

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Beginn der Gültigkeit

Die von CENELEC am 2004-10-01 angenommene EN 61472 gilt als DIN-Norm ab 2005-07-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 61472:2003-04.

Für die vorliegende Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 224 „Betrieb elektrischer Anlagen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 78 „Live working“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ mit den Daten zu dieser Publikation angegebenen Datum (maintenance result date) unverändert bleiben soll. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm 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.

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

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist nachstehend wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60050-195:1998	–	–
–	IEC 60050-601:1985	–	–
–	IEC 60050-604:1987	–	–
–	IEC 60050-651:1999	–	–
HD 588.1 S1:1991	IEC 60060-1:1989	DIN IEC 60060-1 (VDE 0432-1):1994-06	VDE 0432-1
EN 60071-1:1995	IEC 60071-1:1993	DIN EN 60071-1 (VDE 0111-1):1996-07	VDE 0111-1
EN 60071-2:1997	IEC 60071-2:1996	DIN EN 60071-2 (VDE 0111-2):1997-09	VDE 0111-2
EN 60743:1996	IEC 60743:2001	DIN EN 60743:1998-05	–
EN 61477:2001/A1:2002	IEC 61477:2001	DIN EN 61477 (VDE 0682-130):2003-11	VDE 0682-130
	CIGRE, Broschüre Nr. 72:1992		
	CIGRE, Broschüre Nr. 151:2000		

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN IEC 60060-1 (VDE 0432-1):1994-06, Hochspannungs-Prüftechnik – Teil 1: Allgemeine Festlegungen und Prüfbedingungen (IEC 60060-1:1989 + Corrigendum 1990-03); Deutsche Fassung HD 588.1 S1:1991

DIN EN 60071-1 (VDE 0111-1):1996-07, Isolationskoordination – Teil 1: Begriffe, Grundsätze und Anforderungen (IEC 60071-1:1993); Deutsche Fassung EN 60071-1:1995

DIN EN 60071-2 (VDE 0111-2):1997-09, Isolationskoordination – Teil 2: Anwendungsrichtlinie (IEC 60071-2:1996); Deutsche Fassung EN 60071-2:1997

DIN EN 60743:1998-05, Terminologie für Geräte und Ausrüstungen zum Arbeiten unter Spannung (IEC 60743:1983 + A1:1995); Deutsche Fassung EN 60743:1996

DIN EN 61477 (VDE 0682-130):2003-11, Arbeiten unter Spannung – Mindestanforderungen für die Nutzung von Werkzeugen, Geräten und Ausrüstungen (IEC 61477:2001 + A1:2002); Deutsche Fassung EN 61477:2002 + A1:2002

– Leerseite –

Deutsche Fassung

Arbeiten unter Spannung
Mindest-Arbeitsabstände für Wechselspannungsnetze im Spannungsbereich
von 72,5 kV bis 800 kV
Berechnungsverfahren
(IEC 61472:2004)

Live working
Minimum approach distances for AC systems in
the voltage range 72,5 kV to 800 kV
A method of calculation
(IEC 61472:2004)

Travaux sous tension
Distances minimales d'approche pour des
réseaux à courant alternatif de tension comprise
entre 72,5 kV et 800 kV
Une méthode de calcul
(CEI 61472:2004)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2004-10-01 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, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

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 78/582/FDIS, zukünftige 2. Ausgabe von IEC 61472, ausgearbeitet von dem IEC/TC 78 „Live working“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2004-10-01 als EN 61472 angenommen.

Diese Norm wurde in Übereinstimmung mit den zutreffenden Anforderungen von EN 61477 „Arbeiten unter Spannung – Mindestanforderungen für die Nutzung von Werkzeugen, Geräten und Ausrüstungen“, soweit anwendbar, erarbeitet.

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): 2005-07-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2007-10-01

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61472:2004 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung sind unter „Literaturhinweise“ zu den aufgelisteten Normen die nachstehenden Anmerkungen einzutragen:

IEC 60060-1	ANMERKUNG	Harmonisiert als HD 588.1 S1:1991 (nicht modifiziert).
IEC 60071-1	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60071-1:1995 (nicht modifiziert).
IEC 60071-2	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60071-2:1997 (nicht modifiziert).
IEC 60743	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 60743:2001 (nicht modifiziert).
IEC 61477	ANMERKUNG	Harmonisiert als EN 61477:2002 (nicht modifiziert).

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	2
1 Anwendungsbereich	5
2 Begriffe, Definitionen und Symbole	5
3 Verfahrensweise	8
4 Faktoren mit Einfluss auf die Berechnung.....	9
5 Risikobeurteilung	14
6 Berechnung des Mindest-Arbeitsabstandes D_A	14
Anhang A (informativ) Ergonomischer Abstand	17
Anhang B (informativ) Überspannungen	19
Anhang C (informativ) Durchschlagfestigkeit der Luft	23
Anhang D (informativ) Funkenstreckenfaktor k_g	24
Anhang E (informativ) Berücksichtigung der atmosphärischen Bedingungen	26
Anhang F (informativ) Einfluss von Objekten mit freiem elektrischem Potential auf die Durchschlagfestigkeit	30
Anhang G (informativ) Arbeiten unter Spannung in der Nähe verunreinigter, beschädigter oder betauter Isolierung.....	36
Literaturhinweise.....	39
 Bild 1 – Abbildung von zwei Zwischenelektroden mit verschiedenen Maßen und mit verschiedenen Abständen von der Achse der Funkenstrecke (siehe 4.3.4)	 15
Bild 2 – Typische Situationen beim Arbeiten unter Spannung (siehe Abschnitt 2 und 4.3.4)	16
Bild B.1 – Bereiche von u_{e2} einer offenen Leitung aufgrund von Einschalt- und Wiedereinschaltvorgängen entsprechend der Netzart (vermascht oder verzweigt) mit und ohne Einschaltwiderständen und Nebenschlussdrosseln (siehe B.2.1.1)	22
Bild F.1 – Reduzierung der Durchschlagspannung der Luftstrecke aufgrund von Änderungen des elektrischen Feldes durch die Anwesenheit von leitfähigen Objekten auf freiem Potential in kritischer Position entlang der Funkenstreckenachse (Leiter-Erde/Stab-Stab-Anordnung) für 250/2 500 μ s-Impuls (siehe F.3.1.2 und F.3.1.3)	33
Bild F.2 – Reduzierung der Durchschlagspannung der Luftstrecke aufgrund von Änderungen des elektrischen Feldes durch die Anwesenheit von leitfähigen Objekten auf freiem Potential in kritischer Position entlang der Funkenstreckenachse (Leiter-Leiter-Anordnung) für 250/2 500 μ s-Impuls (siehe F.3.1.2 und F.3.1.3)	34
Bild F.3 – Reduzierung der Durchschlagfestigkeit als Funktion des Abstandes D für konstante β -Werte bei einer Leiter-Erde/Stab-Stab-Anordnung (siehe F.3.1.3 und F.3.2)	35
Bild F.4 – Reduzierung der Durchschlagfestigkeit als Funktion des Abstandes D für konstante β -Werte bei einer Leiter-Leiter-Anordnung (siehe F.3.1.3 und F.3.2)	35
 Tabelle 1 – Zwischenelektroden-Faktor k_f	 12
Tabelle 2 – Beispiel für die Berechnung des elektrischen Abstandes für einige Schaltüberspannungswerte	15
Tabelle B.1 – Einteilung von Überspannungen nach IEC 60071-1	21
Tabelle D.1 – Funkenstreckenfaktoren für einige Leiter-Erde-Konfigurationen	25

	Seite
Tabelle E.1 – Atmosphärischer Gesamtkorrekturfaktor k_a für verschiedene Referenzhöhen und Werte für U_{90}	28
Tabelle G.1 – Beispiel für die Berechnung der maximalen Anzahl beschädigter Isolatoren (Funkenstreckenfaktor 1,4)	37
Tabelle G.2 – Beispiel für die Berechnung der maximalen Anzahl beschädigter Isolatoren (Funkenstreckenfaktor 1,2)	38

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm beschreibt ein Berechnungsverfahren für den Mindest-Arbeitsabstand für das Arbeiten unter Spannung bei maximalen Spannungen zwischen 72,5 kV und 800 kV. Diese Norm berücksichtigt Netzüberspannungen und die Arbeitsabstände in Luft zwischen Teilen und/oder zwischen Personen auf verschiedenem Potential.

Die nach dem in dieser Norm beschriebenen Verfahren berechnete erforderliche Stehspannung und die ebenso berechneten Mindest-Arbeitsabstände werden unter Berücksichtigung des Folgenden festgelegt:

- die Personen sind für das Arbeiten an unter Spannung stehenden Teilen ausgebildet und entsprechend befähigt;
- die zu erwartenden Überspannungen dürfen nicht den Wert überschreiten, der für die Bestimmung des erforderlichen Mindest-Arbeitsabstandes gewählt wurde;
- die transienten Überspannungen entsprechen den ermittelten Überspannungen;
- die Werkzeugisolierung zeigt keinen durchgängigen Feuchtigkeitfilm auf der Oberfläche;
- es wird kein Blitz im Umkreis von 10 km um den Arbeitsort beobachtet oder gehört;
- der Einfluss von leitenden Werkzeugteilen ist berücksichtigt;
- der Einfluss der geographischen Höhe auf die Durchschlagfestigkeit ist berücksichtigt.

Bei anderen als den oben genannten Bedingungen kann die Festlegung des Mindest-Arbeitsabstandes besondere Daten erfordern, die aus anderen Berechnungen stammen oder durch zusätzliche Laboruntersuchungen für die aktuelle Situation erzielt wurden.

2 Begriffe, Definitionen und Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe, Definitionen und Symbole.

2.1 Begriffe und Definitionen

2.1.1

höchste Betriebsspannung eines Netzes

U_s

größter Wert der Betriebsspannung, der zu einem beliebigen Zeitpunkt an einem beliebigen Punkt des Netzes bei Normalbetrieb auftritt (Leiter-Leiter-Spannung)

ANMERKUNG Transiente Überspannungen, z. B. hervorgerufen durch Schaltvorgänge im Netz und zeitweise auftretende außergewöhnliche Spannungsschwankungen, sind nicht berücksichtigt.

[IEV 601-01-23, modifiziert]

2.1.2

transiente Überspannung

schwingende oder nicht schwingende, in der Regel stark gedämpfte Überspannung von kurzer Dauer (einige Millisekunden oder weniger)

[IEV 604-03-13]

2.1.3

50%-Durchschlagsspannung

U_{50}

Spitzenwert einer Stoßspannung, der bei dielektrischen Prüfungen bei jedem Stoß mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % zu einem Durchschlag führt

[IEV 604-03-43]

2.1.4

statistische 90%-Stehstoßspannung

U_{90}

Spitzenwert einer Stoßspannung, dem die Isolierung unter festgelegten Bedingungen mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 % widersteht

ANMERKUNG Dieser Begriff gilt für selbstheilende Isolierungen.

[IEV 604-03-42, modifiziert]

2.1.5

statistische 2%-Überspannung

U_2

Scheitelwert einer transienten Überspannung, der mit einer Wahrscheinlichkeit von 2 % überschritten wird

[IEV 651-01-23, modifiziert]

2.1.6

für Arbeiten unter Spannung erforderlicher Isolationsgrad

statistische Stehstoßspannung der Isolierung an der Arbeitsstelle, die zur Verminderung des Risikos eines Durchbruchs dieser Isolierung auf ein akzeptierbar niedriges Niveau erforderlich ist

ANMERKUNG Ein akzeptierbar niedriges Risikoniveau wird allgemein als erreicht angesehen, wenn der Wert der statistischen Stehstoßspannung größer oder gleich der Überspannung ist, die mit einer Wahrscheinlichkeit von höchstens 2 % überschritten wird.

[IEV 651-01-17]

2.1.7

pu-Wert (eng.: per unit value)

u

Ausdruck des pu-Wertes der Amplitude einer Überspannung (oder einer Spannung) als Verhältnis zu $U_s \sqrt{2} / \sqrt{3}$

ANMERKUNG Dies gilt für die in [Abschnitt 4](#) definierten Spannungen u_{e2} und u_{p2} .

2.1.8

Mindest-Arbeitsabstand

D_A

Mindestabstand in Luft, der zwischen jedem Körperteil einer Person einschließlich aller aufgrund der Handhabung in direkten Kontakt kommenden Objekte (mit Ausnahme von geeigneten Werkzeugen für Arbeiten unter Spannung) und jedem Teil auf anderem Potential eingehalten werden muss

ANMERKUNG „Geeignete Werkzeuge“ sind Werkzeuge, die für das Arbeiten unter Spannung vorgesehen und für die Nennspannung der Spannung führenden Teile geeignet sind.

[Definition 2.7.1 von IEC 60743 und IEC 651-01-20, modifiziert]

2.1.9

elektrischer Abstand

D_U

Abstand in Luft, der erforderlich ist, um einen Durchschlag zwischen Spannung führenden Teilen oder zwischen Spannung führenden und geerdeten Teilen während des Arbeitens unter Spannung zu verhindern

[Definition 2.7.2 von IEC 60743 und IEC 651-01-21, modifiziert]

2.1.10 ergonomischer Abstand

D_E

Abstand in Luft zur Berücksichtigung unbeabsichtigter Bewegungen und Fehleinschätzungen des Abstands bei der Durchführung von Arbeiten

[Definition 2.7.3 von IEC 60743 und IEC 651-01-22]

2.1.11

Teil

jedes an der Arbeitsstelle vorhandene Element mit Ausnahme der Personen, der Werkzeuge für das Arbeiten unter Spannung und der Systemisolierung

2.1.12

Spannung führendes Teil

Leiter oder leitfähiges Teil, das bei bestimmungsgemäßem Betrieb unter Spannung gesetzt wird, einschließlich eines Neutralleiters, vereinbarungsgemäß jedoch keine PEN-Leiter [IEV 195-02-12], PEM-Leiter [IEV 195-02-13] oder PEL-Leiter [IEV 195-02-14]

ANMERKUNG Dieser Begriff impliziert nicht unbedingt eine Gefährdung durch elektrischen Schlag.

[Definition 2.1.2 von IEC 60743 und IEC 651-01-03, modifiziert]

2.1.13

Arbeitsstelle

jede Stelle und jeder Ort oder Bereich, an dem eine Arbeit ausgeführt wurde, wird oder ausgeführt werden soll

[IEV 651-01-08]

2.2 Im normativen Teil verwendete Symbole

β Verhältnis der Summe aller Zwischenelektroden-Längen zur ursprünglichen Länge der Luftstrecke

D Länge der Rest-Luftstrecke Leiter-Erde

D_A Mindest-Arbeitsabstand

D_E ergonomischer Abstand

D_U elektrischer Abstand, der erforderlich ist, um U_{90} zu erhalten

d_1, d_2, d_3, d_4 Abstand zwischen der (den) Person(en) und Teilen der Anlage mit unterschiedlichen elektrischen Potentialen (siehe [Bild 2](#))

F Summe aller Maße in Richtung der Achse der Luftstrecke, in der sich die Zwischenelektroden befinden (in Metern)

K_s statistischer Sicherheitsfaktor

K_t Faktor, der verschiedene Faktoren zusammenfasst, die die Festigkeit der Isolierstrecke beeinflussen

k_a atmosphärischer Gesamtkorrekturfaktor

k_d Koeffizient, der den durchschnittlichen Zustand der beschädigten Einheiten kennzeichnet

k_f Zwischenelektroden-Faktor

k_g Funkenstreckenfaktor

k_i	Isolatorketten-Faktor
k_s	statistischer Streuungsfaktor
L_f	ursprüngliche Länge der Luftstrecke
n_d	Anzahl der beschädigten Isolatoren in einer Kette mit n_o Einheiten
n_o	Anzahl von Einheiten (Isolatoren bzw. Isolatorabschnitte) in einer Isolatorkette, die nicht mit Lichtbogenschutzhörnern oder Lichtbogenschutzringen überbrückt sind
P	Länge der Rest-Luftstrecke Leiter-Leiter
r	Abstand eines leitenden Teils von der Luftstreckenachse
s_e	auf U_{50} normierter Wert der Standardabweichung in Prozent
U_2	statistische 2-%-Überspannung
U_{50}	50-%-Durchschlagspannung
U_{90}	statistische 90-%-Stehstoßspannung
U_{e2}	statistische 2-%-Leiter-Erde-Überspannung
U_{e90}	statistische 90-%-Leiter-Erde-Stehstoßspannung
U_{p2}	statistische 2-%-Leiter-Leiter-Überspannung
U_{p90}	statistische 90-%-Leiter-Leiter-Stehstoßspannung
u_{e2}	pu-Wert der statistischen 2-%-Leiter-Erde-Überspannung
u_{p2}	pu-Wert der statistischen 2-%-Leiter-Leiter-Überspannung
U_s	höchste Leiter-Leiter-Spannung eines Systems

3 Verfahrensweise

Das Verfahren zur Berechnung des Mindest-Arbeitsabstandes stützt sich auf drei Maßnahmen, die in Folgendem bestehen:

- Ermittlung der an der Arbeitsstelle zu erwartenden statistischen Überspannung (U_2) und anhand dieser Bestimmung der erforderlichen statistischen Stehstoßspannung der Isolierung an der Arbeitsstelle (U_{90});
- Berechnung des für die Stehstoßspannung U_{90} erforderlichen elektrischen Abstandes D_U ;
- Addition eines zusätzlichen Abstandes, um ergonomische Faktoren, die mit dem Arbeiten unter Spannung verbunden sind, wie z. B. versehentliche Bewegungen, zu berücksichtigen.

Der Mindest-Arbeitsabstand D_A wird folglich bestimmt als:

$$D_A = D_U + D_E \quad (1)$$

Dabei ist:

D_U der elektrische Abstand, der erforderlich ist, um U_{90} zu erhalten;

D_E der erforderliche ergonomische Abstand, der von den Arbeitsverfahren, dem Grad der Ausbildung und den Fähigkeiten der Personen, der Bauart und Eventualitäten wie versehentlichen Bewegungen sowie Fehlern bei der Abschätzung von Abständen abhängig ist (Einzelheiten hierzu siehe [Anhang A](#)).

4 Faktoren mit Einfluss auf die Berechnung

4.1 Statistische Überspannung

Die elektrische Beanspruchung an der Arbeitsstelle muss bekannt sein. Die elektrische Beanspruchung wird durch die statistische Überspannung beschrieben, die an der Arbeitsstelle auftreten kann. In einem dreiphasigen Wechselspannungsnetz ist diese statistische Überspannung U_{e2} zwischen Leiter und Erde:

$$U_{e2} = \left(\sqrt{2} / \sqrt{3} \right) U_s u_{e2} \quad (2)$$

Dabei ist:

$U_s \left(\sqrt{2} / \sqrt{3} \right)$ die höchste Leiter-Erde-Scheitelspannung des Systems in kV und u_{e2} die statistische Leiter-Erde-Überspannung als pu-Wert.

Die statistische Überspannung U_{p2} zwischen zwei Leitern ist:

$$U_{p2} = \left(\sqrt{2} / \sqrt{3} \right) U_s u_{p2} \quad (3)$$

Dabei ist u_{p2} die statistische Leiter-Leiter-Überspannung als pu-Wert.

Sind die Leiter-Leiter-Werte nicht als pu-Werte verfügbar, kann mit folgender Gleichung ein Näherungswert aus u_{e2} abgeleitet werden:

$$u_{p2} = 1,35 u_{e2} + 0,45 \quad (4)$$

Die zu berücksichtigenden transienten Überspannungen sind die höchsten Spannungen, die entweder an der Anlage, an der gearbeitet wird, oder an der Arbeitsstelle auftreten können, einerlei, ob sie durch Netzfehler oder durch Schaltvorgänge verursacht werden (siehe [Anhang B](#)).

4.2 Festigkeit der Isolierstrecke

Für die Bestimmung des elektrischen Abstandes ist als erforderliche Stehspannung für das Arbeiten unter Spannung die Spannung U_{90} anzunehmen, die aus dem allgemeinen Ausdruck

$$U_{90} = K_s U_2 \quad (5)$$

bestimmt wird.

Betrachtet man die Leiter-Erde-Spannung und die Leiter-Leiter-Spannung getrennt und kombiniert man Gleichung (5) mit den Gleichungen (2) und (3), so ergibt sich:

$$U_{e90} = K_s \left(\sqrt{2} / \sqrt{3} \right) U_s u_{e2} \quad (6)$$

$$U_{p90} = K_s \left(\sqrt{2} / \sqrt{3} \right) U_s u_{p2} \quad (7)$$

Dabei sind:

K_s der statistische Sicherheitsfaktor (1,1 für die Gleichungen (5), (6) und (7)) (siehe [Abschnitt 5](#));

U_{e90} und U_{p90} die statistischen Leiter-Erde- bzw. Leiter-Leiter-Stehstoßspannungen in kV.