

[illegible]

Nationales Vorwort

Die deutsche Fassung der EN 61660-2 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 61660-2 zugrundeliegende Internationale Norm IEC 61660-2:1997 hat das Technische Komitee TC 73 „Short-circuit currents“ ausgearbeitet.

Die Festlegungen zur Kurzschluß-Stromberechnung wurden aus Versuchsergebnissen an Modellen entwickelt, die Festlegungen zur Kurzschlußfestigkeit aus der Kinetik des Einmassenschwingers.

Die in Gleich- und Drehstromanlagen auftretenden Kräfte sind wegen ähnlicher Stromstärken durchaus vergleichbar. Die Berechnung der mechanischen Beanspruchung geht von einem 6-Parameter-Modell aus zwei abgesetzten Exponentialfunktionen aus, wofür sich rechteckige Ersatzkraftverläufe leicht berechnen lassen, die einen Einmassenschwinger durch Stoß gleichwertig belasten. Übersteigt die Kurzschlußdauer die halbe Dauer der mechanischen Eigenschwingung, wird die anstehende Ersatzkraft zeitlich verkürzt und im Betrag entsprechend erhöht. Auch die thermische Beanspruchung läßt sich auf rechteckig verlaufende Ersatzgrößen zurückführen, was mit einem Umrechnungsfaktor gelingt, der bereits bei der Berechnung der mechanischen Beanspruchung angewandt wird.

Besonderer Wert wird bei beiden vorgenannten Festlegungsbereiche darauf gelegt, gleiche oder ähnliche Bezeichnungen wie bei den bestehenden Normen IEC 909 (VDE 0102) und IEC 865 (VDE 0103) zur Berechnung der Kurzschlußströme und der Kurzschlußfestigkeit in Drehstromanlagen zu verwenden. Alle Tabellen im Norm-Entwurf DIN IEC 73/74/CDV (VDE 0103 Teil 10) stimmen mit der Norm IEC 865 überein, ebenso die Bilder 1, 2, 3 und 10. Die den Bildern zugrundeliegenden Beziehungen sind im informativen Anhang A aufgeführt, um sie bei Bedarf programmieren zu können. Zahlenbeispiele sind nach erster Zustimmung zu diesen Festlegungen sinnvoll, sie sollen noch folgen.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm oder andere Unterlage ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm oder anderen Unterlage.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm oder anderen Unterlage.

Der Zusammenhang der zitierten Normen und anderen Unterlagen mit den entsprechenden Deutschen Normen und anderen Unterlagen ist nachstehend wiedergegeben. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig.

IEC hat 1997 die Benummerung der IEC-Publikationen geändert. Zu den bisher verwendeten Normnummern wird jeweils 60000 addiert. So ist zum Beispiel aus IEC 68 nun IEC 60068 geworden.

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 60865-1:1993	IEC 60865-1:1993	DIN EN 60865-1 (VDE 0103):1994-11	VDE 0103
–	IEC 60865-2:1994	Beiblatt 1 zu DIN EN 60865-1 (Beiblatt 1 zu VDE 0103)	VDE 0103 Bbl 1
–	IEC 60949:1988	–	–
–	IEC 60986:1989	–	–
EN 61660-1:1997	IEC 61660-1:1997	DIN EN 61660-1 (VDE 0102 Teil 10):1998-xx	VDE 0102 Teil 10

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60865-1 (VDE 0103)	Kurzschlußströme – Berechnung der Wirkung – Teil 1: Begriffe und Berechnungsverfahren (IEC 60865-1:1993); Deutsche Fassung EN 60865-1:1993
Bbl. 1 zu DIN EN 60865-1 (Bbl. 1 zu VDE 0103)	Kurzschlußströme – Berechnung der Wirkung – Teil 1: Begriffe und Berechnungsverfahren, Beispiele für die Berechnung
DIN EN 61660-1 (VDE 0102 Teil 10)	Kurzschlußströme – Kurzschlußströme in Gleichstrom-Eigenbedarfsanlagen in Kraftwerken und Schaltanlagen – Teil 1: Berechnung der Kurzschlußströme (IEC 61660-1:1997); Deutsche Fassung EN 61660-1:1997

Die nachstehende Tabelle enthält eine Übersicht der IEC-Normen mit Festlegungen über Kurzschlußströme in Drehstromnetzen und der ihnen entsprechenden deutschen Normen.

IEC-Norm	Titel	Deutsche Norm	Titel
IEC 60909:1988	Short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems	DIN VDE 0102 (VDE 0102):1990-01	Berechnung von Kurzschlußströmen in Drehstromnetzen
	Appendix A: Calculation of short-circuit currents	Beiblatt 1 zu DIN VDE 0102 (Beiblatt 1 zu VDE 0102):1992-09	Berechnung von Kurzschlußströmen in Drehstromnetzen – Beispiele
IEC 60781:1989	Application guide for calculation of short-circuit currents in low-voltage radial systems	Beiblatt 2 zu DIN VDE 0102 (Beiblatt 2 zu VDE 0102):1992-09	Berechnung von Kurzschlußströmen in Drehstromnetzen – Anwendungsleitfaden für die Berechnung von Kurzschlußströmen in Niederspannungsstrahlennetzen
IEC 60909-1:1991	Technical Report: Short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems – Part 1: Factors for the calculation of short-circuit currents in three-phase a.c. systems according to IEC 60909	Beiblatt 3 zu DIN VDE 0102 (Beiblatt 3 zu VDE 0102):1997-05	Berechnung von Kurzschlußströmen in Drehstromnetzen – Faktoren für die Berechnung von Kurzschlußströmen
IEC 60909-2:1992	Technical Report: Electrical equipment – Data for short-circuit current calculation in accordance with IEC 60909:1988	in Vorbereitung als Beiblatt 4 zu DIN VDE 0102 (Beiblatt 4 zu VDE 0102)	Elektrische Betriebsmittel – Daten für die Kurzschlußstromberechnung
IEC 60909-3:1995	Short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems – Part 3: Currents during two separate simultaneous single phase line-to-earth short circuits and partial short-circuit currents flowing through earth	DIN IEC 909-3 (VDE 0102 Teil 3):1997-06	Kurzschlußströme – Berechnung der Ströme in Drehstromanlagen – Teil 3: Doppelerdkurzschlußströme und Teilkurzschlußströme über Erde
IEC 60865-1:1993	Short-circuit currents – Calculation of effects – Part 1: Definitions and calculation methods	DIN EN 60865-1 (VDE 0103):1994-11	Kurzschlußströme – Berechnung der Wirkung – Teil 1: Begriffe und Berechnungsverfahren

IEC-Norm	Titel	Deutsche Norm	Titel
IEC 60865-2:1994	Technical Report: Short-circuit currents – Calculation of effects – Part 2: Examples of calculation	Beiblatt 1 zu DIN EN 60865-1 (Beiblatt 1 zu VDE 0103):1996-06	Kurzschlußströme – Berechnung der Wirkung – Beispiele für die Berechnung
IEC 61660-1:1997	Short-circuit currents in d.c. auxiliary installations in power plants and substations – Part 1: Calculation of short-circuit currents	DIN EN 61660-1 (VDE 0102 Teil 10):1998-xx	Kurzschlußströme in Gleichstrom-Eigenbedarfsanlagen in Kraftwerken und Schaltanlagen – Teil 1: Berechnung der Kurzschlußströme

Zur Einführung und zum besseren Verständnis der Zusammenhänge und Begründungen wird auf folgendes Schrifttum hingewiesen.

Lehmann, W.	Elektrodynamische Beanspruchung paralleler Leiter etz A 76 (1955), S. 481–488
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 Wiss. Zeitschrift der Elektrotechnik 11 (1968), S. 82–100
Tsanakas, D.	Ersatzzeitfunktionen für die Bestimmung der mechanischen und thermischen Kurzschlußbeanspruchung in Gleichstromanlagen etz-Archiv 10 (1988), S. 355–360
Nietsch, Ch.	Ermittlung des Kurzschlußstromverlaufs in Gleichstromanlagen Diss. Univ. Erlangen-Nürnberg, 1991
Tsanakas, D.; Meyer, W.; Safigianni, A.	Dynamische Kurzschlußbeanspruchung in Gleichstromanlagen Archiv für Elektrotechnik 74 (1991), S. 305–313
Hosemann, G.; Nietsch, Ch.; Tsanakas, D.	Short-circuit stress in DC auxiliary systems Cigré-Bericht 23-104 (1992)

ICS 29.240.01

Deskriptoren: Kurzschlußstrom, Eigenbedarfsanlagen, Kraftwerke, Schaltanlage, Berechnung der Wirkungen

Deutsche Fassung

Kurzschlußströme

Kurzschlußströme in Gleichstrom-Eigenbedarfsanlagen von Kraftwerken und Schaltanlagen

Teil 2: Berechnung der Wirkungen
(IEC 61660-2:1997)

Short-circuit currents
Short-circuit currents in d.c. auxiliary
installations in power plants and substations
Part 2: Calculation of effects
(IEC 61660-2:1997)

Courants de court-circuit
Courants de court-circuit dans les installations
auxiliaires alimentées en courant continu dans
les centrales et les postes
Partie 2: Calcul des effets
(CEI 61660-2:1997)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 1997-07-01 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 73/85/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 61660-2, ausgearbeitet von dem IEC TC 73 „Short-circuit currents“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 1997-07-01 als EN 61660-2 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muß (dop): 1998-04-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 1998-04-01

Anhänge, die als „normativ“ bezeichnet sind, gehören zum Norm-Inhalt.

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

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

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61660-2:1997 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Inhalt

	Seite
1 Allgemeines	4
1.1 Anwendungsbereich	4
1.2 Normative Verweisungen	4
1.3 Formelzeichen und ihre Einheiten	4
1.3.1 Formelzeichen zu Abschnitt zwei – Elektromagnetische Wirkungen	5
1.3.2 Formelzeichen zu Abschnitt drei – Thermische Wirkungen	7
1.4 Begriffe	7
1.4.1 Begriffe zu Abschnitt zwei – Elektromagnetische Wirkungen	7
1.4.2 Begriffe zu Abschnitt drei – Thermische Wirkungen	8
2 Elektromagnetische Wirkung auf biegesteife Leiter	8
2.1 Allgemeines	8
2.2 Berechnung der elektromagnetischen Kräfte	9
2.2.1 Berechnung des Spitzenwerts der Kraft zwischen den Hauptleitern	9
2.2.2 Berechnung des Spitzenwerts der Kraft zwischen in gleicher Ebene angeordneten Teilleitern	9
2.2.3 Wirksame Abstände zwischen Hauptleitern und zwischen Teilleitern	9
2.3 Berechnung der Spannungen in biegesteifen Leitern und der Kräfte auf die Stützpunkte	10
2.3.1 Allgemeines	10
2.3.2 Berechnung der Spannungen in biegesteifen Leitern	10
2.3.3 Widerstandsmoment und Faktor q von Hauptleitern, die aus Teilleitern zusammengesetzt sind	11
2.3.4 Zulässige Leiterspannung	11
2.3.5 Berechnung der Kräfte auf die Stützpunkte biegesteifer Leiter	11
2.3.6 Berechnung unter besonderer Berücksichtigung der Leiterschwingung	11
2.4 Bemessungslasten für Stützisolatoren, deren Unterkonstruktionen und Leiter-Befestigungsmittel	14
3 Thermische Wirkung auf blanke Leiter und elektrische Betriebsmittel	14
3.1 Allgemeines	14
3.2 Berechnung des Temperaturanstiegs	14
3.2.1 Allgemeines	14
3.2.2 Berechnung des thermisch gleichwertigen Kurzzeitstroms	14
3.2.3 Berechnung des Temperaturanstiegs und der Bemessungs-Kurzzeitstromdichte für Leiter	15
3.2.4 Ermittlung der thermischen Kurzschlußfestigkeit	15
Tabellen	16
Bilder	19
Anhang A (informativ) Gleichungen zur Berechnung der Diagramme	29
Anhang B (informativ) Literaturhinweis	33
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	34

1 Allgemeines

1.1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 61660 behandelt die mechanischen und thermischen Wirkungen durch Kurzschlußströme bei biegesteifen Leitern in Gleichstrom-Eigenbedarfsanlagen von Kraftwerken und Schaltanlagen. Diese Anlagen können folgende Betriebsmittel enthalten, die als Quellen wirken und ebenso zu den Kurzschlußströmen beitragen:

- Stromrichter in Drehstrom-Brückenschaltung für 50 Hz,
- ortsfeste Bleibatterien,
- Glättungskondensatoren,
- fremderregte Gleichstrommotoren.

Diese Norm gibt ein Verfahren an, das schnell und einfach zu benutzen und generell anwendbar ist und zu Ergebnissen mit ausreichender Genauigkeit führt. Dem Berechnungsverfahren liegen Ersatzfunktionen zugrunde, die mit guter Näherung die gleichen Höchstwerte der Biegespannungen in den Leitern und der Kräfte auf die Stützeinrichtungen ergeben wie die tatsächliche elektromagnetische Kraft.

In den [Abschnitten 2](#) und [3](#) sind Berechnungsverfahren genormt, um die elektromagnetische Wirkung auf biegesteife Leiter und ebenso die thermische Wirkung auf blanke Leiter und elektrische Betriebsmittel zu ermitteln.

Für Kabel und isolierte Leitungen wird z. B. auf IEC 60949 und IEC 60986 verwiesen.

Diese Norm gilt nur für Gleichstrom-Eigenbedarfsanlagen von Kraftwerken und Schaltanlagen.

Die folgenden Punkte sollten besonders beachtet werden:

- Die Kurzschlußstromberechnung sollte nach [IEC 61660-1](#) durchgeführt werden.
- Die in dieser Norm einzusetzende Kurzschlußdauer hängt vom Schutzkonzept ab und sollte dementsprechend berücksichtigt werden.
- Die genormten Rechenverfahren sind auf praktische Erfordernisse ausgerichtet und enthalten Vereinfachungen mit Sicherheiten. Prüfungen oder ausführlichere Rechenverfahren oder beide dürfen angewendet werden.
- Im [Abschnitt 2](#) dieser Norm werden nur die Beanspruchungen durch Kurzschlußströme berechnet. Zusätzlich können noch weitere Belastungen vorhanden sein, z. B. hervorgerufen durch statische Last, Schaltkräfte oder Erdbeben. Die Kombination dieser Lasten mit der Kurzschlußbelastung sollte Teil einer Absprache sein und/oder in Normen geregelt werden, z. B. in Errichtungsvorschriften.

1.2 Normative Verweisungen

Die folgenden Normen enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil dieses Teils der IEC 61660 sind. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig. Alle Normen unterliegen der Überarbeitung. Vertragspartner, deren Vereinbarungen auf diesem Teil der IEC 61660 basieren, werden gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, ob die jeweils neuesten Ausgaben der im folgenden genannten Normen angewendet werden können. Die Mitglieder von IEC und ISO führen Verzeichnisse der gegenwärtig gültigen Internationalen Normen.

IEC 60865-1:1993	Short-circuit currents – Calculation of effects – Part 1: Definitions and calculation methods
IEC 60865-2:1994	Short-circuit currents – Calculation of effects – Part 2: Examples of calculation
IEC 60949:1988	Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects
IEC 60986:1989	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
IEC 61660-1:1997	Short-circuit currents in D.C. auxiliary installations in power plants and substations – Part 1: Calculation of short-circuit currents

1.3 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 Abschnitt zwei: Elektromagnetische Wirkungen

Formelzeichen	Bedeutung	SI-Einheit
A_i	Impuls zur Berechnung der Parameter der Ersatz-Rechteckfunktion	A^2s
A_s	Teilleiterquerschnitt	m^2
a	Leitermittenabstand	m
a_m	wirksamer Abstand zwischen Hauptleitern	m
a_s	wirksamer Abstand zwischen Teilleitern	m
a_{1n}	Mittenabstand zwischen Teilleiter 1 und Teilleiter n	m
a_{1s}	Teilleitermittenabstand	m
b	Teilleiterabmessung senkrecht zur Krafrichtung	m
b_m	Hauptleiterabmessung senkrecht zur Krafrichtung	m
c	Faktor für den Einfluß von Zwischenstücken	1
D	Außendurchmesser von Rohrleitern	m
d	Teilleiterabmessung in Krafrichtung	m
d_m	Hauptleiterabmessung in Krafrichtung	m
E	Elastizitätsmodul	N/m^2
F	Kraft zwischen zwei parallelen langen Leitern während eines Kurzschlusses	N
F_R	Kraft zwischen den Hauptleitern durch die Ersatz-Rechteckfunktion	N
F_{Rs}	Kraft zwischen den Teilleitern durch die Ersatz-Rechteckfunktion	N
F_d	Kraft auf den Stützpunkt (Spitzenwert)	N
F_m	Kraft zwischen den Hauptleitern während eines Kurzschlusses (Spitzenwert)	N
F_s	Kraft zwischen den Teilleitern während eines Kurzschlusses	N
f_c	maßgebliche Kennfrequenz eines Hauptleiters	Hz
f_{cs}	maßgebliche Kennfrequenz eines Teilleiters	Hz
g_n	Normfallbeschleunigung	m/s^2
I_g	Größe zur Berechnung der Parameter der Ersatz-Rechteckfunktion	A^2s^3
I_R	Strom der Ersatz-Rechteckfunktion zur Berechnung der Kraft zwischen den Hauptleitern	A
I_{Rs}	Strom der Ersatz-Rechteckfunktion zur Berechnung der Kraft zwischen den Teilleitern	A
I_k	Dauerkurzschlußstrom	A
i_p	Stoßkurzschlußstrom	A
i_1, i_2	Augenblickswerte der Ströme in Leitern in den Abschnitten der standardisierten Näherungsfunktion	A
i_{L1}, i_{L2}	Augenblickswerte der Ströme in den Leitern L1 und L2	A
J	axiales Flächenmoment 2. Grades (Flächenträgheitsmoment) eines Hauptleiters	m^4
J_s	axiales Flächenmoment 2. Grades (Flächenträgheitsmoment) eines Teilleiters	m^4
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

Formelzeichen	Bedeutung	SI-Einheit
l	Stützabstand	m
l_s	Mittenabstand der Zwischenstücke	m
m'	Massenbelag eines Hauptleiters	kg/m
m'_s	Massenbelag eines Teilleiters	kg/m
m_z	Gesamtmasse einer Zwischenstück-Garnitur	kg
$m_{g1}, m_{g2},$ $m_{lg1}, m_{lg2},$ $m_{\theta1}, m_{\theta2}$	Faktoren zur Berechnung der Parameter der Ersatz-Rechteckfunktion	1
n	Anzahl der Teilleiter eines Hauptleiters	1
p	Verhältnis I_k/i_p	1
q	Faktor der Plastizität	1
$R_{p0,2}$	Streckgrenze	N/m ²
s	Wanddicke bei Rohrleitern	m
T_k	Kurzschlußdauer	s
T_{me}	Schwingungsdauer des Hauptleiters	s
T_{mes}	Schwingungsdauer des Teilleiters	s
t_p	Zeit bis zum Maximum	s
t_R	Dauer der Ersatz-Rechteckfunktion zur Berechnung der Kraft zwischen den Hauptleitern	s
t_{Rs}	Dauer der Ersatz-Rechteckfunktion zur Berechnung der Kraft zwischen den Teilleitern	s
V_F	Verhältnis von dynamischer zu statischer Kraft auf den Stützpunkt	1
V_σ	Verhältnis vom dynamischen zum statischen Hauptleiter-Biegespannungsbeitrag	1
$V_{\sigma s}$	Verhältnis vom dynamischen zum statischen Teilleiter-Biegespannungsbeitrag	1
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
μ_0	magnetische Feldkonstante, Permeabilität des leeren Raumes	H/m
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
τ_1	Anstiegszeitkonstante	s
τ_2	Abfallzeitkonstante	s

1.3.2 Formelzeichen zu Abschnitt drei: Thermische Wirkungen

Formelzeichen	Bedeutung	SI-Einheit
A	Hauptleiterquerschnitt	m^2
A_i	Impuls zur Berechnung der Parameter der Ersatz-Rechteckfunktion	A^2s
I_{th}	thermisch gleichwertiger Kurzzeitstrom (Effektivwert)	A
I_{thr}	Bemessungs-Kurzzeitstrom (Effektivwert)	A
K	Faktor zur Berechnung von S_{thr}	$A s^{0,5}/m^2$
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_{kr}	Bemessungs-Kurzzeit	s
θ_b	Temperatur des Stromleiters bei Kurzschlußbeginn	$^{\circ}C$
θ_e	Temperatur des Stromleiters bei Kurzschlußende	$^{\circ}C$

1.4 Begriffe

Für die Anwendung dieses Teils von IEC 61660 gelten die folgenden Begriffe.

1.4.1 Begriffe zu [Abschnitt zwei](#): Elektromagnetische Wirkungen

1.4.1.1 Hauptleiter

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

1.4.1.2 Teilleiter

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

1.4.1.3 Einspannung

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

1.4.1.4 Stützung

Stützpunkt eines 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, Abzweigleitungen usw.

1.4.1.5.1 Abstandhalter

Bauelement zwischen Teilleitern, das am Einbauort den Teilleiterabstand aufrechterhält.

1.4.1.5.2 Versteifungselement

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

1.4.1.6 Kurzschlußdauer T_k

Zeitintervall zwischen dem Kurzschlußeintritt und der Stromunterbrechung.

1.4.1.7 Standardisierte Näherungsfunktion

Zeitverlauf berechnet nach [IEC 61660-1](#), der den Momentanwert des Kurzschlußstroms wiedergibt mit der Anstiegszeitkonstanten τ_1 , der Abfallzeitkonstanten τ_2 , der Kurzschlußdauer T_k und der Zeit t_p bis zum Maximum.

ANMERKUNG: Für weitere Informationen siehe [IEC 61660-1](#).

1.4.1.8 Quadrierte standardisierte Näherungsfunktion

Zeitverlauf des Augenblickswerts des Quadrats der standardisierten Näherungsfunktion. Er gibt den Zeitverlauf des Momentanwerts der elektromagnetischen Kraft durch den Kurzschlußstrom, aber auch die Einhüllende des Joule-Integrals an.

ANMERKUNG: Für weitere Informationen siehe [1]*), wo in Bild 8 $F(t)$ dargestellt ist, das sich aus $i^2(t)$ durch Multiplikation mit $\frac{\mu_0}{2\pi a}$ ergibt.

1.4.1.9 Ersatz-Rechteckfunktion

Funktion mit rechteckiger Form, die einem Strom entspricht, der die gleichen mechanischen Beanspruchungen und Kräfte wie die quadrierte standardisierte Näherungsfunktion hervorruft.

ANMERKUNG: Für weitere Informationen siehe [1]*), wo in Bild 8 F'_R dargestellt ist, das sich aus I_R^2 durch Multiplikation mit $\frac{\mu_0}{2\pi a}$ ergibt.

1.4.2 Begriffe zu Abschnitt drei: Thermische Wirkungen

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.

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

Zeitabschnitt vom Beginn des Kurzschlusses bis zur Abschaltung des Stroms.

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 Elektromagnetische Wirkung auf biegesteife Leiter

2.1 Allgemeines

Die Zeitverläufe der Kurzschlußströme in Gleichstrom-Eigenbedarfsanlagen sind vielfältig. Eine standardisierte Näherungsfunktion ist in IEC 61660-1 durch sechs Kenngrößen definiert: i_p , I_k , t_p , τ_1 , τ_2 , T_k , siehe Bild 4a. Die Änderung einer Kenngröße führt auf eine Änderung der Beanspruchungen. Für die praktische Anwendung wird eine Ersatz-Rechteckfunktion für das Quadrat des Stromes und daher für die elektromagnetische Kraft eingeführt, die zu den gleichen mechanischen Spannungen und Kräften führt wie der tatsächliche Kurzschlußstrom. Bild 4b zeigt das Quadrat der standardisierten Näherungsfunktion des Kurzschlußstroms und ihre Ersatz-Rechteckfunktion, die durch zwei Kenngrößen definiert ist: I_R^2 und t_R .

*) Zahlen in eckigen Klammern verweisen auf das Schrifttum im Anhang B.