157.
- Tsanakas, D.: Dynamische Kurzschlußbeanspruchung von Hochspannungsschaltanlagen mit biegesteifen Leitern. etz-a 98 (1977), S. 399–403.
- Tsanakas, D.: Erhöhung der dynamischen Kurzschlußbeanspruchung von Schaltanlagen infolge erfolgloser Kurzunterbrechung. etz-a 99 (1978), S. 86–88.
- Stein, N.; Herrmann, B.: Kurzschlußseilzüge in Schaltanlagen. Elektrizitätswirtschaft 78 (1979), S. 179–186.
- Engel, B.: Mechanische Beanspruchung von Leiterseilen in Anlagen nach einem Kurzschluß. Elektrizitätswirtschaft 78 (1979), S. 186–189.
- Engel, B.: Vereinfachte Berechnung der Seilauslenkungen durch Kurzschlußkräfte bei Geräteverbindungen in Schaltanlagen. Archiv für Elektrotechnik 61 (1979), S. 287–292.
- Tsanakas, D.: Einfluß der Zeitverläufe der elektromagnetischen Kurzschlußkräfte auf die dynamische Beanspruchung. etzArchiv 4 (1982), S. 365–368.
- Waeber, M.: Bestimmung der Ausschwingbewegung von schwach gespannten Leiterseilen und des Fallschlags in Schaltanlagen bei Kurzschlüssen. etzArchiv 5 (1983), S. 103–107.
- Tsanakas, D.: Dynamische Kurzschlußbeanspruchung von Hochspannungsschaltanlagen bei kleiner Kurzschlußdauer. etzArchiv 6 (1984), S. 387–392.
- Balzer, G.; Deter, O.: Berechnung der thermischen Kurzschlußbeanspruchung von Starkstromanlagen mit Hilfe der Faktoren m und n nach DIN VDE 0103/2.82. etzArchiv 7 (1985), S. 287–290.
- CIGRÉ/IEC: The mechanical effects of short-circuit currents in open air substations. Paris: CIGRÉ SC 23, WG 02, Genève: IEC TC 73, 1987.
- Kießling, G.: Das Seilspannfeld als physikalisches Pendel – eine analytische Lösung der Kurzschlußvorgänge. Archiv für Elektrotechnik 70 (1987), S. 273–281.

- Kießling, G.: Kurzschlußkräfte bei Zweierbündeln – Messungen und analytische Lösung mit dem Parabelmodell. etzArchiv 10 (1988), S. 53–60.
- Herrmann, B.; Stein, N.; Kießling, G.: Kurzschlußvorgänge in Hochspannungs-Schaltanlagen mit abgespannten Seilen – Systematische Versuche und ein einfaches Berechnungsverfahren. etzArchiv 12 (1990), S. 143–150.
- Zeitler, E.: Contraction of bundled conductors in outdoor substations determined by the parabola model. ETEP 3 (1993), S. 285–291.

Von IEC wurde der IEC-Report 865-2:1994-06 „Short-circuit currents – calculation of effects. Part 2: Examples of calculation“ veröffentlicht, worin Berechnungen zur Ermittlung der Kurzschlußfestigkeit von Anordnungen mit Rechteck- und Rohrprofilen, auf Stützisolatoren aufgelegten und an Gerüsten abgespannten Leitungsseilen mit Einzelleitern und Seilbündeln ausführlich wiedergegeben sind. Die Veröffentlichung als Beiblatt 1 zu DIN EN 60865-1 (VDE 0103) ist vorgesehen.

DK 621.3.014.3:621.3.064.1.001.24

Deskriptoren: Kurzschlußströme, elektromagnetische Wirkung, thermische Wirkung

Deutsche Fassung

Kurzschlußströme – Berechnung der Wirkung

Teil 1: Begriffe und Berechnungsverfahren
(IEC 865-1:1993)

Short-circuit currents
Calculation of effects
Part 1: Definitions and calculation methods
(IEC 865-1: 1993)

Courants de court-circuit
Calcul des effets
Partie 1: Définitions et méthodes de calcul
(CEI 865-1:1993)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 1993-09-22 angenommen.

Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien und dem Vereinigten Königreich.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Zentralsekretariat: rue de Stassart 35, B-1050 Brüssel

Vorwort

Der Text des Schriftstücks IEC 73(CO)16, wie ausgearbeitet vom Technischen Komitee der IEC Nr. 73: Short-circuit currents, wurde im Oktober 1992 der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen.

Das Referenzdokument wurde von CENELEC am 22. September 1993 als EN 60865-1 genehmigt.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum der Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm (dop): 1994-09-01
- spätestes Datum für die Zurückziehung entgegenstehender nationaler Normen (dow): 1994-09-01

Anhänge, die als „normativ“ bezeichnet sind, gehören zum Norminhalt.

Anhänge, die als „informativ“ bezeichnet sind, enthalten nur Informationen.

In dieser Norm sind die Anhänge A und ZA normativ und ist Anhang B informativ.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 865-1:1993 wurde von CENELEC als Europäische Norm ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Inhalt

	Seite
1 Hauptabschnitt eins – Allgemeines	5
1.1 Anwendungsbereich und Zweck	5
1.2 Normative Verweisungen	5
1.3 Gleichungen, Formelzeichen und ihre Einheiten	5
1.3.1 Formelzeichen zu Hauptabschnitt zwei – Elektromagnetische Wirkungen	5
1.3.2 Formelzeichen zu Hauptabschnitt drei – Thermische Wirkungen	8
1.4 Begriffe	8
1.4.1 Begriffe zu Hauptabschnitt zwei – Elektromagnetische Wirkungen	8
1.4.1.1 Hauptleiter	8
1.4.1.2 Teilleiter	8
1.4.1.3 Einspannung	8
1.4.1.4 Stützung	8
1.4.1.5 Zwischenstück	8
1.4.1.6 Kurzschluß-Seilzugkraft F_t	8
1.4.1.7 Fall-Seilzugkraft F_f	9
1.4.1.8 Bündel-Seilzugkraft F_{pi}	9
1.4.1.9 Kurzschlußdauer T_{k1}	9
1.4.2 Begriffe zu Hauptabschnitt drei – Thermische Wirkung	9
1.4.2.1 Thermisch gleichwertiger Kurzzeitstrom I_{th}	9
1.4.2.2 Bemessungs-Kurzzeitstrom I_{thr}	9
1.4.2.3 Thermisch gleichwertige Kurzzeitstromdichte S_{th}	9
1.4.2.4 Bemessungs-Kurzzeitstromdichte S_{thr} für Leiter	9
1.4.2.5 Kurzschlußdauer T_k	9
1.4.2.6 Bemessungs-Kurzzeit T_{kr}	9
2 Hauptabschnitt zwei – Elektromagnetische Wirkung auf biegesteife Leiter und Leitungsseile	10
2.1 Allgemeines	10
2.1.1 Einflüsse auf die Verringerung der Beanspruchung	10
2.1.2 Berücksichtigung der Kurzunterbrechung	10
2.2 Anordnungen mit biegesteifen Leitern	10
2.2.1 Berechnung der elektromagnetischen Kräfte	10
2.2.1.1 Berechnung des Spitzenwerts der Kraft zwischen den Hauptleitern bei dreipoligem Kurzschluß	10
2.2.1.2 Berechnung des Spitzenwerts der Kraft zwischen den Hauptleitern bei zweipoligem Kurzschluß ohne Erdberührung	11
2.2.1.3 Berechnung des Spitzenwerts der Kraft zwischen in gleicher Ebene angeordneten Teilleitern	11
2.2.1.4 Wirksame Abstände zwischen Hauptleitern und zwischen Teilleitern	11
2.2.2 Berechnung der Spannungen in biegesteifen Leitern und der Kräfte auf die Stützpunkte	11
2.2.2.1 Allgemeines	11
2.2.2.2 Berechnung der Spannungen in biegesteifen Leitern	12
2.2.2.3 Widerstandsmoment und Faktor q von Hauptleitern, die aus Teilleitern zusammengesetzt sind	12
2.2.2.4 Zulässige Leiterspannung	12
2.2.2.5 Berechnung der Kräfte auf die Stützpunkte biegesteifer Leiter	13
2.2.2.6 Berechnung unter besonderer Berücksichtigung der Leiterschwingung	13
2.3 Anordnungen mit Leitungsseilen	14
2.3.1 Allgemeines	14
2.3.2 Wirkung auf Hauptleiter	14
2.3.2.1 Charakteristische Größen und Parameter	14
2.3.2.2 Seilzugkraft F_t während des Kurzschlusses durch das Ausschlagen (Kurzschluß-Seilzugkraft)	16
2.3.2.3 Seilzugkraft F_f nach dem Kurzschluß durch das Fallen (Fall-Seilzugkraft)	16
2.3.2.4 Horizontale Seilauslenkung b_h und minimaler Leiterabstand a_{min}	16
2.3.3 Seilzugkraft F_{pi} bei Bündelkontraktion	17

2.3.3.1	Charakteristische Größen und Parameter	17
2.3.3.2	Seilzugkraft F_{pi} bei zusammenschlagenden Bündelleitern	18
2.3.3.3	Seilzugkraft F_{pi} bei nicht zusammenschlagenden Bündelleitern	18
2.4	Belastung der Stützpunkte durch die elektromagnetische Wirkung	19
2.4.1	Bemessungslasten für Stützisolatoren, deren Unterkonstruktionen und Leiter-Befestigungsmittel ..	19
2.4.2	Bemessungslasten für Baukonstruktionen, Isolatoren und Leiter-Befestigungsmittel bei durch Isolatorketten übertragenen Seilzugkräften	19
2.4.3	Bemessungslasten für Fundamente	19
3	Hauptabschnitt drei – Thermische Wirkung auf blanke Leiter und elektrische Betriebsmittel.	20
3.1	Allgemeines	20
3.2	Berechnung des Temperaturanstiegs	20
3.2.1	Allgemeines	20
3.2.2	Berechnung des thermisch gleichwertigen Kurzzeitstroms	20
3.2.3	Berechnung des Temperaturanstiegs und der Bemessungs-Kurzzeitstromdichte für Leiter	21
3.2.4	Ermittlung der thermischen Kurzschlußfestigkeit für verschiedene Stromflußzeiten	21
3.2.4.1	Elektrische Betriebsmittel	21
3.2.4.2	Leiter	21
Tabellen		22
Bilder		26
Anhang A	(normativ) Gleichungen zur Berechnung der Diagramme	39
Anhang B	(informativ) Iteration zur Berechnung des Faktors η für die Seilzugkraft F_{pi} bei nicht zusammenschlagenden Bündelleitern nach IEC 865, 2.3.3.3, Gleichung (62)	43
Anhang ZA	(normativ) Andere in dieser Norm zitierte internationale Publikationen mit den Verweisungen der entsprechenden europäischen Publikationen	44

1 Hauptabschnitt eins – Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich und Zweck

Diese Internationale Norm ist anwendbar auf die mechanischen und thermischen Wirkungen der Kurzschlußströme. Sie enthält in zwei Hauptabschnitten genormte Verfahren zur Berechnung der Wirkungen von Kurzschlußströmen:

- [Hauptabschnitt zwei](#) – Elektromagnetische Wirkung auf biegesteife Leiter und Leitungsseile.
- [Hauptabschnitt drei](#) – Thermische Wirkung auf blanke Leiter und elektrische Betriebsmittel.

Für Kabel und isolierte Leitungen wird auf z. B. [IEC 949](#) und [IEC 986](#) verwiesen.

Diese Norm gilt nur für Dreh- und Wechselstromanlagen mit Bemessungsspannungen bis einschließlich 420 kV.

Die folgenden Punkte sollten besonders beachtet werden:

- 1) Die Kurzschlußstromberechnung sollte nach [IEC 909](#) durchgeführt werden.
- 2) Die in dieser Norm einzusetzende Kurzschlußdauer hängt vom Schutzkonzept ab und sollte dementsprechend berücksichtigt werden.
- 3) Die genormten Rechenverfahren sind auf praktische Erfordernisse ausgerichtet und enthalten Vereinfachungen mit Sicherheiten. Prüfungen oder ausführlichere Rechenverfahren oder beide dürfen angewendet werden.
- 4) Für biegesteife Leiter werden im [Abschnitt 2](#) dieser Norm nur die Beanspruchungen durch Kurzschlußströme berechnet. Zusätzlich können noch weitere Beanspruchungen vorhanden sein, z. B. hervorgerufen durch statische Last, Wind, Eis, Schaltkräfte, Erdbeben. Die Kombination dieser Lasten mit der Kurzschlußbelastung sollte Teil einer Absprache sein und/oder in Normen geregelt werden, z. B. in Errichtungsvorschriften.

Bei Leitungsseilen enthalten die Seilzugkräfte die statische Last. Bezüglich der Kombination mit anderen Lasten gelten die zuvor genannten Überlegungen entsprechend.

1.2 Normative Verweisungen

Die folgenden Normen enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text auch Bestandteil dieser Norm sind. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig. Alle Normen unterliegen der Überarbeitung, so daß Vertragspartner, deren Vereinbarungen auf dieser Norm basieren, gehalten sind, die jeweils neuesten Ausgaben der im folgenden genannten Normen anzuwenden. Die Mitglieder von IEC und ISO führen Verzeichnisse der gegenwärtig gültigen Internationalen Normen.

IEC 909:1988	Short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems
IEC 949:1988	Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects
IEC 986:1989	Guide to the short-circuit temperature limits of electric cables with a rated voltage from 1,8/3 (3,6) kV to 18/30 (36) kV

1.3 Gleichungen, Formelzeichen und ihre Einheiten

Alle in dieser Norm aufgeführten Gleichungen sind Größengleichungen, in denen die Formelzeichen physikalische Größen darstellen, die sowohl einen Zahlenwert als auch eine Einheit haben.

Die in dieser Norm verwendeten Formelzeichen sind mit ihren SI-Einheiten in den folgenden Tabellen angegeben.

1.3.1 Formelzeichen zu [Hauptabschnitt zwei](#) – Elektromagnetische Wirkungen

Formelzeichen	Bedeutung	SI-Einheit
A_s	Teilleiterquerschnitt	m^2
a	Leitermittenabstand	m
a_m	wirksamer Abstand zwischen Hauptleitern	m
a_{min}	minimaler Leiterabstand	m
a_s	wirksamer Abstand zwischen Teilleitern	m
a_{1n}	Mittenabstand zwischen Teilleiter 1 und Teilleiter n	m
a_{1s}	Teilleitermittenabstand	m
a_{sw}	wirksamer Abstand zwischen den Teilleitern eines Bündels	m
b	Teilleiterabmessung senkrecht zur Krafrichtung	m
b_c	statischer Ersatz-Seildurchhang in Spannungsfeldmitte	m
b_h	maximale horizontale Seilauslenkung	m

Siehe Berichtigung 1 zu DIN EN 60865-1 (VDE 0103):1996-08

Formel- zeichen	Bedeutung	SI-Einheit
b_m	Hauptleiterabmessung senkrecht zur Krafrichtung	m
c	Faktor für den Einfluß von Zwischenstücken	1
c_{th}	Materialkonstante	$m^4/(A^2s)$
C_D	Faktor für die Durchhangvergrößerung durch Seildehnung	1
C_F	Faktor für die Durchhangvergrößerung durch Änderung der Seilkurvenform	1
D	Außendurchmesser von Rohrleitern	m
d	Teilleiterabmessung in Krafrichtung	m
d_m	Hauptleiterabmessung in Krafrichtung	m
d_s	Seildurchmesser	m
E	Elastizitätsmodul	N/m ²
E_s	wirksamer Elastizitätsmodul	N/m ²
F	Kraft zwischen zwei parallelen langen Leitern während eines Kurzschlusses	N
F_d	Kraft auf den Stützpunkt bei biegesteifen Leitern (Spitzenwert)	N
F_f	Fall-Seilzugkraft	N
F_m	Kraft zwischen den Hauptleitern während eines Kurzschlusses	N
F_{m2}	Kraft zwischen den Hauptleitern während eines zweipoligen Kurzschlusses	N
F_{m3}	Kraft auf den mittleren Hauptleiter während eines symmetrischen dreipoligen Kurzschlusses	N
F_s	Kraft zwischen den Teilleitern während eines Kurzschlusses	N
F_{st}	statische Seilzugkraft in einem Hauptleiter	N
F_t	Kurzschluß-Seilzugkraft	N
F_{pi}	Seilzugkraft bei Bündelkontraktion	N
F'	charakteristischer elektromagnetischer Kraftbelag auf die Hauptleiter in Seilanordnungen	N/m
F_v	Kurzschluß-Stromkraft zwischen den Teilleitern eines Bündels	N
f	Frequenz des Stromkreises	Hz
f_c	maßgebliche Kennfrequenz eines Hauptleiters	Hz
f_{cs}	maßgebliche Kennfrequenz eines Teilleiters	Hz
f_η	Faktor zur Beschreibung der Teilleiter-Annäherung im Seilbündel	1
g_n	Normfallbeschleunigung	m/s ²
I''_{k1}	Anfangs-Kurzschlußwechselstrom beim einpoligen Kurzschluß (Effektivwert)	A
I''_{k2}	Anfangs-Kurzschlußwechselstrom beim zweipoligen Kurzschluß (Effektivwert)	A
I''_{k3}	Anfangs-Kurzschlußwechselstrom beim dreipoligen Kurzschluß (Effektivwert)	A
i_p	Stoßkurzschlußstrom (Spitzenwert)	A
i_{p2}	Stoßkurzschlußstrom beim zweipoligen Kurzschluß (Spitzenwert)	A
i_{p3}	Stoßkurzschlußstrom beim dreipoligen Kurzschluß (Spitzenwert)	A
i_1, i_2	Augenblickswerte der Leiterströme	A
J	axiales Flächenmoment 2. Grades (Flächenträgheitsmoment) eines Hauptleiters	m ⁴
J_s	axiales Flächenmoment 2. Grades (Flächenträgheitsmoment) eines Teilleiters	m ⁴
j	Parameter, der die Lage der Bündelleiter während des Kurzschlußstrom-Flusses angibt	1
k	Anzahl der Abstandhalter- oder Versteifungselement-Garnituren	1
k_{1n}	Faktor für den wirksamen Leiterabstand zwischen Teilleiter 1 und Teilleiter n	1
k_{1s}	Faktor für den wirksamen Leiterabstand	1
l	Stützabstand	m
l_c	Seillänge eines Hauptleiters im Spannungsfeld	m
l_i	Länge einer Abspann-Isolator-kette	m
l_s	Mittenabstand der Zwischenstücke	m
m'	Massenbelag eines Hauptleiters	kg/m

Formel- zeichen	Bedeutung	SI-Einheit
m'_s	Massenbelag eines Teilleiters	kg/m
m_z	Gesamtmasse einer Zwischenstück-Garnitur	kg
N	Steifigkeitsnorm einer Anordnung mit Leitungsseilen	1/N
n	Anzahl der Teilleiter eines Hauptleiters	1
q	Faktor der Plastizität	1
$R_{p\ 0,2}$	Streckgrenze	N/m ²
r	Verhältnis von elektromagnetischer Kraft auf ein Leitungsseil bei Kurzschluß zur Eigengewichtskraft	1
S	resultierender Federkoeffizient der beiden Stützpunkte eines Spannungsfelds	N/m
s	Wanddicke bei Rohrleitern	m
T	Periodendauer der Spannungsfeld-Pendelung	s
T_k, T_{k1}	Kurzschlußdauer	s
T_{res}	resultierende Periodendauer der Spannungsfeld-Pendelung während des Kurzschlußstrom-Flusses	s
V_F	Verhältnis von dynamischer zu statischer Kraft auf den Stützpunkt	1
V_r	Verhältnis von dynamischen Beanspruchungen (Kraft auf den Stützpunkt, Hauptleiter-Biegespannungsbeitrag) bei erfolgloser dreipoliger Kurzunterbrechung zu den dynamischen Beanspruchungen bei erfolgreicher dreipoliger Kurzunterbrechung	1
V_{rs}	Verhältnis des dynamischen Biegespannungsbeitrags bei erfolgloser dreipoliger Kurzunterbrechung zum dynamischen Biegespannungsbeitrag bei erfolgreicher dreipoliger Kurzunterbrechung	1
V_σ	Verhältnis vom dynamischen zum statischen Hauptleiter-Biegespannungsbeitrag	1
$V_{\sigma s}$	Verhältnis vom dynamischen zum statischen Teilleiter-Biegespannungsbeitrag	1
y_a	Mittenabstand der nicht zusammenschlagenden Bündelleiter während des Kurzschlußstrom-Flusses	m
Z	Widerstandsmoment des Hauptleiters	m ³
Z_s	Widerstandsmoment eines Teilleiters	m ³
α	Faktor für die Kraft auf einen Stützpunkt	1
β	Faktor für die Hauptleiterbeanspruchung	1
γ	Faktor für die Bestimmung der maßgeblichen Kennfrequenz	1
δ_1	Richtung der resultierenden Kraft	°
δ_k	Ausschwingwinkel am Ende des Kurzschlußstrom-Flusses	°
δ_m	maximaler Ausschwingwinkel	°
ϵ_{ela}	elastische Seildehnung	1
$\epsilon_{pi}, \epsilon_{st}$	Dehnungsfaktoren bei der Kontraktion eines Seilbündels	1
ϵ_{th}	thermische Seildehnung	1
ζ	Beanspruchungsfaktor des Hauptleiters in Seilanordnungen	1
η	Faktor zur Berechnung von F_{pi} bei nicht zusammenschlagenden Bündelleitern	1
κ	Faktor zur Berechnung des Stoßkurzschlußstroms	1
μ_0	magnetische Feldkonstante, Permeabilität des leeren Raumes	H/m
$v_e,$ $v_1, v_2,$ v_3, v_4	Faktoren zur Berechnung von F_{pi}	1
ξ	Faktor zur Berechnung von F_{pi} bei zusammenschlagenden Bündelleitern	1
σ_{fin}	niedrigste Spannung, ab der der Elastizitätsmodul konstant wird	N/m ²
σ_m	Biegespannung durch die Kräfte zwischen den Hauptleitern	N/m ²
σ_s	Biegespannung durch die Kräfte zwischen den Teilleitern	N/m ²
σ_{tot}	maximale Biegespannung im Leiter	N/m ²
ϕ, ψ	Faktoren für die Berechnung der Zugkraft in Leitungsseilen	1
χ	Größe zur Berechnung des maximalen Ausschwingwinkels	1

1.3.2 Formelzeichen zu Hauptabschnitt drei – Thermische Wirkungen

Formelzeichen	Bedeutung	SI-Einheit
A	Hauptleiterquerschnitt	m^2
f	Frequenz des Stromkreises	Hz
I_k	Dauerkurzschlußstrom (Effektivwert)	A
I_k''	Anfangs-Kurzschlußwechselstrom (Effektivwert)	A
I_{th}	thermisch gleichwertiger Kurzzeitstrom (Effektivwert)	A
I_{thi}	einzelner, thermisch gleichwertiger Kurzzeitstrom bei wiederholten Kurzschlüssen (Effektivwert)	A
I_{thr}	Bemessungs-Kurzzeitstrom (Effektivwert)	A
K	Faktor zur Berechnung von S_{thr}	$\text{A s}^{0,5}/\text{m}^2$
m	Faktor für die Wärmewirkung der Gleichstromkomponente	1
n	Faktor für die Wärmewirkung der Wechselstromkomponente	1
S_{th}	thermisch gleichwertige Kurzzeitstromdichte (Effektivwert)	A/m^2
S_{thr}	Bemessungs-Kurzzeitstromdichte (Effektivwert) für 1 s	A/m^2
T_k	Kurzschlußdauer	s
T_{ki}	einzelne Stromflußzeit bei wiederholten Kurzschlüssen	s
T_{kr}	Bemessungs-Kurzzeit	s
θ_b	Temperatur des Stromleiters bei Kurzschlußbeginn	$^{\circ}\text{C}$
θ_e	Temperatur des Stromleiters bei Kurzschlußende	$^{\circ}\text{C}$

1.4 Begriffe

Im Sinne dieser Norm gelten die folgenden Begriffe. Auf das Internationale Elektrotechnische Wörterbuch (IEC 50) wird, wenn anwendbar, verwiesen.

1.4.1 Begriffe zu [Hauptabschnitt zwei](#) – Elektromagnetische Wirkungen

1.4.1.1 Hauptleiter

Ein Leiter oder die Anordnung mehrerer Leiter, die den gesamten Strom eines Stranges führen.

1.4.1.2 Teilleiter

Ein einzelner Leiter, der einen bestimmten Teil des gesamten Stromes eines Stranges führt und Teil des Hauptleiters ist.

1.4.1.3 Einspannung

Stützpunkt eines biegesteifen Leiters, in den Momente in der betrachteten Biegeebene eingeleitet werden.

1.4.1.4 Stützung

Stützpunkt eines biegesteifen Leiters, in den keine Momente in der betrachteten Biegeebene eingeleitet werden.

1.4.1.5 Zwischenstück

Jede zusätzliche Masse innerhalb eines Stützabstands, die nicht zur gleichmäßigen Leitermasse gehört. Hierzu zählen u. a. Abstandhalter, Versteifungselemente, Schienenüberlappungen, Abzweigungen usw.

1.4.1.5.1 Abstandhalter

Bauelement zwischen biegesteifen Teilleitern oder Bündelseilen, das am Einbauort den Teilleiterabstand aufrecht erhält.

1.4.1.5.2 Versteifungselement

Besonderes Zwischenstück, das die mechanischen Spannungen in biegesteifen Leitern verringert.

1.4.1.6 Kurzschluß-Seilzugkraft F_t

Maximale Seilzugkraft in einem Hauptleiter, die durch das Ausschwingen während des Kurzschlusses erreicht wird.

ANMERKUNG: In den Leitungsseilklemmen und Anschlußbolzen können Kraftspitzen auftreten, die größer als die Kurzschluß-Seilzugkraft sind, siehe [2.4](#).

1.4.1.7 Fall-Seilzugkraft F_f

Maximale Seilzugkraft in einem Hauptleiter, die beim Herabfallen der ausgeschwungenen Seile auftritt.

1.4.1.8 Bündel-Seilzugkraft F_{pi}

Maximale Seilzugkraft in Seilbündeln während des Kurzschlusses, hervorgerufen durch die Annäherung der Teilleiter im Bündel.

1.4.1.9 Kurzschlußdauer T_{k1}

Zeitintervall zwischen dem Kurzschlußeintritt und der ersten Stromunterbrechung.

1.4.2 Begriffe zu Hauptabschnitt drei – Thermische Wirkung

1.4.2.1 Thermisch gleichwertiger Kurzzeitstrom I_{th}

Effektivwert des Stromes mit der gleichen thermischen Wirkung und der gleichen Dauer wie der tatsächliche Kurzschlußstrom, der eine Gleichstromkomponente haben und zeitlich abklingen kann.

ANMERKUNG: Wenn durch Wiedereinschaltungen mehrere aufeinanderfolgende Kurzschlüsse auftreten, wird ein resultierender thermisch gleichwertiger Kurzzeitstrom bestimmt, siehe 3.2.2.

1.4.2.2 Bemessungs-Kurzzeitstrom I_{thr}

Effektivwert des Stromes, den ein elektrisches Betriebsmittel während der Bemessungs-Kurzzeit unter vorgegebenen Einsatz- und Betriebsbedingungen führen kann.

ANMERKUNG 1: Es können mehrere Wertepaare von Bemessungs-Kurzzeitstrom und zugehöriger Bemessungs-Kurzzeit angegeben werden; bei der thermischen Wirkung ist 1 s in den meisten IEC-Normen üblich.

ANMERKUNG 2: Der Bemessungs-Kurzzeitstrom und die zugehörige Bemessungs-Kurzzeit werden vom Betriebsmittelhersteller angegeben.

1.4.2.3 Thermisch gleichwertige Kurzzeitstromdichte S_{th}

Der thermisch gleichwertige Kurzzeitstrom dividiert durch den Leiterquerschnitt.

1.4.2.4 Bemessungs-Kurzzeitstromdichte S_{thr} für Leiter

Effektivwert der Stromdichte, der ein Leiter während der Bemessungs-Kurzzeit standhält.

ANMERKUNG: Die Bemessungs-Kurzzeitstromdichte wird nach 3.2 bestimmt.

1.4.2.5 Kurzschlußdauer T_k

Summe der Zeitabschnitte, in denen ein Kurzschlußstrom fließt, vom Beginn des ersten Kurzschlusses bis zur endgültigen Abschaltung der Ströme in allen Strängen.

1.4.2.6 Bemessungs-Kurzzeit T_{kr}

Zeitdauer, während der

- ein elektrisches Betriebsmittel einem Strom gleich seinem Bemessungs-Kurzzeitstrom standhält;
- ein Leiter einer Stromdichte gleich seiner Bemessungs-Kurzzeitstromdichte standhält.

2 Hauptabschnitt zwei – Elektromagnetische Wirkung auf biegesteife Leiter und Leitungsseile

2.1 Allgemeines

Mit den Rechenverfahren dieses Hauptabschnitts können berechnet werden:

- Spannungen in biegesteifen Leitern,
- Zugkräfte in Leitungsseilen,
- Kräfte auf Isolatoren und Unterkonstruktionen, die hierdurch auf Biegung, Zug und/oder Druck beansprucht werden,
- Seilauslenkungen.

Ströme in Leitern haben elektromagnetische Kräfte auf diese Leiter zur Folge. Diejenigen elektromagnetischen Kräfte, die zwischen parallelen Leitern wirken, verursachen die in Anlagen zu beachtenden Beanspruchungen. Deshalb

- werden in den folgenden Abschnitten die Kräfte zwischen parallelen Leitern angegeben,
- brauchen im allgemeinen die elektromagnetischen Kraftanteile, die in abgewinkelten und/oder sich kreuzenden Leitern auftreten, nicht beachtet zu werden.

Bei metallgekapselten Anlagen kann die durch die Abschirmung gegebene Änderung der elektromagnetischen Kräfte zwischen den Hauptleitern berücksichtigt werden. Zusätzlich ist jedoch die Kraftwirkung zwischen jedem Leiter und seiner Kapselung bzw. zwischen den Kapselungen zu beachten.

Ist die Länge der parallelen Leiter wesentlich größer als ihr Abstand, so wirken die Kräfte gleichmäßig verteilt auf die Leiter und ergeben sich aus der Gleichung

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} i_1 i_2 \frac{l}{a} \quad (1)$$

mit

i_1, i_2 Augenblickswerte der Leiterströme,

l Stützabstand,

a Leitemittenabstand.

Bei gleicher Stromrichtung in beiden Leitern sind die Kräfte anziehend; bei entgegengesetzter Stromrichtung sind die Kräfte abstoßend.

ANMERKUNG: Für zusätzliche und weiterführende Informationen siehe: CIGRÉ: The mechanical effects of short-circuit currents in open air substations. Paris: CIGRÉ SC 23, WG 02, 1987.

2.1.1 Einflüsse auf die Verringerung der Beanspruchung

Zur Ermittlung des größtmöglichen Kurzschlußstroms dürfen zusätzliche Angaben anderer IEC-Normen berücksichtigt werden, falls dies zu einer Verringerung der Beanspruchung führt.

2.1.2 Berücksichtigung der Kurzunterbrechung

Kurzunterbrechung ist nur bei biegesteifen Leitern zu berücksichtigen, wenn dreipolige Kurzunterbrechung eingesetzt wird.

2.2 Anordnungen mit biegesteifen Leitern

2.2.1 Berechnung der elektromagnetischen Kräfte

2.2.1.1 Berechnung des Spitzenwerts der Kraft zwischen den Hauptleitern bei dreipoligem Kurzschluß

In einer Drehstromanlage, bei der die Hauptleiter in gleichem Mittenabstand in einer Ebene angeordnet sind, greift die höchste Kraft während eines dreipoligen Kurzschlusses am mittleren Hauptleiter an und beträgt

$$F_{m3} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{\sqrt{3}}{2} i_{p3}^2 \frac{l}{a_m} \quad (2)$$

mit

i_{p3} Stoßkurzschlußstrom des symmetrischen dreipoligen Kurzschlusses; zur Berechnung siehe IEC 909,

l größter Stützabstand,

a_m wirksamer Hauptleiterabstand nach 2.2.1.4.

ANMERKUNG: Gleichung (2) kann ebenso zur Berechnung des Spitzenwerts der Kraft angewendet werden, wenn Leiter mit Kreisquerschnitt in den Eckpunkten eines gleichseitigen Dreiecks liegen und a_m hierbei die Seitenlänge des Dreiecks ist.

2.2.1.2 Berechnung des Spitzenwerts der Kraft zwischen den Hauptleitern bei zweipoligem Kurzschluß ohne Erdberührung

Die höchste Kraft zwischen Leitern, die vom Kurzschlußstrom bei zweipoligem Kurzschluß ohne Erdberührung in Dreh- oder Wechselstromanlagen durchflossen werden, beträgt

$$F_{m2} = \frac{\mu_0}{2\pi} i_{p2}^2 \frac{l}{a_m} \quad (3)$$

mit

- i_{p2} Stoßkurzschlußstrom des zweipoligen Kurzschlusses ohne Erdberührung,
- l größter Stützabstand,
- a_m wirksamer Hauptleiterabstand nach 2.2.1.4.

2.2.1.3 Berechnung des Spitzenwerts der Kraft zwischen in gleicher Ebene angeordneten Teilleitern

Die höchste Kraft wirkt auf die äußeren Teilleiter und beträgt zwischen zwei benachbarten Zwischenstücken

$$F_s = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{I_p}{n} \right)^2 \frac{l_s}{a_s} \quad (4)$$

mit

- n Anzahl der Teilleiter,
- l_s größter Mittenabstand zweier benachbarter Zwischenstücke,
- a_s wirksamer Abstand zwischen den Teilleitern,
- i_p gleich i_{p3} in Drehstromanlagen oder i_{p2} in Wechselstromanlagen.

2.2.1.4 Wirksame Abstände zwischen Hauptleitern und zwischen Teilleitern

Die Kräfte zwischen Leitern, die vom Kurzschlußstrom durchflossen werden, sind abhängig von der geometrischen Anordnung und dem Profil der Leiter. Deshalb ist in 2.2.1.1 und 2.2.1.2 der wirksame Abstand a_m zwischen Hauptleitern und in 2.2.1.3 der wirksame Abstand a_s zwischen Teilleitern eingeführt. Sie sind wie folgt zu ermitteln:

Wirksamer Abstand a_m zwischen Hauptleitern in gleicher Ebene mit dem Leitermittenabstand a :

- Hauptleiter bestehend aus Einzelleitern mit Kreisprofil:

$$a_m = a \quad (5)$$

- Hauptleiter bestehend aus Einzelleitern mit Rechteckprofil und Hauptleiter zusammengesetzt aus Teilleitern mit Rechteckprofil:

$$a_m = \frac{a}{k_{12}} \quad (6)$$

k_{12} ist dem Bild 1 zu entnehmen mit $a_{1s} = a$, $b = b_m$ und $d = d_m$.

Wirksamer Abstand a_s zwischen den in gleicher Ebene liegenden n Teilleitern eines Hauptleiters:

- Teilleiter mit Kreisprofil:

$$\frac{1}{a_s} = \frac{1}{a_{12}} + \frac{1}{a_{13}} + \frac{1}{a_{14}} + \dots + \frac{1}{a_{1s}} + \dots + \frac{1}{a_{1n}} \quad (7)$$

- Teilleiter mit Rechteckprofil:

Einige Werte für a_s sind in **Tabelle 1** angegeben. Für andere Abstände und Teilleiterabmessungen kann die Gleichung

$$\frac{1}{a_s} = \frac{k_{12}}{a_{12}} + \frac{k_{13}}{a_{13}} + \frac{k_{14}}{a_{14}} + \dots + \frac{k_{1s}}{a_{1s}} + \dots + \frac{k_{1n}}{a_{1n}} \quad (8)$$

verwendet werden. Die Werte für k_{12} , ..., k_{1n} sind dem **Bild 1** zu entnehmen.

2.2.2 Berechnung der Spannungen in biegesteifen Leitern und der Kräfte auf die Stützpunkte

2.2.2.1 Allgemeines

Die Leiter können verschieden befestigt sein, entweder eingespannt oder gestützt oder in Kombination von beidem. Abhängig von der Art und der Anzahl der Stützpunkte werden die Spannungen in den Leitern und die Kräfte auf die Stützpunkte bei gleichem Kurzschlußstrom verschieden sein. Die angegebenen Gleichungen decken auch die Elastizität der Stützpunkte ab.

Die Spannungen in den Leitern und die Kräfte auf die Stützpunkte hängen außerdem ab vom Verhältnis der maßgeblichen Kennfrequenz des mechanischen Systems zur Frequenz des Stromkreises. Zum Beispiel können bei

Siehe Berichtigung 1 zu DIN EN 60865-1 (VDE 0103): 1996-08