



	<b>DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1)</b>	
	Diese Norm ist zugleich eine <b>VDE-Bestimmung</b> im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div data-bbox="240 510 408 539">ICS 91.120.40</div> <div data-bbox="1094 510 1401 539">Einsprüche bis 2010-03-31</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="628 618 1056 705" style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <b>Entwurf</b> </div> <div data-bbox="1094 555 1453 730">           Vorgesehen als Ersatz für            DIN EN 62305-1            (VDE 0185-305-1):2006-10 und            DIN EN 62305-1 Berichtigung 1            (VDE 0185-305-1            Berichtigung 1):2007-06         </div> </div> <div style="margin-top: 20px;"> <p><b>Blitzschutz –</b>  <b>Teil 1: Allgemeine Grundsätze</b>  <b>(IEC 81/335/CDV:2009);</b>  <b>Deutsche Fassung FprEN 62305-1:2009</b></p> <p>Protection against lightning –        Part 1: General Principles        (IEC 81/335/CDV:2009);        German version FprEN 62305-1:2009</p> <p>Protection contre la foudre –        Partie 1: Principes généraux        (CEI 81/335/CDV:2009);        Version allemande FprEN 62305-1:2009</p> <p><b>Anwendungswarnvermerk</b></p> <p>Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2010-01-25 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.</p> <p>Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.</p> <p>Stellungnahmen werden erbeten</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– vorzugsweise als Datei per E-Mail an <b>dke@vde.com</b> in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter <b>www.dke.de/stellungnahme</b> abgerufen werden</li> <li>– oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.</li> </ul> <p>Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.</p> <p style="text-align: right;">Gesamtumfang 138 Seiten</p> <p style="text-align: center;">DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE</p> </div>		

## Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

## Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments FprEN 62305-1:2009 „Blitzschutz – Teil 1: Allgemeine Grundsätze“ (Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dem entsprechend ist das internationale Dokument IEC 81/335/CDV:2009 „Protection against lightning – Part 1: General Principles“ unverändert in den Entwurf FprEN 62305-1:2009 übernommen worden.

Da die Deutsche Fassung noch nicht endgültig mit der Englischen und Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung des IEC-CDV entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 81 „Lightning protection“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet.

Bei der Abstimmung zu dem Europäischen Schluss-Entwurf bei CENELEC und dem Internationalen Schluss-Entwurf bei IEC [Final Draft International Standard (FDIS)] sind jeweils nur „JA/NEIN“-Entscheidungen möglich, wobei „NEIN“-Entscheidungen fundiert begründet werden müssen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium K 251 „Blitzschutzanlagen und Blitzschutzbauteile“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE ([www.dke.de](http://www.dke.de)) zuständig.

## Änderungen

Gegenüber DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1):2006-10 und DIN EN 62305-1 Berichtigung 1 (VDE 0185-305-1 Berichtigung 1):2007-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Einführung der Begriffe LPS für Blitzschutzsystem und EPS für das Schutzsystem für elektrische und elektronische Einrichtungen. Nur ein vollständiger Blitzschutz (LP) aus LPS und EPS bietet wirksamen Schutz durch ein abgestimmtes Schutzsystem;
- b) Schutz von Versorgungsleitungen wird nicht mehr behandelt;
- c) Abschnitt zur Notwendigkeit und zum wirtschaftlichen Nutzen von Blitzschutz wurde überarbeitet;
- d) der erste negative Stoßstrom wurde als neue Komponente des Blitzstroms mit einer Wellenform von  $1/200 \mu\text{s}$  eingeführt, weil er für manche Induktionswirkungen die höchste Bedrohung ergibt. Er wird nur für die Berechnungen, nicht aber für Prüfungen verwendet;
- e) die Anhänge A, B, und C wurden unter Berücksichtigung des ersten negativen Stoßstroms überarbeitet;
- f) Anhang E wurde überarbeitet. Er enthält Angaben zu den durch Blitz erzeugten Stoßwellen an verschiedenen Einbauorten. Die Werte wurden ergänzt und teilweise 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 in Tabelle NA.1 wiedergegeben.

**Tabelle NA.1**

<b>Europäische Norm</b>	<b>Internationale Norm</b>	<b>Deutsche Norm</b>	<b>Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk</b>
EN 60664-1:2007	IEC 60664-1:1992 (zurückgezogen) ersetzt durch: IEC 60664-1:2007	DIN EN 60664-1 (VDE 0110-1):2008-01	VDE 0110-1
EN 61400-4-5:2006	IEC 61000-4-5:1995 (zurückgezogen) ersetzt durch: IEC 61000-4-5:2005	DIN EN 61000-4-5 (VDE 0847-4-5):2007-06	VDE 0847-4-5
–	IEC 61643-1:2005	–	–
CLC/TS 61643-12:2006	IEC 61643-12:2002 (zurückgezogen) ersetzt durch: IEC 61643-12:2008	DIN CLC/TS 61643-12 (VDE V 0675-6-12):2007-10	VDE V 0675-6-12
EN 61643-21	IEC 61643-21	DIN EN 61643-21 (VDE 0845-3-1)	VDE 0845-3-1
EN 62305 (Reihe)	IEC 62305 (Reihe)	DIN EN 62305 (VDE 0185-305) (Reihe)	VDE 0185-305 (Reihe)
EN 62305-2	IEC 62305-2	DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2)	VDE 0185-305-2
EN 62305-3	IEC 62305-3	DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3)	VDE 0185-305-3
EN 62305-4	IEC 62305-4	DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4)	VDE 0185-305-4

# — Entwurf —

E DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1):2010-01

## Nationaler Anhang NB (informativ)

### Literaturhinweise

DIN CLC/TS 61643-12 (VDE V 0675-6-12):2007-10, *Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung – Teil 12: Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Niederspannungsanlagen – Auswahl und Anwendungsgrundsätze (IEC 61643-12:2002, modifiziert); Deutsche Fassung LC/TS 61643-12:2006*

DIN EN 60664-1 (VDE 0110-1):2008-01, *Isolationskoordination für elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen – Teil 1: Grundsätze, Anforderungen und Prüfungen (IEC 60664-1:2007); Deutsche Fassung EN 60664-1:2007*

DIN EN 61000-4-5 (VDE 0847-4-5):2007-06, *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-5: Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen Stoßspannungen (IEC 61000-4-5:2005); Deutsche Fassung EN 61000-4-5:2006*

DIN EN 61643-21 (VDE 0845-3-1), *Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung – Teil 21: Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Telekommunikations- und signalverarbeitenden Netzwerken – Leistungsanforderungen und Prüfverfahren*

DIN EN 62305 (VDE 0185-305) (Reihe), *Blitzschutz*

DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2), *Blitzschutz – Teil 2: Risiko-Management*

DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3), *Blitzschutz – Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen*

DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4), *Blitzschutz – Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen*

**Deutsche Fassung**

**Blitzschutz –  
Teil 1: Allgemeine Grundsätze**

**Inhalt**

	Seite
Einleitung .....	4
1 Anwendungsbereich .....	5
2 Normative Verweisungen .....	5
3 Begriffe .....	5
4 Parameter des Blitzstroms .....	11
5 Schäden durch Blitzeinschläge .....	11
5.1 Schäden an einer baulichen Anlage.....	11
5.2 Schadensarten .....	14
6 Notwendigkeit und wirtschaftlicher Nutzen des Blitzschutzes.....	15
6.1 Notwendigkeit des Blitzschutzes .....	15
6.2 Wirtschaftlicher Nutzen des Blitzschutzes.....	16
7 Schutzmaßnahmen .....	16
7.1 Schutzmaßnahmen zur Verringerung der Verletzung von Lebewesen durch elektrischen Schlag.....	16
7.2 Schutzmaßnahmen zur Verringerung von physikalischen Schäden.....	17
7.3 Schutzmaßnahmen zur Verringerung von Ausfällen elektrischer und elektronischer Systeme .....	17
7.4 Auswahl von Schutzmaßnahmen.....	17
8 Grundlegende Kriterien für den Schutz von baulichen Anlagen .....	17
8.1 Gefährdungspegel (LPL) .....	18
8.2 Blitzschutzzonen (LPZ).....	20
8.3 Schutz von baulichen Anlagen .....	23
Anhang A (informativ) Parameter des Blitzstroms.....	25
Anhang B (informativ) Zeitfunktionen des Blitzstroms für Analysezwecke.....	35
Anhang C (informativ) Nachbildung des Blitzstroms für Prüfzwecke .....	40
Anhang D (informativ) Prüfparameter für die Nachbildung von Blitzwirkungen auf LPS-Komponenten .....	44
Anhang E (informativ) Durch Blitz erzeugte Stoßwellen an verschiedenen Einbauorten .....	58
Literaturhinweise.....	64
 <b>Bilder</b>	
Bild 1 – Zusammenhang zwischen den Teilen dieser Norm .....	4
Bild 3 – LPZ festgelegt durch ein LPS (IEC 62305-3) .....	21
Bild 4 – LPZ festgelegt durch Schutzmaßnahmen gegen LEMP (IEC 62305-4).....	22
Bild A.1 – Festlegung der Stoßstromparameter (typisch $T_2 < 2$ ms) .....	25

# — Entwurf —

E DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1):2010-01  
FprEN 62305-1:2009

	Seite
Bild A.2 – Festlegung der Langzeitstromparameter (typisch $2 \text{ ms} < T_{\text{long}} < 1 \text{ s}$ ).....	26
Bild A.3 – Mögliche Komponenten von Abwärtsblitzen (typisch in flacher Umgebung und für niedrige bauliche Anlagen) .....	26
Bild A.4 – Mögliche Komponenten von Aufwärtsblitzen (typisch an exponierten und/oder höheren baulichen Anlagen) .....	27
Bild A.5 – Summenhäufigkeitsverteilung der Blitzstromparameter (Geraden durch die 95%- und 5%-Werte).....	31
Bild B.1 – Zeitlicher Verlauf der Stirn des ersten positiven Stoßstroms .....	36
Bild B.2 – Zeitlicher Verlauf des Rückens des ersten positiven Stoßstroms .....	36
Bild B.3 – Zeitlicher Verlauf der Stirn des ersten negativen Stoßstroms .....	37
Bild B.4 – Zeitlicher Verlauf des Rückens des ersten negativen Stoßstroms.....	37
Bild B.5 – Zeitlicher Verlauf der Stirn der negativen Folgestoßströme .....	38
Bild B.6 – Zeitlicher Verlauf des Rückens der negativen Folgestoßströme.....	38
Bild B.7 – Amplitudendichte des Blitzstroms entsprechend Gefährdungspegel LPL I .....	39
Bild C.1 – Beispiel eines Prüfgenerators für die Nachbildung der spezifischen Energie des ersten positiven Stoßstroms und der Ladung des Langzeitstroms.....	41
Bild C.2 – Festlegung der Stromsteilheit nach Tabelle C.3 .....	42
Bild C.3 – Beispiel eines Prüfgenerators für die Nachbildung der Stirnsteilheit des ersten positiven Stoßstroms bei räumlich ausgedehnten Prüflingen.....	43
Bild C.4 – Beispiel eines Prüfgenerators für die Nachbildung der Stirnsteilheit des negativen Folgestoßstroms bei räumlich ausgedehnten Prüflingen .....	43
Bild D.1 – Allgemeine Anordnung zweier Leitungen zur Berechnung der elektrodynamischen Kraft.....	50
Bild D.2 – Typische Leitungsanordnung in einem LPS.....	51
Bild D.3 – Belastungsdiagramm für die Anordnung nach Bild D.2 .....	51
Bild D.4 – Kraft pro Längeneinheit entlang der horizontalen Leitung in Bild D.2.....	51
<b>Tabellen</b>	
Tabelle 1 – Auswirkungen von Blitzeinschlägen auf typische bauliche Anlagen.....	12
Tabelle 2 – Schäden und Verluste in einer baulichen Anlage entsprechend den verschiedenen Einschlagpunkten des Blitzes .....	14
Tabelle 3 – Maximalwerte von Blitzstromparametern entsprechend dem Gefährdungspegel LPL.....	19
Tabelle 4 – Minimalwerte der Blitzstromparameter und die zugehörigen Blitzkugelradien entsprechend dem Gefährdungspegel LPL.....	19
Tabelle 5 – Wahrscheinlichkeiten für die Grenzwerte der Blitzstromparameter .....	20
Tabelle A.1 – Tabellenwerte der Blitzstromparameter, entnommen aus CIGRE (Electra Nr. 41 oder Nr. 69*) [3], [4].....	28
Tabelle A.2 – Logarithmische Normalverteilung der Blitzstromparameter Mittelwert $\mu$ und Streuung $\sigma_{\text{log}}$ , berechnet aus den 95%- und 5%-Werten nach CIGRE (Electra Nr. 41 oder Nr. 69*) [3], [4].....	29
Tabelle A.3 – Werte der Wahrscheinlichkeit $P$ als Funktion des Blitzstroms $I$ .....	30
Tabelle B.1 – Parameter für die Gleichung (B.1) .....	35
Tabelle C.1 – Prüfparameter für den ersten positiven Stoßstrom .....	41

	Seite
Tabelle C.2 – Prüfparameter für den Langzeitstrom .....	41
Tabelle C.3 – Prüfparameter für die Stoßströme.....	42
Tabelle D.1 – Zusammenfassung der Blitz-Gefährdungsparameter, die für die Berechnung der Prüfwerte für unterschiedliche LPS-Komponenten und für unterschiedliche LPL-Gefährdungspegel zu berücksichtigen sind.....	45
Tabelle D.2 – Physikalische Kennwerte typischer Werkstoffe für Komponenten des LPS .....	48
Tabelle D.3 – Temperaturanstieg für verschiedene Leiterquerschnitte als Funktion der spezifischen Energie $W/R$ .....	48
Tabelle E.1 – Äquivalente Erdungswiderstände $Z$ und $Z_1$ in Abhängigkeit vom spezifischen Bodenwiderstand.....	60
Tabelle E.2a – Zu erwartende Stoßströme durch Blitzeinschlag bei Niederspannungssystemen.....	61
Tabelle E.2b – Zu erwartende Stoßströme durch Blitzeinschlag bei Telekommunikationssystemen .....	62

## Einleitung

Es gibt weder Einrichtungen noch Verfahren, mit denen die natürlichen Wettererscheinungen so beeinflusst werden können, dass Blitzentladungen verhindert werden können. Blitzeinschläge in oder in der Nähe von baulichen Anlagen (oder in Versorgungsleitungen, die in bauliche Anlagen eingeführt sind), sind gefährlich für Menschen, für die baulichen Anlagen selbst, für ihre Einrichtungen und Installationen sowie für die Versorgungsleitungen. Deshalb ist die Anwendung von Blitzschutzmaßnahmen wesentlich.

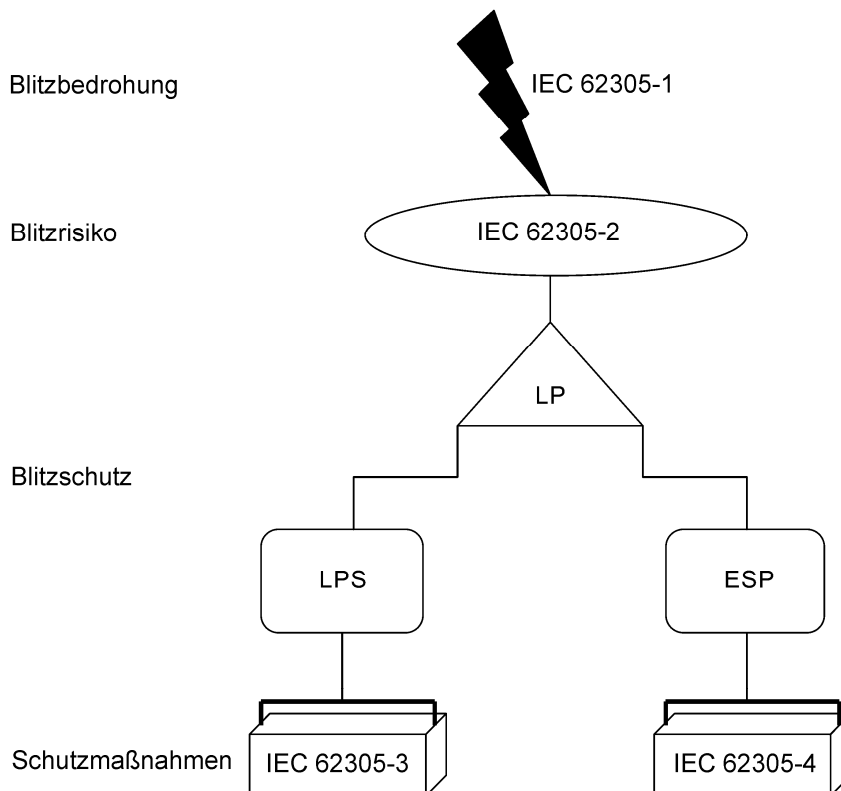
Die Notwendigkeit des Schutzes, die wirtschaftlichen Vorteile der Installation von Schutzmaßnahmen und die Auswahl angemessener Schutzmaßnahmen sollten nach dem Risiko-Management bestimmt werden. Das Verfahren für das Risiko-Management wird in IEC 62305-2 behandelt.

Die Wirksamkeit der in dieser Norm betrachteten Schutzmaßnahmen zur Reduzierung des Risikos ist nachgewiesen.

Alle Maßnahmen zum Blitzschutz bilden zusammen das gesamte Blitzschutzsystem. Aus praktischen Gründen werden die Kriterien für Planung, Errichtung und Instandhaltung von Blitzschutzmaßnahmen in zwei getrennten Gruppen betrachtet:

- die erste Gruppe betrifft Schutzmaßnahmen zur Verringerung von physikalischen Schäden und der Lebensgefahr in einer baulichen Anlage und wird in IEC 62305-3 beschrieben;
- die zweite Gruppe betrifft Schutzmaßnahmen zur Verringerung des Ausfalls von elektrischen und elektronischen Systemen in einer baulichen Anlage und wird in IEC 62305-4 beschrieben.

Der Zusammenhang zwischen den Teilen dieser Norm ist in Bild 1 dargestellt.



**Bild 1 – Zusammenhang zwischen den Teilen dieser Norm**



## 1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 62305 enthält allgemeine Grundsätze, die für den Blitzschutz von baulichen Anlagen, darin befindlichen Installationen, Einrichtungen und Personen zu befolgen sind.

Folgende Anwendungsbereiche sind nicht Gegenstand dieser Norm:

- Bahnanlagen;
- Kraftfahrzeuge, Schiffe, Flugzeuge, Offshore-Anlagen;
- in Erde verlegte Hochdruck-Rohrleitungen;
- Rohre, Stromversorgungs- und Telekommunikationsleitungen, die nicht in eine bauliche Anlage eingeführt sind.

ANMERKUNG Diese Anlagen unterliegen üblicherweise besonderen Vorschriften seitens verschiedener Behörden.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 62305-2, *Protection against lightning – Part 2: Risk management*

IEC 62305-3, *Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard*

IEC 62305-4, *Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures*

## 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

### 3.1

#### **Erdblitz**

elektrische Entladung atmosphärischen Ursprungs zwischen Wolke und Erde, bestehend aus einem Teilblitz oder mehreren Teilblitzen

### 3.2

#### **Abwärtsblitz**

Blitz, eingeleitet durch eine abwärts gerichtete Vorentladung von der Wolke zur Erde

ANMERKUNG Ein Abwärtsblitz besteht aus einem ersten Stoßstrom, dem Folgestoßströme nachfolgen können. Einem oder mehreren Stoßströmen kann ein Langzeitstrom nachfolgen.

### 3.3

#### **Aufwärtsblitz**

Blitz, eingeleitet durch eine aufwärts gerichtete Vorentladung von einer geerdeten baulichen Anlage zur Wolke

ANMERKUNG Ein Aufwärtsblitz besteht aus einem ersten Langzeitstrom mit oder ohne mehrfach überlagerten Stoßströmen. Einem oder mehreren Stoßströmen kann ein Langzeitstrom nachfolgen.

### 3.4

#### **Teilblitz**

einzelne elektrische Entladung in einem Erdblitz

### 3.5

#### **Stoßstrom**

Teilblitz, der einem Impulsstrom entspricht

ANMERKUNG Dieser Strom hat eine Rückenhalbwertzeit  $T_2$  von üblicherweise kleiner als 2 ms (siehe Bild A.1).

### 3.6

#### **Langzeitstrom**

Teilblitz, der einem andauernden Strom entspricht

ANMERKUNG Die Dauer  $T_{\text{long}}$  dieses Langzeitstroms (Dauer vom 10%-Wert der Stirn bis zum 10%-Wert des Rückens) ist üblicherweise größer als 2 ms und kleiner als 1 s (siehe Bild A.2).

### 3.7

#### **Mehrfachblitz**

Blitz, der durchschnittlich aus 3 bis 4 Teilblitzen besteht, deren dazwischen liegende typische Zeitintervalle etwa 50 ms betragen

ANMERKUNG Es wurden Ereignisse mit bis zu einigen Dutzend Teilblitzen und dazwischen liegenden Zeitintervallen im Bereich von 10 ms bis 250 ms beobachtet.

### 3.8

#### **Einschlagpunkt**

Punkt, an dem ein Blitz die Erde oder ein hervorstehendes Objekt (z. B. bauliche Anlage, LPS, Versorgungsleitung, Baum usw.) trifft

ANMERKUNG Ein Blitz kann mehr als einen Einschlagpunkt haben.

### 3.9

#### **Blitzstrom**

$i$

am Einschlagpunkt fließender Strom

### 3.10

#### **Scheitelwert**

$I$

Maximalwert des Blitzstroms

### 3.11

#### **mittlere Steilheit des Stoßstroms**

mittlere Änderungsgeschwindigkeit des Stroms im Intervall  $\Delta t = t_2 - t_1$

ANMERKUNG Sie wird angegeben als Differenz der Stromwerte  $\Delta i = i(t_2) - i(t_1)$  zu Beginn und am Ende dieses Intervalls, dividiert durch  $\Delta t = t_2 - t_1$  (siehe Bild A.1).

### 3.12

#### **Stirnzeit des Stoßstroms**

$T_1$

virtueller Parameter, festgelegt als das 1,25fache der Zeit zwischen den Punkten, an denen der Strom 10 % und 90 % seines Scheitelwertes durchläuft (siehe Bild A.1)

### 3.13

#### **virtueller Beginn des Stoßstroms**

$O_1$

Schnittpunkt einer durch die Bezugspunkte bei 10 % und 90 % der Stirn des Entladungsstroms gezogenen Geraden mit der Zeitachse (siehe Bild A.1). Er eilt um  $0,1 T_1$  dem Zeitpunkt voraus, an dem der Strom 10 % seines Scheitelwertes erreicht

### 3.14

#### Rückenhalbwertzeit des Stoßstroms

$T_2$

virtueller Parameter, festgelegt als das Zeitintervall zwischen virtuellem Beginn  $O_1$  und dem Zeitpunkt, an dem der Strom den Halbwert des Scheitelwertes unterschreitet (siehe Bild A.1)

### 3.15

#### Blitzdauer

$T$

Zeit, in der der Blitzstrom am Einschlagpunkt fließt

### 3.16

#### Dauer des Langzeitstroms

$T_{\text{long}}$

Dauer, während der die Amplitude eines Langzeitstroms größer als 10 % des Scheitelwertes ist (siehe Bild A.2)

### 3.17

#### Ladung des Blitzes

$Q_{\text{flash}}$

Zeitintegral des Blitzstroms über die gesamte Blitzdauer

### 3.18

#### Ladung des Stoßstroms

$Q_{\text{short}}$

Zeitintegral des Blitzstroms bei einem Stoßstrom

### 3.19

#### Ladung des Langzeitstroms

$Q_{\text{long}}$

Zeitintegral des Blitzstroms bei einem Langzeitstrom

### 3.20

#### spezifische Energie

$W/R$

Zeitintegral des Quadrates des Blitzstroms über die gesamte Blitzdauer

ANMERKUNG Sie stellt die vom Blitzstrom an einen Einheitswiderstand abgegebene Energie dar.

### 3.21

#### spezifische Energie eines Stoßstroms

Zeitintegral des Quadrates des Blitzstroms über die Dauer des Stoßstroms

ANMERKUNG Die spezifische Energie des Langzeitstroms ist vernachlässigbar.

### 3.22

#### zu schützende bauliche Anlage

bauliche Anlage, deren Schutz gegen die Auswirkungen von Blitzeinschlägen entsprechend dieser Norm erforderlich ist

ANMERKUNG Eine zu schützende bauliche Anlage kann selbst ein Teil einer größeren baulichen Anlage sein.

### 3.23

#### Versorgungsleitung

Stromversorgungsleitung oder Telekommunikationsleitung, die mit der zu schützenden baulichen Anlage verbunden ist

### 3.24

#### Telekommunikationsleitungen

Leitungen, die für die Kommunikation zwischen Einrichtungen, die in getrennten baulichen Anlagen untergebracht sein können, vorgesehen sind, wie z. B. Telefonleitungen und Datenleitungen

**3.25**

**Stromversorgungsleitungen**

Übertragungsleitungen, die elektrische Energie in eine bauliche Anlage zur Versorgung der darin befindlichen elektrischen und elektronischen Einrichtungen einspeisen, wie Niederspannungs- (LV) oder Hochspannungsnetze (HV)

**3.26**

**Blitzeinschlag in eine bauliche Anlage**

Blitz, der direkt in eine zu schützende bauliche Anlage einschlägt

**3.27**

**Blitzeinschlag neben einer baulichen Anlage**

Blitz, der nahe genug neben einer zu schützenden baulichen Anlage einschlägt, dass er gefährliche Überspannungen erzeugen kann

**3.28**

**elektrisches System**

System, das Niederspannungsbauteile für die elektrische Energieversorgung enthält

**3.29**

**elektronisches System**

System, das empfindliche elektronische Bauteile enthält, wie Kommunikationseinrichtungen, Rechner, Steuer- und Messsysteme, Funkanlagen, Anlagen der Leistungselektronik

**3.30**

**inneres System**

elektrische und elektronische Systeme in einer baulichen Anlage

**3.31**

**physikalischer Schaden**

Schaden an einer baulichen Anlage (oder deren Inhalt) aufgrund mechanischer, thermischer, chemischer und explosiver Auswirkungen eines Blitzeinschlags

**3.32**

**Verletzungen von Lebewesen**

dauerhafte Verletzungen, einschließlich Tod, von Menschen oder Tieren durch elektrischen Schlag als Folge von Berührungs- und Schrittspannungen, die von einem Blitzeinschlag verursacht werden

ANMERKUNG Obwohl Lebewesen auch auf andere Weise verletzt werden können, ist der Begriff Verletzung von Lebewesen in dieser Norm begrenzt auf die Bedrohung durch elektrischen Schlag (Schadensursache D1).

**3.33**

**Ausfall eines elektrischen und elektronischen Systems**

bleibender Schaden an einem elektrischen und elektronischen System durch LEMP

**3.34**

**elektromagnetischer Blitzimpuls**

**LEMP**

(en: lightning electromagnetic impulse)

alle elektromagnetischen Auswirkungen des Blitzstroms die durch galvanische, induktive oder kapazitive Kopplung leitungsgeführte Stoßwellen und elektromagnetische Impulsfelder erzeugen

**3.35**

**Stoßwelle**

(en: surge)

durch LEMP verursachte transiente Welle, die als Überspannung und/oder Überstrom auftritt

### 3.36

#### **Blitzschutzzone**

##### **LPZ**

[en: lightning protection zone]

Zone, in der die elektromagnetische Umgebung hinsichtlich Blitzgefährdung festgelegt ist

ANMERKUNG Die Zonengrenzen einer LPZ sind nicht unbedingt physikalische Grenzen (z. B. Wände, Boden oder Decke).

### 3.37

#### **Schadensrisiko**

##### **R**

wahrscheinlicher durchschnittlicher jährlicher Verlust (Personen und Güter) durch Blitzeinschlag, bezogen auf den Gesamtwert (Personen und Güter) der zu schützenden baulichen Anlage.

### 3.38

#### **akzeptierbares Schadensrisiko**

##### **R<sub>T</sub>**

Größtwert eines Schadensrisikos, der für die zu schützende bauliche Anlage akzeptierbar ist

### 3.39

#### **Gefährdungspegel**

##### **LPL**

[en: lightning protection level]

Zahlenwert, der auf einen Satz von Blitzstrom-Parameterwerten hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit bezogen wird, mit der zugehörige größte und kleinste Bemessungswerte bei natürlich auftretenden Blitzen nicht überschritten werden

ANMERKUNG Der Gefährdungspegel wird zur Auslegung von Schutzmaßnahmen entsprechend dem zutreffenden Satz der Blitzstromparameter verwendet.

### 3.40

#### **Schutzmaßnahmen**

Maßnahmen, die für eine zu schützende bauliche Anlage angewendet werden, um das Schadensrisiko durch Blitzeinschlag zu verringern

### 3.41a

#### **Blitzschutz**

##### **LP**

[en: lightning protection]

vollständiges System für den Schutz von baulichen Anlagen und/oder elektrischen und elektronischen Einrichtungen gegen die Auswirkungen von Blitzeinschlägen. Es besteht aus dem Blitzschutzsystem LPS und dem Schutzsystem von elektrischen und elektronischen Einrichtungen ESP

### 3.41

#### **Blitzschutzsystem**

##### **LPS**

[en: lightning protection system]

vollständiges System, das zur Verringerung physikalischer Schäden an einer baulichen Anlage durch direkte Blitzeinschläge angewendet wird

ANMERKUNG Es besteht sowohl aus dem äußeren als auch aus dem inneren Blitzschutz.

### 3.42

#### **äußerer Blitzschutz**

Teil des Blitzschutzsystems, bestehend aus einer Fangeinrichtung, einer Ableitungseinrichtung und einer Erdungsanlage

### 3.43

#### **innerer Blitzschutz**

Teil des Blitzschutzsystems, bestehend aus einem Blitzschutz-Potentialausgleich und/oder der elektrischen Isolation gegenüber dem äußeren Blitzschutz

### 3.44

#### **Fangeinrichtung**

Teil des äußeren Blitzschutzes aus metallenen Elementen, wie Stäben, vermaschten Leitern oder gespannten Seilen, der zum Auffangen der Blitze bestimmt ist

### 3.45

#### **Ableitungseinrichtung**

Teil des äußeren Blitzschutzes, der dazu bestimmt ist, den Blitzstrom von der Fangeinrichtung zur Erdungsanlage abzuleiten

### 3.46

#### **Erdungsanlage**

Teil des äußeren Blitzschutzes, der den Blitzstrom in die Erde ableitet und dort verteilt

### 3.47

#### **äußere leitende Teile**

ausgedehnte metallene Bauteile, die in die zu schützende bauliche Anlage eingeführt oder herausgeführt werden, wie Rohrleitungen, Kabelschirme, Metallkanäle usw., und die einen Teil des Blitzstroms führen können

### 3.48

#### **Blitzschutz-Potentialausgleich**

(en: lightning equipotential bonding)

Potentialausgleich von voneinander getrennten metallenen Teilen mit dem LPS durch direkten Anschluss oder Anschluss über Überspannungsschutzgeräte zur Verringerung der durch den Blitzstrom verursachten Potentialdifferenzen

### 3.49

#### **Stoßerdungswiderstand**

Verhältnis der Scheitelwerte der Erderspannung und des Erderstroms, die im Allgemeinen nicht gleichzeitig auftreten

### 3.50

#### **Schutzsystem von elektrischen und elektronischen Einrichtungen**

##### **ESP**

en: electrical and electronic system protection

Maßnahmen zur Verringerung des Risikos von Ausfällen elektrischer und elektronischer Einrichtungen durch LEMP

ANMERKUNG Dieses Schutzsystem ist Bestandteil des gesamten Blitzschutzes LP.

### 3.51

#### **magnetische Schirmung**

geschlossene metallene gitterartige oder durchgängige Schirmung, die die zu schützende bauliche Anlage oder einen Teil davon umgibt, um Ausfälle elektrischer und elektronischer Einrichtungen zu verringern

### 3.52

#### **Überspannungsschutzgerät**

##### **SPD**

(en: surge protective device)

Gerät, das dazu bestimmt ist, transiente Überspannungen zu begrenzen und Stoßströme abzuleiten. Es enthält mindestens ein nichtlineares Bauelement.

### 3.53

#### **koordiniertes SPD-System**

SPDs, die fachgerecht ausgewählt, koordiniert und installiert werden, um ein System zu bilden, das Ausfälle von elektrischen und elektronischen Systemen verringert

### 3.54

#### **Bemessungs-Stehstoßspannung**

$U_w$

einem Betriebsmittel oder einem Teil davon vom Hersteller zugewiesene Stehstoßspannung, die das festgelegte Stehvermögen seiner Isolierung gegen Überspannungen charakterisiert

ANMERKUNG Für die Zwecke dieser Norm wird nur die Stehstoßspannung zwischen Leiter und Erde betrachtet.

(IEC 60664-1:2002) [1]<sup>1)</sup>

### 3.55

#### **isolierende Schnittstellen**

Geräte, die Stoßwellen auf Leitungen, die in eine LPZ eintreten, vermindern können. Solche Geräte umfassen: Isoliertransformatoren mit geerdetem Schirm zwischen den Wicklungen, metallfreie Lichtwellenleiter und Optokoppler

ANMERKUNG Die Isolationsfestigkeit dieser Vorrichtungen muss dieser Anwendung entsprechen.

## 4 Parameter des Blitzstroms

Die Parameter des Blitzstroms, die in der Reihe IEC 62305 verwendet werden, sind in Anhang A angegeben.

Die für Analysezwecke anzuwendende Zeitfunktion des Blitzstroms ist in Anhang B enthalten.

Angaben zur Simulation von Blitzströmen für Prüfungen liefert Anhang C.

Die grundsätzlichen Parameter, die in einem Laboratorium für die Nachbildung der Auswirkungen von Blitzeinschlägen auf Blitzschutzbauteile anzuwenden sind, werden in Anhang D beschrieben.

Angaben zu Stoßwellen an verschiedenen Punkten der Installation, die durch Blitzeinschläge verursacht werden, liefert Anhang E.

## 5 Schäden durch Blitzeinschläge

### 5.1 Schäden an einer baulichen Anlage

Blitzeinschläge in eine bauliche Anlage können einen Schaden an der baulichen Anlage selbst oder den darin befindlichen Personen und Inhalten verursachen, einschließlich Ausfall von inneren Systemen. Diese Schäden und Ausfälle können sich auch auf die Umgebung der baulichen Anlage ausdehnen und können sogar die nähere Umgebung beeinflussen. Die Größe der Ausdehnung ist von den Kennwerten der baulichen Anlage und des Blitzes abhängig.

#### 5.1.1 Auswirkungen eines Blitzeinschlags auf eine bauliche Anlage

Für Blitzauswirkungen sind folgende Hauptkennwerte einer baulichen Anlage von Bedeutung:

- Aufbau (z. B. Holz, Ziegel, Beton, bewehrter Beton, Stahlskelettaufbau);
- Funktion (Wohnhaus, Büro, Bauernhof, Theater, Hotel, Schule, Krankenhaus, Museum, Kirche, Gefängnis, Warenhaus, Bank, Fabrik, Industrieanlage, Sportfläche);

---

<sup>1)</sup> Verweise in eckigen Klammern beziehen sich auf die Literaturhinweise.

## — Entwurf —

**E DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1):2010-01**  
**FprEN 62305-1:2009**

- darin befindliche Lebewesen und Gegenstände (Personen und Tiere, brennbare oder nichtbrennbare Materialien, explosive oder nichtexplosive Gemische, elektrische und elektronische Systeme mit niedriger oder hoher Spannungsfestigkeit);
- eingeführte Versorgungsleitungen (Stromversorgungsleitungen, Telekommunikationsleitungen, Rohrleitungen);
- bestehende oder vorgesehene Schutzmaßnahmen (z. B. Schutzmaßnahmen zur Verringerung von physikalischen Schäden und Lebensgefahr, Schutzmaßnahmen zur Verringerung von Ausfällen innerer Systeme);
- Ausmaß der Ausdehnung der Gefahr (bauliche Anlage mit Schwierigkeiten bei der Evakuierung oder bauliche Anlagen mit Panikgefahr, bauliche Anlage mit Gefahr für die Umgebung, bauliche Anlage mit Gefahr für die Umwelt).

Tabelle 1 zeigt Auswirkungen des Blitzeinschlags auf verschiedene Arten von baulichen Anlagen.

**Tabelle 1 – Auswirkungen von Blitzeinschlägen auf typische bauliche Anlagen**

Art der baulichen Anlage entsprechend ihrer Funktion und/oder ihrer Inhalte	Auswirkungen von Blitzeinschlägen
Wohnhaus	Durchschlag der elektrischen Anlage, Brand sowie Materialschäden  Schäden sind üblicherweise auf die Objekte begrenzt, in die der Blitz eingeschlagen hat oder die auf dem Weg des Blitzstroms liegen  Ausfälle von elektrischen und elektronischen Betriebsmitteln und installierten Systemen (z. B. Fernsehgeräte, Rechner, Modems, Telefone usw.)
Bauernhof	Primäres Risiko durch Brand und gefährliche Schrittspannungen sowie Materialschäden  Sekundäres Risiko durch Ausfall der Stromversorgung, Lebensgefahr für den Viehbestand durch Ausfall der elektronischen Steuerung für Lüftung und Fütterungsanlagen usw.
Theater, Hotel, Schule, Warenhaus, Sportplatz	Beschädigung der elektrischen Anlagen (z. B. elektrische Beleuchtung), die Panik auslösen kann  Ausfall der Brandmeldeanlagen, der zu verspäteten Feuerlöschmaßnahmen führt
Bank, Versicherung, Handelsgesellschaft usw.	Wie oben, zusätzlich Probleme, die sich durch Ausfall von Kommunikationseinrichtungen und Rechnern sowie durch Datenverlust ergeben
Krankenhaus, Pflegeheim, Gefängnis	Wie oben, zusätzlich Probleme, die sich aus der intensiven Pflege von Personen und den Schwierigkeiten bei der Bergung hilfloser Personen ergeben
Industrie	Zusätzliche Auswirkungen, abhängig vom Inhalt der Fabriken, die von vernachlässigbaren bis zu unzulässigen Schäden und dem Ausfall der Produktion reichen
Museen und archäologische Stätten, Kirchen	Verluste von unersetzlichem Kulturgut
Telekommunikation, Kraftwerksanlage	Unannehmbare Verlust von Dienstleistungen für die Öffentlichkeit
Pyrotechnikfabrik, Munitionsfabrik	Folgeauswirkungen von Brand und Explosion für die Anlage und ihre Umgebung
Chemieanlage, Raffinerie, Kernkraftwerk, Biochemische Laboratorien und Anlagen	Brand und Fehlfunktion der Anlage mit schädlichen Folgen für die nähere und weitere Umgebung



### 5.1.2 Quellen und Ursachen von Schäden an einer baulichen Anlage

Die ursächliche Schadensquelle ist der Blitzstrom. Abhängig von der Lage der Einschlagstelle in Bezug auf eine zu betrachtende bauliche Anlage müssen folgende Situationen berücksichtigt werden:

- S1: Blitzeinschläge in die bauliche Anlage;
- S2: Blitzeinschläge neben der baulichen Anlage;
- S3: Blitzeinschläge in die Versorgungsleitungen, die in die bauliche Anlage eingeführt sind;
- S4: Blitzeinschläge neben den Versorgungsleitungen, die in die bauliche Anlage eingeführt sind.

**Blitzeinschläge in die bauliche Anlage** können verursachen:

- unmittelbaren mechanischen Schaden, Brand und/oder Explosion aufgrund des heißen Plasmakanals selbst oder durch den Blitzstrom, der zur Widerstandserwärmung der Leiter (Überhitzung von Leitern) führt, oder aufgrund der Ladung des Blitzes, die zu Lichtbogenabbrand führt (Schmelzen von Metall);
- Brand und/oder Explosion, ausgelöst durch Funken, die aus Überspannungen aufgrund ohmscher und induktiver Kopplungen entstehen sowie durch das Führen anteiliger Blitzströme;
- Verletzungen von Menschen durch elektrischen Schlag infolge von Schritt- und Berührungsspannungen, die durch ohmsche und induktive Kopplungen entstehen;
- Ausfälle oder Funktionsstörungen innerer Systeme durch LEMP.

**Blitzeinschläge neben der baulichen Anlage** können verursachen:

- Ausfälle oder Funktionsstörungen innerer Systeme durch LEMP.

**Blitzeinschläge in eine Versorgungsleitung**, die in die bauliche Anlage eingeführt ist, können verursachen:

- Brand und/oder Explosion, ausgelöst durch Funken aufgrund von Überspannungen und Blitzströmen, die von der eingeführten Versorgungsleitung übertragen werden;
- Verletzungen von Menschen durch elektrischen Schlag infolge von Berührungsspannungen innerhalb der baulichen Anlage, verursacht durch den Blitzstrom, der von eingeführten Versorgungsleitungen übertragen wird;
- Ausfälle oder Funktionsstörungen innerer Systeme durch Überspannungen, die an eingeführten Versorgungsleitungen auftreten und in die bauliche Anlage geleitet werden.

**Blitzeinschläge neben einer Versorgungsleitung**, die in die bauliche Anlage eingeführt ist, können verursachen:

- Ausfälle oder Funktionsstörungen von inneren Systemen durch Überspannungen, die in eingeführten Versorgungsleitungen induziert und in die bauliche Anlage geleitet werden.

ANMERKUNG 1 Funktionsstörungen innerer Systeme werden nicht in der Reihe IEC 62305 behandelt. Hierzu sollte IEC 61000-4-5 [2] herangezogen werden.

ANMERKUNG 2 Es werden nur die Funken als brandauslösend betrachtet, die (vollständige oder anteilige) Blitzströme führen.

ANMERKUNG 3 Blitzeinschläge in oder neben eingeführte Rohrleitungen verursachen keine Schäden an der baulichen Anlage unter der Voraussetzung, dass diese Versorgungsleitungen an die Potentialausgleichsschiene der baulichen Anlage angeschlossen sind (siehe IEC 62305-3).

Im Ergebnis kann ein Blitz zu drei grundlegenden Schadensursachen führen:

- D1: Verletzungen von Lebewesen durch Berührungs- und Schrittspannungen;
- D2: physikalische Schäden (Brand, Explosion, mechanische Zerstörung, Freisetzung von Chemikalien) durch Auswirkungen des Blitzstroms einschließlich Funkenbildung;
- D3: Ausfall von inneren Systemen durch LEMP.

## 5.2 Schadensarten

Jede Schadensursache, allein oder in Kombination mit anderen, kann verschiedene Schadensarten in einer zu schützenden baulichen Anlage verursachen. Die möglicherweise auftretende Schadensart ist von den Kennwerten der baulichen Anlage selbst abhängig.

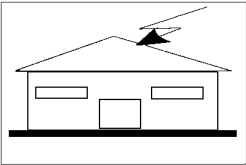
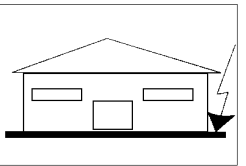
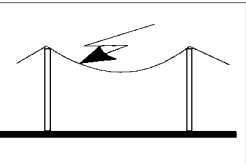
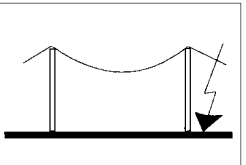
Für die Anwendung dieser Norm werden folgende Schadensarten, die in einer baulichen Anlage auftreten könne, berücksichtigt:

- L1: Verlust von Menschenleben (einschließlich dauerhafter Verletzungen);
- L2: Verlust von Dienstleistungen für die Öffentlichkeit;
- L3: Verlust von Kulturgut;
- L4: wirtschaftliche Verluste (bauliche Anlage, deren Inhalt, und Funktionsausfälle).

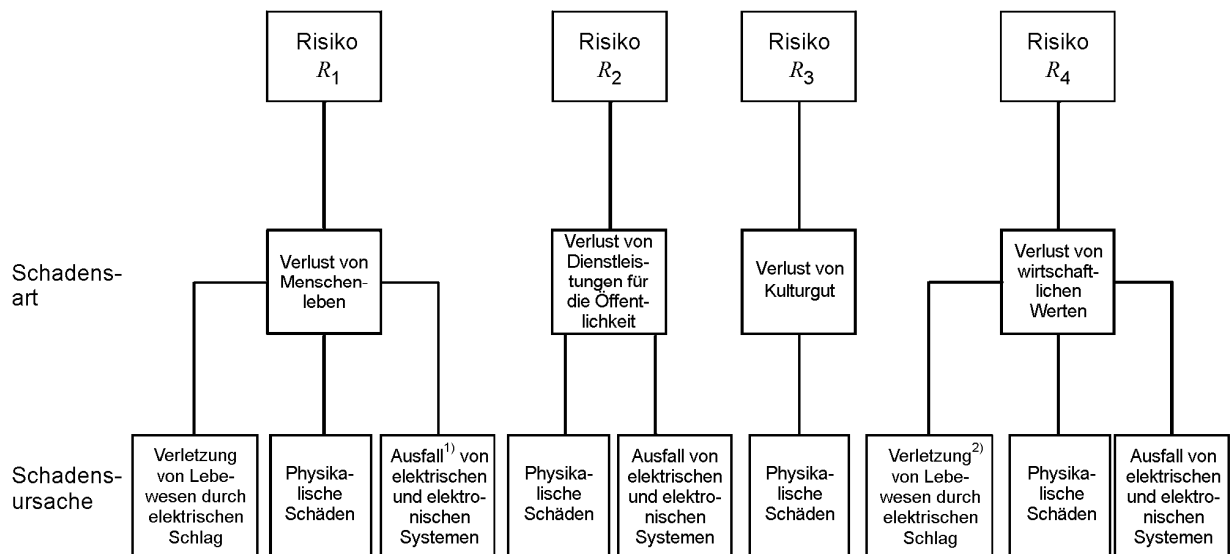
Die Schadensarten L1, L2 und L3 können als Verlust gesellschaftlicher Werte, während die Schadensart L4 als rein wirtschaftlicher Verlust betrachtet werden kann.

Die Wechselwirkungen zwischen Schadensquellen, Schadensursachen und Schadensarten sind in Tabelle 2 aufgeführt.

**Tabelle 2 – Schäden und Verluste in einer baulichen Anlage entsprechend den verschiedenen Einschlagpunkten des Blitzes**

Einschlagpunkt		Schadensquelle	Schadensursache	Schadensart
Bauliche Anlage		S1	D1 D2 D3	L1, L4 <sup>b)</sup> L1, L2, L3, L4 L1 <sup>a)</sup> , L2, L4
In der Nähe einer baulichen Anlage		S2	D3	L1 <sup>a)</sup> , L2, L4
In eine Versorgungsleitung, die in eine bauliche Anlage eingeführt ist		S3	D1 D2 D3	L1, L4 <sup>b)</sup> L1, L2, L3, L4 L1 <sup>a)</sup> , L2, L4
In der Nähe einer Versorgungsleitung		S4	D3	L1 <sup>a)</sup> , L2, L4
<p>a) Nur für bauliche Anlagen mit Explosionsrisiko und für Krankenhäuser oder andere bauliche Anlagen, bei denen durch Ausfall von inneren Systemen Menschenleben unmittelbar gefährdet sind.</p> <p>b) Nur für Anwesen, in denen der Verlust von Tieren auftreten kann.</p>				

Die Schadensarten, die sich aus den Schadensursachen ergeben, und die zugehörigen Schadensrisiken sind in Bild 2 angegeben.



1) Nur für Krankenhäuser und andere bauliche Anlagen, bei denen durch Ausfall von inneren Systemen Menschenleben unmittelbar gefährdet sind.

2) Nur für Anwesen, in denen der Verlust von Tieren auftreten kann.

**Bild 2 – Schadensarten und zugehörige Schadensrisiken aufgrund von verschiedenen Schadensursachen**

## 6 Notwendigkeit und wirtschaftlicher Nutzen des Blitzschutzes

### 6.1 Notwendigkeit des Blitzschutzes

Die Notwendigkeit des Blitzschutzes für ein zu schützendes Objekt muss bewertet werden, um die Verluste gesellschaftlicher Werte L1, L2 und L3 zu verringern.

Für die Bewertung, ob ein Blitzschutz notwendig ist oder nicht, ist eine Schadensrisikobewertung nach den in IEC 62305-2 angegebenen Verfahren durchzuführen. Die folgenden Schadensrisiken sind entsprechend den in 5.2 angegebenen Schadensarten in Betracht zu ziehen:

- $R_1$ : Risiko des Verlustes durch bleibende Verletzungen oder von Menschenleben;
- $R_2$ : Risiko des Verlustes von Dienstleistungen für die Öffentlichkeit;
- $R_3$ : Risiko des Verlustes von Kulturgut.

ANMERKUNG Risiko  $R_4$ : Das Risiko wirtschaftlicher Verluste sollte abgeschätzt werden, wenn der wirtschaftliche Nutzen von Blitzschutz bewertet werden soll (siehe 6.2).

Schutz gegen Blitzeinschlag ist notwendig, wenn das Schadensrisiko  $R$  ( $R_1$  bis  $R_3$ ) höher ist als der Wert des akzeptierbaren Schadensrisikos  $R_T$

$$R > R_T$$

In diesem Fall müssen Schutzmaßnahmen angewendet werden, um das Schadensrisiko  $R$  ( $R_1$  bis  $R_3$ ) auf den Wert des akzeptierbaren Schadensrisikos  $R_T$  zu verringern

$$R \leq R_T$$

Wenn in einem zu schützenden Objekt mehr als eine Schadensart auftreten kann, muss die Bedingung  $R \leq R_T$  für jede Schadensart (L1, L2, L3) erfüllt sein.

Die Werte des akzeptierbaren Schadensrisikos  $R_T$ , bei denen ein Blitzeinschlag den Verlust von Dingen mit gesellschaftlichem Wert verursachen kann, sollten in der Verantwortung einer dafür zuständigen nationalen Behörde liegen.

ANMERKUNG 1 Eine Behörde mit Gerichtsbarkeit kann die Notwendigkeit von Blitzschutz für bestimmte Anwendungsfälle auch ohne eine Schadensrisikobewertung festlegen. In diesen Fällen wird auch der nötige Gefährdungspegel durch die Behörde mit Gerichtsbarkeit festgelegt. In einigen Fällen kann eine Schadensrisikobewertung durchgeführt werden als eine Methode, durch die der Verzicht auf diese Erfordernisse gerechtfertigt werden kann.

ANMERKUNG 2 Ausführliche Angaben hinsichtlich der Schadensrisikobewertung und zum Verfahren für die Auswahl von Schutzmaßnahmen enthält IEC 62305-2.

## 6.2 Wirtschaftlicher Nutzen des Blitzschutzes

Neben der Notwendigkeit des Blitzschutzes für das zu schützende Objekt kann es sinnvoll sein, die wirtschaftlichen Vorteile von Schutzmaßnahmen zur Verringerung des wirtschaftlichen Verlustes  $L_4$  zu bestimmen.

In diesem Fall sollte das Schadensrisiko  $R_4$  des Verlustes wirtschaftlicher Werte bewertet werden. Die Bewertung des Schadensrisikos  $R_4$  lässt die Berechnung der Kosten des wirtschaftlichen Verlustes mit und ohne angewendete Schutzmaßnahmen zu.

Der Blitzschutz ist rentabel, wenn die Summe der Kosten  $C_{RL}$  der Restverluste bei Anwendung von Schutzmaßnahmen und der Kosten  $C_{PM}$  für die Schutzmaßnahmen geringer sind als die Kosten  $C_L$  des Gesamtverlustes, wenn keine Schutzmaßnahmen angewendet werden:

$$C_{RL} + C_{PM} < C_L$$

ANMERKUNG Ausführliche Angaben zur Berechnung des wirtschaftlichen Nutzens des Blitzschutzes enthält IEC 62305-2.

## 7 Schutzmaßnahmen

Abhängig von der Schadensursache können verschiedene Schutzmaßnahmen zur Verringerung des Schadensrisikos angewendet werden.

### 7.1 Schutzmaßnahmen zur Verringerung der Verletzung von Lebewesen durch elektrischen Schlag

Mögliche Schutzmaßnahmen sind:

- angemessene Isolierung von freiliegenden leitenden Teilen;
- Potentialausgleich mit einem vermaschten Erdungssystem;
- physikalische Einschränkungen und Warnhinweise;
- Blitzschutz-Potentialausgleich (EB).

ANMERKUNG 1 Ein Potentialausgleich und eine Erhöhung des spezifischen Oberflächenwiderstandes des Bodens innerhalb und außerhalb der baulichen Anlage kann die Lebensgefahr verringern (siehe IEC 62305-3, Abschnitt 8).

ANMERKUNG 2 Die Verwendung von Gewitterwarngeräten kann die Lebensgefahr verringern.

## 7.2 Schutzmaßnahmen zur Verringerung von physikalischen Schäden

Der Schutz wird erreicht durch ein Blitzschutzsystem (LPS) mit den Bestandteilen

- Fangeinrichtung
- Ableitungseinrichtung
- Erdungsanlage
- Blitzschutz-Potentialausgleich (EB)
- Elektrische Isolierung gegen den äußeren Blitzschutz (und damit Einhaltung des Trennungsabstands)

ANMERKUNG 1 Bei einem installierten LPS ist der Potentialausgleich eine sehr wichtige Maßnahme, um Brand- und Explosionsgefahr sowie Lebensgefahr zu verringern. Weiterführende Angaben enthält IEC 62305-3.

ANMERKUNG 2 Physikalische Schäden können durch Vorkehrungen verringert werden, die die Entwicklung und Ausbreitung eines Brandes einschränken, wie Brandschutzzräume, Feuerlöscher, Hydranten, Brandmelde- und Feuerlöschanlagen.

ANMERKUNG 3 Gesicherte Fluchtwege sorgen für den Schutz des Personals.

## 7.3 Schutzmaßnahmen zur Verringerung von Ausfällen elektrischer und elektronischer Systeme

Mögliche Schutzmaßnahmen sind:

- Erdungs- und Potentialausgleichs-Maßnahmen;
- magnetische Schirmung;
- Leitungsführung;
- isolierende Schnittstellen;
- koordiniertes SPD-System.

Diese Maßnahmen können allein oder in Kombination verwendet werden.

ANMERKUNG Die Verwendung von Gewitterwarngeräten kann die Ausfälle elektrischer und elektronischer Systeme verringern.

## 7.4 Auswahl von Schutzmaßnahmen

Alle in 7.1, 7.2 und 7.3 angegebenen Schutzmaßnahmen bilden zusammen den gesamten Blitzschutz.

Die Auswahl der am besten geeigneten Schutzmaßnahmen muss vom Planer der Schutzmaßnahmen und vom Eigentümer der zu schützenden baulichen Anlage entsprechend der Art und des Anteils jeder Schadensursache und entsprechend den technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten der verschiedenen Schutzmaßnahmen vorgenommen werden.

Die Kriterien für die Schadensrisikobewertung und für die Auswahl der am besten geeigneten Schutzmaßnahmen sind in IEC 62305-2 angegeben.

Die Schutzmaßnahmen sind unter der Voraussetzung wirksam, dass sie den Anforderungen der betreffenden Normen entsprechen und dass sie den an ihrem Einbauort zu erwartenden Beanspruchungen standhalten können.

## 8 Grundlegende Kriterien für den Schutz von baulichen Anlagen

Ein idealer Schutz für bauliche Anlagen wäre das Einschließen der baulichen Anlage in einen geerdeten, perfekt leitenden, durchgängigen Schirm ausreichender Dicke sowie durch Vorsehen eines entsprechenden

Potentialausgleichs der in die bauliche Anlage eingeführten Versorgungsleitungen an der Einführungsstelle in den Schirm.

Dies würde das Eindringen des Blitzstroms und des zugehörigen elektromagnetischen Feldes in die zu schützende bauliche Anlage verhindern und verhindert damit gefährliche thermische und elektrodynamische Auswirkungen des Stroms sowie gefährliche Funkenbildung und Überspannungen für innere Systeme.

In der Praxis ist es oft weder möglich noch rentabel, so weit mit einem optimalen Schutz zu gehen.

Mangel an der Durchgängigkeit des Schirmes und/oder seiner angemessenen Dicke erlaubt es dem Blitzstrom, den Schirm zu durchdringen und verursacht:

- physikalische Schäden und Lebensgefahr;
- Ausfälle von inneren Systemen.

Die Schutzmaßnahmen, die zur Verringerung derartiger Schäden und bedeutender Folgeverluste angewendet werden, müssen für den festgelegten Satz der Blitzstromparameter ausgelegt sein, für den der Schutz gefordert wird (Gefährdungspegel).

### 8.1 Gefährdungspegel (LPL)

Für den Zweck dieser Norm werden vier Gefährdungspegel (I bis IV) eingeführt. Für jeden Gefährdungspegel LPL ist ein Satz von Maximalwerten und von Minimalwerten der Blitzstromparameter festgelegt.

ANMERKUNG 1 Der Schutz gegen Blitzeinschlag, bei dem die Maximal- und Minimalwerte der Blitzstromparameter diejenigen für den Gefährdungspegel LPL I über- bzw. unterschreiten, erfordern noch wirksamere Maßnahmen, die auf individueller Basis ausgewählt und ausgeführt werden sollten.

ANMERKUNG 2 Die Wahrscheinlichkeit eines Blitzeinschlags, bei dem die Maximal- oder Minimalwerte diejenigen für den Gefährdungspegel LPL I über- bzw. unterschreiten, ist kleiner als 2 %.

Die Maximalwerte der Blitzstromparameter entsprechend LPL I werden mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 % nicht überschritten. Entsprechend dem angenommenen Polaritätsverhältnis (siehe A.2) werden für positive Blitze die Werte verwendet, die Wahrscheinlichkeiten unter 10 % haben, für negative Blitze aber diejenigen unter 1 % (siehe A.3).

Die Maximalwerte der Blitzstromparameter entsprechend LPL I werden für LPL II auf 75 % und für LPL III und IV auf 50 % reduziert (linear für  $I$ ,  $Q$  und  $di/dt$ , jedoch quadratisch für  $W/R$ ). Die zeitlichen Parameter bleiben unverändert.

ANMERKUNG 3 Gefährdungspegel, bei denen die Maximalwerte der Blitzstromparameter kleiner sind als bei LPL IV, erlauben die Betrachtung höherer, aber nicht quantifizierter, Schadenswahrscheinlichkeiten als die in Anhang B von IEC 62305-2 betrachteten und sind nützlich, wenn durch genauer angepasste Schutzmaßnahmen ungerechtfertigte Kosten vermieden werden sollen.

Die Maximalwerte der Blitzstromparameter für die unterschiedlichen Gefährdungspegel werden in Tabelle 3 angegeben und für die Auslegung der Komponenten für den Blitzschutz angewendet (z. B. Querschnitt von Leitern, Dicke von metallenen Blechen, Stromtragfähigkeit von SPDs, Trennungsabstand gegen gefährliche Funkenbildung) sowie für die Festlegung von Prüfparametern, mit denen die Auswirkungen von Blitzeinschlägen auf derartige Komponenten nachgebildet werden (siehe Anhang D).

Die Minimalwerte der Amplitude des Blitzstroms für die verschiedenen LPL werden zur Ableitung des Blitzkugelradius (siehe A.4) verwendet, um die Blitzschutzzone  $0_B$  zu bestimmen, die von einem direkten Blitzeinschlag nicht erreicht werden kann (siehe 8.2 und Bilder 3 und 4). Die Minimalwerte der Blitzstromparameter mit dem zugehörigen Radius der Blitzkugel werden in Tabelle 4 angegeben. Sie werden zur Lagefestlegung von Fangeinrichtungen und zur Bestimmung der Blitzschutzzone LPZ  $0_B$  (siehe 8.2) angewendet.

**Tabelle 3 – Maximalwerte von Blitzstromparametern entsprechend dem Gefährdungspegel LPL**

Erster positiver Stoßstrom			LPL			
Stromparameter	Symbol	Einheit	I	II	III	IV
Scheitelwert	$I$	kA	200	150	100	
Ladung des Stoßstroms	$Q_{short}$	C	100	75	50	
Spezifische Energie	$W/R$	MJ/Ω	10	5,6	2,5	
Zeitparameter	$T_1/T_2$	μs/μs	10/350			
Erster negativer Stoßstrom <sup>a)</sup>			LPL			
Stromparameter	Symbol	Einheit	I	II	III	IV
Scheitelwert	$I$	kA	100	75	50	
Mittlere Steilheit	$di/dt$	kA/μs	100	75	50	
Zeitparameter	$T_1/T_2$	μs/μs	1/200			
Folgestoßstrom			LPL			
Stromparameter	Symbol	Einheit	I	II	III	IV
Scheitelwert	$I$	kA	50	37,5	25	
Mittlere Steilheit	$di/dt$	kA/μs	200	150	100	
Zeitparameter	$T_1/T_2$	μs/μs	0,25/100			
Langzeitstrom			LPL			
Stromparameter	Symbol	Einheit	I	II	III	IV
Ladung des Langzeitstroms	$Q_{long}$	C	200	150	100	
Zeitparameter	$T_{long}$	s	0,5			
Blitz			LPL			
Stromparameter	Symbol	Einheit	I	II	III	IV
Ladung des Blitzes	$Q_{flash}$	C	300	225	150	

a) Diese Wellenform wird nur für Berechnungen, aber nicht für Prüfungen verwendet.

**Tabelle 4 – Minimalwerte der Blitzstromparameter und die zugehörigen Blitzkugelradien entsprechend dem Gefährdungspegel LPL**

Auffangkriterium			LPL			
	Symbol	Einheit	I	II	III	IV
kleinster Scheitelwert	$I$	kA	3	5	10	16
Radius der Blitzkugel	$r$	m	20	30	45	60

Aus den in Bild A.5 angegebenen statistischen Verteilungen kann eine gewichtete Wahrscheinlichkeit bestimmt werden, dass die Blitzstromparameter kleiner als die Maximalwerte bzw. größer als die Minimalwerte sind, die für jeden Gefährdungspegel definiert sind (siehe Tabelle 5).

**Tabelle 5 – Wahrscheinlichkeiten für die Grenzwerte der Blitzstromparameter**

Wahrscheinlichkeit, dass die Blitzstromparameter	LPL			
	I	II	III	IV
kleiner sind als die Maximalwerte nach Tabelle 3 <sup>N1)</sup>	0,99	0,98	0,97	0,97
größer sind als die Minimalwerte nach Tabelle 4 <sup>N2)</sup>	0,99	0,97	0,91	0,84

Die in IEC 62305-3 und IEC 62305-4 festgelegten Schutzmaßnahmen sind gegen Blitzeinschläge wirksam, deren Stromparameter in dem durch den Gefährdungspegel definierten Bereich liegen, der für die Auslegung angenommen wird. Deshalb wird angenommen, dass die Wirksamkeit einer Schutzmaßnahme gleichzusetzen ist mit der Wahrscheinlichkeit, mit der die Blitzstromparameter im definierten Bereich liegen.

## 8.2 Blitzschutzzonen (LPZ)

Schutzmaßnahmen, wie LPS, Schirmleiter, magnetische Schirme und SPD bestimmen Blitzschutzzonen (LPZ).

Den Schutzmaßnahmen nachgelagerte LPZ sind gegenüber den vorgelagerten LPZ durch eine wesentliche Verringerung des LEMP charakterisiert.

Hinsichtlich der Blitzgefährdung sind die folgenden LPZ definiert (siehe Bilder 3 und 4):

- LPZ 0<sub>A</sub> Zone, die durch direkte Blitzeinschläge und durch das volle elektromagnetische Feld des Blitzes gefährdet ist. Die inneren Systeme können vollen oder anteiligen Blitzstoßströmen ausgesetzt sein.
- LPZ 0<sub>B</sub> Zone, die gegen direkte Blitzeinschläge geschützt, aber durch das volle elektromagnetische Feld des Blitzes gefährdet ist. Die inneren Systeme können anteiligen Blitzstoßströmen ausgesetzt sein.
- LPZ 1 Zone, in der die Stoßströme durch Stromaufteilung und durch isolierende Schnittstellen und/oder SPDs an der Zonengrenze begrenzt werden. Durch räumliche Schirmung kann das elektromagnetische Feld des Blitzes abgeschwächt sein.
- LPZ 2, ..., n Zone, in der die Stoßströme durch Stromaufteilung und durch isolierende Schnittstellen und/oder zusätzliche SPDs an der Zonengrenze weiter begrenzt werden. Zusätzliche räumliche Schirmung kann verwendet werden, um das elektromagnetische Feld des Blitzes weiter abzuschwächen.

ANMERKUNG 1 Im Allgemeinen gilt: je höher die Ziffer für die einzelne Zone, desto kleiner sind die Parameter der elektromagnetischen Umgebung.

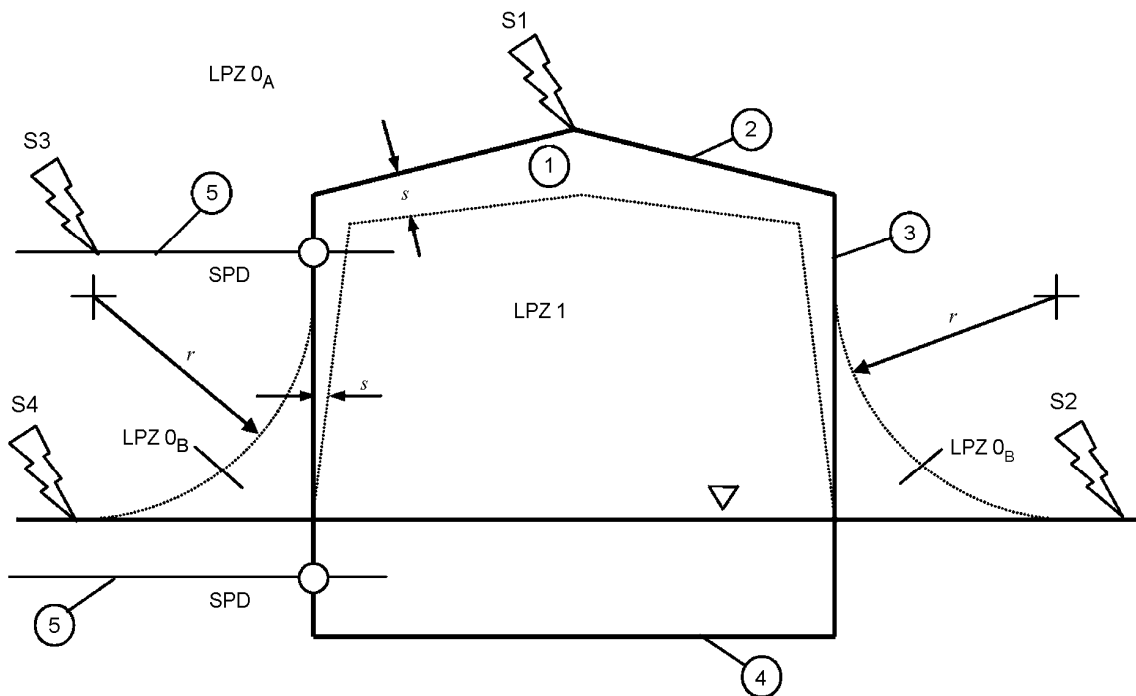
Als eine allgemeine Regel für den Schutz gilt, dass sich die zu schützende bauliche Anlage in einer LPZ befinden muss, deren elektromagnetische Kennwerte vereinbar sind mit dem Vermögen der baulichen Anlage, den Schaden verursachenden Beanspruchungen standzuhalten (physikalische Schäden, Ausfälle von elektrischen und elektronischen Systemen durch Überspannungen).

ANMERKUNG 2 Für die meisten elektrischen und elektronischen Systeme und Betriebsmittel können vom Hersteller Angaben für das Stehvermögen bereitgestellt werden.

<sup>N1)</sup> Nationale Fußnote: In IEC 81/335/CDV wurde hier irrtümlich Tabelle 5 angegeben.

<sup>N2)</sup> Nationale Fußnote: In IEC 81/335/CDV wurde hier irrtümlich Tabelle 6 angegeben.





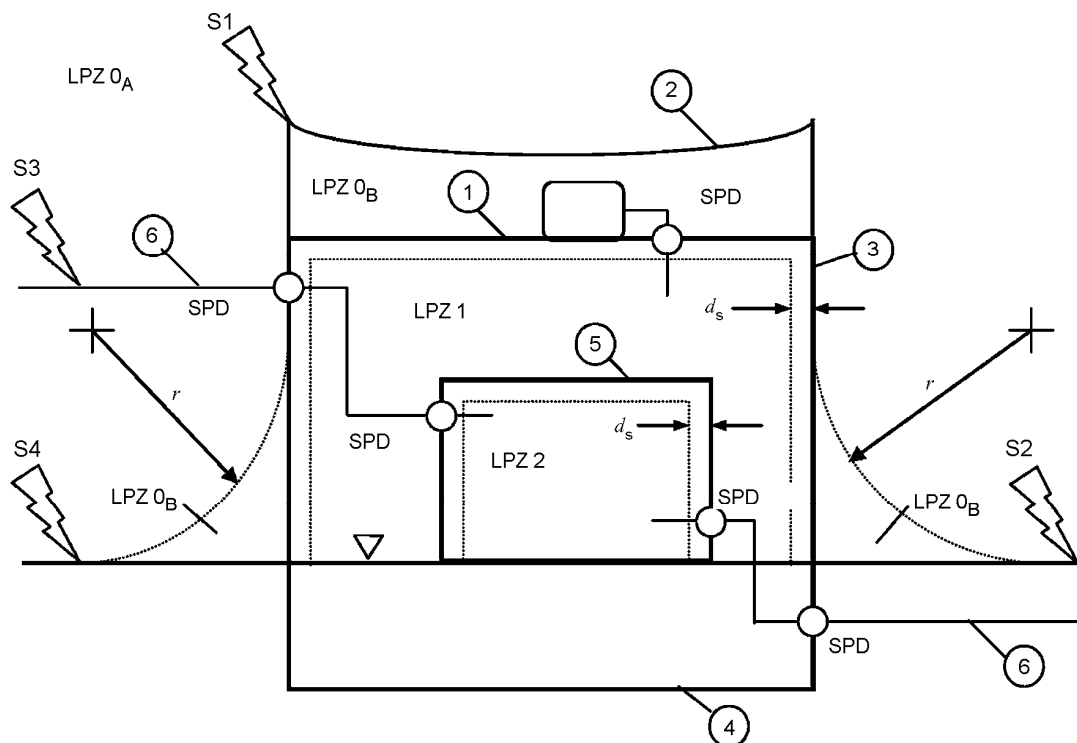
- |   |                                  |     |  |
|---|----------------------------------|-----|--|
| 1 | Bauliche Anlage                  | S1  | Blitzeinschlag in die bauliche Anlage                      |
| 2 | Fangeinrichtung                  | S2  | Blitzeinschlag neben der baulichen Anlage                  |
| 3 | Ableitungseinrichtung            | S3  | Blitzeinschlag in eine eingeführte Versorgungsleitung      |
| 4 | Erdungsanlage                    | S4  | Blitzeinschlag neben einer eingeführten Versorgungsleitung |
| 5 | Eingeführte Versorgungsleitungen | $r$ | Radius der Blitzkugel                                      |
|   |                                  | $s$ | Trennungsabstand gegen gefährliche Funkenbildung           |

- |                    |  |
|--------------------|--|
| ▽                  | Erdniveau  |
| O                  | Blitzschutz-Potentialausgleich durch SPD   |
| LPZ 0 <sub>A</sub> | Direkte Blitzeinschläge, voller Blitzstrom   |
| LPZ 0 <sub>B</sub> | Keine direkten Blitzeinschläge, anteiliger Blitzstrom oder induzierter Strom   |
| LPZ 1              | Keine direkten Blitzeinschläge, anteiliger Blitzstrom oder induzierter Strom<br>Geschütztes Volumen in LPZ 1 muss den Trennungsabstand $s$ einhalten |

**Bild 3 – LPZ festgelegt durch ein LPS (IEC 62305-3)**

## — Entwurf —

E DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1):2010-01  
FprEN 62305-1:2009



- |   |                                    |       |  |
|---|------------------------------------|-------|--|
| 1 | Bauliche Anlage (Schirm von LPZ 1) | S1    | Blitzeinschlag in die bauliche Anlage                      |
| 2 | Fangeinrichtung                    | S2    | Blitzeinschlag neben der baulichen Anlage                  |
| 3 | Ableitungseinrichtung              | S3    | Blitzeinschlag in eine eingeführte Versorgungsleitung      |
| 4 | Erdungsanlage                      | S4    | Blitzeinschlag neben einer eingeführten Versorgungsleitung |
| 5 | Raum (Schirm von LPZ 2)            | $r$   | Radius der Blitzkugel                                      |
| 6 | Eingeführte Versorgungsleitungen   | $d_s$ | Sicherheitsabstand gegen zu hohes magnetisches Feld        |

- |                    |  |
|--------------------|--|
| ▽                  | Erdniveau  |
| O                  | Blitzschutz-Potentialausgleich durch SPD   |
| LPZ 0 <sub>A</sub> | Direkte Blitzeinschläge, voller Blitzstrom, volles magnetisches Feld   |
| LPZ 0 <sub>B</sub> | Keine direkten Blitzeinschläge, anteiliger Blitzstrom oder induzierter Strom, volles magnetisches Feld   |
| LPZ 1              | Keine direkten Blitzeinschläge, begrenzter Blitzstrom oder induzierter Strom, geschwächtes magnetisches Feld   |
| LPZ 2              | Keine direkten Blitzeinschläge, induzierte Ströme, weiter geschwächtes magnetisches Feld<br>Geschützte Volumen in LPZ 1 und LPZ 2 müssen die Sicherheitsabstände $d_s$ einhalten |

**Bild 4 – LPZ festgelegt durch Schutzmaßnahmen gegen LEMP (IEC 62305-4)**

## 8.3 Schutz von baulichen Anlagen

### 8.3.1 Schutz zur Verringerung von physikalischen Schäden und Lebensgefahr

Die zu schützende bauliche Anlage muss sich innerhalb einer LPZ  $0_B$  oder höher befinden. Dies wird mit einem Blitzschutzsystem (LPS) erreicht.

Ein LPS besteht aus äußerem und innerem Blitzschutz.

Die Funktionen des äußeren LPS sind

- Auffangen eines Blitzeinschlags in die bauliche Anlage (mit einer Fangeinrichtung),
- sicheres Ableiten des Blitzstroms zur Erde (mit einer Ableitungseinrichtung),
- Verteilen des Blitzstroms in der Erde (mit einer Erdungsanlage).

Die Funktion des inneren LPS besteht im Verhindern gefährlicher Funkenbildung innerhalb der baulichen Anlage, wobei entweder ein Potentialausgleich oder ein Trennungsabstand  $s$  (und damit die elektrische Trennung) zwischen den Komponenten des LPS und anderen elektrisch leitenden Elementen innerhalb der baulichen Anlage angewendet wird.

Für das LPS sind vier Schutzklassen (I, II, III & IV) als Satz von Aufbauregeln festgelegt, die auf dem entsprechenden Gefährdungspegel LPL beruhen. Jeder Satz umfasst klassenabhängige (z. B. Radius der Blitzkugel, Maschenweite usw.) und klassenunabhängige (z. B. Querschnitte, Werkstoffe usw.) Aufbauregeln.

Wenn der spezifische Oberflächenwiderstand des Bodens außerhalb und des Fußbodens innerhalb der baulichen Anlage nicht ausreichend hoch ist, kann die Lebensgefahr durch Berührungs- und Schrittspannungen verringert werden:

- außerhalb der baulichen Anlage durch Isolierung von freiliegenden leitenden Teilen, Potentialausgleich mit einem vermaschten Erdungssystem, Warnhinweise und physikalische Beschränkungen;
- innerhalb der baulichen Anlage durch Potentialausgleich der Versorgungsleitungen an den Einführungsstellen in die bauliche Anlage.

LPS müssen den in IEC 62305-3 angegebenen Anforderungen entsprechen.

### 8.3.2 Schutz zur Verringerung von Ausfällen innerer Systeme

Der Schutz gegen LEMP zur Verringerung von Ausfällen innerer Systeme muss begrenzen:

- Stoßwellen durch Blitzeinschläge in die bauliche Anlage, die sich aus ohmscher und induktiver Kopplung ergeben;
- Stoßwellen durch Blitzeinschläge neben der baulichen Anlage, die sich aus induktiver Kopplung ergeben;
- von eingeführten Leitungen übertragene Stoßwellen aufgrund von Blitzeinschlägen in die oder neben den Leitungen;
- direkte Kopplung des magnetischen Feldes mit inneren Systemen.

ANMERKUNG Auswirkungen der direkten Kopplung des magnetischen Feldes mit inneren Systemen sind vernachlässigbar, vorausgesetzt, die Betriebsmittel erfüllen die in den entsprechenden EMV-Produktnormen für Hochfrequenzabstrahlung und -störfestigkeit festgelegten Prüfungen (siehe IEC 62305-2 und IEC 62305-4).

Das zu schützende System muss sich innerhalb einer LPZ 1 oder höher befinden. Dies wird durch ein Schutzsystem von elektrischen und elektronischen Einrichtungen (ESP) erreicht, das aus magnetischen Schirmen, die das induzierte magnetische Feld dämpfen, und/oder durch geeignete Leitungsführung, mit der Induktionsschleifen verkleinert werden, besteht. An den Grenzen der LPZ muss für metallene Teile und Systeme, die die Grenzen durchdringen, Potentialausgleich vorgesehen werden. Dieser Potentialausgleich kann mit Potentialausgleichsleitern oder, sofern erforderlich, mit Überspannungsschutzgeräten (SPDs) vorgenommen werden.

## — Entwurf —

**E DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1):2010-01**  
**FprEN 62305-1:2009**

Die Schutzmaßnahmen für jede LPZ müssen IEC 62305-4 entsprechen.

Ein wirksamer Schutz gegen Überspannungen, die Ausfälle von inneren Systemen verursachen, kann auch mit isolierenden Schnittstellen und/oder mit einem koordinierten SPD-System erreicht werden, mit dem Überspannungen auf einen Wert unterhalb der Bemessungs-Stehstoßspannung des zu schützenden Systems begrenzt werden.

Isolierende Schnittstellen und SPDs müssen nach den in IEC 62305-4 angegebenen Anforderungen ausgewählt und installiert werden.

## Anhang A (informativ)

### Parameter des Blitzstroms

#### A.1 Blitze zur Erde

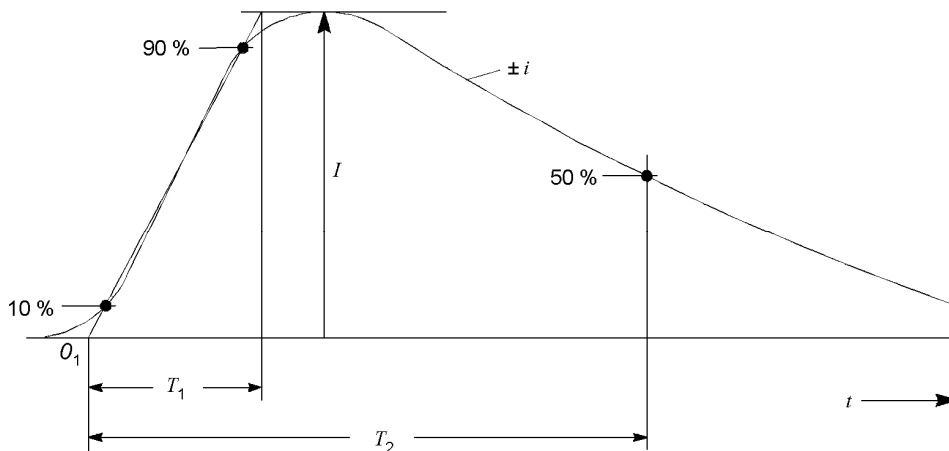
Es gibt zwei grundlegende Arten von Blitzen:

- Abwärtsblitze, die von abwärts gerichteten Vorentladungen von der Wolke zur Erde eingeleitet werden;
- Aufwärtsblitze, die von aufwärts gerichteten Vorentladungen von geerdeten baulichen Anlagen zur Wolke eingeleitet werden.

Im flachen Gelände und bei niedrigen baulichen Anlagen treten meist Abwärtsblitze auf, wogegen bei exponierten und/oder höheren Gebäuden die Aufwärtsblitze überwiegen. Mit zunehmender Höhe steigt die Wahrscheinlichkeit für einen direkten Einschlag in die bauliche Anlage an (siehe IEC 62305-2, Anhang A) und die physikalischen Bedingungen ändern sich.

Ein Blitzstrom besteht aus einem oder mehreren verschiedenen Teilblitzen:

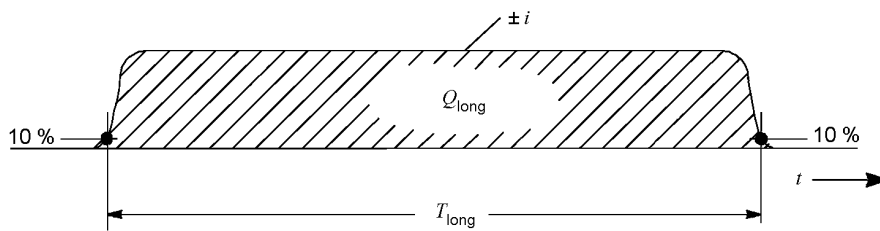
- Stoßströme mit einer Dauer unter 2 ms (Bild A.1);
- Langzeitströme mit einer Dauer von mehr als 2 ms (Bild A.2).



#### Legende

- $O_1$  Virtueller Beginn
- $I$  Stromscheidenwert
- $T_1$  Stirnzeit
- $T_2$  Rückenhalbwertzeit

**Bild A.1 – Festlegung der Stoßstromparameter  
(typisch  $T_2 < 2$  ms)**

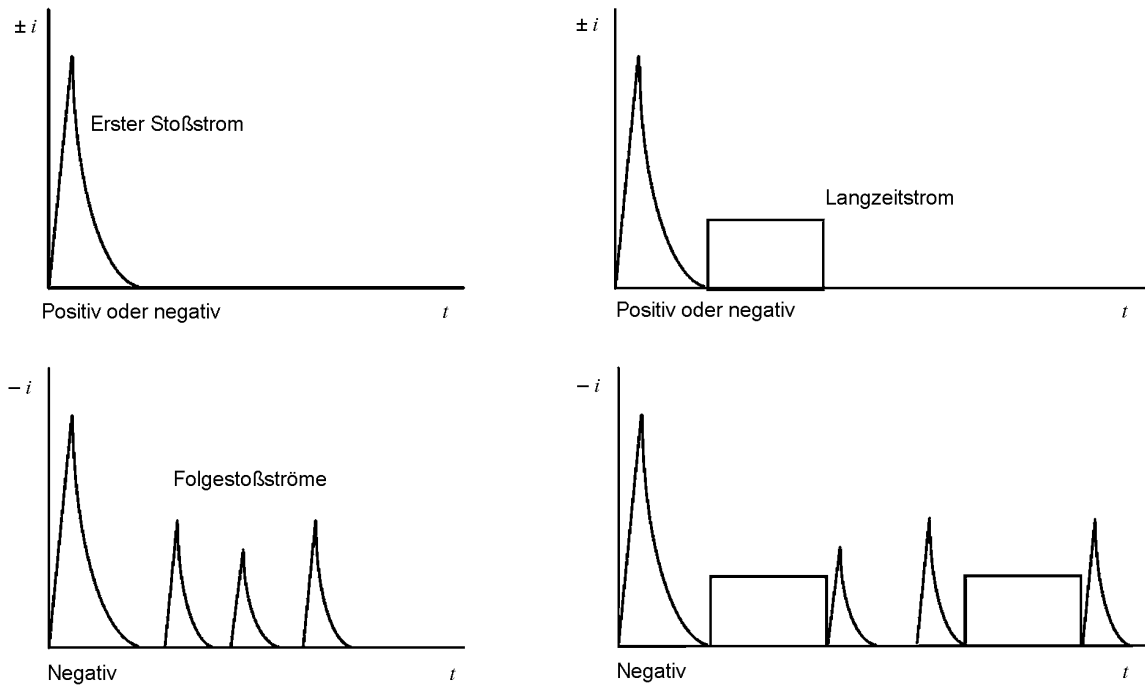


**Legende**

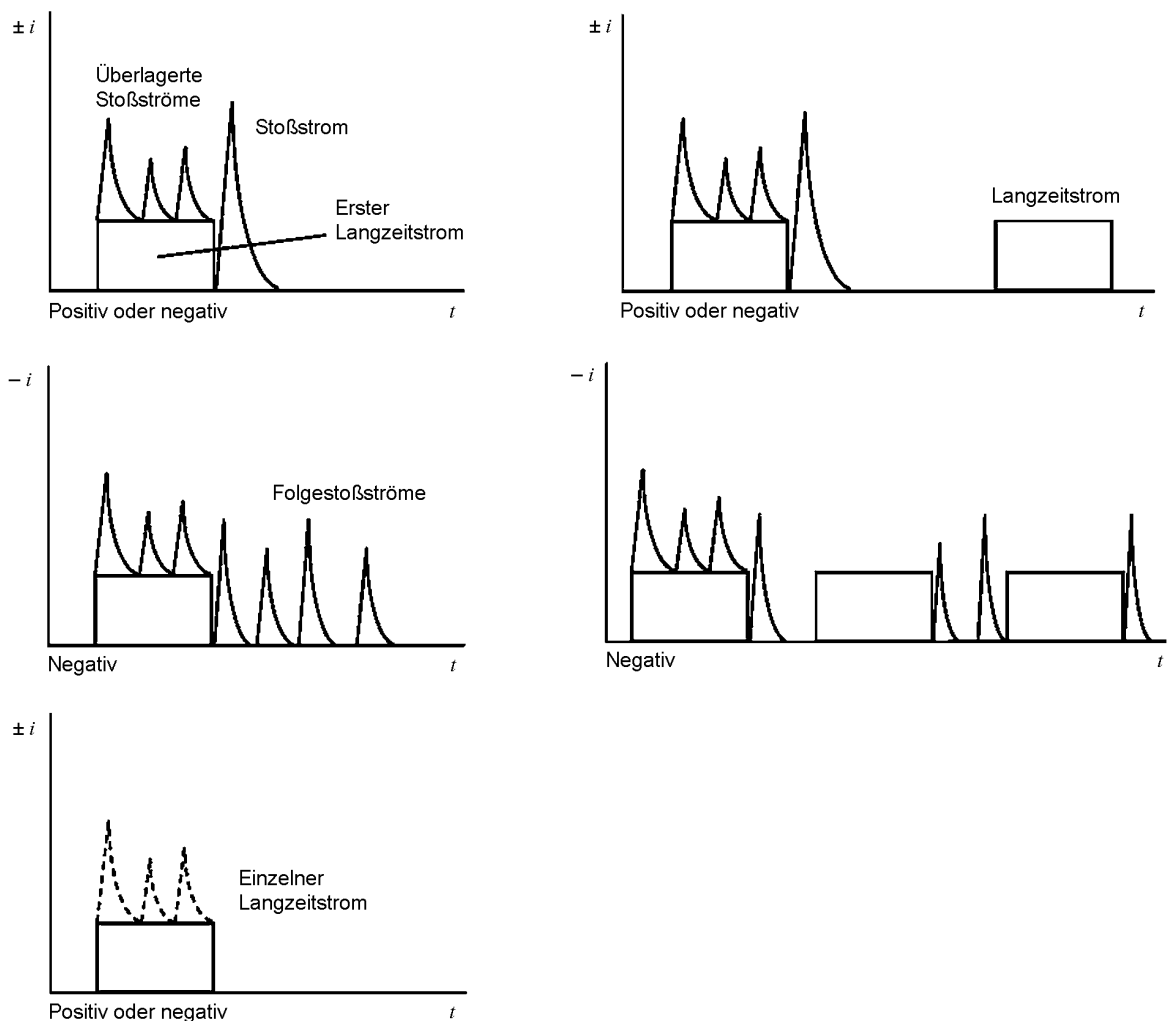
- $T_{\text{long}}$  Dauer des Langzeitstroms
- $Q_{\text{long}}$  Ladung des Langzeitstroms

**Bild A.2 – Festlegung der Langzeitstromparameter  
(typisch  $2 \text{ ms} < T_{\text{long}} < 1 \text{ s}$ )**

Weitere Unterschiede bei den Entladungen kommen durch die Polarität (positiv oder negativ) und von der zeitlichen Lage in der Blitzentladung (Erster Stoßstrom, Folgestoßstrom, überlagerter Stoßstrom). Die möglichen Komponenten sind in Bild A.3 für Abwärtsblitze und in Bild A.4 für Aufwärtsblitze dargestellt.



**Bild A.3 – Mögliche Komponenten von Abwärtsblitzen  
(typisch in flacher Umgebung und für niedrige bauliche Anlagen)**



**Bild A.4 – Mögliche Komponenten von Aufwärtsblitzen  
(typisch an exponierten und/oder höheren baulichen Anlagen)**

Die zusätzliche Komponente in den Aufwärtsblitzen ist der erste Langzeitstrom ohne oder mit bis zu einigen zehn überlagerten Stoßströmen. Aber alle Stoßstromparameter von Aufwärtsblitzen sind niedriger als die der Abwärtsblitze. Eine höhere Ladung des Langzeitstroms von Aufwärtsblitzen ist bis jetzt noch nicht bestätigt. Deshalb ist anzunehmen, dass die Blitzstromparameter der Aufwärtsblitze durch die höchsten Parameter der Abwärtsblitze abgedeckt werden. Eine genauere Ermittlung der Blitzstromparameter und ihrer Abhängigkeit von der Höhe ist für Abwärts- und Aufwärtsblitze in Bearbeitung.

## A.2 Blitzstromparameter

Die Blitzstromparameter in dieser Norm beruhen auf den Ergebnissen des internationalen Forums auf dem Gebiet der elektrischen Energieerzeugung, -übertragung und -verteilung (CIGRE), die in Tabelle A.1 angegeben werden. Die statistische Verteilung der Blitzparameter kann als logarithmische Normalverteilung angenommen werden. Der entsprechende Mittelwert  $\mu$  und die Streuung  $\sigma_{\log}$  sind in Tabelle A.2 angegeben, die Verteilungsfunktion ist in Bild A.5 dargestellt. Auf dieser Grundlage kann die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines beliebigen Wertes eines Parameters bestimmt werden.

Der Anteil der Polaritäten wird mit 10 % positiven Blitzen und mit 90 % negativen Blitzen angenommen. Das Verhältnis der Polaritäten ist vom geografischen Bereich abhängig. Liegen keine örtlichen Angaben vor, sollte die hier angegebene Aufteilung verwendet werden.

— Entwurf —

E DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1):2010-01  
FprEN 62305-1:2009

Werte für die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Blitzstromscheitelwerten über die oben betrachteten Werte hinaus sind in Tabelle A.3 angegeben.

**Tabelle A.1 – Tabellenwerte der Blitzstromparameter, entnommen aus CIGRE  
(Electra Nr. 41 oder Nr. 69\*) [3], [4]**

Parameter	Festgelegte Werte für LPL I	Werte			Art des Teilblitzes	Gerade in Bild A.5
		95 %	50 %	5 %		
$I$ (kA)		4 (98%)	20 (80%)	90	Negativer Erstblitz <sup>†</sup>	1A + 1B
	50	4,9	11,8	28,6	Negativer Folgeblitz <sup>†</sup>	2
	200	4,6	35	250	(Einzelner) positiver Erstblitz	3
$Q_{\text{flash}}$ (C)		1,3	7,5	40	Negativer Blitz	4
	300	20	80	350	Positiver Blitz	5
$Q_{\text{short}}$ (C)		1,1	4,5	20	Negativer Erstblitz	6
		0,22	0,95	4	Negativer Folgeblitz	7
	100	2	16	150	(Einzelner) positiver Erstblitz	8
$W/R$ (kJ/Ω)		6	55	550	Negativer Erstblitz	9
		0,55	6	52	Negativer Folgeblitz	10
	10 000	25	650	15 000	Positiver Erstblitz	11
$di/dt_{\text{max}}$ (kA/μs)		9,1	24,3	65	Negativer Erstblitz <sup>†</sup>	12
		9,9	39,9	161,5	Negativer Folgeblitz <sup>†</sup>	13
	20	0,2	2,4	32	Positiver Erstblitz	14
$di/dt_{30/90\%}$ (kA/μs)	200	4,1	20,1	98,5	Negativer Folgeblitz <sup>†</sup>	15
$Q_{\text{long}}$ (C)	200				Langzeitstrom	
$T_{\text{long}}$ (s)	0,5				Langzeitstrom	
Stirnzeit (μs)		1,8	5,5	18	Negativer Erstblitz	
		0,22	1,1	4,5	Negativer Folgeblitz	
		3,5	22	200	(Einzelner) positiver Erstblitz	
Teilblitzdauer (μs)		30	75	200	Negativer Erstblitz	
		6,5	32	140	Negativer Folgeblitz	
		25	230	2 000	(Einzelner) positiver Erstblitz	
Zeitintervall (ms)		7	33	150	Negative Mehrfachblitze	
Gesamt-Blitzdauer (ms)		0,15	13	1 100	Negativer Blitz (Gesamtheit)	
		31	180	900	Negativer Blitz (ohne Einzelblitz)	
		14	85	500	Positiver Blitz	

ANMERKUNG Die Werte für  $I = 4$  kA und  $I = 20$  kA entsprechen einer Wahrscheinlichkeit von 98 % bzw. 80 %.



**Tabelle A.2 – Logarithmische Normalverteilung der Blitzstromparameter  
Mittelwert  $\mu$  und Streuung  $\sigma_{\log}$ , berechnet aus den 95%- und 5%-Werten nach CIGRE  
(Electra Nr. 41 oder Nr. 69\*) [3], [4]**

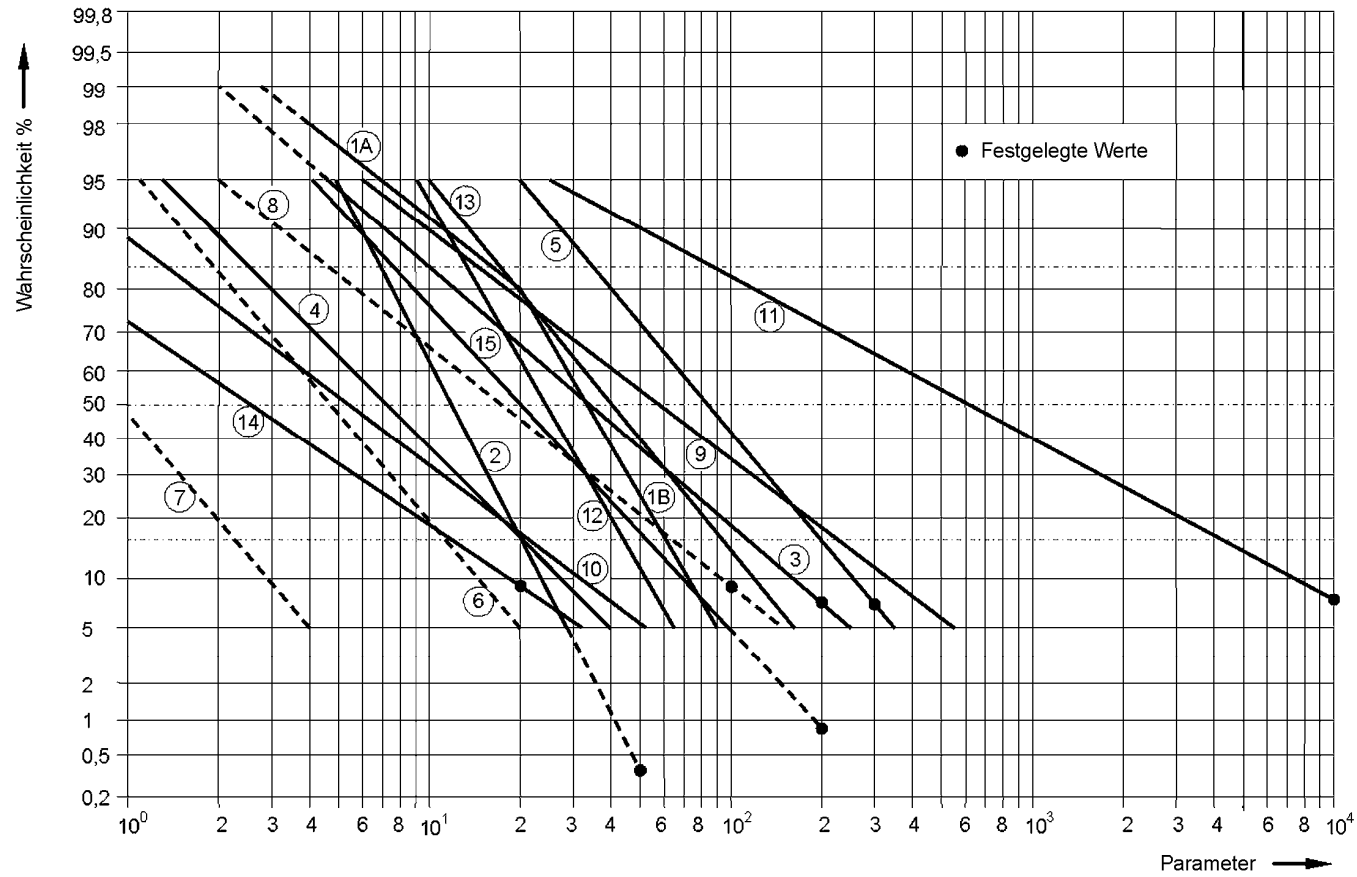
Parameter	Mittelwert $\mu$	Streuung $\sigma_{\log}$	Art des Teilblitzes	Gerade in Bild A.5
$I$ (kA)	(61,1)	0,576	Negativer Erstblitz (80 %)†	1A
	33,3	0,263	Negativer Erstblitz (80 %)†	1B
	11,8	0,233	Negativer Folgeblitz†	2
$Q_{\text{flash}}$ (C)	33,9	0,527	(Einzelner) positiver Erstblitz	3
	7,21	0,452	Negativer Blitz	4
$Q_{\text{short}}$ (C)	83,7	0,378	Positiver Blitz	5
	4,69	0,383	Negativer Erstblitz	6
	0,938	0,383	Negativer Folgeblitz	7
$W/R$ (kJ/Ω)	17,3	0,570	(Einzelner) positiver Erstblitz	8
	57,4	0,596	Negativer Erstblitz	9
	5,35	0,600	Negativer Folgeblitz	10
$di/dr_{\text{max}}$ (kA/μs)	612	0,844	Positiver Erstblitz	11
	24,3	0,260	Negativer Erstblitz†	12
	40,0	0,369	Negativer Folgeblitz†	13
$di/dr_{30/90\%}$ (kA/μs)	2,53	0,670	Positiver Erstblitz	14
	20,1	0,420	Negativer Folgeblitz†	15
$Q_{\text{long}}$ (C)	200		Langzeitstrom	
$T_{\text{long}}$ (s)	0,5		Langzeitstrom	
Stirnzeit (μs)	5,69	0,304	Negativer Erstblitz	
	0,995	0,398	Negativer Folgeblitz	
	26,5	0,534	(Einzelner) positiver Erstblitz	
Teilblitzdauer (μs)	77,5	0,250	Negativer Erstblitz	
	30,2	0,405	Negativer Folgeblitz	
	224	0,578	(Einzelner) positiver Erstblitz	
Zeitintervall (ms)	32,4	0,405	Negative Mehrfachblitze	
Gesamt-Blitzdauer (ms)	12,8	1,175	Negativer Blitz (Gesamtheit)	
	167	0,445	Negativer Blitz (ohne Einzelblitz)	
	83,7	0,472	Positiver Blitz	
ANMERKUNG $\sigma_{\log} = \log(I_{16\%}) - (I_{50\%})$				

— Entwurf —

E DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1):2010-01  
FprEN 62305-1:2009

Tabelle A.3 – Werte der Wahrscheinlichkeit  $P$  als Funktion des Blitzstroms  $I$

$I$ (kA)	$P$
0	1
3	0,99
5	0,95
10	0,9
20	0,8
30	0,6
35	0,5
40	0,4
50	0,3
60	0,2
80	0,1
100	0,05
150	0,02
200	0,01
300	0,005
400	0,002
600	0,001



ANMERKUNG Zur Benummerung der Geraden siehe Tabellen A.1 und A.2.

**Bild A.5 – Summenhäufigkeitsverteilung der Blitzstromparameter (Geraden durch die 95%- und 5%-Werte)**

Alle für die Gefährdungspegel LPL festgelegten Werte dieser Norm beziehen sich auf Abwärts- und Aufwärtsblitze.

ANMERKUNG Die Werte der Blitzstromparameter werden üblicherweise durch Messungen an hohen Objekten gewonnen. Die statistische Verteilung der geschätzten Scheitelwerte des Blitzstroms, die nicht den Einfluss hoher Objekte berücksichtigt, ist auch von Blitzortungssystemen erhältlich.

### A.3 Festlegung der Maximalwerte der Blitzstromparameter für LPL I

Die mechanischen Auswirkungen eines Blitzeinschlags hängen vom Scheitelwert des Stroms ( $I$ ) und von der spezifischen Energie ( $W/R$ ) ab. Die thermischen Auswirkungen hängen von der spezifischen Energie ( $W/R$ ) ab, wenn ohmsche Kopplung beteiligt ist, und von der Ladung ( $Q$ ), wenn sich in der Installation Lichtbögen entwickeln. Überspannungen und gefährliche Funkenbildung, verursacht durch induktive Kopplung, hängen von der mittleren Steilheit ( $di/dt$ ) der Blitzstromstirn ab.

Jeder einzelne Parameter ( $I$ ,  $Q$ ,  $W/R$ ,  $di/dt$ ) tendiert dazu, einen bestimmten Ausfallmechanismus vorwiegend zu bestimmen. Dies ist bei der Festlegung von Prüfverfahren zu berücksichtigen.

#### A.3.1 Erster Stoßstrom und Langzeitstrom

Die Werte  $I$ ,  $Q$  und  $W/R$ , die sich auf die mechanischen und thermischen Auswirkungen beziehen, werden an positiven Blitzentladungen bestimmt (weil ihre 10%-Werte viel höher als die entsprechenden 1%-Werte negativer Blitzentladungen sind). Aus Bild A.5 (Geraden 3, 5, 8, 11 und 14) können die folgenden Werte mit Wahrscheinlichkeiten unter 10 % entnommen werden:

$$I = 200 \text{ kA}$$

$$Q_{\text{flash}} = 300 \text{ C}$$

$$Q_{\text{short}} = 100 \text{ C}$$

$$W/R = 10 \text{ MJ}/\Omega$$

$$di/dt = 20 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

Für einen ersten Stoßstrom nach Bild A.1 geben diese Werte eine erste Näherung für die Stirnzeit:

$$T_1 = I / (di/dt) = 10 \mu\text{s} \quad (T_1 \text{ ist von untergeordnetem Interesse})$$

Für einen exponentiell abklingenden Stoßstrom gelten die folgenden Gleichungen für angenäherte Ladungs- und Energiewerte ( $T_1 \ll T_2$ ):

$$Q_{\text{short}} = (1/0,7) \cdot I \cdot T_2$$

$$W/R = (1/2) \cdot (1/0,7) \cdot I^2 \cdot T_2$$

Diese Gleichungen führen gemeinsam mit den vorstehend angegebenen Werten zu einer ersten Näherung für die Rückenhalbwertzeit:

$$T_2 = 350 \mu\text{s}$$

Die Ladung des Langzeitstroms kann näherungsweise berechnet werden mit:

$$Q_{\text{long}} = Q_{\text{flash}} - Q_{\text{short}} = 200 \text{ C}$$

Seine Dauer nach Bild A.2 kann aus den Werten in Tabelle A.1 geschätzt werden zu:

$$T_{\text{long}} = 0,5 \text{ s}$$

### A.3.2 Erster negativer Stoßstrom

Bei mancher induktiven Kopplung führt der erste negative Stoßstrom zu den höchsten induzierten Spannungen, z. B. für Kabel in Kabelkanälen aus armiertem Beton. Aus Bild A.5 (Geraden 1 und 12) können die folgenden Werte mit Wahrscheinlichkeiten unter 1 % erhalten werden:

$$I = 100 \text{ kA}$$
$$di/dt = 100 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

Für einen ersten negativen Stoßstrom nach Bild A.1 liefern diese Werte eine erste Näherung für dessen Stirnzeit:

$$T_1 = I / (di/dt) = 1,0 \mu\text{s}.$$

Seine Rückenhalbwertzeit kann aus der Entladungsdauer des ersten negativen Stoßstroms geschätzt werden:

$$T_2 = 200 \mu\text{s} \quad (T_2 \text{ ist von untergeordneter Bedeutung}).$$

### A.3.3 Folgestoßstrom

Der Maximalwert der mittleren Steilheit  $di/dt$ , der mit der durch induktive Kopplung verursachten gefährlichen Funkenbildung verbunden ist, wird anhand der Folgestoßströme von negativen Blitzen bestimmt (weil deren 1-%-Werte um einiges höher sind als 1-%-Werte von ersten negativen Stoßströmen oder die entsprechenden 10-%-Werte der positiven Blitze). Aus Bild A.5 (Geraden 2 und 15) können die folgenden Werte mit Wahrscheinlichkeiten unter 1 % erhalten werden:

$$I = 50 \text{ kA}$$
$$di/dt = 200 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

Für einen Folgestoßstrom nach Bild A.1 liefern diese Werte eine erste Näherung für dessen Stirnzeit:

$$T_1 = I / (di/dt) = 0,25 \mu\text{s}$$

Seine Rückenhalbwertzeit kann aus der Entladungsdauer der negativen Folgestoßströme geschätzt werden:

$$T_2 = 100 \mu\text{s} \quad (T_2 \text{ ist von untergeordneter Bedeutung}).$$

## A.4 Festlegung der Minimalwerte der Blitzstromparameter

Die Auffangwirksamkeit eines LPS hängt von den Minimalwerten der Blitzstromparameter und dem zugehörigen Radius der Blitzkugel ab. Die geometrische Grenze von Bereichen, die gegen direkte Blitzeinschläge geschützt sind, können nach dem Blitzkugelverfahren bestimmt werden.

Nach dem elektro-geometrischen Modell korreliert der Blitzkugelradius  $r$  (Enddurchschlagstrecke) mit dem Scheitelwert des ersten Stoßstroms. In einem Bericht einer IEEE-Arbeitsgruppe <sup>[5]</sup> wird dieser Zusammenhang beschrieben mit

$$r = 10 \cdot I^{0,65} \tag{A.1}$$

Dabei ist

- $r$  der Radius der Blitzkugel (m);
- $I$  der Scheitelwert des Stroms (kA).

— **Entwurf** —

**E DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1):2010-01**  
**FprEN 62305-1:2009**

Für einen vorgegebenen Blitzkugelradius  $r$  kann angenommen werden, dass alle Blitze mit Scheitelwerten über dem entsprechenden kleinsten Scheitelwert  $I$  von natürlichen oder dafür vorgesehenen Fangeinrichtungen aufgefangen werden. Deshalb wird die Wahrscheinlichkeit für die Scheitelwerte von negativen und positiven ersten Stoßströmen nach Bild A.5 (Geraden 1A und 3) als Fangwahrscheinlichkeit angenommen. Unter Berücksichtigung des Polaritätsverhältnisses von 10 % positiven und 90 % negativen Blitzen kann die Gesamt-Fangwahrscheinlichkeit berechnet werden (siehe Tabelle 5).

## Anhang B (informativ)

### Zeitfunktionen des Blitzstroms für Analysezwecke

Die Wellenformen

- des ersten positiven Stoßstroms 10/350 µs
- des ersten negativen Stoßstroms 1/200 µs
- des negativen Folgestoßstroms 0,25/100 µs

können definiert werden als:

$$i = \frac{I}{k} \cdot \frac{(t/\tau_1)^{10}}{1 + (t/\tau_1)^{10}} \cdot \exp(-t/\tau_2) \quad (\text{B.1})$$

Dabei ist

- $I$  der Stromscheitelwert;
- $k$  der Korrekturfaktor für den Stromscheitelwert;
- $t$  die Zeit;
- $\tau_1$  die Stirnzeitkonstante;
- $\tau_2$  die Rückenzeitkonstante.

Für die Wellenformen des ersten positiven Stoßstroms, des ersten negativen Stoßstroms und des negativen Folgestoßstroms gelten für die unterschiedlichen Gefährdungspegel LPL die in Tabelle B.1 angegebenen Parameter. Die analytischen Kurven als Funktion der Zeit sind in den Bildern B.1 bis B.6 dargestellt.

**Tabelle B.1 – Parameter für die Gleichung (B.1)**

Parameter	Erster positiver Stoßstrom			Erster negativer Stoßstrom			Negativer Folgestoßstrom		
	LPL			LPL			LPL		
	I	II	III – IV	I	II	III – IV	I	II	III – IV
$I$ (kA)	200	150	100	100	75	50	50	37,5	25
$k$	0,93	0,93	0,93	0,986	0,986	0,986	0,993	0,993	0,993
$\tau_1$ (µs)	19	19	19	1,82	1,82	1,82	0,454	0,454	0,454
$\tau_2$ (µs)	485	485	485	285	285	285	143	143	143

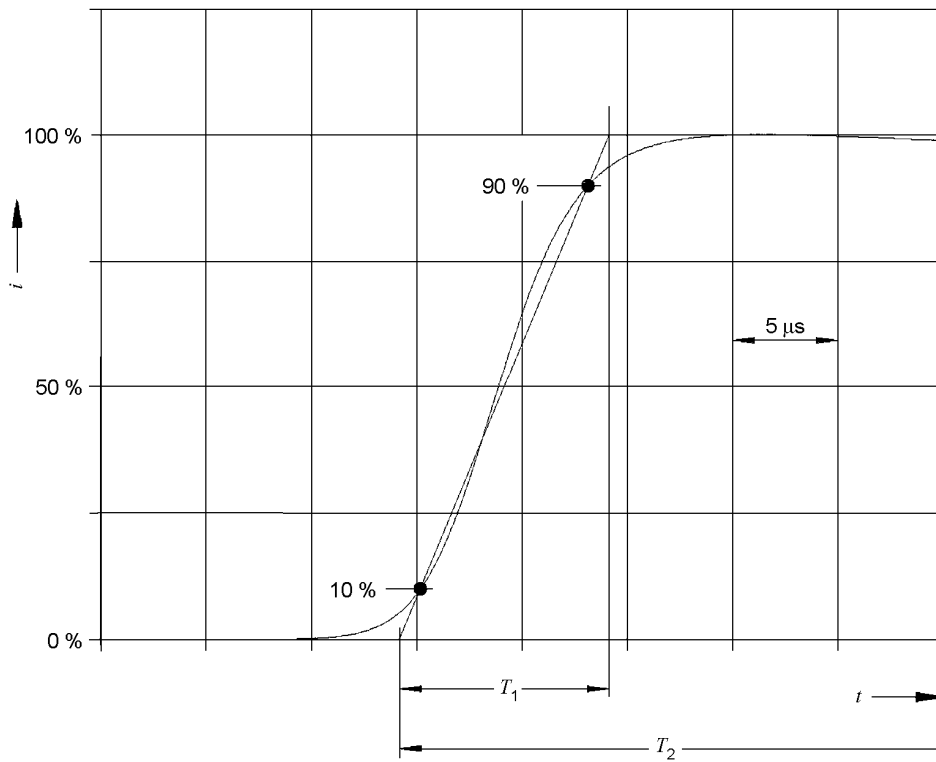


Bild B.1 – Zeitlicher Verlauf der Stirn des ersten positiven Stoßstroms

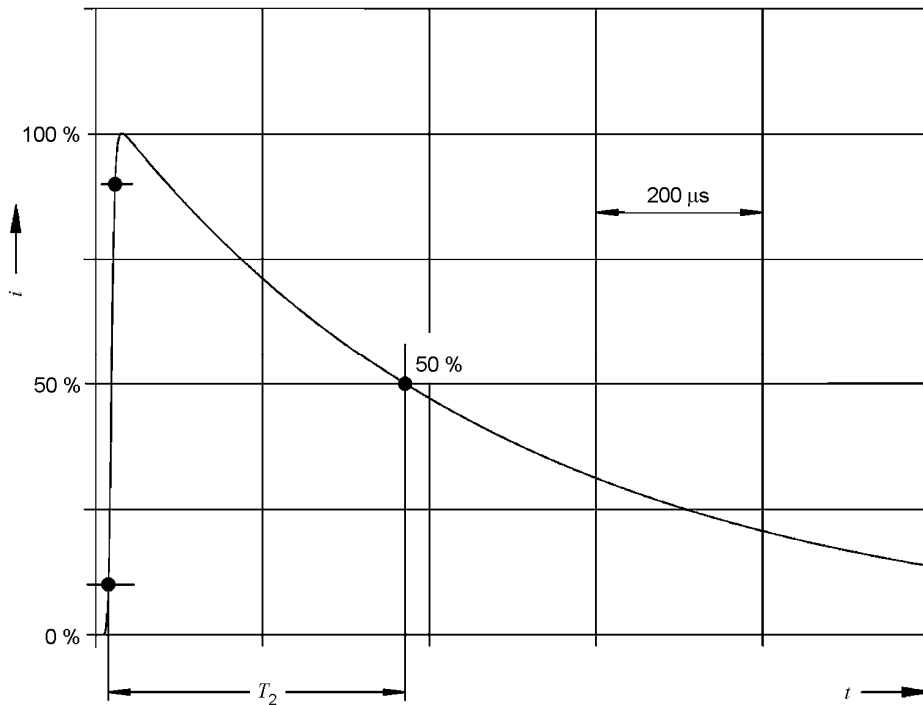
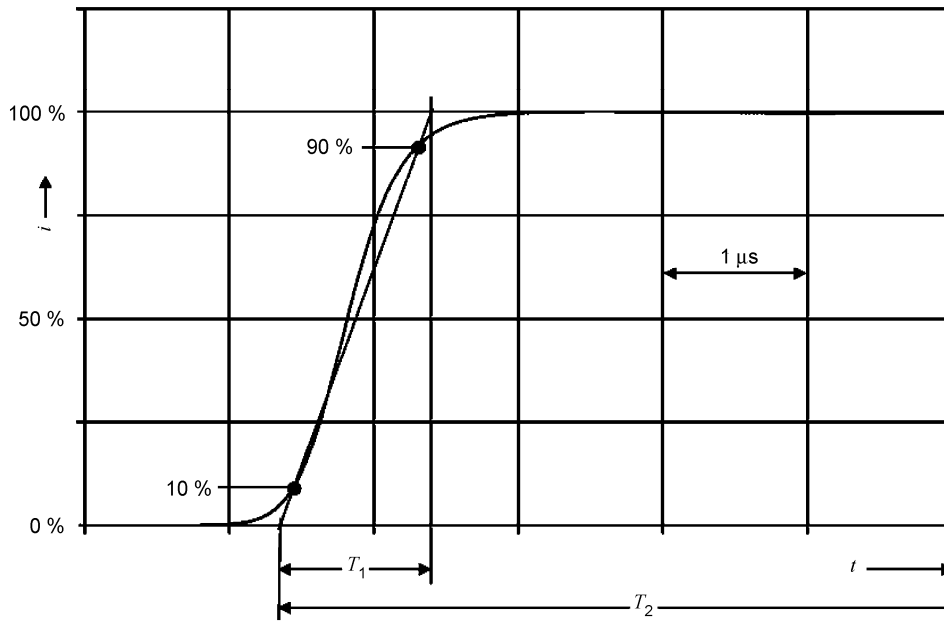
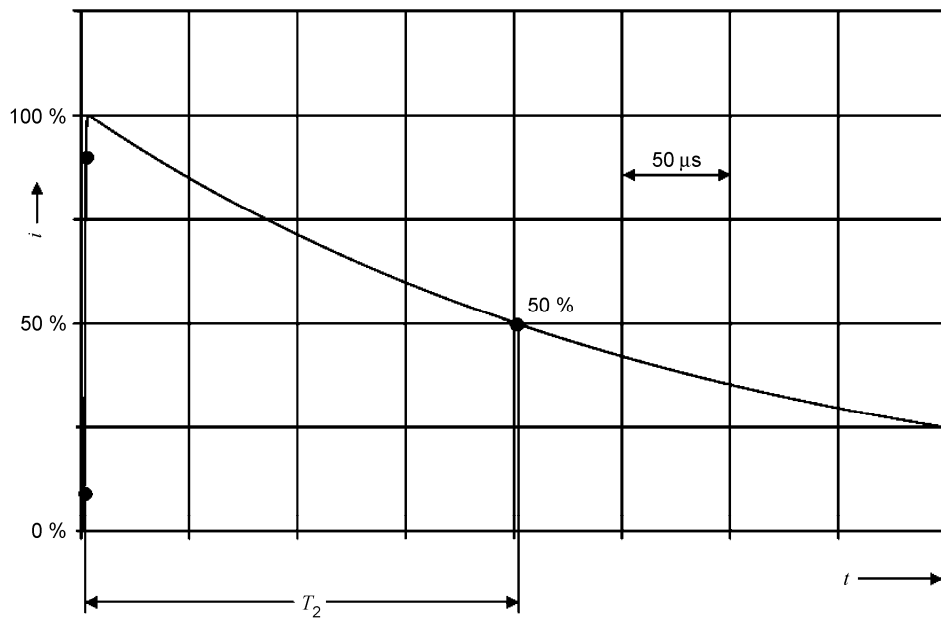


Bild B.2 – Zeitlicher Verlauf des Rückens des ersten positiven Stoßstroms

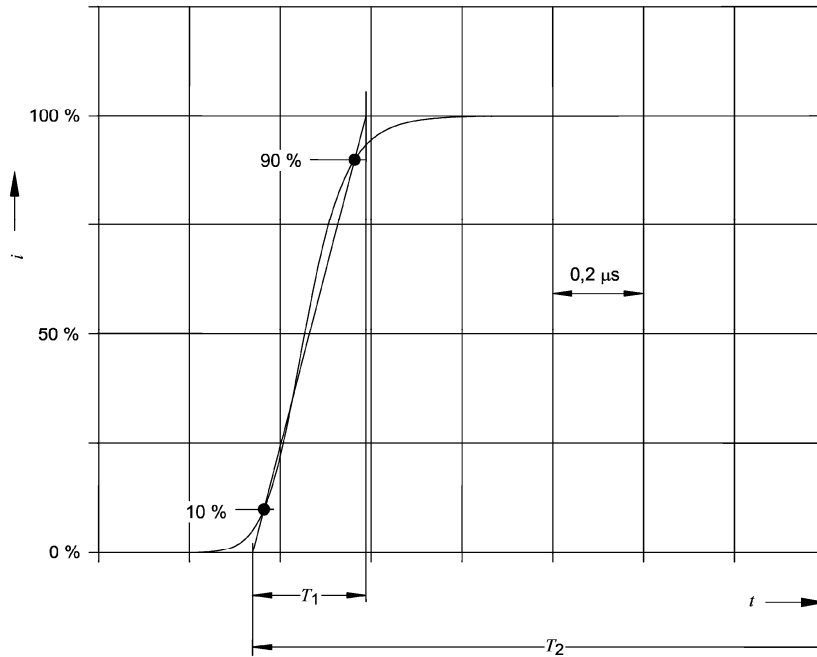




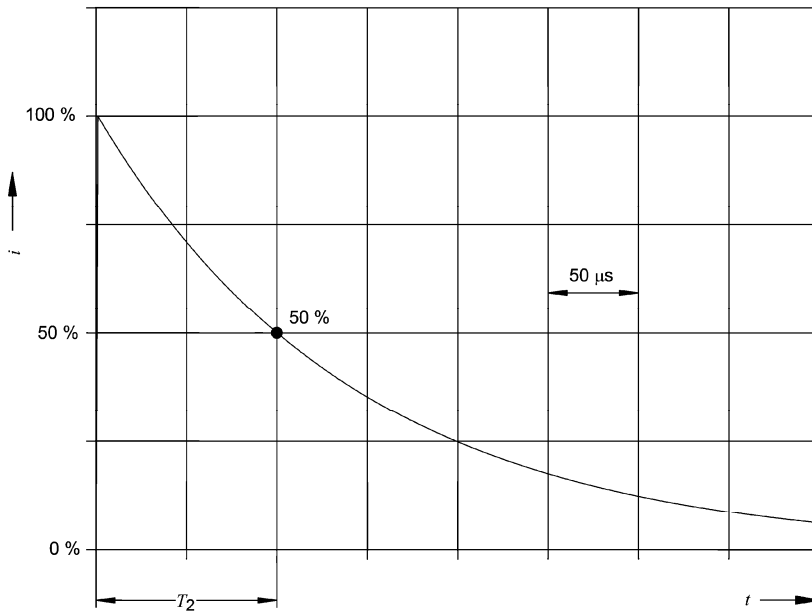
**Bild B.3 – Zeitlicher Verlauf der Stirn des ersten negativen Stoßstroms**



**Bild B.4 – Zeitlicher Verlauf des Rückens des ersten negativen Stoßstroms**



**Bild B.5 – Zeitlicher Verlauf der Stirn der negativen Folgestoßströme**



**Bild B.6 – Zeitlicher Verlauf des Rückens der negativen Folgestoßströme**

Der Langzeitstrom kann durch eine Rechteck-Wellenform mit einem mittleren Strom  $I$  und einer Dauer  $T_{\text{long}}$  nach Tabelle 3 beschrieben werden.

Aus den analytischen Kurven kann die Amplitudendichte des Blitzstroms (Bild B.7) abgeleitet werden.

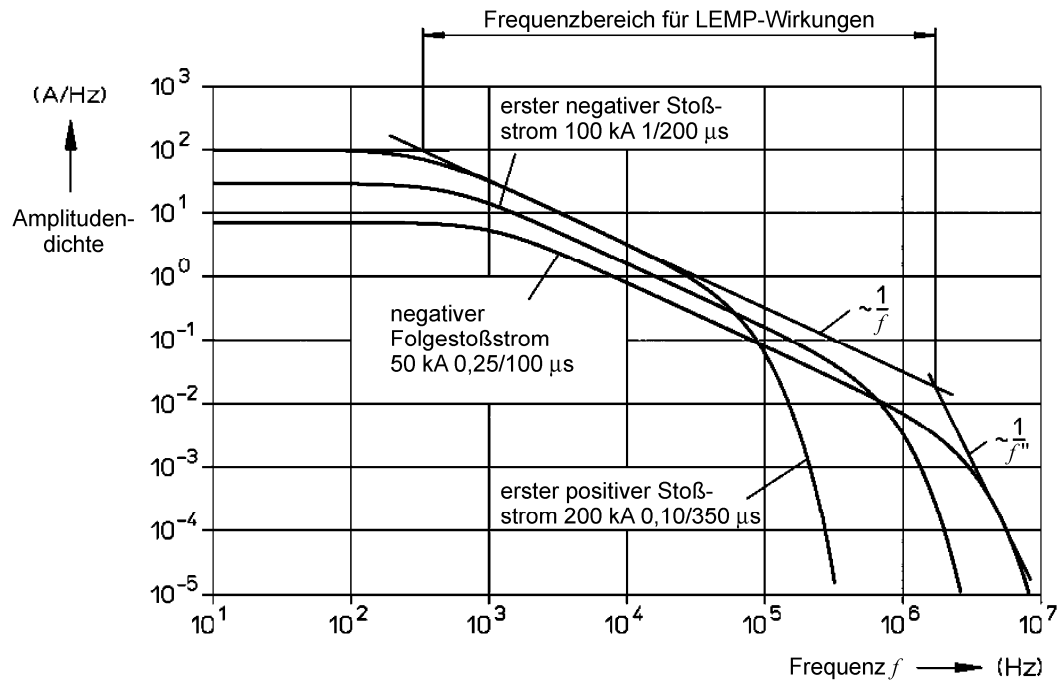


Bild B.7 – Amplitudendichte des Blitzstroms entsprechend Gefährdungspegel LPL I

## Anhang C (informativ)

### Nachbildung des Blitzstroms für Prüfzwecke

#### C.1 Allgemeines

Wenn eine bauliche Anlage vom Blitz getroffen wird, verteilt sich der Blitzstrom innerhalb der baulichen Anlage. Bei der Prüfung einzelner Komponenten der Schutzmaßnahmen muss dies durch die Auswahl geeigneter Prüfparameter für jede Komponente berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck ist eine Systemanalyse durchzuführen.

#### C.2 Nachbildung der spezifischen Energie des ersten Stoßstroms und der Ladung des Langzeitstroms

Die Prüfparameter sind in den Tabellen C.1 und C.2 festgelegt, und ein Beispiel für einen Prüfgenerator ist in Bild C.1 dargestellt. Dieser Generator kann für die Nachbildung der spezifischen Energie des ersten (positiven) Stoßstroms in Kombination mit der Ladung des Langzeitstroms verwendet werden.

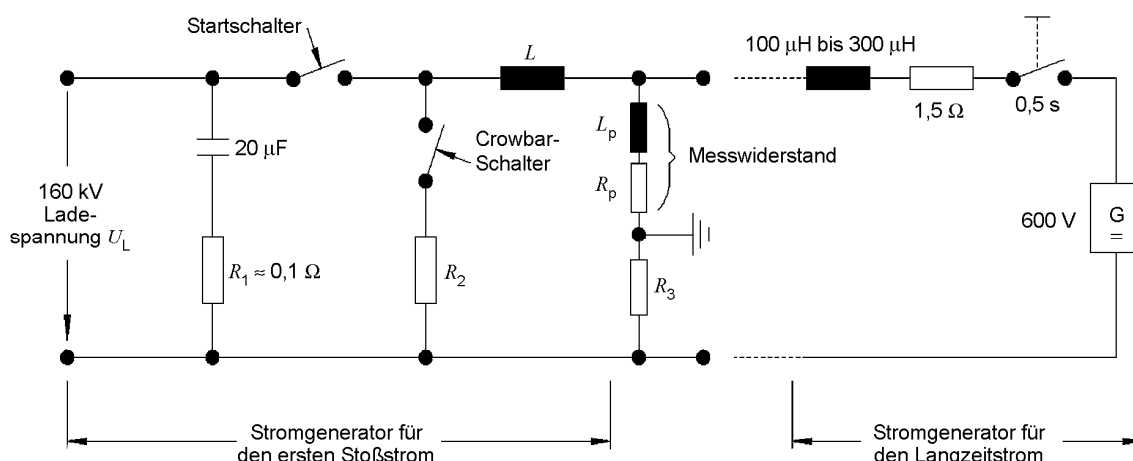
Diese Prüfungen dienen der Bewertung der mechanischen Unversehrtheit und dem Nachweis, dass keine unzulässigen Erwärmungs- und Schmelzwirkungen eintreten.

Die betreffenden Prüfparameter für die Nachbildung des ersten Stoßstroms (Scheitelstrom  $I$ , spezifische Energie  $W/R$ , Ladung des Stoßstroms  $Q_{\text{short}}$ ) sind in Tabelle C.1 angegeben. Diese Parameter sind aus demselben Impuls zu erzeugen. Dies kann mit einem näherungsweise exponentiell abfallenden Strom mit  $T_2$  im Bereich von 350  $\mu\text{s}$  erreicht werden.

Die betreffenden Prüfparameter für die Nachbildung des Langzeitstroms (Ladung  $Q_{\text{long}}$  und Dauer  $T_{\text{long}}$ ) sind in Tabelle C.2 angegeben.

Abhängig vom Prüfling und dem zu erwartenden Schadensmechanismus können die Prüfungen für den ersten positiven Stoßstrom oder den Langzeitstrom als einzelne oder kombinierte Prüfung durchgeführt werden, wobei der Langzeitstrom unmittelbar auf den ersten Stoßstrom folgt. Prüfungen auf Ausschmelzungen durch einen Lichtbogen sollten mit beiden Polaritäten durchgeführt werden.

ANMERKUNG Der erste negative Stoßstrom wird nicht für Prüfungen verwendet.



ANMERKUNG Die Werte gelten für den Gefährdungspegel LPL I.

**Bild C.1 – Beispiel eines Prüfgenerators für die Nachbildung der spezifischen Energie des ersten positiven Stoßstroms und der Ladung des Langzeitstroms**

**Tabelle C.1 – Prüfparameter für den ersten positiven Stoßstrom**

Prüfparameter		LPL			Grenzabweichung %
		I	II	III – IV	
Scheitelwert des Stroms $I$	(kA)	200	150	100	± 10
Ladung $Q_{\text{short}}$	(C)	100	75	50	± 20
Spezifische Energie $W/R$	(MJ/Ω)	10	5,6	2,5	± 35

**Tabelle C.2 – Prüfparameter für den Langzeitstrom**

Prüfparameter		LPL			Grenzabweichung %
		I	II	III – IV	
Ladung $Q_{\text{long}}$	(C)	200	150	100	± 20
Dauer $T_{\text{long}}$	(s)	0,5	0,5	0,5	± 10

### C.3 Nachbildung der Stirnsteilheit von Stoßströmen

Die Stromsteilheit bestimmt die magnetisch induzierten Spannungen in Schleifen in der Nähe von blitzstromführenden Leitern.

Die Stromsteilheit eines Stoßstroms ist definiert als der Anstieg des Stroms  $\Delta i$  während der Anstiegszeit  $\Delta t$  (Bild C.2). Die betreffenden Prüfparameter für die Nachbildung der Stromsteilheit sind in Tabelle C.3 angegeben. Beispiele für Prüfgeneratoren sind in den Bildern C.3 und C.4 angegeben (die zur Nachbildung der Stirnsteilheit eines Blitzstroms, wie er beim Direkteinschlag auftritt, verwendet werden können). Die Nachbildung kann für einen ersten positiven Stoßstrom und einen Folgestoßstrom durchgeführt werden.

ANMERKUNG Diese Nachbildung umfasst die Stirnsteilheit der Stoßströme. Der Rücken des Stroms hat für diese Nachbildung keinen Einfluss.

— Entwurf —

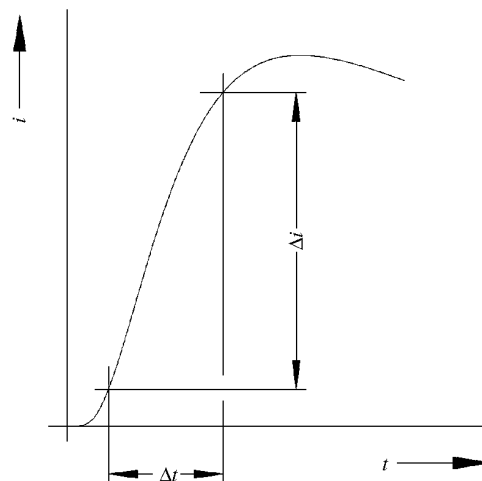
**E DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1):2010-01**  
**FprEN 62305-1:2009**

Die Nachbildung nach C.3 darf unabhängig oder in Kombination mit der Nachbildung nach C.2 angewendet werden.

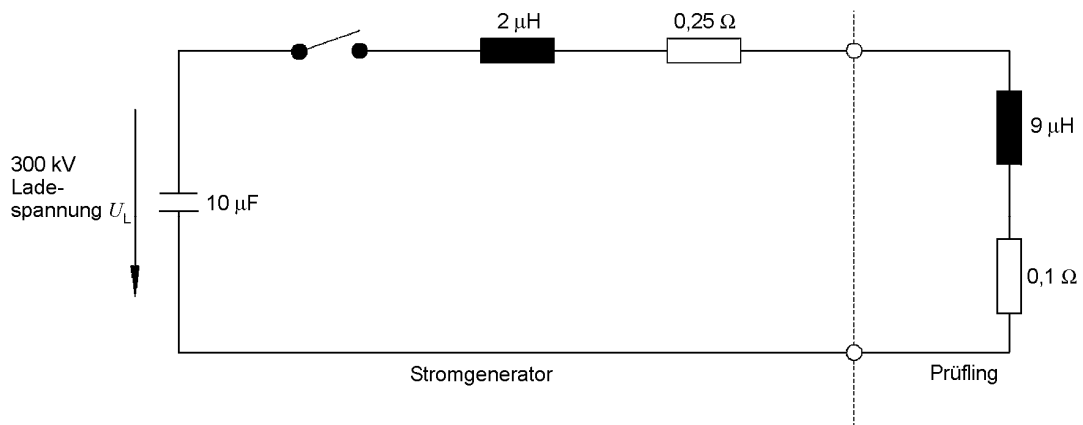
Zu weiteren Angaben hinsichtlich der Prüfparameter für die Nachbildung der Blitzauswirkungen auf LPS-Komponenten siehe Anhang D.

**Tabelle C.3 – Prüfparameter für die Stoßströme**

Prüfparameter	LPL			Grenzabweichung %
	I	II	III – IV	
Erster positiver Stoßstrom				
$\Delta i$ (kA)	200	150	100	± 10
$\Delta t$ (µs)	10	10	10	± 20
Negative Folgestoßströme				
$\Delta i$ (kA)	50	37,5	25	± 10
$\Delta t$ (µs)	0,25	0,25	0,25	± 20

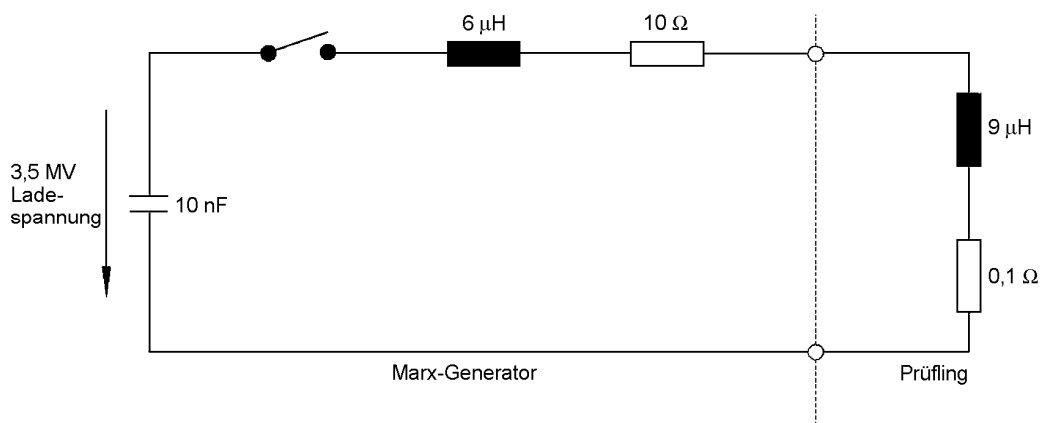


**Bild C.2 – Festlegung der Stromsteilheit nach Tabelle C.3**



ANMERKUNG Die Werte gelten für den Gefährdungspegel LPL I.

**Bild C.3 – Beispiel eines Prüfgenerators für die Nachbildung der Stirnsteilheit des ersten positiven Stoßstroms bei räumlich ausgedehnten Prüflingen**



ANMERKUNG Die Werte gelten für den Gefährdungspegel LPL I.

**Bild C.4 – Beispiel eines Prüfgenerators für die Nachbildung der Stirnsteilheit des negativen Folgestoßstroms bei räumlich ausgedehnten Prüflingen**

## Anhang D (informativ)

### Prüfparameter für die Nachbildung von Blitzwirkungen auf LPS-Komponenten

#### D.1 Allgemeines

Dieser Anhang D enthält die grundlegenden Parameter für die Laborsimulation von Blitzwirkungen. Der Anhang D umfasst alle diejenigen Komponenten eines Blitzschutzsystems, die dem gesamten oder einem erheblichen Teil des Blitzstroms ausgesetzt sind, und er ist zusammen mit den Normen anzuwenden, die Anforderungen und Prüfungen für jede einzelne Komponente festlegen.

ANMERKUNG Parameter, die für das Zusammenwirken eines Gesamtsystems maßgebend sind (z. B. für die Koordination von Überspannungsschutzgeräten), werden in diesem Anhang nicht betrachtet.

#### D.2 Stromparameter am Einschlagpunkt

Die Blitzstromparameter, die für die physikalische Unversehrtheit eines LPS eine Rolle spielen, sind im Allgemeinen der Stromscheitelwert  $I$ , die Ladung  $Q$ , die spezifische Energie  $W/R$ , die Dauer  $T$  und die mittlere Stromsteilheit  $di/dt$ . Wie im Folgenden detailliert aufgezeigt, werden die verschiedenen Schadensmechanismen jeweils vorwiegend von einem dieser Parameter bestimmt. Die bei Prüfungen anzuwendenden Stromparameter stellen eine Kombination dieser Größen dar, die so ausgewählt werden, dass der tatsächliche Ausfallmechanismus an einem Element des LPS im Labor nachgebildet wird. Die Auswahlkriterien für die maßgebenden Größen werden in D.5 angegeben.

Tabelle D.1 zeigt die für Prüfungen anzusetzenden Maximalwerte für  $I$ ,  $Q$ ,  $W/R$ ,  $T$  und  $di/dt$  abhängig vom geforderten Gefährdungspegel.



**Tabelle D.1 – Zusammenfassung der Blitz-Gefährdungsparameter, die für die Berechnung der Prüfwerte für unterschiedliche LPS-Komponenten und für unterschiedliche LPL-Gefährdungspegel zu berücksichtigen sind**

Komponente	Hauptursache	Blitz-Gefährdungsparameter					Bemerkungen
Fangeinrichtung	Ausschmelzung am Einschlagpunkt (z. B. dünne Metallbleche)	LPL	$Q_{\text{long}}$ (C)	$T$			
		I	200	< 2 s ( $Q_{\text{long}}$ ist in einem Impuls anzuwenden)			
		II	150				
		III – IV	100				
Fangeinrichtung und Ableitung	Widerstands-erwärmung	LPL	$W/R$ (kJ/ $\Omega$ )	$T$			Dimensionierung nach IEC 62305-3 erübrigt Prüfung
		I	10 000	$W/R$ in adiabatischer Anordnung anwenden			
		II	5 600				
	III – IV	2 500					
	Mechanische Wirkungen	LPL	$I$ (kA)	$W/R$ (kJ/ $\Omega$ )			
		I	200	10 000			
II		150	5 600				
III – IV	100	2 500					
Verbindungsbauteile	Kombinierte Wirkungen (thermisch, mechanisch, Lichtbogenbildung)	LPL	$I$ (kA)	$W/R$ (kJ/ $\Omega$ )	$T$		
		I	200	10 000	< 2 ms ( $I$ und $W/R$ in einem Impuls anwenden)		
		II	150	5 600			
		III – IV	100	2 500			
Erder	Ausschmelzung am Austrittspunkt	LPL	$Q_{\text{long}}$ (C)	$T$			Dimensionierung meist durch mechanische und chemische Aspekte bestimmt (Korrosion usw.)
		I	200	< 2 s ( $Q_{\text{long}}$ ist in einem Impuls anzuwenden)			
		II	150				
		III – IV	100				
SPDs mit Funkenstrecken	Kombinierte Wirkungen (thermisch, mechanisch, Lichtbogenbildung)	LPL	$I$ (kA)	$Q_{\text{short}}$ (C)	$W/R$ (kJ/ $\Omega$ )	$di/dt$ (kA/ $\mu$ s)	$I$ , $Q_{\text{short}}$ und $W/R$ in einem Impuls (Dauer $T < 2$ ms); $\Delta i/\Delta t$ in einem anderen Impuls anwenden
		I	200	100	10 000	200	
		II	150	75	5 600	150	
		III – IV	100	50	2 500	100	
SPDs mit Metalloxid-Widerständen	Energetische Wirkungen (Überlast)	LPL	$Q_{\text{short}}$ (C)				Beide Aspekte sind zu überprüfen
		I	100				
		II	75				
	Dielektrische Wirkungen (Überschlag und Rissbildung)	LPL	$I$ (kA)	$T$			Getrennte Prüfungen sind zulässig
		I	200	< 2 ms ( $I$ in einem Impuls anwenden)			
		II	150				
III – IV	100						

### D.3 Stromaufteilung

Die Parameter in Tabelle D.1<sup>N3)</sup> beschreiben den Blitzstrom am Einschlagpunkt. Von dort fließt der Strom auf mehreren Pfaden zur Erde ab, da ein LPS üblicherweise mehrere Ableitungen und natürliche Komponenten aufweist. Zusätzlich führen verschiedene Versorgungsleitungen in die bauliche Anlage (Gas- und Wasserleitungen, Stromversorgungs- und Telekommunikationsleitungen usw.). Für die Ermittlung der Parameter des tatsächlichen Stroms, der durch bestimmte Komponenten des LPS fließt, ist diese Stromaufteilung zu berücksichtigen. Vorzugsweise müssen Stromamplitude und Stromwellenform durch eine Komponente an einer bestimmten Stelle des LPS berechnet werden. Wo eine individuelle Berechnung nicht möglich ist, können die Stromparameter mit Hilfe der folgenden Vorgehensweise bewertet werden.

Für die Ermittlung der Stromaufteilung innerhalb des äußeren LPS kann der Konfigurationsfaktor  $k_c$  (siehe IEC 62305-3, Anhang C) herangezogen werden. Dieser Faktor gibt die Stromaufteilung auf die Ableitungen des äußeren Blitzschutzes unter den ungünstigsten Bedingungen an.

Für die Stromaufteilung bei von außen in die geschützte bauliche Anlage eingeführten leitenden Teilen und Stromversorgungs- und Telekommunikationsleitungen können die in Anhang E betrachteten Näherungswerte  $k_e$  und  $k'_e$  herangezogen werden.

Die oben beschriebene Vorgehensweise ist für die Ermittlung des Scheitelwerts des Stroms in einem bestimmten Pfad zur Erde anwendbar. Die übrigen Stromparameter werden folgendermaßen bestimmt:

$$I_p = k \cdot I \quad (D.1)$$

$$Q_p = k \cdot Q \quad (D.2)$$

$$(W/R)_p = k^2 \cdot (W/R) \quad (D.3)$$

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_p = k \cdot \left(\frac{di}{dt}\right) \quad (D.4)$$

Dabei ist

- $x_p$  der Wert der betrachteten Größe (Strom  $I_p$ , Ladung  $Q_p$ , spezifische Energie  $(W/R)_p$ , Stromsteilheit  $(di/dt)_p$ ) in einem bestimmten Pfad „p“ gegen Erde;
- $x$  der Wert der betrachteten Größe (Strom  $I$ , Ladung  $Q$ , spezifische Energie  $(W/R)$ , Stromsteilheit  $(di/dt)$ ) des Gesamt-Blitzstroms;
- $k$  der Stromaufteilungsfaktor:
  - $k_c$  für das äußere LPS (siehe IEC 62305-3, Anhang C);
  - $k_e, k'_e$  bei Vorhandensein von äußeren leitenden Teilen, Stromversorgungs- und Telekommunikationsleitungen, die in die geschützte bauliche Anlage eingeführt werden (siehe Anhang E).

### D.4 Mögliche Schadenswirkungen durch Blitzströme

#### D.4.1 Thermische Wirkungen

Vom Blitzstrom verursachte thermische Wirkungen sind ohmsche Erwärmung durch den Stromfluss in einem widerstandsbehafteten Leiter oder in einem LPS. Thermische Wirkungen sind auch wichtig für die Erwärmung an Lichtbogen-Fußpunkten am Einschlagpunkt und in allen Trennelementen des LPS mit Lichtbogenentwicklung (z. B. Funkenstrecken).

<sup>N3)</sup> Nationale Fußnote: In IEC 335/CDV wurde hier irrtümlich D.3 angegeben.

#### D.4.1.1 Ohmsche Erwärmung

Ohmsche Erwärmung tritt in allen Komponenten des LPS auf, die einen erheblichen Teil des Blitzstroms führen. Die Mindestquerschnitte von Leitungen sind so zu bemessen, dass eine Überhitzung der Leitung mit daraus folgender Feuergefährdung für die Umgebung vermieden wird. Abgesehen von der Erwärmung nach D.4.1 sind auch mechanische Festigkeit und Haltbarkeitskriterien zu berücksichtigen, wenn Bauteile atmosphärischen Bedingungen oder Korrosion ausgesetzt sind. Die Berechnung der Erwärmung von Leitungen infolge von Blitzströmen kann manchmal notwendig werden, wenn Risiken hinsichtlich Personenschutz, Brand- oder Explosionsgefahren bestehen.

Nachfolgend wird ein Leitfadens zur Berechnung der Erwärmung blitzstromdurchflossener Leiter aufgezeigt.

Im Folgenden wird ein analytischer Ansatz vorgestellt:

Die in Wärme umgesetzte Momentanleistung infolge eines elektrischen Stroms in einem Leiter beträgt:

$$P(t) = i^2 \cdot R \quad (D.5)$$

Die gesamte durch den Blitzstrom erzeugte thermische Energie ist damit gegeben durch den ohmschen Widerstand des Strompfades durch die betrachtete LPS-Komponente multipliziert mit der spezifischen Energie des Stoßes und wird in Joules (J) oder Wattsekunden (Ws) angegeben.

$$W = R \cdot \int i^2 \cdot dt \quad (D.6)$$

Bei einer Blitzentladung sind die Phasen, in denen eine hohe spezifische Energie des Blitzes auftritt, zu kurz für einen merklichen Wärmeaustausch in der baulichen Anlage. Der Vorgang ist somit als adiabatisch anzusehen.

Die Temperatur der Leiter des LPS kann folgendermaßen bestimmt werden:

$$\theta - \theta_0 = \frac{1}{\alpha} \left[ \exp\left( \frac{W}{R} \cdot \frac{\alpha \cdot \rho_0}{q^2 \cdot \gamma \cdot C_w} \right) - 1 \right] \quad (D.7)$$

Dabei ist

$\theta - \theta_0$  der Temperaturanstieg im Leiter (K);

$\alpha$  der Temperaturkoeffizient des spezifischen Widerstands (1/K);

$W/R$  die spezifische Energie des Blitzimpulses (J/Ω);

$\rho_0$  der spezifische ohmsche Widerstand des Leiters bei Umgebungstemperatur (Ωm);

$q$  der Leiterquerschnitt (m<sup>2</sup>);

$\gamma$  die Massendichte (kg/m<sup>3</sup>);

$C_w$  die Wärmekapazität (J/kgK);

$\theta_s$  die Schmelztemperatur (°C).

Die Kennwerte der physikalischen Größen der vorstehenden Gleichung (D.7) sind in Tabelle D.2 für verschiedene LPS-Werkstoffe zusammengestellt. Als Anwendungsbeispiel für diese Gleichung zeigt Tabelle D.3 den Temperaturanstieg von Leitern verschiedener Werkstoffe in Abhängigkeit von der spezifischen Energie  $W/R$  und dem Leiterquerschnitt.

Ein typischer Blitz-Stoßstrom weist eine kurze Dauer (Rückenhalbwertzeit: wenige 100 μs) und einen hohen Strom-Scheitelwert auf. Unter diesen Umständen sollte deshalb auch der Skineffekt berücksichtigt werden. In

## — Entwurf —

**E DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1):2010-01**  
**FprEN 62305-1:2009**

der Praxis sind jedoch bei LPS-Komponenten die Werkstoffdaten (dynamische Permeabilität des LPS-Leiters) und die geometrische Anordnung (Leiterquerschnitt des LPS-Leiters) so beschaffen, dass der Einfluss des Skin-Effekts auf die Leitererwärmung zu vernachlässigen ist.

Für die ohmsche Erwärmung ist hauptsächlich der erste Stoßstrom eines Erdblitzes maßgebend.

**Tabelle D.2 – Physikalische Kennwerte typischer Werkstoffe für Komponenten des LPS**

Kennwert		Werkstoff			
		Aluminium	Eisen	Kupfer	nicht rostender Stahl <sup>a)</sup>
$\rho_0$	( $\Omega\text{m}$ )	$29 \times 10^{-9}$	$120 \times 10^{-9}$	$17,8 \times 10^{-9}$	$0,7 \times 10^{-6}$
$\alpha$	(1/K)	$4,0 \times 10^{-3}$	$6,5 \times 10^{-3}$	$3,92 \times 10^{-3}$	$0,8 \times 10^{-3}$
$\gamma$	( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	2 700	7 700	8 920	$8 \times 10^3$
$\theta_s$	( $^{\circ}\text{C}$ )	658	1 530	1 080	1 500
$C_s$	(J/kg)	$397 \times 10^3$	$272 \times 10^3$	$209 \times 10^3$	–
$C_w$	(J/kgK)	908	469	385	500

<sup>a)</sup> austenitisch, nicht magnetisch.

**Tabelle D.3 – Temperaturanstieg für verschiedene Leiterquerschnitte als Funktion der spezifischen Energie  $W/R$**

Quer- schnitt	Werkstoff											
	Aluminium			Eisen			Kupfer			nicht rostender Stahl <sup>a)</sup>		
	$W/R$ MJ/ $\Omega$			$W/R$ MJ/ $\Omega$			$W/R$ MJ/ $\Omega$			$W/R$ MJ/ $\Omega$		
mm <sup>2</sup>	2,5	5,6	10	2,5	5,6	10	2,5	5,6	10	2,5	5,6	10
4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
10	564	–	–	–	–	–	169	542	–	–	–	–
16	146	454	–	1 120	–	–	56	143	309	–	–	–
25	52	132	283	211	913	–	22	51	98	940	–	–
50	12	28	52	37	96	211	5	12	22	190	460	940
100	3	7	12	9	20	37	1	3	5	45	100	190

<sup>a)</sup> austenitisch, nicht magnetisch.

### D.4.1.2 Thermische Schäden am Fußpunkt

An allen Komponenten des LPS, an denen sich ein Lichtbogen entwickelt, treten Schäden an dessen Fußpunkt auf, z. B. bei Fangeinrichtungen, Funkenstrecken usw.

Materialausschmelzung und -abtrag können am Lichtbogen-Fußpunkt auftreten. Am Lichtbogen-Fußpunkt erfolgt ein großer Wärmeenergie-Eintrag durch den Lichtbogen selbst und durch die ohmsche Erwärmung aufgrund hoher Stromdichten. Die Wärmeenergie wird vorwiegend direkt an oder nahe der Metalloberfläche umgesetzt. Die unmittelbar am Lichtbogen-Fußpunkt auftretende thermische Energie übersteigt den Betrag, der durch Wärmeleitung in das Metall abgeführt werden kann, und der Überschuss wird durch Strahlung oder durch Schmelzen oder Verdampfen von Metall abgeführt. Das Schadensausmaß hängt von der Stromamplitude und der Stromdauer ab.

#### D.4.1.2.1 Allgemeines

Es wurden eine Reihe theoretischer Modelle zur Berechnung thermischer Effekte am Lichtbogen-Fußpunkt eines Blitzkanals auf metallenen Oberflächen entwickelt. Vereinfachend wird hier nur das Anoden- bzw. Kathodenspannungsfall-Modell behandelt. Dieses Modell ist insbesondere für dünne Metallbleche anwendbar. Generell ergeben sich mit diesem Modell konservative Resultate, da davon ausgegangen wird, dass die gesamte im Lichtbogen-Fußpunkt umgesetzte Energie zum Schmelzen oder Verdampfen von Material führt und Wärmeausgleichs-Vorgänge innerhalb des Metalls vernachlässigt werden. Andere Modelle berücksichtigen die Abhängigkeit des Schadens am Fußpunkt von der Einwirkungsdauer des Stromimpulses.

#### D.4.1.2.2 Anoden- bzw. Kathodenspannungsfall-Modell

Es wird davon ausgegangen, dass der Energieeintrag  $W$  am Lichtbogen-Fußpunkt durch den Anoden- bzw. Kathodenspannungsfall  $u_{a,c}$  multipliziert mit der Ladung  $Q$  des Blitzstroms gegeben ist:

$$W = \int u_{a,c} i dt = u_{a,c} \int i dt = u_{a,c} \cdot Q \quad (D.8)$$

Da  $u_{a,c}$  in dem hier betrachteten Strombereich weitgehend konstant ist, ist in erster Linie die Ladung  $Q$  des Blitzstroms maßgebend für den Energieumsatz an einem Lichtbogen-Fußpunkt.

Der Anoden- bzw. Kathodenspannungsfall  $u_{a,c}$  beträgt einige zehn Volt.

Es wird in erster Näherung weiter angenommen, dass der gesamte Energieumsatz am Lichtbogen-Fußpunkt ausschließlich zum Schmelzen von Material dient. Die folgende Gleichung (D.9) verwendet diese Annahme, führt jedoch zu einer Überbewertung des ausgeschmolzenen Volumens.

$$V = \frac{u_{a,c} \cdot Q}{\gamma} \cdot \frac{1}{C_w \cdot (\theta_s - \theta_u) + c_s} \quad (D.9)$$

Dabei ist

- $V$  das Volumen des ausgeschmolzenen Metalls (m<sup>3</sup>);
- $u_{a,c}$  der Anoden- bzw. Kathodenspannungsfall (als konstant angenommen) (V);
- $Q$  die Ladung des Blitzstroms (C);
- $\gamma$  die Massendichte (kg/m<sup>3</sup>);
- $C_w$  die Wärmekapazität (J/kgK);
- $\theta_s$  die Schmelztemperatur (°C);
- $\theta_u$  die Umgebungstemperatur (°C);
- $c_s$  die spezifische Schmelzwärme (J/kg).

Kennwerte der physikalischen Größen entsprechend dieser Gleichung sind in Tabelle D.2 für verschiedene, typische LPS-Werkstoffe zusammengestellt.

Grundsätzlich ist die anzusetzende Ladung die Summe der Ladung des Stoßstroms und der Ladung des Langzeitstroms. Laborexperimente haben jedoch gezeigt, dass die Wirkungen der Ladung des Stoßstroms im Vergleich zu den Wirkungen der Ladung des Langzeitstroms von untergeordneter Bedeutung sind.

#### D.4.2 Mechanische Wirkungen

Mechanische Wirkungen des Blitzstroms hängen ab von der Amplitude und der Dauer des Stroms sowie von den Elastizitätseigenschaften der betroffenen mechanischen Anordnung. Die mechanischen Wirkungen

hängen auch ab von Reibungskräften, die zwischen Teilen des LPS wirksam sind, soweit diese miteinander in Berührung stehen.

#### D.4.2.1 Magnetische Wechselwirkung

Magnetische Kräfte treten auf zwischen zwei stromführenden Leitungen oder bei nur einer stromführenden Leitung, die eine Ecke oder Schleife bildet.

Fließt ein Strom in einem Stromkreis, hängt die Amplitude elektrodynamischer Kräfte an den verschiedenen Punkten einer stromdurchflossenen Anordnung von der Blitzstrom-Amplitude und von der geometrischen Anordnung des Stromkreises ab. Die mechanische Wirkung dieser Kräfte ist jedoch nicht nur eine Funktion der Stromamplitude, sondern hängt vom generellen Stromverlauf und seiner Dauer sowie von der geometrischen Anordnung der betrachteten Einrichtung ab.

##### D.4.2.1.1 Elektrodynamische Kräfte

Die durch einen Strom  $i$  verursachten elektrodynamischen Kräfte in einer Leitung mit einem ausgedehnten, parallelen Abschnitt der Länge  $l$  und einem Abstand  $d$  (lange, schmale Schleife), wie in Bild D.1 dargestellt, können näherungsweise mit folgender Gleichung berechnet werden:

$$F(t) = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot i^2(t) \cdot \frac{l}{d} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot i^2(t) \cdot \frac{l}{d} \quad (\text{D.10})$$

Dabei ist

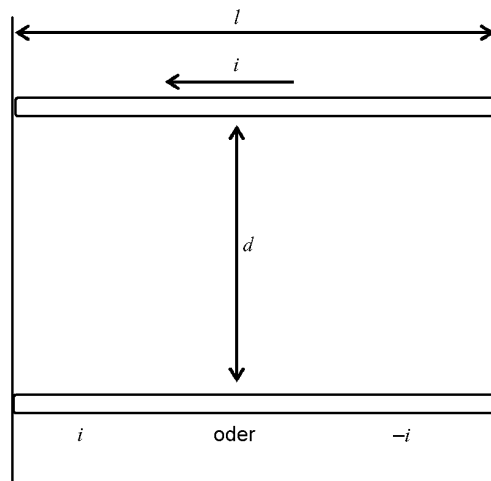
$F(t)$  die elektrodynamische Kraft (N);

$i$  der Strom (A);

$\mu_0$  die magnetische Feldkonstante (im Vakuum) ( $4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m);

$l$  die Länge des Leiters (m);

$d$  der Abstand zwischen den parallel verlaufenden Leitern (m).



**Bild D.1 – Allgemeine Anordnung zweier Leitungen zur Berechnung der elektrodynamischen Kraft**

Ein in einem LPS typisches Beispiel ist eine symmetrische Eckanordnung von Leitungen unter  $90^\circ$  mit einer Verbindungsklemme im Eckbereich, wie in Bild D.2, dargestellt. Das Belastungsdiagramm für diese Anordnung ist in Bild D.3 gezeigt. Die in axialer Richtung wirkende Kraft auf die horizontale Leitung versucht, die Leitung aus der Klemme zu ziehen. Der Kraftverlauf entlang der horizontalen Leitung für einen Strom-Scheitelwert von 100 kA und einer Länge der vertikalen Leitung von 0,5 m ist in Bild D.4 angegeben.

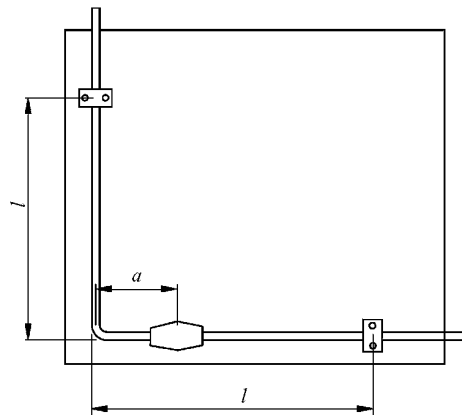


Bild D.2 – Typische Leitungsanordnung in einem LPS

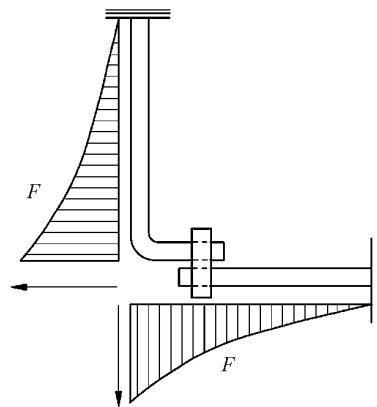
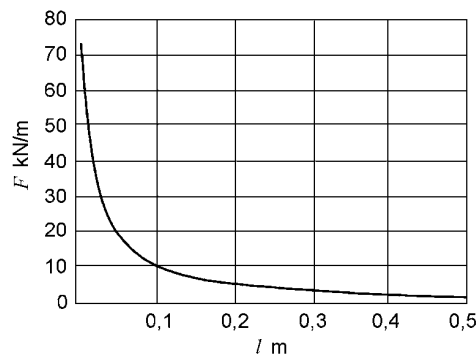


Bild D.3 – Belastungsdiagramm für die Anordnung nach Bild D.2



ANMERKUNG Strom-Scheitelwert 100 kA und Länge der vertikalen Leitung 0,5 m.

Bild D.4 – Kraft pro Längeneinheit entlang der horizontalen Leitung in Bild D.2

#### D.4.2.1.2 Wirkungen elektrodynamischer Kräfte

Für die Amplitude der wirkenden Kraft gilt, dass der Momentanwert der elektrodynamischen Kraft  $F(t)$  proportional zum Quadrat des Momentanwerts des Stroms  $I(t)^2$  ist. Mit Blick auf die daraus resultierende Belastung einer mechanischen LPS-Anordnung, ausgedrückt durch das Produkt der elastischen Verformung  $\delta(t)$  und der Elastizitätskonstanten  $k$  der LPS-Anordnung, sollten zwei Auswirkungen berücksichtigt werden.

Die mechanische Eigenfrequenz (verbunden mit dem elastischen Verhalten des LPS-Aufbaus) und die bleibende Verformung des LPS-Aufbaus (verbunden mit ihrem plastischen Verhalten) sind die wichtigsten Kenngrößen. Darüber hinaus ist in vielen Fällen die Wirkung von Reibungskräften in der Anordnung von entscheidender Bedeutung.

Die Schwingungsamplitude infolge der elektrodynamischen Kraftwirkungen des Blitzstroms für eine elastische LPS-Anordnung kann mit einer Differentialgleichung zweiter Ordnung ermittelt werden; ausschlaggebend ist hierbei die Relation zwischen der Stromfluss-Dauer und der Periodendauer der mechanischen Eigenfrequenz der LPS-Anordnung. Bei Blitzschutzsystemen ist üblicherweise die Periodendauer der Eigenfrequenz viel größer als die der einwirkenden Kraft (Dauer des Blitz-Stoßstroms). In diesem Fall tritt die maximale mechanische Belastung erst deutlich nach Abklingen des Stoßstroms auf und ihr Maximalwert ist geringer als die einwirkende Kraft. In den meisten Fällen kann die maximale mechanische Belastung vernachlässigt werden.

Plastische Verformungen treten ein, wenn die Zugkräfte die Elastizitätsgrenze des Materials überschreiten. Besteht eine Komponente des LPS aus weichem Werkstoff, wie z. B. Aluminium oder weichgeglühtes Kupfer, können die elektrodynamischen Kräfte Leitungen an Ecken und Schleifen deformieren. LPS-Komponenten sollten deshalb so dimensioniert werden, dass sie diesen Kräften standhalten und vorwiegend elastisches Verhalten aufweisen.

Die mechanische Gesamtbelastung, die auf einen LPS-Aufbau ausgeübt wird, hängt ab vom Zeitintegral der einwirkenden Kraft und damit von der spezifischen Energie des Stoßstroms. Sie hängt aber auch von der Wellenform und Dauer des Stoßstroms (verglichen mit der Periodendauer der Eigenschwingung der Anordnung) ab. Alle diese Wirkungsparameter müssen deshalb bei einer Prüfung berücksichtigt werden.

#### **D.4.2.2 Schäden durch akustische Stoßwellen**

Fließt ein Blitzstrom in einem Lichtbogen-Kanal, wird eine Stoßwelle erzeugt. Die Stärke der Stoßwelle hängt vom Strom-Scheitelwert und von der Strom-Steilheit ab.

Im Allgemeinen sind Schäden durch Stoßwellen an metallenen Teilen des LPS von geringer Bedeutung; unter Umständen können aber Beschädigungen an umgebenden Bauteilen verursacht werden.

#### **D.4.3 Kombinierte Wirkungen**

In der Realität treten die thermischen und die mechanischen Wirkungen gleichzeitig auf. Wird der Werkstoff eines Bauteils (Stange, Klemme usw.) durch Erhitzung weich, kann ein beträchtlich größerer Schaden eintreten als durch die Kraftwirkung allein. Im Extremfall könnte ein Leiter explosionsartig schmelzen und beträchtlichen Schaden an der umgebenden baulichen Anlage verursachen. Ist der Querschnitt eines Metalls ausreichend, um den gesamten Vorgang sicher zu beherrschen, muss nur die mechanische Unversehrtheit überprüft werden.

#### **D.4.4 Funkenbildung**

Im Allgemeinen ist Funkenbildung nur in entflammbarer Umgebung oder bei Vorhandensein von brennbarem Material von Bedeutung. In den meisten Fällen ist Funkenbildung für LPS-Bauteile ohne Bedeutung.

Es gibt zwei Arten der Funkenbildung: die thermische Funkenbildung und die elektrische Funkenbildung. Thermische Funkenbildung tritt auf, wenn ein sehr hoher Strom in eine Verbindungsstelle zwischen zwei leitenden Materialien eingepreßt wird. Thermische Funkenbildung ereignet sich an einer Verbindung meist im Bereich von Kanten bei ungenügendem Auflagedruck; Hauptursachen sind hohe Stromdichte und unzureichender Auflagedruck. Die Stärke einer thermischen Funkenbildung hängt von der spezifischen Energie ab und daher ist die entscheidende Phase in einer Blitzentladung der erste Stoßstrom. Elektrische Funkenbildung tritt auf, wenn bei schleifenförmiger Stromführung, z. B. in einer Verbindung, die induzierte Spannung in einer derartigen Schleife die elektrische Überschlagfestigkeit zwischen den metallenen Teilen übersteigt. Die induzierte Spannung ist proportional zur Eigeninduktivität multipliziert mit der Blitzstrom-Steilheit. Die am meisten kritische Blitzstrom-Komponente für elektrische Funkenbildung ist somit der negative Folgestoßstrom.



## D.5 Problemstellung und Prüfparameter für Komponenten des LPS

Blitzschutzsysteme bestehen aus einer Reihe verschiedener Komponenten, wobei jede eine bestimmte Funktion im Gesamtsystem hat. Die Beschaffenheit der Komponenten sowie die spezifische Belastung, der sie ausgesetzt sind, erfordern besondere Beachtung bei der Planung von Laborversuchen zum Funktionsnachweis.

### D.5.1 Fangeinrichtung

Wirkungen auf Fangeinrichtungen resultieren aus mechanischen und thermischen Effekten (ähnlich wie in D.5.2 dargestellt, jedoch mit dem Unterschied, dass in einer getroffenen Fangeinrichtung ein erheblicher Blitzstromanteil fließen wird) und auch aus den in einigen Fällen auftretenden Schmelzwirkungen durch Lichtbögen, besonders an natürlichen LPS-Komponenten, wie dünnen Metaldächern (wo Durchschmelzen oder überhöhte Innenseiten-Temperatur auftreten kann) und an Fangseilen.

Für die Schmelzwirkungen sind zwei Prüfparameter zu berücksichtigen: die Ladung des Langzeitstroms und dessen Dauer.

Die Ladung bestimmt den Energieumsatz am Lichtbogen-Fußpunkt. Für diese Wirkung wird die kritischste Komponente der Langzeitstrom sein, während der Anteil des ersten Stoßstroms vernachlässigt werden kann.

Die Stromdauer spielt eine wichtige Rolle bei der Wärmeausbreitung im Material. Die Dauer des Prüfstroms muss der eines Langzeitstroms entsprechen (0,5 s bis 1 s).

### D.5.2 Ableitungen

Die Belastung von Ableitungen durch Blitze kann in zwei Hauptkategorien unterteilt werden:

- thermische Belastung durch ohmsche Erwärmung;
- mechanische Effekte durch die magnetischen Wechselwirkungen, wenn der Strom auf Leitungen aufgeteilt wird, die in geringem Abstand zueinander verlegt sind, oder wenn eine Richtungsänderung in der Stromführung vorliegt (gekrümmte Leitungsführung bzw. unter einem bestimmten Winkel miteinander verbundene Leitungen).

In den meisten Fällen wirken diese beiden Effekte unabhängig voneinander und können durch getrennte Laborversuche überprüft werden. Dies ist in all den Fällen möglich, in denen die Erwärmung durch den Blitzstrom die mechanischen Eigenschaften nicht maßgeblich beeinflusst.

#### D.5.2.1 Ohmsche Erwärmung

Berechnungen und Messungen der Stromerwärmung von Leitern verschiedener Werkstoffe und Querschnitte, verursacht durch das Fließen eines Blitzstroms, wurden von mehreren Autoren veröffentlicht. Die wichtigsten Ergebnisse sind in Form von Diagrammen und Gleichungen in D.4.1.1 zusammengefasst. Im Allgemeinen sind damit keine Laborversuche zum Nachweis des Erwärmungsverhaltens von Leitungen nötig.

In allen Fällen, in denen Laborversuche gefordert sind, müssen die folgenden Aspekte berücksichtigt werden.

Wichtigste Prüfparameter sind in diesem Fall die spezifische Energie und die Stoßstrom-Dauer.

Die spezifische Energie ist verantwortlich für den Temperaturanstieg durch ohmsche Erwärmung infolge des Stromflusses des Blitzstroms. Anzusetzen sind die Werte des ersten Stoßstroms. Konservative Werte ergeben sich bei Berücksichtigung positiver Blitze.

Die Dauer des Stoßstroms hat entscheidenden Einfluss auf Wärmeausgleichs-Vorgänge in der Umgebung der betrachteten Leitung. In den meisten Fällen ist die Dauer des Stoßstroms jedoch so kurz, dass der Erwärmungsvorgang als adiabatisch angesehen werden kann.

### D.5.2.2 Mechanische Wirkungen

Wie in D.4.2.1 dargestellt, treten zwischen blitzstromführenden Leitungen mechanische Wechselwirkungen auf. Die Kraft ist proportional dem Produkt der Ströme in den Leitungen (bzw. dem Quadrat des Stroms im Falle einer einzigen, gebogenen Leitung), und sie ist umgekehrt proportional zum Abstand zwischen den Leitungen.

Eine sichtbare Wirkung kann typischerweise auftreten, wenn eine Leitung eine Schleife oder einen Winkel bildet. Führt eine derartige Leitung einen Blitzstrom, so wirkt die auftretende mechanische Kraft in Richtung einer Aufweitung der Schleife oder des Winkels nach außen. Die Höhe der Kraft ist dem Quadrat des Stroms proportional. Es sollte jedoch klar unterschieden werden zwischen der elektrodynamischen Kraft, die dem Quadrat des Stroms proportional ist, und der daraus resultierenden Belastung, die auch von den Elastizitätseigenschaften der mechanischen LPS-Anordnung abhängt. Für LPS-Anordnungen mit vergleichsweise niedrigen Eigenfrequenzen ist die in der Anordnung auftretende Belastung erheblich geringer als die elektrodynamische Kraft. In diesem Fall sind üblicherweise keine Laborversuche zum Nachweis des mechanischen Verhaltens einer rechtwinklig gebogenen Leitung nötig, solange die Querschnitte die in der Norm angegebenen Anforderungen einhalten.

Für alle Fälle, in denen Laborversuche gefordert sind (insbesondere bei weichen Werkstoffen), müssen die folgenden Aspekte berücksichtigt werden. Drei Parameter des ersten Stoßstroms sind in diesem Fall zu berücksichtigen: die Dauer, die spezifische Energie des Stoßstroms und, bei starren Systemen, der Stromscheitelwert.

Die Dauer des Stoßstroms, verglichen mit der Periodendauer der mechanischen Eigenfrequenz der LPS-Anordnung, bestimmt die mechanische Systemantwort im Hinblick auf Verformungen.

- Ist die Dauer des Stoßstroms viel kürzer als die Periodendauer der mechanischen Eigenfrequenz der LPS-Anordnung (Normalfall für die Belastung von Blitzschutzsystemen durch Blitzeinschläge), verhindern Masse und Elastizität des Systems eine merkliche Verformung, und die mechanische Belastung hängt im Wesentlichen von der spezifischen Energie des Stoßstroms ab. Der Scheitelwert des Stoßstroms hat nur begrenzten Einfluss.
- Ist die Dauer des Stoßstroms vergleichbar mit oder größer als die Periodendauer der mechanischen Eigenfrequenz der Anordnung, so ist die Verformung des Systems auch von der Wellenform der einwirkenden Kraft abhängig. In diesem Fall müssen Stromscheitelwert und spezifische Energie während einer Prüfung simuliert werden.

Die spezifische Energie des Stoßstroms bestimmt die Belastung, die eine reversible oder irreversible Verformung der LPS-Anordnung verursacht. Anzusetzen sind die Werte des ersten Stoßstroms.

Der Stromscheitelwert des Stoßstroms bestimmt die Größe der maximalen Verformung einer LPS-Anordnung bei starren Systemen mit hohen Eigenfrequenzen. Anzusetzen sind die Werte des ersten Stoßstroms.

### D.5.3 Verbindungsbauteile

Verbindungsbauteile zwischen benachbarten Leitungen eines LPS sind mechanische und thermische Schwachstellen, an denen sehr hohe Belastungen auftreten.

Für ein Verbindungsbauteil an einer Stelle, an der die Leitungsführung einen rechten Winkel bildet, sind die Hauptbelastungen gegeben durch mechanische Kräfte, die die Leitung strecken und die Verbindung entgegen den Reibungskräften zwischen Verbindungsbauteil und Leitung auseinander ziehen. Die Entstehung von Lichtbögen an Kontaktstellen zwischen den einzelnen Teilen ist möglich. Auch die Erwärmung durch hohe Stromdichten an kleinen Kontaktflächen hat merkbare Wirkung.

Experimente haben gezeigt, dass es schwierig ist, das komplexe Zusammenwirken der einzelnen Mechanismen zu trennen. Die mechanische Festigkeit wird durch lokales Anschmelzen an Kontaktstellen beeinflusst. Bewegungen einzelner Teile einer Verbindung zueinander fördern die Lichtbogenentwicklung und die damit verbundene intensive Erwärmung.

In Ermangelung eines gültigen Modells sind die Experimente so durchzuführen, dass die entsprechenden Blitzstromparameter so nahe wie möglich und unter den kritischsten Bedingungen nachgebildet werden: dies bedeutet, dass die entsprechenden Blitzstromparameter in einer einzigen elektrischen Belastung aufzubringen sind.

In diesem Fall sind drei Parameter zu berücksichtigen: der Stromscheitelwert, die spezifische Energie und die Dauer des Stoßstroms.

Der Maximalwert des Stoßstroms bestimmt die Maximalkraft oder, wenn die elektrodynamische Zugkraft die Reibungskraft übersteigt, die Größe der maximalen Verformung einer LPS-Anordnung. Anzusetzen sind die Werte des ersten Stoßstroms. Konservative Werte ergeben sich bei Berücksichtigung positiver Blitze.

Die spezifische Energie des Stoßstroms bestimmt die Erwärmung an Kontakt-Oberflächen, an denen der Stromfluss auf kleine Flächen konzentriert ist. Anzusetzen sind die Werte des ersten Stoßstroms. Konservative Werte ergeben sich bei Berücksichtigung positiver Blitze.

Die Dauer des Stoßstroms bestimmt die maximale Verformung der Anordnung nach Überschreiten der Reibungskräfte und ist von Bedeutung für die Wärmeableitung in das Material.

#### **D.5.4 Erdung**

Die eigentlichen Probleme bei Erdern sind chemische Korrosion und mechanische Schäden, die nicht durch elektrodynamische Kräfte verursacht werden. Ausschmelzungen an Erdern am Fußpunkt eines Lichtbogens im Erdreich sind in der Praxis von geringer Bedeutung. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass, im Gegensatz zu Fangeinrichtungen, ein typisches LPS über mehrere Erder verfügt. Der Blitzstromübergang in die Erde wird damit auf mehrere Stellen verteilt und die Schadenswirkungen entsprechend reduziert.

Für Ausschmelzungen an Erdern sind zwei Prüfungsparameter zu berücksichtigen: die Ladung und Dauer des Langzeitstroms.

Die Ladung bestimmt den Energieumsatz am Lichtbogen-Fußpunkt. Kritischste Komponente dürfte der Langzeitstrom sein, während der Anteil des ersten Stoßstroms vernachlässigt werden kann.

Die Dauer des Stoßstroms spielt eine wichtige Rolle bei der Wärmeausbreitung im Material. Die Dauer eines Prüfstroms muss der eines Langzeitstroms entsprechen (0,5 s bis 1 s).

### **D.6 Überspannungsschutzgerät (SPD)**

Die Wirkungen der Blitzbeanspruchung auf ein SPD hängen vom Typ des betrachteten SPD ab, insbesondere aber vom Vorhandensein einer Funkenstrecke.

#### **D.6.1 SPD mit Funkenstrecken**

Die Beanspruchung von Funkenstrecken durch Blitze lässt sich in zwei Hauptkategorien unterteilen:

- die Erosion an den Elektroden durch Erwärmung, Schmelzen und Verdampfen von Material;
- die mechanische Belastung, verursacht durch die Stoßwelle der Entladung.

Es ist außerordentlich schwierig, diese Wirkungen getrennt zu betrachten, da sie beide mit den wesentlichen Blitzstromparametern durch komplexe Beziehungen verknüpft sind.

Bei Funkenstrecken sind die Laborprüfungen so durchzuführen, dass die maßgebenden Blitzstromparameter so nahe wie möglich und unter den kritischsten Bedingungen nachgebildet werden: dies bedeutet, dass alle maßgebenden Blitzstromparameter in einer einzigen elektrischen Belastung aufzubringen sind.

In diesem Fall sind fünf Parameter zu berücksichtigen: der Scheitelwert, die Ladung, die Dauer, die spezifische Energie und die Anstiegszeit des Stoßstroms.

Der Stromsichelwert ist maßgebend für die Stärke der Stoßwelle. Anzusetzen sind die Werte des ersten Stoßstroms. Konservative Werte ergeben sich bei Berücksichtigung positiver Blitze.

Die Ladung bestimmt den Energieumsatz im Lichtbogen. Die Energie im Lichtbogen erwärmt, schmilzt und möglicherweise verdampft sogar einen Teil des Elektrodenmaterials am Lichtbogen-Fußpunkt. Es sind die Werte des Gesamtblitzes anzusetzen. Beim Einsatz im Energieversorgungs-System kann, abhängig von der Netzform (TN, TT, IT), in vielen Fällen die Ladung des Langzeitstroms vernachlässigt werden.

Die Dauer des Stoßstroms bestimmt die Wärmeausbreitung im Elektrodenkörper und damit das Vorwachsen der Schmelzfront.

Die spezifische Energie des Stoßstroms bestimmt die magnetische Eigenkompression des Lichtbogens und die physikalischen Vorgänge bei der Entstehung von Plasmastrahlen an der Schnittstelle zwischen Elektrodenoberfläche und Lichtbogen (durch die erhebliche Anteile geschmolzenen Materials ausgeblasen werden können). Es sind die Werte des ersten Stoßstroms anzusetzen. Konservative Werte ergeben sich bei Berücksichtigung positiver Blitze.

**ANMERKUNG** Bei Funkenstrecken für Energieversorgungs-Systeme ist der Scheitelwert eines möglichen Netzfolgestroms als wichtiger Belastungsfaktor mit zu berücksichtigen.

### **D.6.2 SPD mit Metalloxidvaristoren**

Die Beanspruchung von Metalloxidvaristoren durch Blitze lässt sich in zwei Hauptkategorien unterteilen: Überlast und Überschlag. Diese beiden Ausfallkategorien werden durch verschiedene Mechanismen verursacht und von verschiedenen Parametern dominiert. Der Ausfall eines Metalloxid-SPDs wird durch seinen schwächsten Kennwert bestimmt, und deshalb ist ein Zusammenwirken verschiedener Zerstörungsmechanismen unwahrscheinlich. Es erscheint somit zulässig, diese Ausfallkategorien durch getrennte Versuche zu überprüfen.

Überlastung tritt ein, wenn die im Varistor umgesetzte Energie dessen Energie-Absorptionsvermögen überschreitet. Hier wird nur die energetische Überlastung durch die Blitzbeanspruchung betrachtet. Es ist jedoch für SPDs, die in Systemen für die Energieversorgung eingebaut sind, zu beachten, dass auch der Folgestrom aus dem Energienetz, der nach Abklingen des Blitzstroms fließt, eine entscheidende Rolle bei der Zerstörung des SPD spielen kann. Schließlich kann ein SPD auch durch eine thermische Instabilität bei anliegender Dauerspannung infolge des negativen Temperaturkoeffizienten der Strom-Spannungs-Kennlinie der Widerstände zerstört werden. Bei der Nachbildung der Überlastung von Metalloxidvaristoren ist nur ein Haupt-Parameter zu betrachten: die Ladung.

Die Ladung bestimmt den Energieumsatz im Metalloxid-Widerstand, wenn die Restspannung als konstant angenommen wird. Es sind die Werte des Gesamtblitzes anzusetzen.

Überschläge und Rissbildung treten auf, wenn die Amplitude der Stoßströme die Belastbarkeit der Widerstände überschreitet. Diese Ausfallart ist üblicherweise durch einen äußeren Überschlag an der Varistoroberfläche gekennzeichnet; manchmal kann auch ein Durchschlag in den Varistorblock erfolgen, was einen Riss oder ein Loch senkrecht zur Oberfläche verursacht. Dieser Ausfall ist vor allem mit dem dielektrischen Überschlag an der Varistoroberfläche gekoppelt.

Bei der Nachbildung der Blitzbeanspruchung sind zwei wesentliche Parameter zu betrachten: der Scheitelwert und die Dauer des Stoßstroms.

Der Scheitelwert des Stoßstroms und die daraus resultierende Restspannung bestimmen, ob die maximale dielektrische Festigkeit der Varistoroberfläche überschritten wird. Anzusetzen sind die Werte des ersten Stoßstroms. Konservative Werte ergeben sich bei Berücksichtigung positiver Blitze.

Die Dauer des Stoßstroms bestimmt die Einwirkdauer der dielektrischen Belastung an der Varistoroberfläche.

## D.7 Zusammenstellung der Prüfparameter zur Prüfung von LPS-Komponenten

In Tabelle D.1 sind die entscheidenden Funktionsmerkmale der einzelnen LPS-Komponenten zusammengefasst und es werden die Parameter des Blitzstroms angegeben, die bei Laborprüfungen nachzubilden sind.

Die in Tabelle D.1 angegebenen Zahlenwerte beziehen sich auf die am Einschlagpunkt gültigen Blitzparameter.

Prüfwerte sind hieraus unter Berücksichtigung der Stromaufteilung zu berechnen, die sich durch einen Stromaufteilungs-Faktor nach D.3 beschreiben lässt.

Zahlenwerte für die Parameter, die in einer Prüfung anzuwenden sind, können damit auf der Basis der Daten in Tabelle D.1 unter Berücksichtigung der Reduktionsfaktoren für die Stromaufteilung nach den in D.3 angegebenen Gleichungen berechnet werden.

## Anhang E (informativ)

### Durch Blitz erzeugte Stoßwellen an verschiedenen Einbauorten

#### Übersicht

Für die Auslegung von Leitern, SPDs und Geräten muss die Belastung durch Stoßwellen am jeweiligen Einbauort dieser Komponenten bestimmt werden. Stoßwellen können durch (anteilige) Blitzströme und durch Induktionswirkungen in Leiterschleifen entstehen. Die Belastung durch diese Stoßwellen muss kleiner sein als die Festigkeit der verwendeten Komponenten (wenn nötig durch geeignete Prüfungen festgelegt).

#### E.1 Stoßwellen durch Blitzeinschlag in die bauliche Anlage (Schadensquelle S1)

##### E.1.1 Stoßwellen auf äußeren leitenden Teilen und auf Leitungen in die bauliche Anlage

Auf dem Weg zur Erde teilt sich der Blitzstrom auf zwischen der Erdungsanlage, den äußeren leitenden Teilen und den Leitungen, die direkt oder über SPDs angeschlossen sind.

Wenn  $I_f = k_e I$  (E.1)

der Anteil des Blitzstroms auf jedem äußeren leitenden Teil oder jeder Leitung ist, dann wird  $k_e$  bestimmt durch:

- die Zahl der parallelen Strompfade;
- den äquivalenten Erdungswiderstand der unter der Erde verlegten Teile bzw. den Erdungswiderstand der oberirdisch verlegten Teile am Ort ihrer Erdung;
- den äquivalenten Erdungswiderstand der Erdungsanlage.

– für unterirdische Verlegung 
$$k_e = \frac{Z}{Z_1 + Z \cdot (n_1 + n_2 \cdot \frac{Z_1}{Z_2})} \quad (\text{E.2})$$

– für oberirdische Verlegung 
$$k_e = \frac{Z}{Z_2 + Z \cdot (n_2 + n_1 \cdot \frac{Z_2}{Z_1})} \quad (\text{E.3})$$

Dabei ist

- $Z$  der äquivalente Erdungswiderstand der Erdungsanlage;
- $Z_1$  der äquivalente Erdungswiderstand der äußeren leitenden Teile oder der Leitungen (Tabelle E.1), die unterirdisch verlegt sind;
- $Z_2$  der Erdungswiderstand der Erderanordnung, die die oberirdischen Leitungen mit Erde verbindet. Wenn der Erdungswiderstand des Erdungspunktes nicht bekannt ist, kann der Wert von  $Z_1$  aus Tabelle E.1 benutzt werden (mit dem für den jeweiligen Erdungspunkt zutreffenden spezifischen Widerstand).

ANMERKUNG 1 Für diesen Wert wird angenommen, dass er in der angegebenen Gleichung für jeden Erdungspunkt gleich ist. Ist das nicht der Fall, müssen komplexere Gleichungen benutzt werden.

$n_1$  die Gesamtzahl der äußeren leitenden Teile oder Leitungen, die unterirdisch verlegt sind;

$n_2$  die Gesamtzahl der äußeren leitenden Teile oder Leitungen, die oberirdisch verlegt sind;

$I$  der Blitzstrom entsprechend dem gewählten Gefährdungspegel LPL.

Wenn als erste Näherung angenommen wird, dass die Hälfte des Blitzstroms in die Erdungsanlage fließt und dass  $Z_2 = Z_1$  ist, kann der Wert  $k_e$  für ein äußeres leitendes Teil oder eine Leitung berechnet werden mit:

$$K_e = 0,5 / (n_1 + n_2) \quad (\text{E.4})$$

Wenn eingeführte Leitungen (z. B. elektrische Leitungen und Telekommunikationsleitungen) nicht geschirmt bzw. nicht in Metallkanälen verlegt sind, führt jeder der  $n'$ -Leiter der Leitung den gleichen Teil des Blitzstroms

$$k'_e = k_e / n' \quad (\text{E.5})$$

wobei  $n'$  die Gesamtzahl der Leiter ist.

Für geschirmte Leitungen, die an der Einführungsstelle mit dem Potentialausgleich verbunden sind, werden die Werte des Stromaufteilungsfaktors  $k'_e$  für jeden der  $n'$ -Leiter der geschirmten Leitung ermittelt nach:

$$k'_e = k_e \cdot R_s / (n' \cdot R_s + R_c) \quad (\text{E.6})$$

Dabei ist

$R_s$  der ohmsche Widerstand je Längeneinheit des Schirmes;

$R_c$  der ohmsche Widerstand je Längeneinheit des inneren Leiters.

ANMERKUNG 2 Bedingt durch die Gegeninduktivität zwischen Innenleiter und Schirm kann diese Formel die Rolle unterschätzen, die der Schirm bei der Ableitung des Blitzstroms spielt.

**Tabelle E.1 – Äquivalente Erdungswiderstände  $Z$  und  $Z_1$  in Abhängigkeit vom spezifischen Bodenwiderstand**

$\rho$ $\Omega\text{m}$	$Z_1$ <sup>a)</sup> $\Omega$	Äquivalenter Erdungswiderstand $Z$ für die Schutzklasse des LPS <sup>b)</sup>		
		$\Omega$		
		I	II	III – IV
≤ 100	8	4	4	4
200	11	6	6	6
500	16	10	10	10
1 000	22	10	15	20
2 000	28	10	15	40
3 000	35	10	15	60

ANMERKUNG 1 Die in Tabelle E.1 genannten Werte verstehen sich als der Stoßerdungswiderstand einer in Erde verlegten Leitung unter Impulsbelastung (10/350  $\mu\text{s}$ ).

a) Die Werte beziehen sich auf äußere leitende Teile mit Längen über 100 m. Für entsprechende Längen unter 100 m bei hohem spezifischen Bodenwiderstand (> 500  $\Omega\text{m}$ ) können die Werte von  $Z_1$  verdoppelt werden.

b) Erdungsanlage nach 5.4 in IEC 62305-3.

### E.1.2 Die Stromaufteilung im Stromversorgungsnetz beeinflussende Faktoren

Bei genauen Berechnungen können mehrere Faktoren die Amplitude und die Wellenform dieser Stoßwellen beeinflussen:

- die Kabellänge kann die Stromaufteilung und die Wellenform in Abhängigkeit vom L/R-Verhältnis beeinflussen;
- verschiedene Impedanzen von Neutral- und Phasenleitern können die Stromaufteilung zwischen den Leitern beeinflussen;
- ANMERKUNG 1 Wenn beispielsweise der N-Leiter mehrfach geerdet ist, kann er aufgrund der geringeren Impedanz von N im Vergleich mit L1, L2 und L3 etwa 50 % des Leitungsstroms führen, wobei die verbleibenden 50 % auf die anderen drei Leiter aufgeteilt werden (jeweils 17 %). Wenn N, L1, L2 und L3 dagegen die gleiche Impedanz haben, führt jeder Leiter etwa 25 % des Stroms.
- unterschiedliche Transformatorimpedanzen können die Stromaufteilung beeinflussen (dieser Effekt ist vernachlässigbar, wenn der Transformator selbst durch SPDs geschützt ist, die seine Impedanz überbrücken);
- das Verhältnis der äquivalenten Erdungswiderstände des Transformators und der Verbraucher kann die Stromaufteilung beeinflussen (je geringer die Transformatorimpedanz ist, umso höher ist der Stoßstrom, der in das Niederspannungssystem fließt);
- parallele Verbraucher verursachen eine Verringerung der wirksamen Impedanz des Niederspannungssystems, was den anteiligen Blitzstrom erhöhen kann, der in dieses System hineinfließt.

ANMERKUNG 2 Weitere Informationen sind in IEC 62305-4, Anhang D, angegeben.



## E.2 Stoßwellen auf in die bauliche Anlage eingeführten Versorgungsleitungen

### E.2.1 Stoßwellen durch Blitzeinschlag in die Versorgungsleitung (Schadensquelle S3)

Bei direkten Blitzeinschlägen in die angeschlossenen Versorgungsleitungen müssen die Aufteilung des Blitzstroms in beide Richtungen der Versorgungsleitung und der Durchschlag der Isolierung berücksichtigt werden.

Der  $I_{imp}$ -Wert kann für Stromversorgungsleitungen aus den Werten der Tabelle E.2a und für Telekommunikationsleitungen aus Tabelle E.2b gewählt werden, wobei die Vorzugswerte von  $I_{imp}$  dem Gefährdungspegel (LPL) zugeordnet sind.

**Tabelle E.2a – Zu erwartende Stoßströme durch Blitzeinschlag bei Niederspannungssystemen**

LPL (Kategorie)	Niederspannungssysteme			
	Einschlag in die oder nahe der Leitung		Einschlag nahe der baulichen Anlage <sup>c)</sup>	Einschlag in die bauliche Anlage <sup>c)</sup>
	Schadensquelle S3 (direkter Einschlag) <sup>a)</sup> Wellenform: 10/350 µs [kA]	Schadensquelle S4 (indirekter Einschlag) <sup>b)</sup> Wellenform: 8/20 µs [kA]	Schadensquelle S2 (induzierter Strom) Wellenform: <sup>d)</sup> 8/20 µs [kA]	Schadensquelle S1 (induzierter Strom) Wellenform: <sup>d)</sup> 8/20 µs [kA]
III oder IV	5	2,5	0,1	5
II	7,5	3,75	0,15	7,5
I	10	5	0,2	10

ANMERKUNG Alle Werte beziehen sich auf den einzelnen Leiter.

a) Die Werte gelten für den Blitzeinschlag in den letzten Mast der Leitung nahe dem Verbraucher und für eine Mehrphasenleitung (Drei-Phasen- und Neutralleiter).

b) Die Werte beziehen sich auf Freileitungen. Für Erdkabel können die Werte halbiert werden.

c) Die Verlegung der Leiterschleife und ihr Abstand vom induzierenden Strom beeinflussen die Werte der zu erwartenden Stoßströme. Die Werte der Tabelle E.2a gelten für eine kurzgeschlossene ungeschirmte Leiterschleife mit unterschiedlicher Leitungsführung in großen baulichen Anlagen (Schleifenfläche in der Größenordnung von 50 m<sup>2</sup>, Breite = 5 m), 1 m entfernt von der Außenwand und innerhalb einer baulichen Anlage ohne räumlichen Schirm oder nur mit einem LPS ( $K_c = 0,5$ ). Für andere Eigenschaften der Leiterschleife oder der baulichen Anlage sollten die Werte mit den Faktoren  $K_{S1}$ ,  $K_{S2}$ ,  $K_{S3}$  (siehe IEC 62305-2, B.4) multipliziert werden.

d) Induktivität und Widerstand der Leiterschleife beeinflussen die Wellenform des induzierten Stroms. Wenn der Schleifenwiderstand vernachlässigbar ist, sollte die Wellenform 10/350 µs angenommen werden. Dies ist der Fall, wenn ein Schaltertyp-SPD in der induzierten Leiterschleife installiert ist.

**Tabelle E.2b – Zu erwartende Stoßströme durch Blitzeinschlag bei Telekommunikationssystemen**

LPL (Kategorie)	Telekommunikationssysteme <sup>d)</sup>			
	Einschlag in die oder nahe der Leitung		Einschlag nahe der baulichen Anlage <sup>c)</sup>	Einschlag in die bauliche Anlage <sup>c)</sup>
	Schadensquelle S3 (direkter Einschlag) <sup>a)</sup>	Schadensquelle S4 (indirekter Einschlag) <sup>b)</sup>	Schadensquelle S2 (induzierter Strom)	Schadensquelle S1 (induzierter Strom)
	Wellenform: 10/350 µs [kA]	Wellenform: 8/20 µs [kA]	Wellenform: 8/20 µs [kA]	Wellenform: 8/20 µs [kA]
III oder IV	1	0,015	0,1	5
II	1,5	0,025	0,15	7,5
I	2	0,035	0,2	10

ANMERKUNG Alle Werte beziehen sich auf den einzelnen Leiter.

a) Die Werte beziehen sich auf ungeschirmte Leitungen mit vielen Leiterpaaren. Für eine ungeschirmte Zweidrahtleitung können die Werte 5-fach größer sein.

b) Die Werte beziehen sich auf Freileitungen. Für Erdkabel können die Werte halbiert werden.

c) Die Verlegung der Leiterschleife und ihr Abstand vom induzierenden Strom beeinflussen die Werte der zu erwartenden Stoßströme. Die Werte der Tabelle E.2b gelten für eine kurzgeschlossene ungeschirmte Leiterschleife mit unterschiedlicher Leitungsführung in großen baulichen Anlagen (Schleifenfläche in der Größenordnung von 50 m<sup>2</sup>, Breite = 5 m), 1 m entfernt von der Außenwand und innerhalb einer baulichen Anlage ohne räumlichen Schirm oder nur mit einem LPS ( $K_c = 0,5$ ). Für andere Eigenschaften der Leiterschleife oder der baulichen Anlage sollten die Werte mit den Faktoren  $K_{S1}$ ,  $K_{S2}$ ,  $K_{S3}$  (siehe IEC 62305-2, B.4) multipliziert werden.

d) Weitere Informationen sind in der ITU-T Empfehlung K.67 angegeben.

Für geschirmte Leitungen können die Werte der Stoßströme aus Tabelle E.2 um den Faktor 0,5 verkleinert werden.

ANMERKUNG Es wird angenommen, dass der Widerstand des Schirms etwa gleich ist dem Widerstand aller parallel geschalteten Leiter.

### E.2.2 Stoßwellen durch Blitzeinschläge nahe der Versorgungsleitung (Schadensquelle S4)

Stoßwellen durch Blitzeinschläge nahe von Versorgungsleitungen haben sehr viel geringere Energieinhalte als solche durch Blitzeinschläge in die Versorgungsleitungen (Schadensquelle S3).

Die für einen bestimmten Gefährdungspegel (LPL) zu erwartenden Stoßströme zeigt Tabelle E.2.

Für geschirmte Leitungen können die Werte der Stoßströme aus Tabelle E.2 um den Faktor 0,5 verkleinert werden.

### E.3 Stoßwellen durch Induktionswirkungen (Schadensquelle S1 oder S2)

Stoßwellen durch Induktionswirkungen des magnetischen Feldes, die entweder durch Blitzeinschläge neben der baulichen Anlage (Schadensquelle S2) oder durch den im äußeren LPS oder im Schirm von LPZ 1 fließenden Blitzstrom (Schadensquelle S1) erzeugt werden, haben eine typische Wellenform von 8/20 µs. Solche Stoßwellen müssen nahe oder an den Anschlussklemmen der Geräte innerhalb von LPZ 1 und an der Grenze LPZ 1/2 beachtet werden.

### E.3.1 Stoßwellen innerhalb einer ungeschirmten LPZ 1

Innerhalb einer ungeschirmten LPZ 1 (z. B. geschützt nur durch ein äußeres LPS nach IEC 62305-3 mit einer Maschenweite größer 5 m) müssen relativ hohe Stoßwellen durch Induktionswirkungen des ungedämpften magnetischen Feldes erwartet werden.

Die für einen bestimmten Gefährdungspegel (LPL) zu erwartenden Stoßströme zeigt Tabelle E.2.

### E.3.2 Stoßwellen innerhalb von geschirmten LPZs

Innerhalb von LPZs mit einer wirksamen räumlichen Schirmung (was nach IEC 62305-4, Anhang A, Maschenweiten unter 5 m erfordert) ist die Entstehung von Stoßwellen durch Induktionswirkungen des magnetischen Feldes stark reduziert. In diesen Fällen sind die Stoßwellen sehr viel kleiner als die unter E.3.1 angegebenen Werte.

Innerhalb von LPZ 1 sind die Induktionswirkungen reduziert durch die Dämpfung des räumlichen Schirms.

Innerhalb von LPZ 2 sind die Induktionswirkungen noch weiter reduziert durch die Dämpfung der hintereinander geschalteten räumlichen Schirme von LPZ 1 und LPZ 2.

## E.4 Allgemeine Informationen zu SPDs

Der Einsatz von SPDs hängt von ihrer Festigkeit ab, die für elektrische Stromversorgungssysteme in IEC 61643-1 [6] und für Telekommunikationssysteme in IEC 61643-21 klassifiziert ist.

Abhängig von ihrem Einbauort werden folgende SPDs eingesetzt:

- a) Am Leitungseintritt in die bauliche Anlage (an der Grenze von LPZ 1, z. B. im Hauptverteiler MB):
  - SPD, das mit  $I_{imp}$  geprüft ist (typische Wellenform 10/350), z. B. SPD mit Klasse-I-Prüfung;
  - SPD, das mit  $I_n$  geprüft ist (typische Wellenform 8/20), z. B. SPD mit Klasse-II-Prüfung.
- b) Nahe am zu schützenden Gerät (an der Grenze von LPZ 2 oder höher, z. B. im Unterverteiler SB oder an der Steckdose SA):
  - SPD, das mit  $I_n$  geprüft ist (typische Wellenform 8/20), z. B. SPD mit Klasse-II-Prüfung;
  - SPD, das mit einem Hybridimpuls geprüft ist (typische Wellenform des Stroms 8/20), z. B. SPD mit Klasse-III-Prüfung.

### Literaturhinweise

- [1] IEC 60664-1:1992, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*
  - [2] IEC 61000-4-5:1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test*
  - [3] Berger K., Anderson R.B., Kröninger H., *Parameters of lightning flashes. CIGRE Electra No 41 (1975), p. 23 - 37*
  - [4] Anderson R.B., Eriksson A.J., *Lightning parameters for engineering application. CIGRE Electra No 69(1980), p. 65 - 102*
  - [5] IEEE working group report, *Estimating lightning performance of transmission lines- Analytical models. IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 8, n. 3, July 1993*
  - [6] IEC 61643-1:2005, *Low-voltage surge protective devices – Part 1: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Requirements and tests*
  - [7] IEC 61643-12:2002, *Low-voltage surge protective devices – Part 12: Surge protective devices connected to low voltage power distribution systems – Selection and application principles*
-

## CONTENTS

FOREWORD .....	5
INTRODUCTION .....	7
1 Scope .....	8
2 Normative references .....	8
3 Terms and definitions .....	8
4 Lightning current parameters .....	14
5 Damage due to lightning .....	14
5.1 Damage to a structure .....	14
5.2 Types of loss .....	17
6 Need and economic convenience for lightning protection .....	18
6.1 Need for lightning protection .....	18
6.2 Economic convenience of lightning protection .....	19
7 Protection measures .....	19
7.1 Protection measures to reduce injury of living beings due to touch and step voltages .....	19
7.2 Protection measures to reduce physical damage .....	19
7.3 Protection measures to reduce failure of electrical and electronic systems .....	20
7.4 Protection measures selection .....	20
8 Basic criteria for protection of structures .....	20
8.1 Lightning protection levels (LPL) .....	21
8.2 Lightning protection zones (LPZ) .....	23
8.3 Protection of structures .....	26
Annex A (informative) Parameters of lightning current .....	28
Annex B (informative) Time functions of the lightning current for analysis purposes .....	
Annex C (informative) Simulation of the lightning current for test purposes .....	46
Annex D (informative) Test parameters simulating the effects of lightning on LPS components .....	50
Annex E (informative) Surges due to lightning at different installation points .....	
Bibliography .....	71
Figure 1 The connection between the parts of this standard	
Figure 2 – Types of loss and corresponding risks resulting from different types of damage .....	18
Figure 3 – LPZ defined by an LPS (IEC 62305-3) .....	
Figure 4 – LPZ defined by protection measures against LEMP (IEC 62305-4	
Figure A.1 – Definitions of impulse parameters (typically $T_2 < 2$ ms) .....	28
Figure A.2 – Definitions of long stroke parameters (typically $2$ ms $< T_{long} < 1$ s) .....	29
Figure A.3 – Possible components of downward flashes (typical in flat territory and to lower structures) .....	29
Figure A.4 – Possible components of upward flashes (typical to exposed and/or higher structures) .....	30

Figure A.5 – Cumulative frequency distribution of lightning current parameters (lines through 95 % and 5 % value) .....	34
Figure B.1 – Shape of the current rise of the positive impulse .....	40
Figure B.2 – Shape of the current tail of the positive impulse.....	41
Figure B.3 – Shape of the current rise of the first negative impulse.....	43
Figure B.4 – Shape of the current tail of the first negative impulse.....	44
Figure B.5 – Shape of the current rise of the subsequent negative impulses .....	43
Figure B.6 – Shape of the current tail of the subsequent negative impulses .....	44
Figure B.7 – Amplitude density of the lightning current according to LPL I .....	45
Figure C.1 – Example test generator for the simulation of the specific energy of the first impulse and the charge of the long stroke .....	47
Figure C.2 – Definition for the current steepness in accordance with Table C.3 .....	48
Figure C.3 – Example test generator for the simulation of the front steepness of the first impulse for large test items .....	49
Figure C.4 – Example test generator for the simulation of the front steepness of the subsequent impulses for large test items.....	49
Figure D.1 – General arrangement of two conductors for the calculation of electrodynamic force .....	57
Figure D.2 – Typical conductor arrangement in an LPS .....	57
Figure D.3 – Diagram of the stresses for the configuration of Figure D.2 .....	58
Figure D.4 – Force per unit length along the horizontal conductor of Figure D.2 .....	58
Table 1 – Effects of lightning on typical structures.....	15
Table 2 – Damages and loss in a structure according to different points of strike of lightning .....	17
Table 3 – Maximum values of lightning parameters according to LPL.....	22
Table 4 – Minimum values of lightning parameters and related rolling sphere radius corresponding to LPL.....	23
Table 5 – Probabilities for the limits of the lightning current parameters.....	23
Table A.1 – Tabulated values of lightning current parameters taken from CIGRE (Electra No. 41 or No. 69*) [3], [4].....	31
Table A.2 – Logarithmic normal distribution of lightning current parameters – Mean $\mu$ and dispersion $\sigma_{\log}$ calculated from 95 % and 5 % values from CIGRE (Electra No. 41 or No. 69) [3], [4] .....	32
Table A.3 – Values of probability $P$ as function of the lightning current $I$	
Table B.1 – Parameters for Equation B.1 .....	
Table C.1 – Test parameters of the first impulse .....	47
Table C.2 – Test parameters of the long stroke .....	47
Table C.3 – Test parameters of the impulses .....	48
Table D.1 – Summary of the lightning threat parameters to be considered in the calculation of the test values for the different LPS components and for the different LPL51	
Table D.2 – Physical characteristics of typical materials used in LPS components.....	54
Table D.3 – Temperature rise for conductors of different sections as a function of $W/R$ .....	54
Table E.1 – Conventional earthing impedance values $Z$ and $Z_1$ according to the resistivity of the soil.....	66

Table E.2a – Expected surge overcurrents due to lightning flashes on low voltage systems.....67

Table E.2b – Expected surge overcurrents due to lightning flashes on telecommunication systems.....68

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**PROTECTION AGAINST LIGHTNING –**

**Part 1: General principles**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 62305-1 has been prepared by IEC technical committee 81: Lightning protection.

The text of this second edition of IEC 62305-1 is compiled from and replaces IEC 62305-1, first edition (2006).

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
81/xxx/FDIS	81/xxx/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted, as close as possible, in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.



IEC 62305 consists of the following parts, under the general title *Protection against lightning*:

Part 1: General principles

Part 2: Risk management

Part 3: Physical damage to structures and life hazard

Part 4: Electrical and electronic systems within structures

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

## INTRODUCTION

There are no devices nor methods capable of modifying the natural weather phenomena to the extent that they can prevent lightning discharges. Lightning flashes to, or nearby, structures (or lines connected to the structures) are hazardous to people, to the structures themselves, their contents and installations as well as to lines. This is why the application of lightning protection measures is essential.

The need for protection, the economic benefits of installing protection measures and the selection of adequate protection measures should be determined in terms of risk management. Risk management is the subject of IEC 62305-2.

Protection measures considered in this standard are proved to be effective in risk reduction.

All measures for protection against lightning form the overall lightning protection. For practical reasons the criteria for design, installation and maintenance of lightning protection measures are considered in two separate groups:

- the first group concerns protection measures to reduce physical damage and life hazard in a structure is given in IEC 62305-3,
- the second group concerns protection measures to reduce failures of electrical and electronic systems in a structure is given in IEC 62305-4,

The connection between the parts of this standard is illustrated in Figure 1.

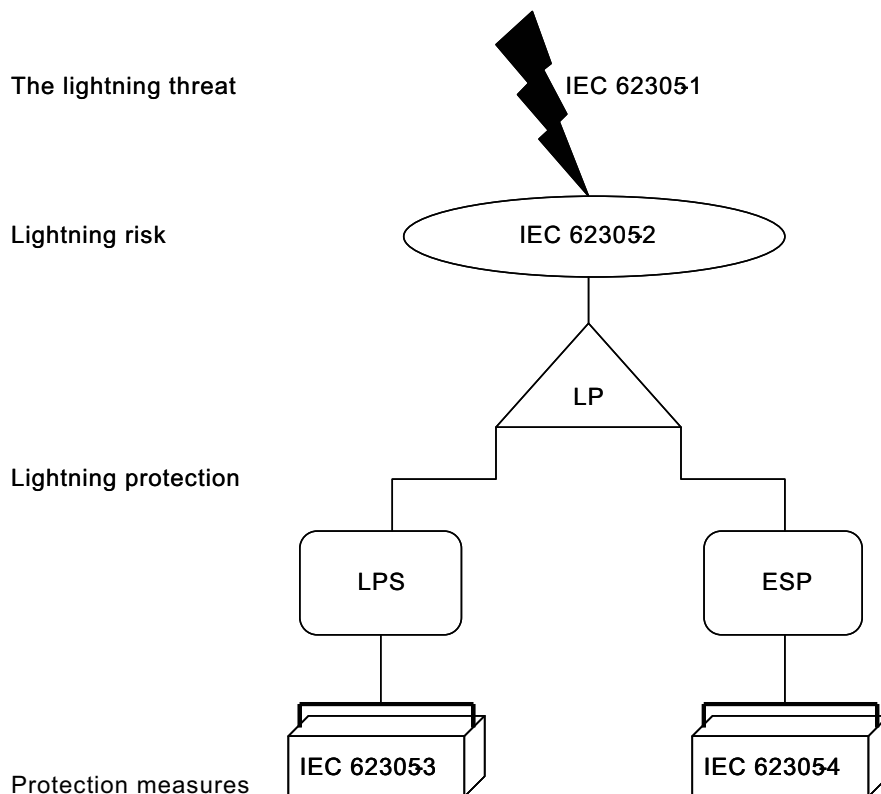


Figure 1 The connection between the parts of this standard

## PROTECTION AGAINST LIGHTNING –

### Part 1: General principles

#### 1 Scope

This part of IEC 62305 provides the general principles to be followed in the protection against lightning of structures including their installations and contents as well as persons,

The following cases are outside the scope of this standard:

- railway systems;
- vehicles, ships, aircraft, offshore installations;
- underground high pressure pipelines;
- pipe, power and telecommunication lines not connected to a structure.

NOTE Usually these systems are under special regulations made by various specific authorities.

#### 2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 62305-2, *Protection against lightning – Part 2: Risk management*

IEC 62305-3, *Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard*

IEC 62305-4, *Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures*

#### 3 Terms and definitions

For the purposes of this Standard, the following terms and definitions apply.

##### 3.1

##### **lightning flash to earth**

electrical discharge of atmospheric origin between cloud and earth consisting of one or more strokes

##### 3.2

##### **downward flash**

lightning flash initiated by a downward leader from cloud to earth

NOTE A downward flash consists of a first impulse, which can be followed by subsequent impulses. One or more impulses may be followed by a long stroke.

### 3.3

#### **upward flash**

lightning flash initiated by an upward leader from an earthed structure to cloud

NOTE An upward flash consists of a first long stroke with or without multiple superimposed impulses. One or more impulses may be followed by a long stroke.

### 3.4

#### **lightning stroke**

single electrical discharge in a lightning flash to earth

### 3.5

#### **short stroke**

part of the lightning flash which corresponds to an impulse current

NOTE This current has a time  $T_2$  to the half peak value on the tail typically less than 2 ms (see Figure A.1).

### 3.6

#### **long stroke**

part of the lightning flash which corresponds to a continuing current

NOTE The duration time  $T_{\text{long}}$  (time from the 10 % value on the front to the 10 % value on the tail) of this continuing current is typically more than 2 ms and less than 1 s (see Figure A.2)

### 3.7

#### **multiple strokes**

lightning flash consisting on average of 3-4 strokes, with typical time interval between them of about 50 ms

NOTE Events having up to a few dozen strokes with intervals between them ranging from 10 ms to 250 ms have been reported.

### 3.8

#### **point of strike**

point where a lightning flash strikes the earth, or protruding structure (e.g. structure, LPS, line, tree, etc.)

NOTE A lightning flash may have more than one point of strike.

### 3.9

#### **lightning current**

$i$

current flowing at the point of strike

### 3.10

#### **current peak value**

$I$

maximum value of the lightning current

### 3.11

#### **average steepness of the front of impulse current**

average rate of change of current within a time interval  $\Delta t = t_2 - t_1$

NOTE It is expressed by the difference  $\Delta i = i(t_2) - i(t_1)$  of the values of the current at the start and at the end of this interval, divided by the time interval  $\Delta t = t_2 - t_1$  (see Figure A.1).

### 3.12

#### **front time of impulse current**

$T_1$

virtual parameter defined as 1,25 times the time interval between the instants when the 10 % and 90 % of the peak value are reached (see Figure A.1)

### 3.13

#### virtual origin of impulse current

$O_1$

point of intersection with time axis of a straight line drawn through the 10 % and the 90 % reference points on the stroke current front (see Figure A.1); it precedes by  $0,1 T_1$  that instant at which the current attains 10 % of its peak value

### 3.14

#### time to half value of impulse current

$T_2$

virtual parameter defined as the time interval between the virtual origin  $O_1$  and the instant at which the current has decreased to half the peak value (see Figure A.1)

### 3.15

#### flash duration

$T$

time for which the lightning current flows at the point of strike

### 3.16

#### duration of long stroke current

$T_{\text{long}}$

time duration during which the current in a long stroke is between the 10 % of the peak value during the increase of the continuing current and 10 % of the peak value during the decrease of the continuing current (see Figure A.2)

### 3.17

#### flash charge

$Q_{\text{flash}}$

the value resulting from the time integral of the lightning current for the entire lightning flash duration

### 3.18

#### impulse charge

$Q_{\text{short}}$

the value resulting from the time integral of the lightning current in a impulse

### 3.19

#### long stroke charge

$Q_{\text{long}}$

the value resulting from the time integral of the lightning current in a long stroke

### 3.20

#### specific energy

$W/R$

the value resulting from the time integral of the square of the lightning current for the entire flash duration

NOTE It represents the energy dissipated by the lightning current in a unit resistance.

### 3.21

#### specific energy of impulse current

the value resulting from the time integral of the square of the lightning current for the duration of the impulse

NOTE The specific energy in a long stroke current is negligible.

**3.22**

**structure to be protected**

structure for which protection is required against the effects of lightning in accordance with this standard

NOTE A structure to be protected may be a part of a larger structure.

**3.23**

**line**

power line or telecommunication line connected to the structure to be protected

**3.24**

**telecommunication lines**

lines intended for communication between equipment that may be located in separate structures, such as phone line and data line

**3.25**

**power lines**

distribution lines feeding electrical energy into a structure to power electrical and electronic equipment located there, such as low voltage (LV) or high voltage (HV) electric mains

**3.26**

**lightning flash to a structure**

lightning flash striking a structure to be protected

**3.27**

**lightning flash near a structure**

lightning flash striking close enough to a structure to be protected that it may cause dangerous overvoltages

**3.28**

**electrical system**

system incorporating low voltage power supply components

**3.29**

**electronic system**

system incorporating sensitive electronic components such as telecommunication equipment, computer, control and instrumentation systems, radio systems, power electronic installations

**3.30**

**internal systems**

electrical and electronic systems within a structure

**3.31**

**physical damage**

damage to a structure (or to its contents) or to a line due to mechanical, thermal, chemical and explosive effects of lightning

**3.32**

**injury of living beings**

permanent injuries, including loss of life, to people or to animals by electric shock due to touch and step voltages caused by lightning

Note: Although living beings may be injured in other ways, in this standard the term injury to living beings is limited to the threat due to electrical shock (type of damage D1).

**3.33**

**failure of electrical and electronic systems**

permanent damage of electrical and electronic systems due to LEMP

**3.34**

**lightning electromagnetic impulse**

LEMP

all electromagnetic effects of lightning current via resistive, inductive and capacitive coupling which create surges and radiated electromagnetic fields.

**3.35**

**surge**

transient created by LEMP which appears as an overvoltage and/or an overcurrent

**3.36**

**lightning protection zone**

LPZ

zone where the lightning electromagnetic environment is defined

NOTE The zone boundaries of an LPZ are not necessarily physical boundaries (e.g. walls, floor and ceiling).

**3.37**

**risk**

$R$

value of probable average annual loss (humans and goods) due to lightning, relative to the total value (humans and goods) of the structure to be protected

**3.38**

**tolerable risk**

$R_T$

maximum value of the risk which can be tolerated for the structure to be protected

**3.39**

**lightning protection level**

LPL

number related to a set of lightning current parameters values relevant to the probability that the associated maximum and minimum design values will not be exceeded in naturally occurring lightning

NOTE Lightning protection level is used to design protection measures according to the relevant set of lightning current parameters.

**3.40**

**protection measures**

measures to be adopted for the structure to be protected to reduce the risk

**3.41a**

**lightning protection**

LP

complete system for the protection of structures and/or electrical and electronic systems in those structures from the effects of lightning, in general consisting of an LPS and ESP

**3.41**

**lightning protection system**

LPS

complete system used to reduce physical damage due to lightning flashes to a structure

NOTE It consists of both external and internal lightning protection systems.

**3.42**

**external lightning protection system**

part of the LPS consisting of an air-termination system, a down-conductor system and an earth-termination system

**3.43**

**internal lightning protection system**

part of the LPS consisting of lightning equipotential bonding and/or electrical insulation of external LPS

**3.44**

**air-termination system**

part of an external LPS using metallic elements such as rods, mesh conductors or catenary wires intended to intercept lightning flashes

**3.45**

**down-conductor system**

part of an external LPS intended to conduct lightning current from the air-termination system to the earth-termination system

**3.46**

**earth-termination system**

part of an external LPS which is intended to conduct and disperse lightning current into the earth

**3.47**

**external conductive parts**

extended metal items entering or leaving the structure to be protected such as pipe works, cable metallic elements, metal ducts, etc. which may carry a part of the lightning current

**3.48**

**lightning equipotential bonding**

bonding to LPS of separated metallic parts, by direct conductive connections or via surge protective devices, to reduce potential differences caused by lightning current

**3.49**

**conventional earthing impedance**

ratio of the peak values of the earth-termination voltage and the earth-termination current which, in general, do not occur simultaneously

**3.50**

**electrical and electronic system protection**

ESP

measures taken to protect internal systems against the effects of LEMP

NOTE This is part of overall lightning protection

**3.51**

**magnetic shield**

closed, metallic, grid-like or continuous screen enveloping the structure to be protected, or part of it, used to reduce failures of electrical and electronic systems

**3.52**

**surge protective device**

SPD

device intended to limit transient overvoltages and divert surge currents. It contains at least one non linear component



### 3.53

#### **coordinated SPD system**

SPD properly selected, coordinated and installed to form a system intended to reduce failures of electrical and electronic systems

### 3.54

#### **rated impulse withstand voltage**

$U_w$

impulse withstand voltage assigned by the manufacturer to the equipment or to a part of it, characterizing the specified withstand capability of its insulation against overvoltages

NOTE For the purposes of this standard, only withstand voltage between live conductors and earth is considered. (IEC 60664-1:2002) [1]<sup>1</sup>

### 3.55

#### **Isolating interfaces**

devices which are capable of reducing conducted surges on lines entering the LPZ. These include: isolation transformers with earthed screen between windings, metal free fibre optic cables and opto-isolators

NOTE Insulation withstand characteristics of these devices shall be suitable for this application.

## **4 Lightning current parameters**

The lightning current parameters used in the IEC 62305 series are given in Annex A.

The time function of the lightning current to be used for analysis purposes is given in Annex B.

Information for simulation of lightning current for test purposes is given in Annex C.

The basic parameters to be used in laboratory to simulate the effects of lightning on LPS components are given in Annex D.

Information on surges due to lightning at different installation points is given in Annex E.

## **5 Damage due to lightning**

### **5.1 Damage to a structure**

Lightning affecting a structure can cause damage to the structure itself and to its occupants and contents, including failure of internal systems. The damages and failures may also extend to the surroundings of the structure and even involve the local environment. The scale of this extension depends on the characteristics of the structure and on the characteristics of the lightning flash.

#### **5.1.1 Effects of lightning on a structure**

The main characteristics of structures relevant to lightning effects include:

- construction (e.g. wood, brick, concrete, reinforced concrete, steel frame construction);
- function (dwelling house, office, farm, theatre, hotel, school, hospital, museum, church, prison, department store, bank, factory, industry plant, sports area);

---

<sup>1</sup> References in square brackets refer to the bibliography.

- occupants and contents (persons and animals, presence of combustible or non-combustible materials, explosive or non-explosive materials, electrical and electronic systems with low or high withstand voltage);
- connected lines (power lines, telecommunication lines, pipelines);
- existing or provided protection measures (e.g. protection measures to reduce physical damage and life hazard, protection measures to reduce failure of internal systems);
- scale of the extension of danger (structure with difficulty of evacuation or structure where panic may be created, structure dangerous to the surroundings, structure dangerous to the environment).

Table 1 reports the effects of lightning on various types of structures.

**Table 1 – Effects of lightning on typical structures**

Type of structure according to function and/or contents	Effects of lightning
Dwelling-house	Puncture of electrical installations, fire and material damage Damage normally limited to structures exposed to the point of strike or to the lightning current path Failure of electrical and electronic equipment and systems installed (e.g. TV sets, computers, modems, telephones, etc.)
Farm building	Primary risk of fire and hazardous step voltages as well as material damage Secondary risk due to loss of electric power, and life hazard to livestock due to failure of electronic control of ventilation and food supply systems, etc.
Theatre, Hotel, School Department store Sports area	Damage to the electrical installations (e.g. electric lighting) likely to cause panic Failure of fire alarms resulting in delayed fire fighting measures
Bank Insurance company Commercial company, etc.	As above, plus problems resulting from loss of communication, failure of computers and loss of data
Hospital Nursing home Prison	As above, plus problems of people in intensive care, and the difficulties of rescuing immobile people
Industry	Additional effects depending on the contents of factories, ranging from minor to unacceptable damage and loss of production
Museums and archeological sites Church	Loss of irreplaceable cultural heritage
Telecommunications Power plants	Unacceptable loss of services to the public
Firework factory Munition works	Consequences of fire and explosion to the plant and its surroundings
Chemical plant Refinery Nuclear plant Biochemical laboratories and	Fire and malfunction of the plant with detrimental consequences to the local and global environment

plants	
--------	--

### 5.1.2 Sources and types of damage to a structure

The lightning current is the source of damage. The following situations shall be taken into account, depending on the position of the point of strike relative to the structure considered:

- S1: flashes to the structure;
- S2: flashes near the structure;
- S3: flashes to the lines connected to the structure;
- S4: flashes near the lines connected to the structure.

**Flashes to the structure** can cause:

- immediate mechanical damage, fire and/or explosion due to the hot lightning plasma arc itself, due to the current resulting in ohmic heating of conductors (over-heated conductors), or due to the charge resulting in arc erosion (melted metal);
- fire and/or explosion triggered by sparks caused by overvoltages resulting from resistive and inductive coupling and to passage of part of the lightning currents;
- injury to people by electric shock due to step and touch voltages resulting from resistive and inductive coupling;
- failure or malfunction of internal systems due to LEMP.

**Flashes near the structure** can cause:

- failure or malfunction of internal systems due to LEMP.

**Flashes to a line connected to the structure** can cause:

- fire and/or explosion triggered by sparks due to overvoltages and lightning currents transmitted through the connected line;
- injury to people by electric shock due to touch voltages inside the structure caused by lightning currents transmitted through the connected line;
- failure or malfunction of internal systems due to overvoltages appearing on connected lines and transmitted to the structure.

**Flashes near a line connected to the structure** can cause:

- failure or malfunction of internal systems due to overvoltages induced on connected lines and transmitted to the structure.

NOTE 1 Malfunctioning of internal systems is not covered by the IEC 62305 series. Reference should be made to IEC 61000-4-5 [2].

NOTE 2 Only the sparks carrying lightning current (total or partial) are regarded as able to trigger fire.

NOTE 3 Lightning flashes, direct to or near the incoming pipelines, do not cause damages to the structure, provided that they are bonded to the equipotential bar of the structure (see IEC 62305-3).

As result, the lightning can cause three basic type of damages:

- D1: injury of living beings by electric shock;
- D2: physical damage (fire, explosion, mechanical destruction, chemical release) due to lightning current effects including sparking;
- D3: failure of internal systems due to LEMP.

## 5.2 Types of loss

Each type of damage, alone or in combination with others, may produce different consequential loss in the structure to be protected. The type of loss that may appear depends on the characteristics of the structure itself.

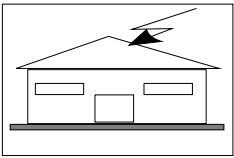
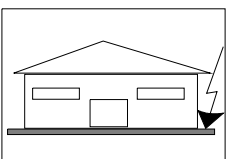
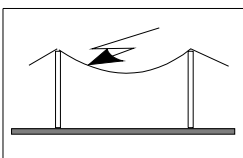
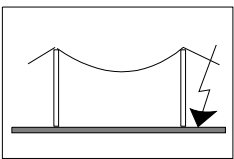
For the purposes of this standard the following types of loss which may appear in a structure are considered:

- L1: loss of human life (including permanent injury);
- L2: loss of service to the public;
- L3: loss of cultural heritage;
- L4: loss of economic value (structure, its content, and loss of activity).

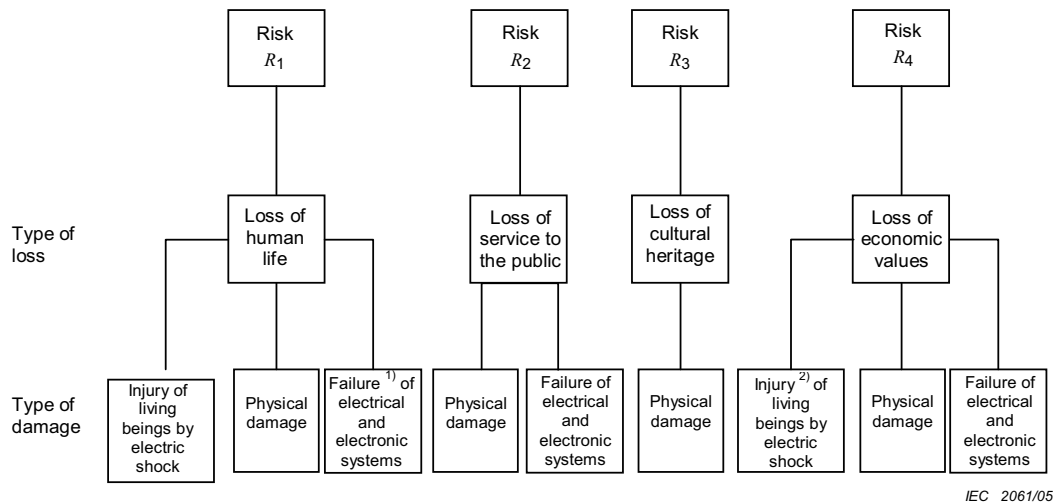
Loss of type L1, L2 and L3 may be considered as loss of social values, whereas loss of type L4 may be considered as purely economic loss.

The relationship between source of damage, type of damage and loss is reported in Table 3

**Table 2 – Damages and loss in a structure according to different points of strike of lightning**

Point of strike		Source of damage	Type of damage	Type of loss
Structure		S1	D1 D2 D3	L1, L4** L1, L2, L3, L4 L1*, L2, L4
Near a structure		S2	D3	L1*, L2, L4
Line connected to the structure		S3	D1 D2 D3	L1, L4** L1, L2, L3, L4 L1*, L2, L4
Near a line		S4	D3	L1*, L2, L4
<p>* Only for structures with risk of explosion and for hospitals or other structures where failure of internal systems immediately endangers human life.</p> <p>** Only for properties where animals may be lost.</p>				

Types of loss resulting from types of damage and the corresponding risks are reported in Figure 2.



- 1) Only for hospitals or other structures where failure on internal systems immediately endanger human life.  
2) Only for properties where animals may be lost.

**Figure 2 – Types of loss and corresponding risks resulting from different types of damage**

## 6 Need and economic convenience for lightning protection

### 6.1 Need for lightning protection

The need for lightning protection of a structure to be protected in order to reduce the loss of social values L1, L2 and L3 shall be evaluated.

In order to evaluate whether or not lightning protection of a structure is needed, a risk assessment in accordance with the procedures contained in IEC 62305-2 shall be made. The following risks shall be taken into account, corresponding to the types of loss reported in 5.2:

- $R_1$ : risk of loss or permanent injury of human life;
- $R_2$ : risk of loss of services to the public;
- $R_3$ : risk of loss of cultural heritage.

Note Risk R4: risk of loss of economic values should be assessed where the economic convenience of lightning protection should be evaluated (see sub-clause 6.2).

Protection against lightning is needed if the risk  $R$  ( $R_1$  to  $R_3$ ) is higher than the tolerable level  $R_T$

$$R > R_T$$

In this case, protection measures shall be adopted in order reduce the risk  $R$  ( $R_1$  to  $R_3$ ) to the tolerable level  $R_T$

$$R \leq R_T$$

If more than one type of loss could appear in the structure to be protected, the condition  $R \leq R_T$  shall be satisfied for each type of loss (L1, L2 and L3).

The values of tolerable risk  $R_T$  where lightning could result in the loss of items of social value should be under the responsibility of a competent national body.

NOTE 1 An authority having jurisdiction may specify the need for lightning protection for specific applications without requiring a risk assessment. In these cases, the required lightning protection level will be specified by the authority having jurisdiction. In some cases, a risk assessment may be performed as a technique by which to justify a waiver to these requirements.

NOTE 2 Detailed information on risk assessment and on the procedure for selection of protection measures is reported in IEC 62305-2.

## 6.2 Economic convenience of lightning protection

Besides the need for lightning protection for the structure to be protected, it may be useful to evaluate the economic benefits of providing protection measures in order to reduce the economic loss L4.

In this case, the risk  $R_4$  of loss of economic values should be assessed. The assessment of risk  $R_4$  allows the evaluation of the cost of the economic loss with and without the adopted protection measures.

Lightning protection is cost effective if the sum of the cost  $C_{RL}$  of residual loss in presence of protection measures and the cost  $C_{PM}$  of protection measures is lower than the cost  $C_L$  of total loss without protection measures:

$$C_{RL} + C_{PM} < C_L$$

NOTE Detailed information on the evaluation of economic convenience of lightning protection is reported in IEC 62305-2.

## 7 Protection measures

Protection measures may be adopted in order to reduce the risk according to the type of damage.

### 7.1 Protection measures to reduce injury of living beings by electric shock

Possible protection measures include:

- adequate insulation of exposed conductive parts;
- equipotentialization by means of a meshed earthing system;
- physical restrictions and warning notices;
- lightning equipotential bonding (EB)

NOTE 1 Equipotentialization and an increase of the contact resistance of the ground surface inside and outside the structure may reduce the life hazard (see Clause 8 of IEC 62305-3).

NOTE 2 The use of storm detectors may reduce the life hazard

### 7.2 Protection measures to reduce physical damage

Protection is achieved by the lightning protection system (LPS) which includes

- Air-termination system
- Down-conductor system

- Earth-termination system
- Lightning equipotential bonding (EB)
- Electrical insulation (and hence separation distance) against the external LPS

NOTE 1 When a LPS is installed, equipotentialization is a very important measure to reduce fire and explosion danger and life hazard. For more details see IEC 62305-3.

NOTE 2 Provisions limiting the development and propagation of the fire such as fire-proof compartments, extinguishers, hydrants, fire alarm and fire extinguishing installations, may reduce physical damage.

NOTE 3 Protected escape routes provide protection for personnel.

### **7.3 Protection measures to reduce failure of electrical and electronic systems**

Possible protection measures (ESP) are:

- earthing and bonding measures;
- magnetic shielding;
- line routing;
- Isolating interfaces;
- coordinated SPD system .

These measures may be used alone or in combination.

NOTE The use of storm detectors may reduce failures of electrical and electronic systems

### **7.4 Protection measures selection**

All protection measures listed in 7.1, 7.2 and 7.3 together form the overall lightning protection.

The selection of the most suitable protection measures shall be made by the designer of protection measures and the owner of the structure to be protected according to the type and the amount of each kind of damage, and according to the technical and economic aspects of the different protection measures.

The criteria for risk assessment and for selection of the most suitable protection measures are given in IEC 62305-2.

Protection measures are effective provided that they comply with the requirements of relevant standards and are able to withstand the stress expected in the place of its installation.

## **8 Basic criteria for protection of structures**

An ideal protection for structures would be to enclose the structure to be protected within an earthed and perfectly conducting continuous shield of adequate thickness, and by providing adequate bonding, at the entrance point into the shield, of the lines connected to the structure.

This would prevent the penetration of lightning current and related electromagnetic field into the structure to be protected and prevent dangerous thermal and electrodynamic effects of current, as well as dangerous sparkings and overvoltages for internal systems.

In practice, it is often neither possible nor cost effective to go to such measures to provide such full protection.

Lack of continuity of the shield and/or its inadequate thickness allows the lightning current to penetrate the shield causing:

- physical damage and life hazard
- failure of internal systems

Protection measures, adopted to reduce such damages and relevant consequential loss, shall be designed for the defined set of lightning current parameters against which protection is required (lightning protection level).

### 8.1 Lightning protection levels (LPL)

For the aim of this standard, four lightning protection levels (I to IV) are introduced. For each LPL a set of maximum and minimum lightning current parameters is fixed.

NOTE 1 Protection against lightning whose maximum and minimum lightning current parameters exceed those relevant to LPL I needs more efficient measures which should be selected and erected on an individual basis.

NOTE 2 The probability of occurrence of lightning with minimum or maximum current parameters outside the range of values defined for LPL I is less than 2 %.

The maximum values of lightning current parameters relevant to LPL I will not be exceeded, with a probability of 99 %. According to the polarity ratio assumed (see Clause A.2), values taken from positive flashes will have probabilities below 10 %, while those from negative flashes will remain below 1 % (see Clause A.3).

The maximum values of lightning current parameters relevant to LPL I are reduced to 75 % for LPL II and to 50 % for LPL III and IV (linear for  $I$ ,  $Q$  and  $di/dt$ , but quadratic for  $W/R$ ). The time parameters are unchanged.

NOTE 3 Lightning protection levels whose maximum lightning current parameters are lower than those relevant to LPL IV allow one to consider values of probability of damage higher than those presented in Annex B of IEC 62305-2, but not quantified and are useful for better tailoring of protection measures in order to avoid unjustified costs.

The maximum values of lightning current parameters for the different lightning protection levels are given in Table 3 and are used to design lightning protection components (e.g. cross-section of conductors, thickness of metal sheets, current capability of SPDs, separation distance against dangerous sparking) and to define test parameters simulating the effects of lightning on such components (see Annex D).

The minimum values of lightning current amplitude for the different LPL are used to derive the rolling sphere radius (see Clause A.4) in order to define the lightning protection zone LPZ  $\theta_B$  which cannot be reached by direct strike (see 8.2 and Figures 3 and 4). The minimum values of lightning current parameters together with the related rolling sphere radius are given in Table 4. They are used for positioning of the air-termination system and to define the lightning protection zone LPZ  $\theta_B$  (see 8.2).



**Table 3 – Maximum values of lightning parameters according to LPL**

First positive impulse			LPL			
Current parameters	Symbol	Unit	I	II	III	IV
Peak current	$I$	kA	200	150	100	
Impulse charge	$Q_{\text{short}}$	C	100	75	50	
Specific energy	$W/R$	MJ/ $\Omega$	10	5,6	2,5	
Time parameters	$T_1 / T_2$	$\mu\text{s} / \mu\text{s}$	10 / 350			
First negative impulse <sup>1)</sup>			LPL			
Peak current	$I$	kA	100	75	50	
Average steepness	$di/dt$	kA/ $\mu\text{s}$	100	75	50	
Time parameters	$T_1 / T_2$	$\mu\text{s} / \mu\text{s}$	1 / 200			
Subsequent impulse			LPL			
Current parameters	Symbol	Unit	I	II	III	IV
Peak current	$I$	kA	50	37,5	25	
Average steepness	$di/dt$	kA/ $\mu\text{s}$	200	150	100	
Time parameters	$T_1 / T_2$	$\mu\text{s} / \mu\text{s}$	0,25 / 100			
Long stroke			LPL			
Current parameters	Symbol	Unit	I	II	III	IV
Long stroke charge	$Q_{\text{long}}$	C	200	150	100	
Time parameter	$T_{\text{long}}$	s	0,5			
Flash			LPL			
Current parameters	Symbol	Unit	I	II	III	IV
Flash charge	$Q_{\text{flash}}$	C	300	225	150	
1) The use of this current shape concerns only calculations and not testing						

**Table 4 – Minimum values of lightning parameters and related rolling sphere radius corresponding to LPL**

Interception criteria			LPL			
	Symbol	Unit	I	II	III	IV
Minimum peak current	<i>I</i>	kA	3	5	10	16
Rolling sphere radius	<i>r</i>	m	20	30	45	60

From the statistical distributions given in Figure A.5, a weighted probability can be determined that the lightning current parameters are smaller than the maximum values and respectively greater than the minimum values defined for each protection level (see Table 5).

**Table 5 – Probabilities for the limits of the lightning current parameters**

Probability that lightning current parameters	LPL			
	I	II	III	IV
Are smaller than the maximum values defined in Table 5	0,99	0,98	0,95	0,95
Are greater than the minimum values defined in Table 6	0,99	0,97	0,91	0,84

The protection measures specified in IEC 62305-3 and IEC 62305-4 are effective against lightning whose current parameters are in the range defined by the LPL assumed for design. Therefore the efficiency of a protection measure is assumed equal to the probability with which lightning current parameters are inside such range.

## 8.2 Lightning protection zones (LPZ)

Protection measures such as LPS, shielding wires, magnetic shields and SPD determine lightning protection zones (LPZ).

LPZ downstream of the protection measure are characterized by significant reduction of LEMP than that upstream of the LPZ.

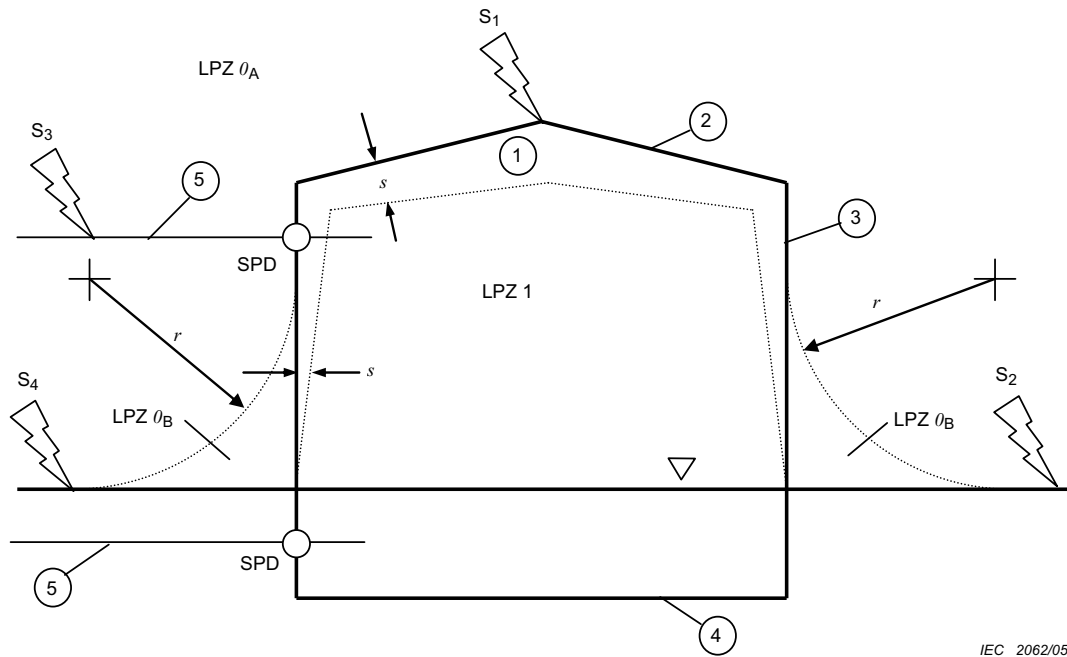
With respect to the threat of lightning, the following LPZs are defined (see Figures 3 and 4):

- LPZ  $O_A$  zone where the threat is due to the direct lightning flash and the full lightning electromagnetic field. The internal systems may be subjected to full or partial lightning surge current;
- LPZ  $O_B$  zone protected against direct lightning flashes but where the threat is the full lightning electromagnetic field. The internal systems may be subjected to partial lightning surge currents;
- LPZ 1 zone where the surge current is limited by current sharing and by isolating interfaces and/or SPDs at the boundary. Spatial shielding may attenuate the lightning electromagnetic field;
- LPZ 2, ..., n zone where the surge current may be further limited by current sharing and by isolating interfaces and/or additional SPDs at the boundary. Additional spatial shielding may be used to further attenuate the lightning electromagnetic field.

NOTE 1 In general, the higher the number of an individual zone, the lower the electromagnetic environment parameters.

As a general rule for protection, the structure to be protected shall be in a LPZ whose electromagnetic characteristics are compatible with the capability of the structure to withstand stress causing the damage to be reduced (physical damage, failure of electrical and electronic systems due to overvoltages).

NOTE 2 For most electrical and electronic systems and apparatus, information about withstand level can be supplied by manufacturer.



IEC 2062/05

1	Structure	S1	Flash to the structure
2	Air termination system	S2	Flash near to the structure
3	Down conductor system	S3	Flash to a line connected to the structure
4	Earth termination system	S4	Flash near a line connected to the structure
5	Incoming lines	$r$	Rolling sphere radius
		$s$	Separation distance against dangerous sparking

▽ Ground level

○ Lightning equipotential bonding by means of SPD

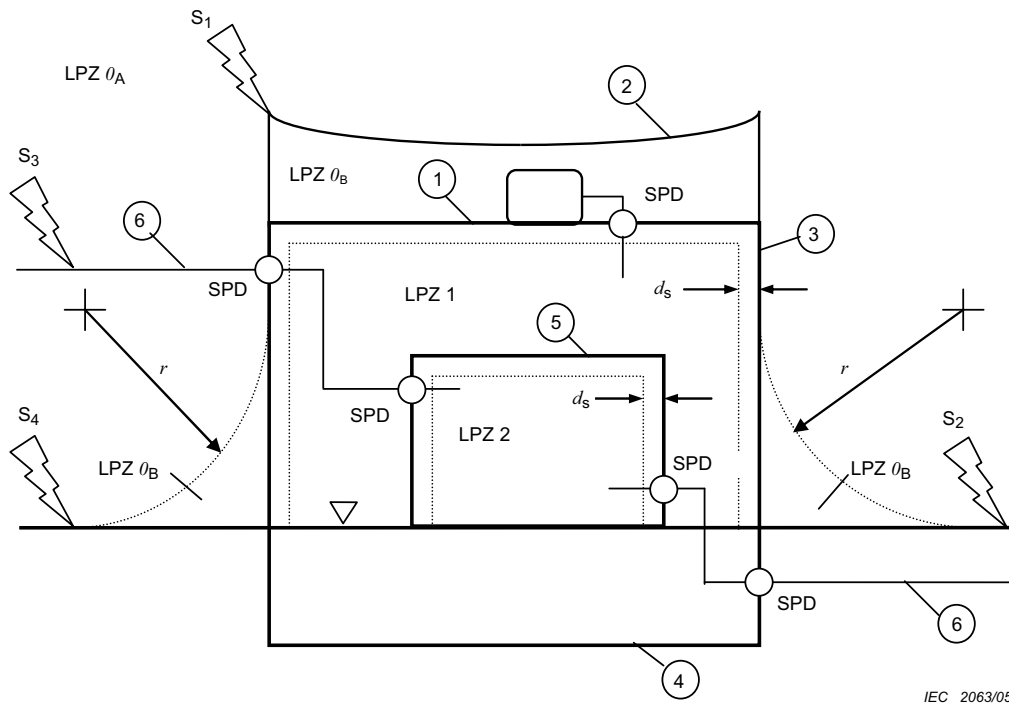
LPZ  $0_A$  Direct flash, full lightning current

LPZ  $0_B$  No direct flash, partial lightning or induced current

LPZ 1 No direct flash, limited lightning or induced current.

Protected volume inside LPZ 1 must respect separation distance  $s$

**Figure 3 – LPZ defined by an LPS (IEC 62305-3)**



- |   |                                  |       |   |
|---|----------------------------------|-------|---|
| 1 | Structure (shield of LPZ 1)      | S1    | Flash to the structure                          |
| 2 | Air termination system           | S2    | Flash near to the structure                     |
| 3 | Down conductor system            | S3    | Flash to a line connected to the structure      |
| 4 | Earth termination system         | S4    | Flash near a line connected to the structure    |
| 5 | Room (shield of LPZ 2)           | $r$   | Rolling sphere radius                           |
| 6 | Lines connected to the structure | $d_s$ | Safety distance against too high magnetic field |

▽ Ground level

○ Lightning equipotential bonding by means of SPD

LPZ  $0_A$  Direct flash, full lightning current, full magnetic field

LPZ  $0_B$  No direct flash, partial lightning or induced current, full magnetic field

LPZ 1 No direct flash, limited lightning or induced current, damped magnetic field

LPZ 2 No direct flash, induced currents, further damped magnetic field

Protected volumes inside LPZ 1 and LPZ 2 must respect safety distances  $d_s$

**Figure 4 – LPZ defined by protection measures against LEMP  
 (IEC 62305-4)**

### 8.3 Protection of structures

#### 8.3.1 Protection to reduce physical damage and life hazard

The structure to be protected shall be inside an LPZ  $0_B$  or higher. This is achieved by means of a lightning protection system (LPS)

An LPS consists of both external and internal lightning protection systems

The functions of the external LPS are

- to intercept a lightning flash to the structure (with an air-termination system),
- to conduct the lightning current safely to earth (with a down-conductor system),
- to disperse it into the earth (with an earth-termination system).

The function of the internal LPS is to prevent dangerous sparking within the structure, using equipotential bonding or a separation distance,  $s$ , (and hence electrical isolation) between the LPS components and other electrically conducting elements internal to the structure.

Four classes of LPS (I, II, III & IV) are defined as a set of construction rules, based on the corresponding LPL. Each set includes level-dependent (e.g. rolling sphere radius, mesh width etc.) and level-independent (e.g. cross-sections, materials etc.) construction rules.

Where surface resistivity of the soil outside, and of the floor inside the structure is not sufficiently high, life hazard due to touch and step voltages is reduced:

- outside the structure, by insulation of the exposed conductive parts, by equipotentialization of the soil by means of a meshed earthing system, by warning notices and by physical restrictions;
- inside the structure, by equipotential bonding of lines at entrance point into the structure.

LPS shall comply with requirements of IEC 62305-3.

#### 8.3.2 Protection to reduce the failure of internal systems

The protection against LEMP to reduce the risk of failure of internal systems shall limit:

- surges due to lightning flashes to the structure resulting from resistive and inductive coupling;
- surges due to lightning flashes near the structure resulting from inductive coupling;
- surges transmitted by lines connected to the structure due to flashes to or near the lines;
- magnetic field directly coupling with apparatus.

NOTE Failure of apparatus due to electromagnetic fields directly radiated into the equipment are negligible provided that apparatus comply with radio frequency (RF) radiated emission and immunity tests defined by relevant EMC product standards (see IEC 62305-2 and IEC 62305-4).

The system to be protected shall be located inside a LPZ 1 or higher. This is achieved by means of electrical and electronic system protection measures (ESP) consisting of magnetic shields attenuating the inducing magnetic field and/or suitable routing of wiring reducing the induction loop. Bonding shall be provided at the boundaries of LPZ for metal parts and systems crossing the boundaries. This bonding may be accomplished by means of bonding conductors or, when necessary, by surge protective devices (SPDs).

The protection measures for any LPZ shall comply with IEC 62305-4.

Effective protection against overvoltages, causing failures of internal systems, may also be achieved by means of isolating interfaces and/or a coordinated SPD system, limiting overvoltages below the rated impulse withstand voltage of the system to be protected.

Isolating interfaces and SPDs shall be selected and installed according to the requirements of IEC 62305-4.

## Annex A (informative)

### Parameters of lightning current

#### A.1 Lightning flashes to earth

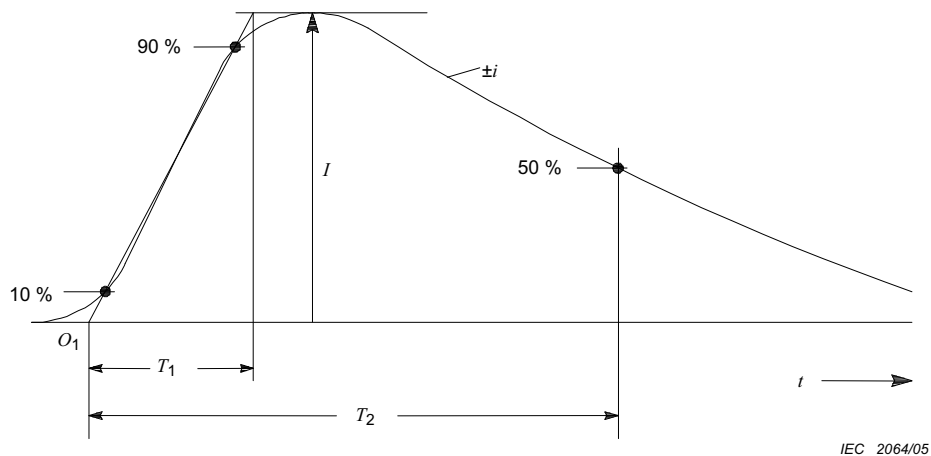
Two basic types of flashes exist:

- downward flashes initiated by a downward leader from cloud to earth;
- upward flashes initiated by an upward leader from an earthed structure to cloud.

Mostly downward flashes occur in flat territory, and to lower structures, whereas for exposed and/or higher structures upward flashes become dominant. With effective height, the probability of a direct strike to the structure increases (see IEC 62305-2, Annex A) and the physical conditions change.

A lightning current consists of one or more different strokes:

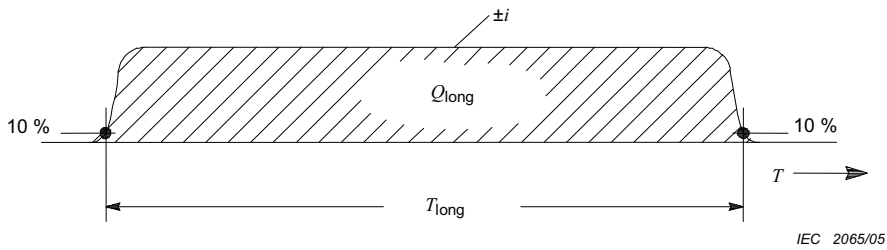
- impulses with duration less than 2 ms (Figure A.1)
- long strokes with duration longer than 2 ms (Figure A.2).



#### Key

- $O_1$  virtual origin
- $I$  peak current
- $T_1$  front time
- $T_2$  time to half value

Figure A.1 – Definitions of impulse current parameters (typically  $T_2 < 2$  ms)

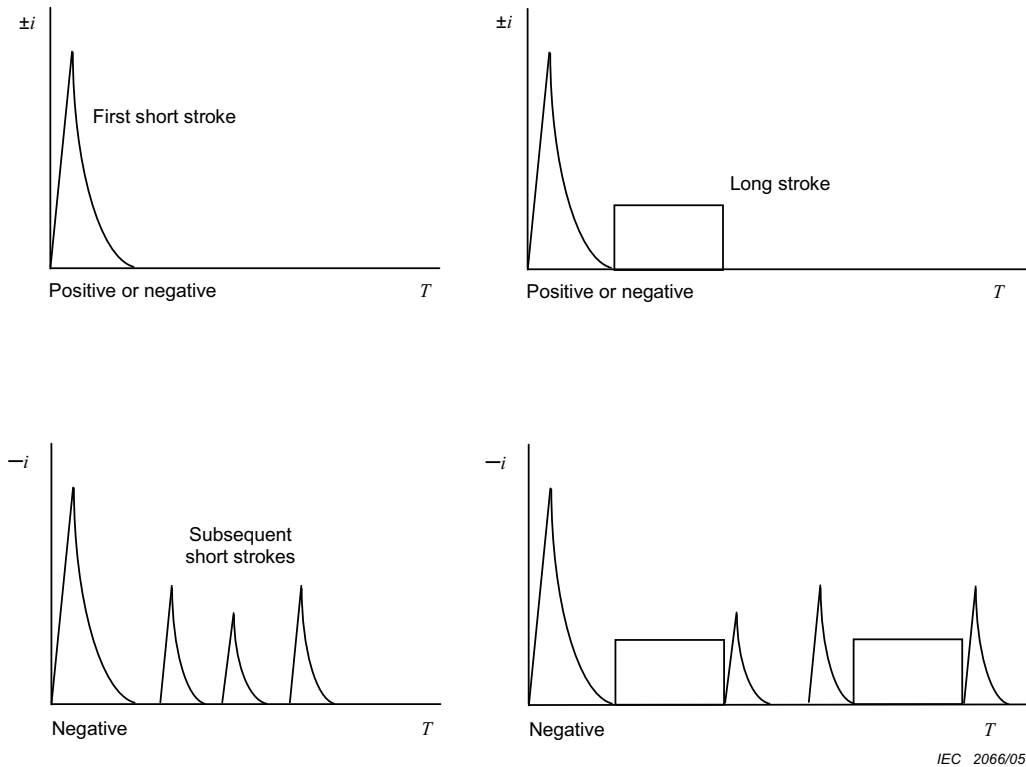


**Key**

- $T_{long}$  duration time
- $Q_{long}$  long stroke charge

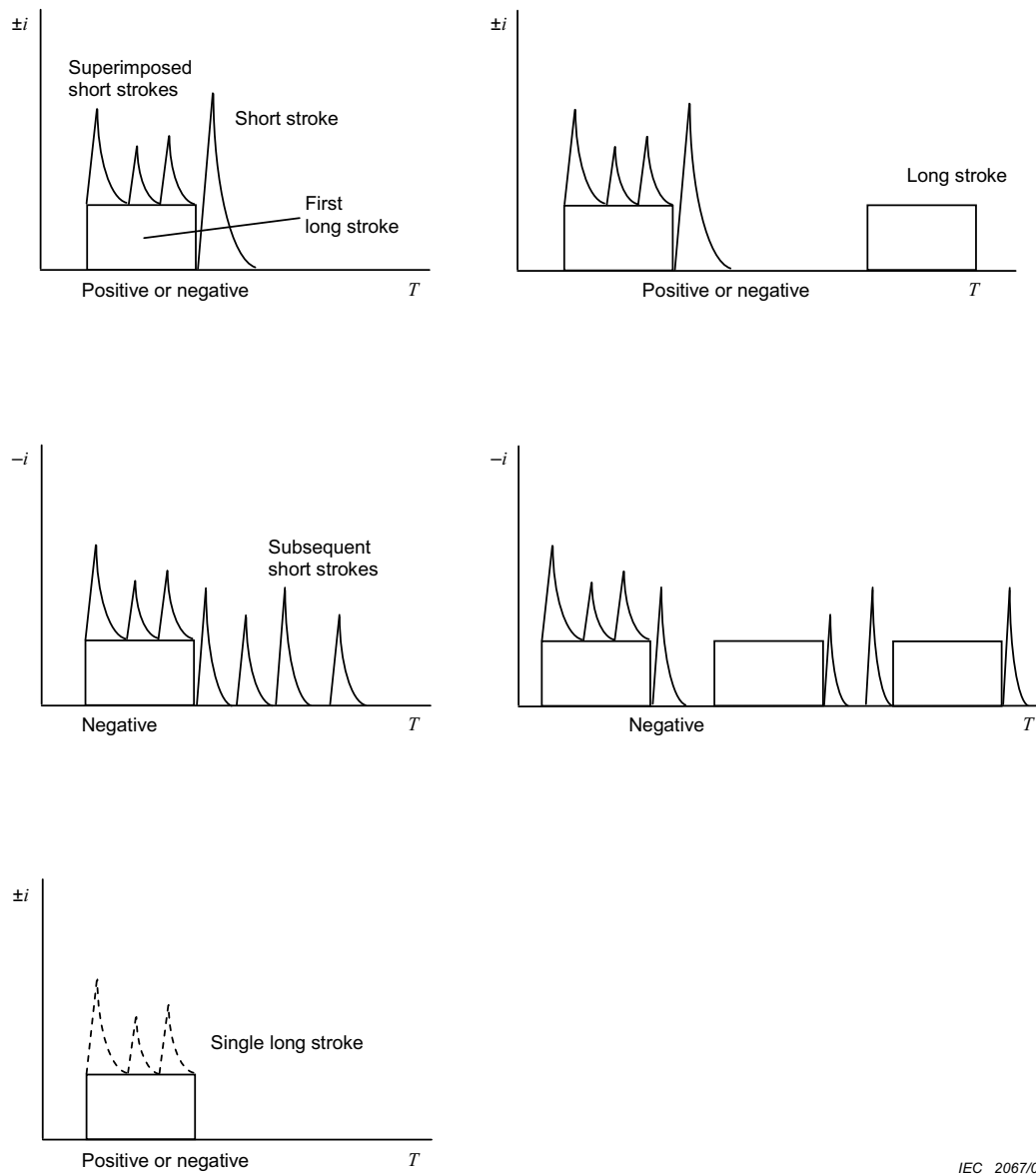
**Figure A.2 – Definitions of long duration stroke parameters  
 (typically  $2\text{ ms} < T_{long} < 1\text{ s}$ )**

Further differentiation of strokes comes from their polarity (positive or negative) and from their position during the flash (first, subsequent, superimposed). The possible components are shown in Figure A.3 for downward flashes and in Figure A.4 for upward flashes.



**Figure A.3 – Possible components of downward flashes  
 (typical in flat territory and to lower structures)**





IEC 2067/05

**Figure A.4 – Possible components of upward flashes  
(typical to exposed and/or higher structures)**

The additional component in upward flashes is the first long stroke with or without up to some ten superimposed impulses. But all impulse current parameters of upward flashes are less than those of downward flashes. A higher long stroke charge of upward flashes is not yet confirmed. Therefore the lightning current parameters of upward flashes are considered to be covered by the maximum values given for downward flashes. A more precise evaluation of lightning current parameters and their height dependency with regard to downward and upward flashes is under consideration.

## A.2 Lightning current parameters

The lightning current parameters in this standard are based on the results of the International Council on Large Electrical Systems (CIGRE) data given in Table A.1. Their statistical distribution can be assumed to have a logarithmic normal distribution. The corresponding mean value  $\mu$  and the dispersion  $\sigma_{\log}$  are given in Table A.2 and the distribution function is shown in Figure A.5. On this basis, the probability of occurrence of any value of each parameter can be determined.

A polarity ratio of 10 % positive and 90 % negative flashes is assumed. The value of the probability of occurrence of greater lightning current peak value than that previously considered is reported in Table A.3. The polarity ratio is a function of the territory. If no local information is available, the ratio given herein should be used.

**Table A.1 – Tabulated values of lightning current parameters taken from CIGRE (Electra No. 41 or No. 69\*) [3], [4]**

Parameter	Fixed values for LPL I	Values			Type of stroke	Line in Figure A.5
		95 %	50 %	5 %		
$I$ (kA)		4(98 %)	20(80 %)	90	*First negative short	1A+1B
	50	4,9	11,8	28,6	*Subsequent negative short	2
	200	4,6	35	250	First positive short (single)	3
$Q_{\text{flash}}$ (C)		1,3	7,5	40	Negative flash	4
	300	20	80	350	Positive flash	5
$Q_{\text{short}}$ (C)		1,1	4,5	20	First negative short	6
		0,22	0,95	4	Subsequent negative short	7
	100	2	16	150	First positive short (single)	8
$W/R$ (kJ/Ω)		6	55	550	First negative short	9
		0,55	6	52	Subsequent negative short	10
	10 000	25	650	15 000	First positive short	11
$di/dt_{\text{max}}$ (kA/μs)		9,1	24,3	65	*First negative short	12
		9,9	39,9	161,5	*Subsequent negative short	13
	20	0,2	2,4	32	First positive short	14
$di/dt_{30/90\%}$ (kA/μs)	200	4,1	20,1	98,5	*Subsequent negative short	15
$Q_{\text{long}}$ (C)	200				Long	
$t_{\text{long}}$ (s)	0,5				Long	
Front duration (μs)		1,8	5,5	18	First negative short	
		0,22	1,1	4,5	Subsequent negative short	
		3,5	22	200	First positive short (single)	
Stroke duration (μs)		30	75	200	First negative short	
		6,5	32	140	Subsequent negative short	
		25	230	2 000	First positive short (single)	
Time interval (ms)		7	33	150	Multiple negative strokes	
Total flash duration (ms)		0,15	13	1 100	Negative flash (all)	
		31	180	900	Negative flash (without single)	
		14	85	500	Positive flash	

NOTE The values of  $I = 4$  kA and  $I = 20$  kA correspond to a probability of 98 % and 80 %, respectively.

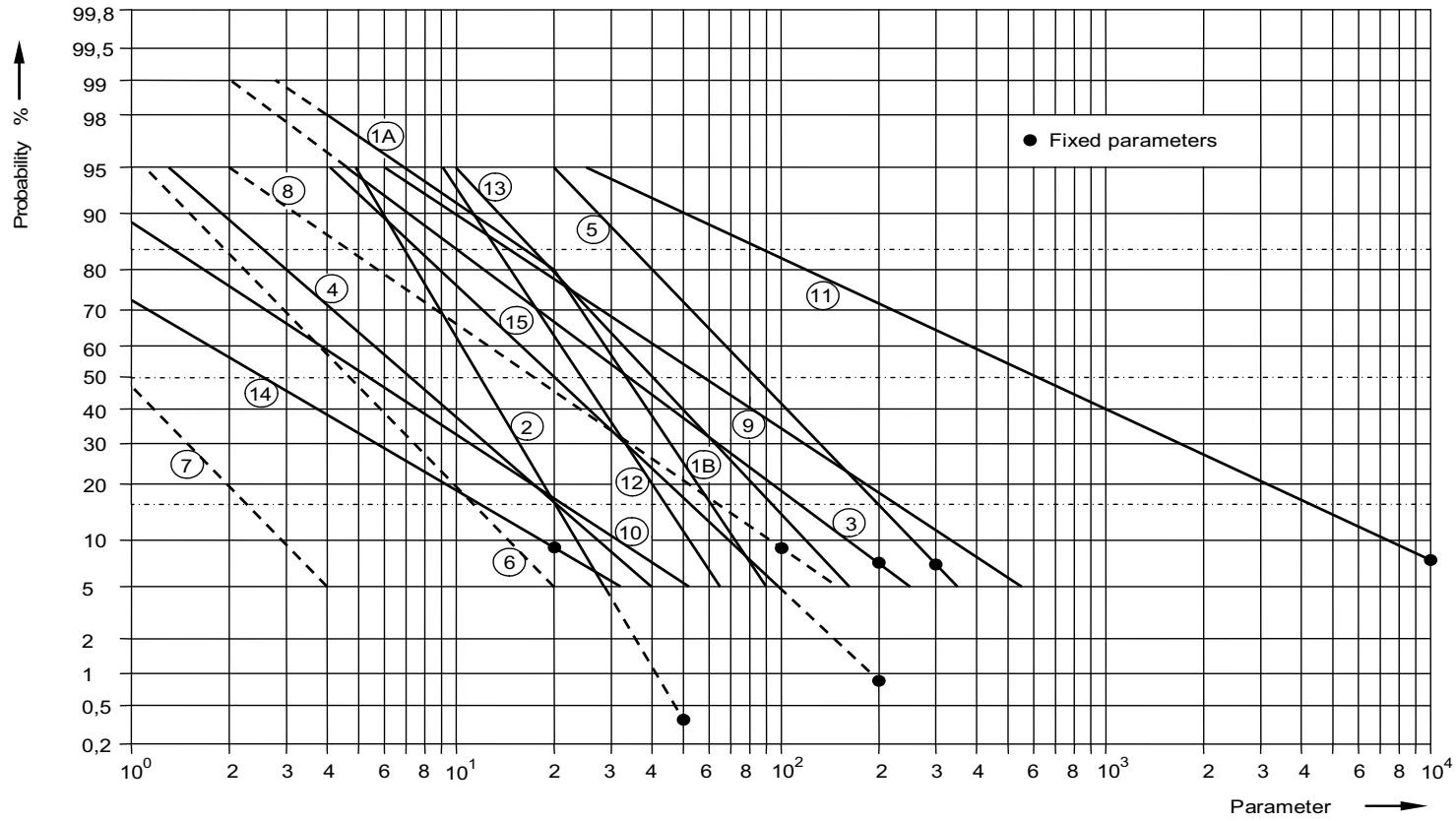
**Table A.2 – Logarithmic normal distribution of lightning current parameters – Mean  $\mu$  and dispersion  $\sigma_{\log}$  calculated from 95 % and 5 % values from CIGRE (Electra No. 41 or No. 69) [3], [4]**

Parameter	Mean $\mu$	Dispersion $\sigma_{\log}$	Stroke type	Line in Figure A.5
$I$ (kA)	(61,1)	0,576	*First negative short (80 %)	1A
	33,3	0,263	*First negative short (80 %)	1B
	11,8	0,233	*Subsequent negative short	2
	33,9	0,527	First positive short (single)	3
$Q_{\text{flash}}$ (C)	7,21	0,452	Negative flash	4
	83,7	0,378	Positive flash	5
$Q_{\text{short}}$ (C)	4,69	0,383	First negative short	6
	0,938	0,383	Subsequent negative short	7
	17,3	0,570	First positive short (single)	8
$W/R$ (kJ/ $\Omega$ )	57,4	0,596	First negative short	9
	5,35	0,600	Subsequent negative short	10
	612	0,844	First positive short	11
$di/dt_{\text{max}}$ (kA/ $\mu\text{s}$ )	24,3	0,260	*First negative short	12
	40,0	0,369	*Subsequent negative short	13
	2,53	0,670	First positive short	14
$di/dt_{30/90\%}$ (kA/ $\mu\text{s}$ )	20,1	0,420	*Subsequent negative short	15
$Q_{\text{long}}$ (C)	200		Long	
$t_{\text{long}}$ (s)	0,5		Long	
Front duration ( $\mu\text{s}$ )	5,69	0,304	First negative short	
	0,995	0,398	Subsequent negative short	
	26,5	0,534	First positive short (single)	
Stroke duration ( $\mu\text{s}$ )	77,5	0,250	First negative short	
	30,2	0,405	Subsequent negative short	
	224	0,578	First positive short (single)	
Time interval (ms)	32,4	0,405	Multiple negative strokes	
Total flash duration (ms)	12,8	1,175	Negative flash (all)	
	167	0,445	Negative flash (without single)	
	83,7	0,472	Positive flash	

NOTE  $\sigma_{\log} = \log(I_{16\%}) - \log(I_{50\%})$

**Table A.3 – Values of probability  $P$  as function of the lightning current  $I$**

$I$ (kA)	$P$
0	1
3	0,99
5	0,95
10	0,9
20	0,8
30	0,6
35	0,5
40	0,4
50	0,3
60	0,2
80	0,1
100	0,05
150	0,02
200	0,01
300	0,005
400	0,002
600	0,001



NOTE For numbering of curves see Tables A.1 and A.2.

**Figure A.5 – Cumulative frequency distribution of lightning current parameters (lines through 95 % and 5 % value)**

All values fixed for LPL given in this standard relate to both downward and upward flashes.

NOTE The value of lightning parameters is usually obtained from measurement taken on tall structures. Statistical distribution of roughly estimated lightning current peak values that does not consider the effect of tall structures is also available from lightning location systems.

### A.3 Fixing the maximum lightning current parameters for LPL I

The mechanical effects of lightning are related to the peak value of the current ( $I$ ), and to the specific energy ( $W/R$ ). The thermal effects are related to the specific energy ( $W/R$ ) when resistive coupling is involved and to the charge ( $Q$ ) when arcs develop to the installation. Overvoltages and dangerous sparking caused by inductive coupling are related to the average steepness ( $di/dt$ ) of the lightning current front.

Each of the single parameters ( $I$ ,  $Q$ ,  $W/R$ ,  $di/dt$ ) tend to dominate each failure mechanism. This shall be taken into account in establishing test procedures.

#### A.3.1 Positive impulse and long stroke

The values of  $I$ ,  $Q$  and  $W/R$  related to mechanical and thermal effects are determined from positive flashes (because their 10 % values are much higher than the corresponding 1 % values of the negative flashes). From Figure A.5 (lines 3, 5, 8, 11 and 14) the following values with probabilities below 10 % can be taken:

$$\begin{aligned} I &= 200 \text{ kA} \\ Q_{\text{flash}} &= 300 \text{ C} \\ Q_{\text{short}} &= 100 \text{ C} \\ W/R &= 10 \text{ MJ}/\Omega \\ di/dt &= 20 \text{ kA}/\mu\text{s} \end{aligned}$$

For a first positive impulse according to Figure A.1, these values give an first approximation for the front time:

$$T_1 = I / (di/dt) = 10 \mu\text{s} (T_1 \text{ is of minor interest})$$

For an exponentially decaying stroke, the following formulae for approximate charge and energy values applies ( $T_1 \ll T_2$ ):

$$\begin{aligned} Q_{\text{short}} &= (1/0,7) \cdot I \cdot T_2 \\ W/R &= (1/2) \cdot (1/0,7) \cdot I^2 \cdot T_2 \end{aligned}$$

These formulas, together with the values given above, lead to a first approximation for the time to half value:

$$T_2 = 350 \mu\text{s}$$

For the long stroke, its charge can be approximately calculated from:

$$Q_{\text{long}} = Q_{\text{flash}} - Q_{\text{short}} = 200 \text{ C}$$

Its duration time, according to Figure A.2, may be estimated from data in Table A.1 as:

$$T_{\text{long}} = 0,5 \text{ s}$$

### A.3.2 First negative impulse

For some inductive coupling effects the first negative impulse leads to the highest induced voltages, e.g. for cables within cable ducts made of reinforced concrete. From Figure A.5 (lines 1 and 12) the following values with probabilities below 1 % can be taken:

$$I = 100 \text{ kA}$$
$$di/dt = 100 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

For a first negative impulse according to Figure A.1 these values give a first approximation for its front time of:

$$T_1 = I / (di/dt) = 1,0 \mu\text{s}.$$

Its time to half value may be estimated from the stroke duration of first negative impulses:

$$T_2 = 200 \mu\text{s} \quad (T_2 \text{ is of minor interest}).$$

### A.3.3 Subsequent impulse

The maximum value of average steepness  $di/dt$  related to the dangerous sparking caused by inductive coupling is determined from subsequent impulses of negative flashes (because their 1 % values are somewhat higher than the 1 % values from first negative strokes or the corresponding 10 % values of the positive flashes). From Figure A.5 (lines 2 and 15) the following values with probabilities below 1 % can be taken:

$$I = 50 \text{ kA}$$
$$di/dt = 200 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

For a subsequent impulse according to Figure A.1 these values give a first approximation for its front time of:

$$T_1 = I / (di/dt) = 0,25 \mu\text{s}$$

Its time to half value may be estimated from the stroke duration of negative subsequent impulses:

$$T_2 = 100 \mu\text{s} \quad (T_2 \text{ is of minor interest}).$$

## A.4 Fixing the minimum lightning current parameters

The interception efficiency of an LPS depends on the minimum lightning current parameters and on the related rolling sphere radius. The geometrical boundary of areas which are protected against direct lightning flashes can be determined using the rolling sphere method.

Following the electro-geometric model, the rolling sphere radius  $r$  (final jump distance) is correlated with the peak value of the first impulse current. In an IEEE working group report [5], the relation is given as

$$r = 10 \cdot I^{0,65} \tag{A.1}$$

where

$r$  is the rolling sphere radius (m);

$I$  is the peak current (kA).

For a given rolling sphere radius  $r$  it can be assumed that all flashes with peak values higher than the corresponding minimum peak value  $I$  will be intercepted by natural or dedicated air terminations. Therefore, the probability for the peak values of negative and positive first strokes from Figure A.5 (lines 1A and 3) is assumed to be the interception probability. Taking into account the polarity ratio of 10 % positive and 90 % negative flashes, the total interception probability can be calculated (see Table 5).



## Annex B

(Informative)

### Time functions of the lightning current for analysis purposes

The current shapes of:

- the first positive impulse 10/350 µs
- The first negative impulse 1/200 µs
- the subsequent negative impulses 0,25/100 µs

may be defined as:

$$i = \frac{I}{k} \cdot \frac{(t/\tau_1)^{10}}{1+(t/\tau_1)^{10}} \cdot \exp(-t/\tau_2) \quad (\text{B.1})$$

where

$I$  is the peak current;

$k$  is the correction factor for the peak current;

$t$  is the time;

$\tau_1$  is the front time constant;

$\tau_2$  is the tail time constant.

For the current waveshapes of the first positive impulse, the first negative impulse and the subsequent negative impulses for different LPL, the parameters given in Table B.1 apply. The analytic curves as function of time are shown in Figures B.1 to B.6.

**Table B.1 – Parameters for equation B.1**

parameters	positive impulse			first negative impulse			subsequent negative impulse		
	LPL			LPL			LPL		
	I	II	III-IV	I	II	III-IV	I	II	III-IV
$I$ (kA)	200	150	100	100	75	50	50	37,5	25
$k$	0,93	0,93	0,93	0,986	0,986	0,986	0,993	0,993	0,993
$\tau_1$ ( $\mu$ s)	19	19	19	1,82	1,82	1,82	0,454	0,454	0,454
$\tau_2$ ( $\mu$ s)	485	485	485	285	285	285	143	143	143

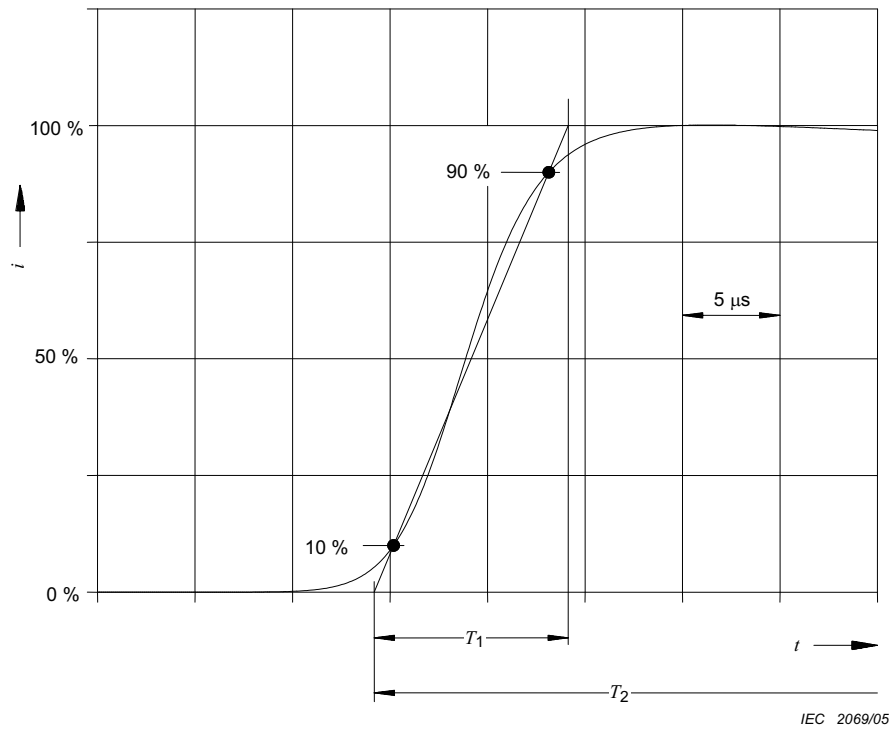


Figure B.1 – Shape of the current rise of the positive impulse

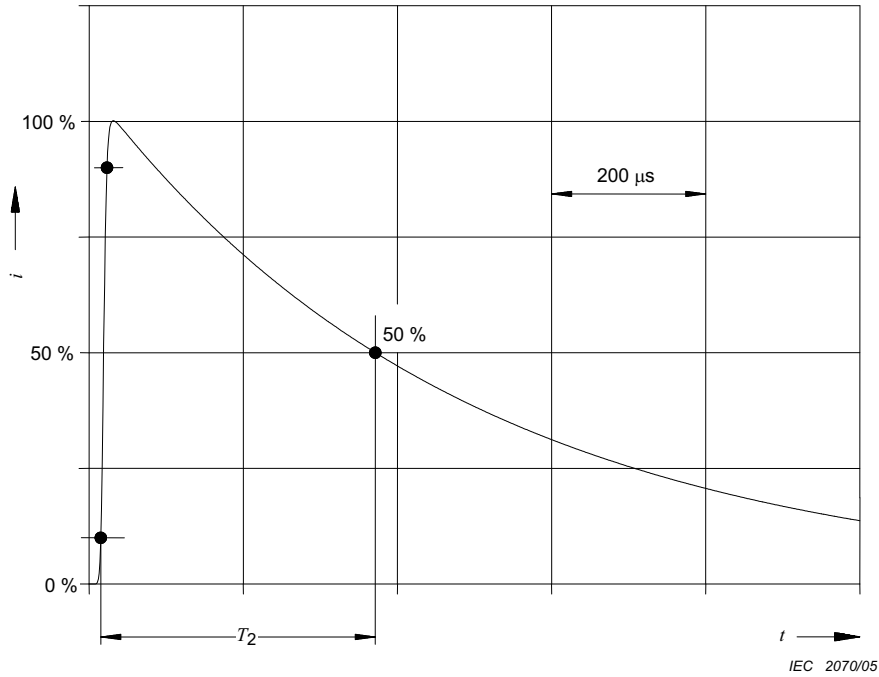


Figure B.2 – Shape of the current tail of the positive impulse

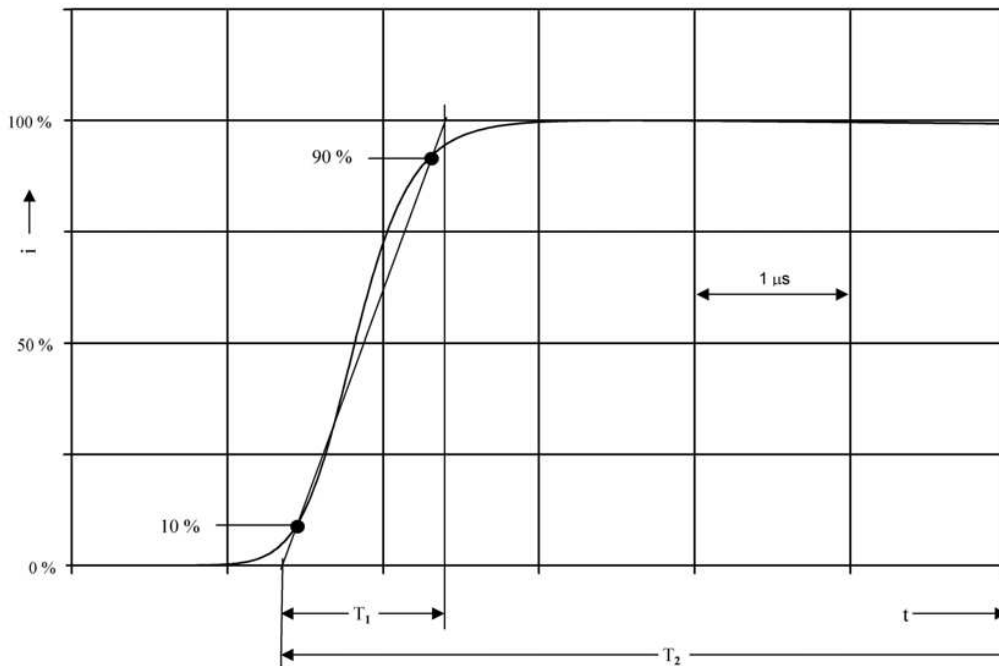


Figure B.3 – Shape of the current rise of the first negative impulse

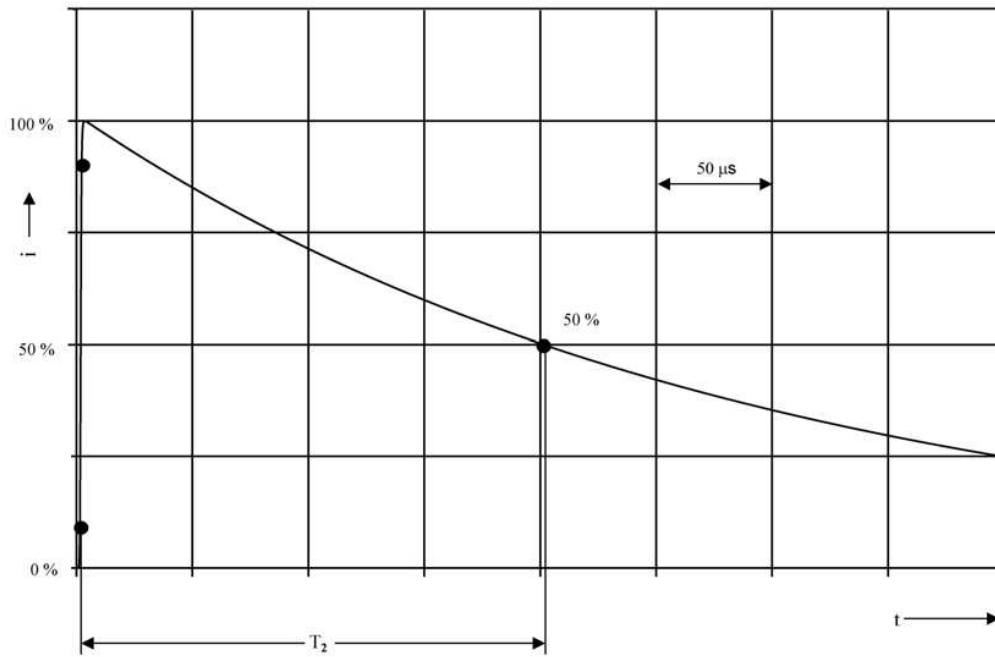


Figure B.4 – Shape of the current tail of the first negative impulse

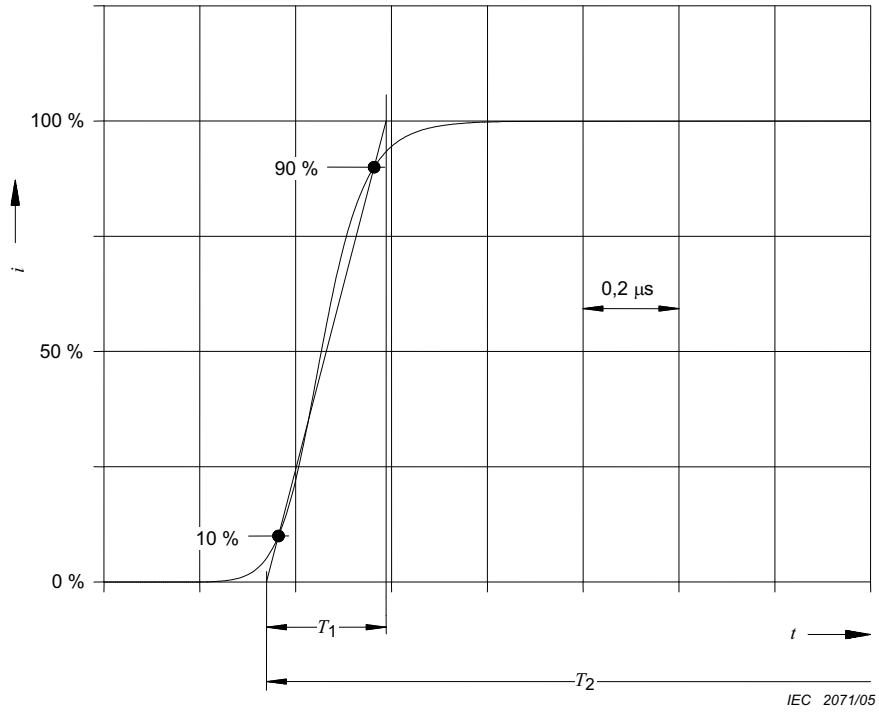


Figure B.5 – Shape of the current rise of the subsequent negative impulses

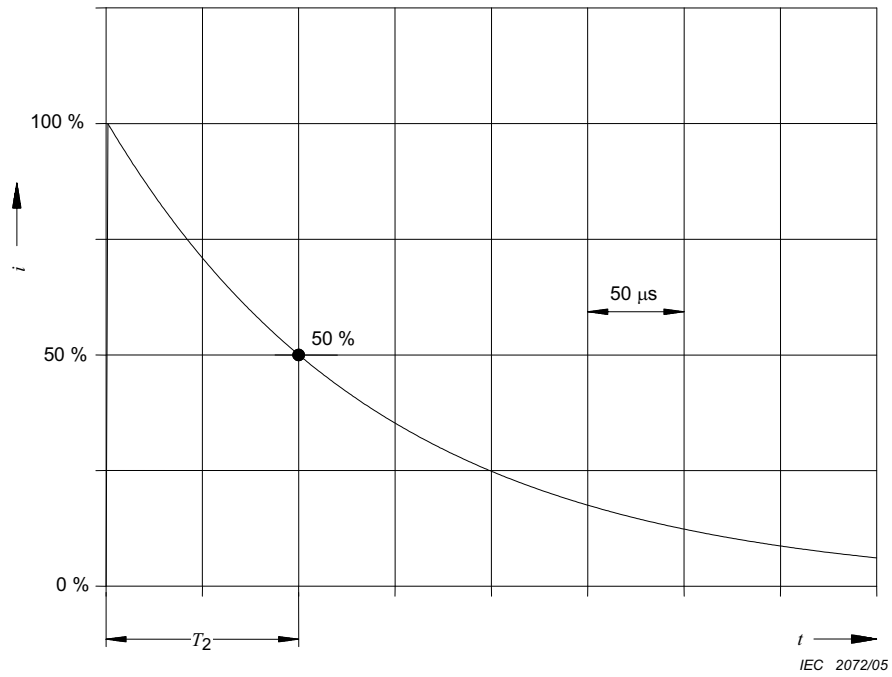


Figure B.6 – Shape of the current tail of the subsequent negative impulses

The long stroke can be described by a rectangular waveshape with an average current  $I$  and a duration  $T_{\text{long}}$  according to Table 3.

From the analytic curves as function of time, the amplitude density of the lightning current (Figure B.7) can be derived.

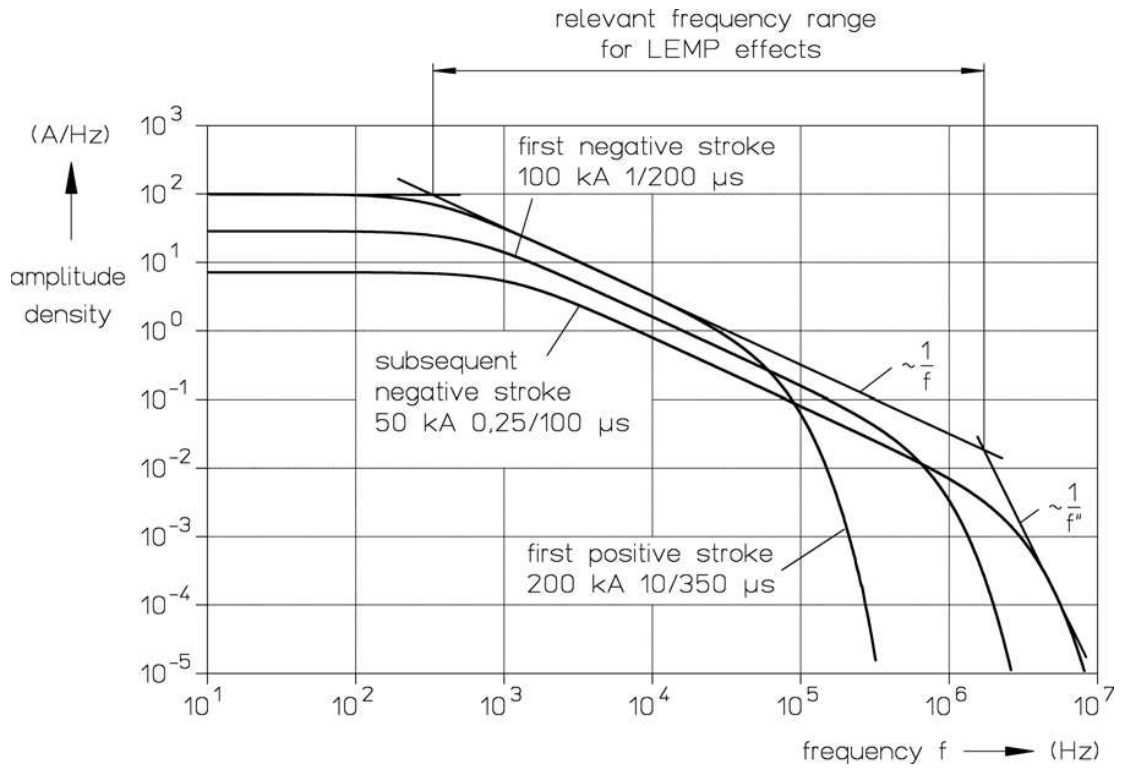


Figure B.7 – Amplitude density of the lightning current according to LPL I



## ANNEX C (informative)

### Simulation of the lightning current for test purposes

#### C.1 General

If a structure is struck by lightning, the lightning current is distributed within the structure. When testing individual protection measure components, this must be taken into account by choosing appropriate test parameters for each component. To this end, a system analysis has to be performed.

#### C.2 Simulation of the specific energy of the first impulse and the charge of the long stroke

Test parameters are defined in Tables C.1 and C.2 and an example test generator is shown in Figure C.1. This generator may be used to simulate the specific energy of the (positive) first impulse combined with the charge of the long stroke.

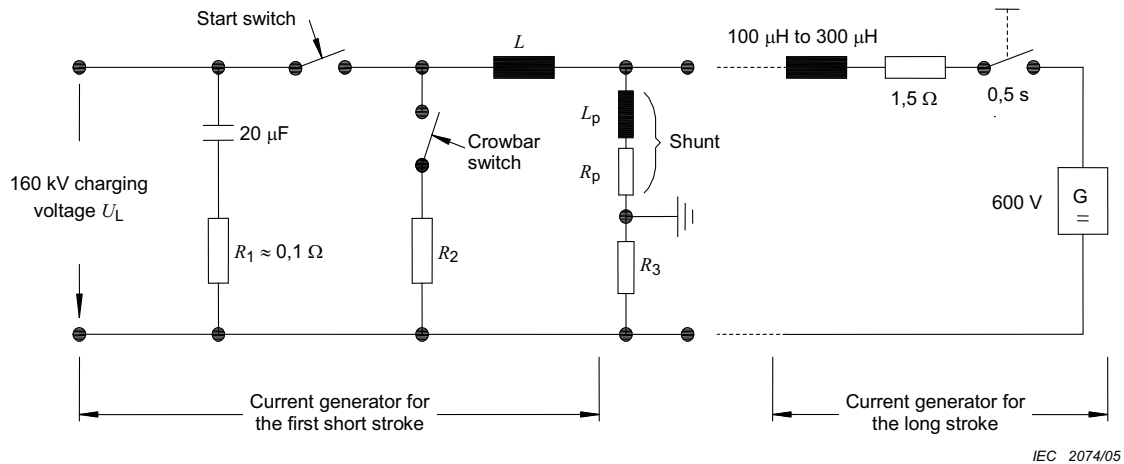
The tests may be used to assess mechanical integrity, freedom from adverse heating and melting effects.

The test parameters relevant for simulation of the first impulse (peak current  $I$ , the specific energy  $W/R$ , and the charge  $Q_{\text{short}}$ ) are given in Table C.1. These parameters should be obtained in the same impulse. This can be achieved by an approximately exponentially decaying current with  $T_2$  in the range of 350  $\mu\text{s}$ .

The test parameters relevant for the simulation of the long stroke (charge  $Q_{\text{long}}$  and duration  $T_{\text{long}}$ ) are given in Table C.2.

Depending on the test item and the expected damage mechanisms, the tests for the first positive impulse or the long stroke can be applied singly or as a combined test, where the long stroke follows the first impulse immediately. Tests for arc melting should be performed using both polarities.

NOTE The negative first impulse is not to be used for test purposes.



IEC 2074/05

NOTE The values apply to LPL I.

**Figure C.1 – Example test generator for the simulation of the specific energy of the first positive impulse and the charge of the long stroke**

**Table C.1 – Test parameters of the first positive impulse**

Test parameters		LPL			Tolerance %
		I	II	III – IV	
Peak current $I$	(kA)	200	150	100	±10
Charge $Q_{\text{short}}$	(C)	100	75	50	±20
Specific energy $W/R$	(MJ/Ω)	10	5,6	2,5	±35

**Table C.2 – Test parameters of the long stroke**

Test parameters		LPL			Tolerance %
		I	II	III – IV	
Charge $Q_{\text{long}}$	(C)	200	150	100	±20
Duration $T_{\text{long}}$	(s)	0,5	0,5	0,5	±10

### C.3 Simulation of the front current steepness of the impulses

The steepness of the current determines the magnetically induced voltages in loops installed near conductors carrying lightning currents.

The current steepness of an impulse is defined as the rise of the current  $\Delta i$  during rise time  $\Delta t$  (Figure C.2). The test parameters relevant for the simulation of this current steepness are given in Table C.3. Example test generators are shown in Figures C.3 and C.4, (which may be used to simulate the front steepness of a lightning current associated with a direct lightning strike). The simulation can be done for a first positive impulse and a subsequent negative impulse.

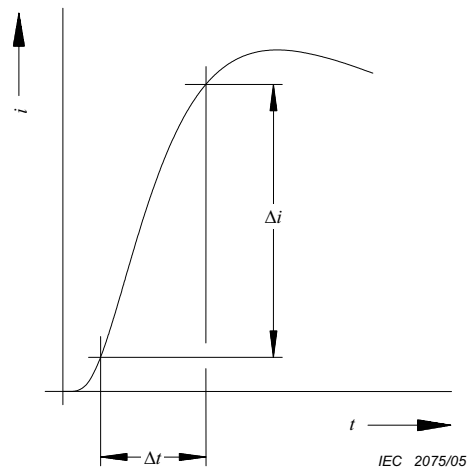
NOTE This simulation covers the front current steepness of impulses. The tail of the current has no influence on this kind of simulation.

The simulation according to Clause C.3 may be applied independently or in combination with the simulation according to Clause C.2.

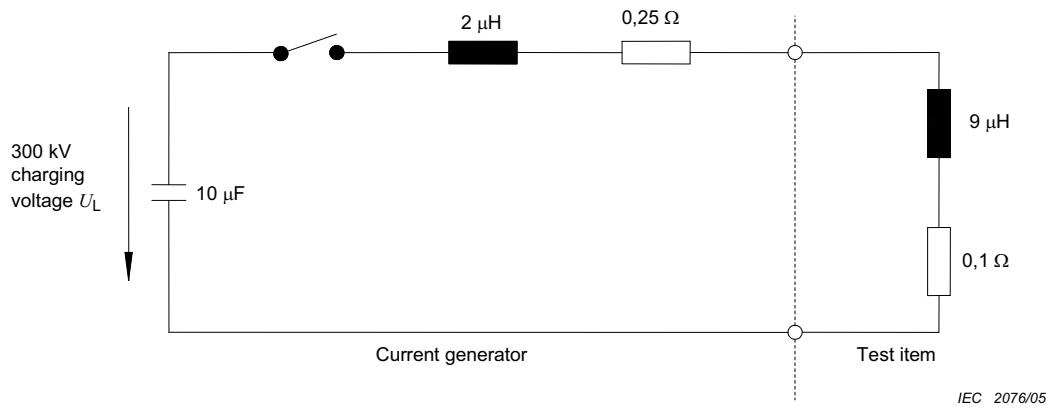
For further information on test parameters simulating the effects of lightning on LPS components, see Annex D.

**Table C.3 – Test parameters of the impulses**

Test parameters	LPL			Tolerance %
	I	II	III – IV	
First positive impulse				
$\Delta i$ (kA)	200	150	100	$\pm 10$
$\Delta t$ ( $\mu s$ )	10	10	10	$\pm 20$
Subsequent negative impulses				
$\Delta i$ (kA)	50	37,5	25	$\pm 10$
$\Delta t$ ( $\mu s$ )	0,25	0,25	0,25	$\pm 20$

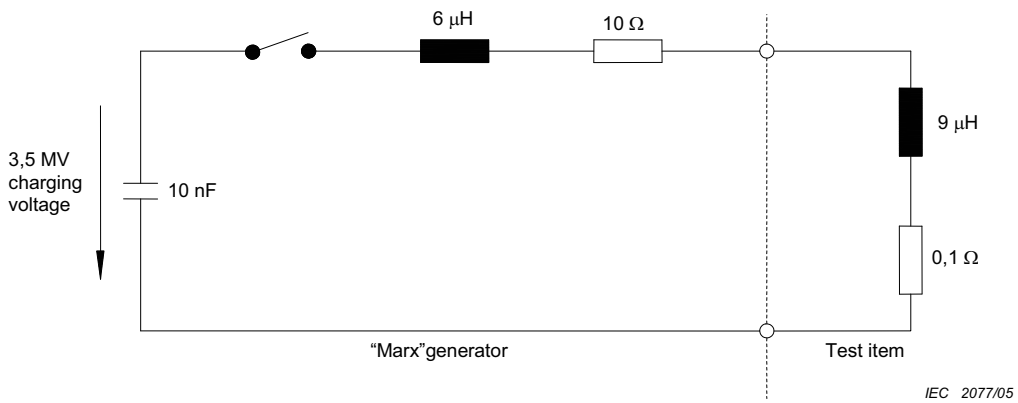


**Figure C.2 – Definition of the current steepness in accordance with Table C.3**



NOTE These values apply to LPL I.

**Figure C.3 – Example test generator for the simulation of the front steepness of the first positive impulse for large test items**



NOTE These values apply to LPL I.

**Figure C.4 – Example test generator for the simulation of the front steepness of the subsequent negative impulses for large test items**

## **Annex D** (informative)

### **Test parameters simulating the effects of lightning on LPS components**

#### **D.1 General**

This Annex D gives the basic parameters to be used in a laboratory to simulate the effects of lightning. This annex covers all the components of an LPS subjected to all or a major part of the lightning current and shall be used in conjunction with the standards specifying the requirements and the tests for each specific component.

NOTE Parameters relevant to system aspects (e.g. for the coordination of surge protective devices) are not considered in this annex.

#### **D.2 Current parameters relevant to the point of strike**

The lightning current parameters playing a role in the physical integrity of an LPS are in general the peak current  $I$ , the charge  $Q$ , the specific energy  $W/R$ , the duration  $T$  and the average steepness of the current  $di/dt$ . Each parameter tends to dominate a different failure mechanism, as analysed in detail below. The current parameters to be considered for tests are combinations of these values, selected to represent in laboratory the actual failure mechanism of the part of the LPS being tested. The criteria for the selection of the outstanding quantities are given in Clause D.5.

Table D.1 records the maximum values of  $I$ ,  $Q$ ,  $W/R$ ,  $T$  and  $di/dt$  to be considered for tests, as a function of the protection level required.

**Table D.1 – Summary of the lightning threat parameters to be considered in the calculation of the test values for the different LPS components and for the different LPL**

Component	Main problem	Lightning threat parameters					Notes
Air termination	Erosion at attachment point (e.g. thin metal sheets)	LPL	$Q_{long}$ C	$T$			
		I	200	<1 s (apply $Q_{long}$ in a single shot)			
		II	150				
		III-IV	100				
Air termination and down conductor	Ohmic heating	LPL	$W/R$ kJ/ $\Omega$	$T$			Dimensioning with IEC 62305-3 render testing superfluous
		I	10 000	Apply $W/R$ in an adiabatic configuration			
		II	5 600				
	III-IV	2 500					
	Mechanical effects	LPL	$I$ kA	$W/R$ kJ/ $\Omega$			
		I	200	10 000			
II		150	5 600				
III-IV	100	2 500					
Connecting components	Combined effects (thermal, mechanical, and arcing)	LPL	$I$ kA	$W/R$ kJ/ $\Omega$	$T$		
		I	200	10 000	<2 ms (apply $I$ and $W/R$ in a single pulse)		
		II	150	5 600			
		III-IV	100	2 500			
Earth terminations	Erosion at attachment point	LPL	$Q_{long}$ C	$T$			Dimensioning usually determined by mechanical/chemical aspects (corrosion etc.)
		I	200	<1 s (apply $Q_{long}$ in a single shot)			
		II	150				
		III-IV	100				
SPDs containing spark gaps	Combined effects (thermal, mechanical and arcing)	LPL	$I$ kA	$Q_{short}$ C	$W/R$ kJ/ $\Omega$	$di/dt$ kA/ $\mu$ s	Apply $I$ , $Q_{short}$ and $W/R$ in a single pulse (duration $T < 2$ ms); apply $\Delta i/\Delta t$ in a separate pulse
		I	200	100	10 000	200	
		II	150	75	5 600	150	
		III-IV	100	50	2 500	100	
SPDs containing metal-oxide resistor blocks	Energy effects (overload)	LPL	$Q_{short}$ C				Both aspects need to be checked.
		I	100				
		II	75				
	Dielectric effect (flashover/cracking)	LPL	$I$ kA	$T$			Separate tests can be considered
		I	200	<2 ms (apply $I$ in a single pulse)			
		II	150				
III-IV	100						

### D.3 Current sharing

The parameters given in the Table D.3 are relevant to the lightning current at the point of strike. In fact, the current flows to earth through more than one path, as several down-conductors and natural conductors are normally present in an external LPS. Additionally, different lines normally enter the protected structure (water and gas pipes, power and telecommunication lines etc.). For the determination of the parameters of the actual current flowing in specific components of an LPS, the sharing of the current has to be taken into account. Preferably, current amplitude and shape through a component at a specific location of the LPS should be evaluated. Where an individual evaluation is not possible, the current parameters may be assessed by means of the following procedures.

For the evaluation of the current sharing within the external LPS, the configuration factor  $k_c$  (see Annex C of IEC 62305-3) may be adopted. This factor provides an estimate of the share of the lightning current flowing in down-conductors of the external LPS under worst-case conditions.

For the evaluation of the current sharing in presence of external conductive parts and power and telecommunication lines connected to the protected structure, the approximate values of  $k_e$  and  $k'_e$  considered in Annex E may be adopted.

The above-described approach is applicable for the evaluation of the peak value of the current flowing in one particular path to earth. The calculation of the other parameters of the current is carried out as follows:

$$I_p = k \cdot I \quad (D.1)$$

$$Q_p = k \cdot Q \quad (D.2)$$

$$(W/R)_p = k^2 \cdot (W/R) \quad (D.3)$$

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_p = k \cdot \left(\frac{di}{dt}\right) \quad (D.4)$$

where

- $x_p$  is the value of the quantity considered (peak current  $I_p$ , charge  $Q_p$ , specific energy  $(W/R)_p$ , current steepness  $(di/dt)_p$ ) relevant to a particular path to earth "p";
- $x$  is the value of the quantity considered (peak current  $I$ , charge  $Q$ , specific energy  $(W/R)$ , current steepness  $(di/dt)$ ) relevant to the total lightning current;
- $k$  is the current sharing factor:
  - $k_c$  is the current sharing factor for external LPS (see Annex C of IEC 62305-3);
  - $k_e, k'_e$  are the current sharing factors in the presence of external conductive parts and power and telecommunication lines entering the protected structure (see Annex E).

## D.4 Effects of lightning current causing possible damage

### D.4.1 Thermal effects

Thermal effects linked with lightning current are relevant to the resistive heating caused by the circulation of an electric current flowing through the resistance of a conductor or into an LPS. Thermal effects are also relevant to the heat generated in the root of the arcs at the attachment point and in all the isolated parts of an LPS involved in arc development (e.g. spark gaps).

#### D.4.1.1 Resistive heating

Resistive heating takes place in any component of an LPS carrying a significant part of the lightning current. The minimum cross-sectional area of conductors must be sufficient to prevent overheating of the conductors to a level that would present a fire hazard to the surroundings. Despite the thermal aspects discussed in D.4.1, the mechanical withstand and durability criteria have to be considered for parts exposed to atmospheric conditions and/or corrosion. The evaluation of conductor heating due to lightning current flow is sometimes necessary when problems can arise because of the risk of personal injury and of fire or explosion damages.

Guidance is given below to evaluate the temperature rise of conductors subjected to the flow of a lightning current.

An analytical approach is presented as follows:

The instantaneous power dissipated as heat in a conductor due to an electrical current is expressed as:

$$P(t) = i^2 \cdot R \quad (D.5)$$

The thermal energy generated by the complete lightning pulse is therefore the ohmic resistance of the lightning path through the LPS component considered, multiplied by the specific energy of the pulse. This thermal energy is expressed in units of Joules (J) or Watt-second (W·s).

$$W = R \cdot \int i^2 \cdot dt \quad (D.6)$$

In a lightning discharge, the high specific energy phases of the lightning flash are too short in duration for any heat generated in the structure to be dispersed significantly. The phenomenon is therefore to be considered adiabatic.

The temperature of the conductors of the LPS can be evaluated as follows:

$$\theta - \theta_0 = \frac{1}{\alpha} \left[ \exp\left( \frac{W}{R} \cdot \frac{\alpha \cdot \rho_0}{q^2 \cdot \gamma \cdot C_w} \right) - 1 \right] \quad (D.7)$$

where

- $\theta - \theta_0$  temperature rise of the conductors (K);
- $\alpha$  temperature coefficient of the resistance (1/K);
- $W/R$  specific energy of the current impulse (J/Ω);
- $\rho_0$  specific ohmic resistance of the conductor at ambient temperature (Ωm);



- $q$  cross-sectional area of the conductor (m<sup>2</sup>);  
 $\gamma$  material density (kg/m<sup>3</sup>);  
 $C_w$  thermal capacity (J/kgK);  
 $\theta_s$  melting temperature (°C).

Characteristic values of the physical parameters reported in Equation (D.7), for different materials used in LPS are recorded in Table D.2. Table D.3 reports, as an example of application of this equation, the temperature rise of conductors made of different materials, as a function of the  $W/R$  and of the conductor cross-sectional area.

The typical lightning stroke is characterized by a short duration stroke (time to half value of a few 100  $\mu$ s) and high current peak value. Under these circumstances, the skin effect should also be taken into consideration. However, in most of the practical cases linked with LPS components, the material characteristics (dynamic magnetic permeability of the LPS conductor) and the geometrical configurations (cross-sectional area of the LPS conductor) reduce the contribution of the skin effect in the temperature rise of the conductor to negligible levels.

The component of the lightning flash most relevant to this heating mechanism is the first return stroke.

**Table D.2 – Physical characteristics of typical materials used in LPS components**

Quantity	Material			
	Aluminium	Mild steel	Copper	Stainless steel*
$\rho_0$ ( $\Omega$ m)	29 $10^{-9}$	120 $10^{-9}$	17,8 $10^{-9}$	0,7 $10^{-6}$
$\alpha$ (1/K)	4,0 $10^{-3}$	6,5 $10^{-3}$	3,92 $10^{-3}$	0,8 $10^{-3}$
$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	2 700	7 700	8 920	8 000
$\theta_s$ (°C)	658	1 530	1 080	1 500
$C_s$ (J/kg)	397 $10^3$	272 $10^3$	209 $10^3$	–
$C_w$ (J/kgK)	908	469	385	500

\* Austenitic non-magnetic.

**Table D.3 – Temperature rise for conductors of different sections as a function of  $W/R$**

Cross-section mm <sup>2</sup>	Material											
	Aluminium			Mild steel			Copper			Stainless steel*		
	$W/R$ MJ/ $\Omega$			$W/R$ MJ/ $\Omega$			$W/R$ MJ/ $\Omega$			$W/R$ MJ/ $\Omega$		
	2,5	5,6	10	2,5	5,6	10	2,5	5,6	10	2,5	5,6	10
4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
10	564	–	–	–	–	–	169	542	–	–	–	–
16	146	454	–	1 120	–	–	56	143	309	–	–	–
25	52	132	283	211	913	–	22	51	98	940	–	–
50	12	28	52	37	96	211	5	12	22	190	460	940
100	3	7	12	9	20	37	1	3	5	45	100	190

\* Austenitic non magnetic.

#### D.4.1.2 Attachment point thermal damage

Attachment point thermal damage can be observed on all components of an LPS on which an arc development takes place, i.e. air-termination systems, spark gaps, etc.

Material melting and erosion can occur at the attachment point. In fact, in the arc root area there is a large thermal input from the arc root itself, as well as a concentration of ohmic heating due to the high current densities. Most of the thermal energy is generated at or very close to the surface of the metal. The heat generated in the immediate root area is in excess of that which can be absorbed into the metal by conduction and the excess is irradiated or lost in melting or vaporizing of metal. The severity of the process is linked to the current amplitude and to the duration.

##### D.4.1.2.1 General

Several theoretical models have been developed for the calculation of thermal effects on metal surfaces at the attachment point of a lightning channel. For sake of simplicity, this standard will report only the anode-or-cathode voltage drop model. The application of this model is particularly effective for thin metal skins. In all cases, it gives conservative results as it postulates that all the energy injected in the lightning attachment point is used to melt or vaporize conductor material, neglecting the heat diffusion within the metal. Other models introduce the dependence of the lightning attachment point damage on the duration of the current impulse.

##### D.4.1.2.2 Anode-or-cathode voltage drop model

The energy input  $W$  at the arc root is assumed as given by the anode/cathode voltage drop  $u_{a,c}$  multiplied by the charge  $Q$  of the lightning current:

$$W = \int u_{a,c} i dt = u_{a,c} \int i dt = u_{a,c} \cdot Q \quad (D.8)$$

As  $u_{a,c}$  is fairly constant in the current range considered here, the charge of the lightning current ( $Q$ ) is primarily responsible for the energy conversion in the arc root.

The anode-or-cathode voltage drop  $u_{a,c}$  has a value of a few tens of volts.

A simplified approach assumes that all of the energy developed at the arc root is used only for melting. Equation (D.9) uses this assumption but leads to an overestimate of the melted volume

$$V = \frac{u_{a,c} \cdot Q}{\gamma} \cdot \frac{1}{C_w \cdot (\theta_s - \theta_u) + C_s} \quad (D.9)$$

where

- $V$  is the volume of metal melted (m<sup>3</sup>);
- $u_{a,c}$  is the anode-or-cathode voltage drop (assumed as constant) (V);
- $Q$  is the charge of the lightning current (C);
- $\gamma$  is the material density (kg/m<sup>3</sup>);
- $C_w$  is the thermal capacity (J/kgK);
- $\theta_s$  is the melting temperature (°C);
- $\theta_u$  is the ambient temperature (°C);
- $C_s$  is the latent heat of melting (J/kg).

Characteristic values of the physical parameters reported in this equation, for different materials used in an LPS, are recorded in Table D.2.

Basically, the charge to be considered is the sum of the charge of the return stroke and the lightning continuing current. Laboratory experience has revealed that the effects of the return stroke charge are of minor importance when compared to the effects of the continuing current.

#### D.4.2 Mechanical effects

Mechanical effects caused by the lightning current depend on the amplitude and the duration of the current as well as on the elastic characteristics of the affected mechanical structure. Mechanical effects also depend on the friction forces acting between parts of the LPS in contact with one another, where relevant.

##### D.4.2.1 Magnetic interaction

Magnetic forces occur between two current-carrying conductors or, if only one current-carrying conductor exists, where it forms a corner or a loop.

When a current flows through a circuit, the amplitude of the electrodynamic forces developed at the various positions of the circuit depend on both the amplitude of the lightning current and the geometrical configuration of the circuit. The mechanical effect of these forces, however, depends not only on their amplitude but also on the general form of the current, its duration, as well as on the geometrical configuration of the installation.

##### D.4.2.1.1 Electrodynamic forces

Electrodynamic forces developed by a current,  $i$ , flowing in a conductor having long parallel sections of length  $l$  and distance  $d$  (long and small loop), as shown in Figure D.1, can be approximately calculated using the following equation:

$$F(t) = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot i^2(t) \cdot \frac{l}{d} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot i^2(t) \cdot \frac{l}{d} \quad (\text{D.10})$$

where

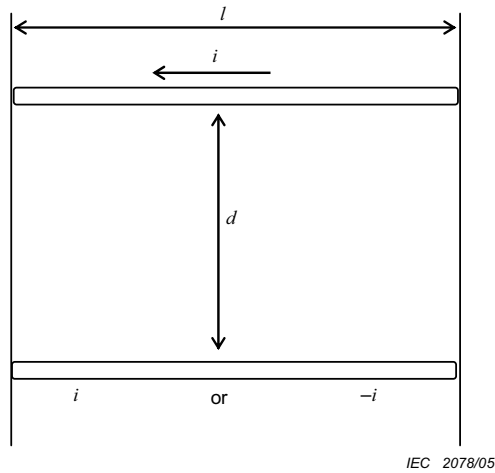
$F(t)$  is the electrodynamic force (N);

$i$  is the current (A);

$\mu_0$  is the magnetic permeability of free space (vacuum) ( $4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m);

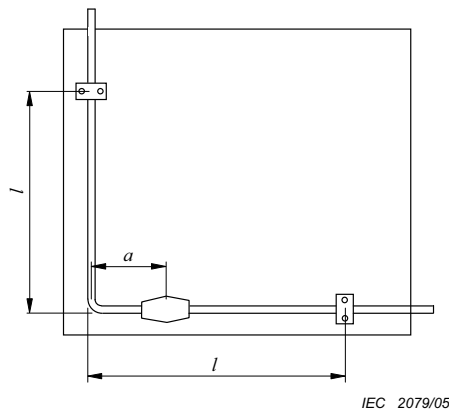
$l$  is the length of conductors (m);

$d$  is the distance between the straight parallel sections of the conductor (m).



**Figure D.1 – General arrangement of two conductors for the calculation of electrodynamic force**

In an LPS a typical example is given by a symmetric corner arrangement of conductors, forming an angle of  $90^\circ$ , with a clamp positioned in the vicinity of the corner as shown in Figure D.2. The diagram of the stresses for this configuration is reported in Figure D.3. The axial force on the horizontal conductor tends to pull the conductor out of the clamp. The numerical value of the force along the horizontal conductor, considering a peak current value of 100 kA and a length of a vertical conductor of 0,5 m, is shown in Figure D.4.



**Figure D.2 – Typical conductor arrangement in an LPS**

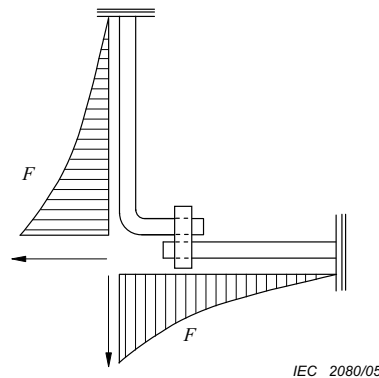
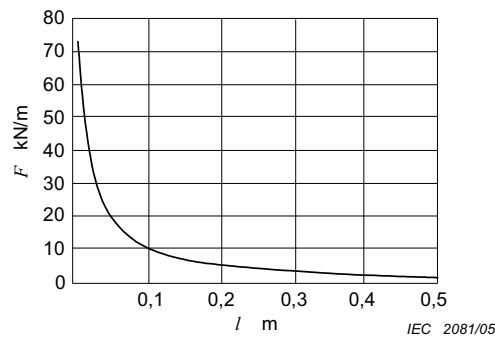


Figure D.3 – Diagram of the stresses for the configuration of Figure D.2



NOTE Peak current value 100 kA and length of vertical conductor 0,5 m.

Figure D.4 – Force per unit length along the horizontal conductor of Figure D.2

#### D.4.2.1.2 Effects of electrodynamic forces

In terms of amplitude of applied force, the instantaneous value of the electrodynamic force  $F(t)$  is proportional to the square of the instantaneous current  $I(t)^2$ . In terms of the stress development within the mechanical LPS structure, expressed by the product of the elastic deformation  $\delta(t)$  and the elastic constant  $k$  of the LPS structure, two effects should be considered. The natural mechanical frequency (linked with the elastic behaviour of the LPS structure) and the permanent deformation of the LPS structure (linked with its plastic behaviour) are the most important parameters. Moreover, in many cases the effect of the friction forces within the structure are also of significant importance.

The amplitude of the vibrations of the elastic LPS structure, caused by an electrodynamic force developed by the lightning current, can be evaluated by means of second order differential equations; the key factor being the ratio between the duration of the current impulse and the period of natural mechanical oscillation of the LPS structure. The typical condition encountered in LPS applications consists of natural oscillation periods of the structure much longer than that of the applied force (duration of the lightning current impulse). In this case the maximum mechanical stress occurs after the cessation of the current impulse and has a peak value that remains lower than that of the applied force. In most cases, maximum mechanical stress can be neglected.

Plastic deformation occurs when the tensile stress exceeds the elastic limit of the material. If the material composing the LPS structure is soft, for example aluminum or annealed copper, the electrodynamic forces can deform the conductors in corners and loops. LPS components

should therefore be designed to withstand these forces and to show essentially an elastic behaviour.

The total mechanical stress applied to the LPS structure depends on the time integral of the applied force and therefore on the specific energy associated with the current impulse. It also depends on the shape of the current impulse and its duration (compared with the period of natural oscillation of the structure). All these influencing parameters must therefore be taken into account during testing.

#### **D.4.2.2 Acoustic shock wave damage**

When a lightning current flows in an arc, a shock wave is produced. The severity of the shock is dependent upon the peak current value and the rate of rise of the current.

In general, the damage due to the acoustic shock wave is insignificant on metal parts of the LPS, but can cause damage to surrounding items.

#### **D.4.3 Combined effects**

In practice, both thermal and mechanical effects occur simultaneously. If the heating of the material of the components (rods, clamps, etc.) is sufficient to soften the materials, much greater damage can occur than otherwise. In extreme cases, the conductor could explosively fuse and cause considerable damage to surrounding structure. If the cross-section of the metal is sufficient to safely handle the overall action, only mechanical integrity need be checked.

#### **D.4.4 Sparking**

Sparking is generally important only in flammable environments or in the presence of combustible materials. In most practical cases, sparking is not important for LPS components.

Two different types of sparking can occur, i.e. thermal sparking and voltage sparking. Thermal sparking occurs when a very high current is forced to cross a joint between two conducting materials. Most thermal sparking occur near the edges inside a joint if the interface pressure is too low; due primarily to high current density and inadequate interface pressure. The intensity of the thermal sparking is linked to the specific energy and therefore, the most critical phase of the lightning is the first return stroke. Voltage sparking occurs where the current is forced to take convoluted paths, e.g. inside a joint, if the voltage induced in such a loop exceeds the breakdown voltage between the metal parts. The induced voltage is proportional to the self inductance multiplied by the steepness of the lightning current. The most critical lightning component for voltage sparking is therefore the subsequent negative stroke.

### **D.5 LPS components, relevant problems and test parameters**

Lightning protection systems are made of several different components, each having a specific function within the system. The nature of the components and the specific stresses to which they are subjected, requires special consideration when setting up laboratory tests to check their performance.

#### **D.5.1 Air-termination**

Effects on air-termination systems arise from both mechanical and thermal effects (as discussed below in D.5.2, but noting that a high proportion of the lightning current will flow in an air-termination conductor which is struck) and also in some cases arc erosion effects, particularly in natural LPS components such as thin metal roof skins (where puncture or excessive rear surface temperature rise may occur) and suspended conductors.

For arc erosion effects, two main test parameters should be considered: i.e. the charge of the long duration current and its duration.

The charge governs the energy input at the arc root. In particular, long duration strokes appear to be the most severe for this effect whilst short duration strokes can be neglected.

The duration of the current has an important role in the heat transfer phenomena into the material. The duration of the current applied during the tests shall be comparable to those of long duration strokes (0,5 s to 1 s).

### **D.5.2 Down-conductors**

Effects on down-conductors caused by lightning can be divided into two main categories:

- thermal effects due to resistive heating;
- mechanical effects linked with the magnetic interaction where the lightning current is shared by conductors positioned in the vicinity of one another or when the current changes direction (bends or connections between conductors positioned at a given angle with respect to one another).

In most cases these two effects act independently from each other and separate laboratory tests can be carried out to check each effect. This approach can be adopted in all cases in which the heating developed by the lightning current flow does not modify substantially the mechanical characteristics.

#### **D.5.2.1 Resistive heating**

Calculations and measurements relating to the heating of conductors of different cross-sections and materials due to lightning current flowing along a conductor have been published by several authors. The main results in terms of plots and formulae are summarized in D.4.1.1. No laboratory test is therefore necessary, in general, to check the behaviour of a conductor with respect to temperature rise.

In all cases for which a laboratory test is required, the following considerations shall be taken into account.

The main test parameters to be considered in this case are the specific energy and the impulse current duration.

The specific energy governs the temperature rise due to the Joule heating caused by the flow of the lightning current. Numerical values to be considered are those relevant to the first stroke. Conservative data are obtained by considering positive strokes.

The impulse current duration has a decisive influence on the heat exchange process with respect to the ambient conditions surrounding the considered conductor. In most cases the duration of the impulse current is so short that the heating process can be considered to be adiabatic.

#### **D.5.2.2 Mechanical effects**

As discussed in D.4.2.1, mechanical interactions are developed between conductors carrying lightning current. The force is proportional to the product of the currents flowing in the conductors (or to the square of the current if a single bent conductor is considered) and is linked with the inverse of the distance between the conductors.

The usual situation in which a visible effect can occur is when a conductor forms a loop or is bent. When such a conductor carries the lightning current, it will be subjected to a mechanical force which tries to extend the loop and to straighten the corner and thus to bend

it outward. The magnitude of this force is proportional to the square of the current amplitude. A clear distinction should be made, however, between the electrodynamic force, which is proportional to the square of the current amplitude, and the corresponding stress dependent on the elastic characteristics of the mechanical LPS structure. For LPS structures of relatively low natural frequencies, the stress developed within the LPS structure would be considerably lower than the electrodynamic force. In this case, no laboratory test is necessary to check the mechanical behaviour of a conductor bent at a right-angle as long as the cross-sectional areas of the present standard requirements are fulfilled.

In all cases for which a laboratory test is required (especially for soft materials), the following considerations shall be taken into account. Three parameters of the first return stroke are to be considered: the duration, the specific energy of the impulse current and, in the case of rigid systems, the amplitude of the current.

The duration of the impulse current, compared with the period of the natural mechanical oscillation of the LPS structure, governs the type of mechanical response of the system in terms of displacement:

- If the duration of the impulse is much shorter than the period of natural mechanical oscillation of the LPS structure (normal case for LPS structures stressed by lightning impulses), the mass and elasticity of the system prevents it from being displaced appreciably and the relevant mechanical stress is essentially related to the specific energy of the current impulse. The peak value of the impulse current has a limited effect.
- If the duration of the impulse is comparable with or higher than the period of natural mechanical oscillation of the structure, the displacement of the system is more sensitive to the shape of the applied stress. In this case, the peak value of the current impulse and its specific energy needs to be reproduced during the test.

The specific energy of the impulse current governs the stress causing the elastic and plastic deformation of the LPS structure. Numerical values to be considered are those relevant to the first stroke.

The maximum values of the impulse current govern the length of the maximum displacement of the LPS structure, in case of rigid systems, having high natural oscillation frequencies. Numerical values to be considered are those relevant to the first stroke.

### **D.5.3 Connecting components**

Connecting components between adjacent conductors of an LPS are possible points of mechanical and thermal weakness where very high stresses occur.

In the case of a connector placed in such a manner as to make the conductor follow a right angle, the main effects of the stresses are linked with mechanical forces which tend to straighten the conductor set and overcome the friction forces between the connecting component and the conductors, thus pulling the connection apart. The development of arcs at the points of contact of the different parts is possible. Moreover, the heating effect caused by the concentration of current over small contact surfaces has a notable effect.

Laboratory tests have shown that it is difficult to separate each effect from one another as a complex synergism takes place. Mechanical strength is affected by local melting of the area of contact. Relative displacements between parts of the connection components promote the development of arcs and the consequential intense heat generation.

In the absence of a valid model, laboratory tests should be conducted in such a way as to represent as closely as possible the appropriate parameters of the lightning current in the most critical situation: i.e. the appropriate parameters of the lightning current shall be applied by means of a single electrical test.



Three parameters are to be considered in this case: the peak value, the specific energy and the duration of the impulse current.

The maximum values of the impulse current govern the maximum force, or, if and after the electrodynamic pulling force exceeds the friction force, the length of the maximum displacement of the LPS structure. Numerical values to be considered are those relevant to the first stroke. Conservative data are obtained by considering positive strokes.

The specific energy of the current impulse governs the heating at contact surfaces where the current is concentrated over small areas. Numerical values to be considered are those relevant to the first stroke. Conservative data are obtained by considering positive strokes.

The duration of the impulse current governs the maximum displacement of the structure after friction forces are exceeded and has an important role in the heat transfer phenomena into the material.

#### **D.5.4 Earth termination**

The real problems with earth termination electrodes are linked with chemical corrosion and mechanical damages caused by forces other than electrodynamic forces. In practical cases, erosion of the earth electrode at the arc root is of minor importance. It is, however, to be considered that, contrary to air terminations, a typical LPS has several earth terminations. The lightning current will be shared between several earthing electrodes, thus causing less important effects at the arc root.

Two main test parameters are to be considered in this case: the charge and duration of the long duration impulse current.

The charge governs the energy input at the arc root. In particular, the contribution of the first stroke can be neglected since long duration strokes appear to be the most severe for this component.

The duration of the current impulse has an important role in the heat transfer phenomena into the material. The duration of the current impulses applied during the tests shall be comparable to those of long duration strokes (0,5 s to 1s).

## D.6 Surge protective device (SPD)

The effects of the stress on an SPD caused by lightning depend on the type of SPD considered, with particular reference to the presence or absence of a gap.

### D.6.1 SPD containing spark gaps

Effects on spark gaps caused by lightning can be divided into two major categories:

- the erosion of the gap electrodes by heating, melting and vaporizing of material;
- the mechanical stress caused by the shock wave of the discharge.

It is extremely difficult to investigate separately these effects, as both are linked with the main lightning current parameters by means of complex relationships.

For spark gaps, laboratory tests shall be conducted in such a way as to represent as closely as possible the appropriate parameters of the lightning current in the most critical situation: i.e. all the appropriate parameters of the lightning current shall be applied by means of a single electrical stress.

Five parameters shall be considered in this case: the peak value, the charge, the duration, the specific energy and the rate of rise of the impulse current.

The current peak value governs the severity of the shockwave. Numerical values to be considered are those relevant to the first stroke. Conservative data are obtained by considering positive strokes.

The charge governs the energy input in the arc. The energy in the arc will heat up, melt and possibly vaporize part of the electrode material at the attachment point of the arc. Numerical values to be considered are those relevant to the whole lightning flash. However, the charge of the long duration current can be neglected in many cases, depending on the configuration of the power supply system (TN, TT or IT).

The duration of the impulse current governs the heat transfer phenomena into the mass of the electrode and the resulting propagation of the melt front.

The specific energy of the current impulse governs the self-magnetic compression of the arc and the physics of the electrode plasma jets developed at the interface between the electrode surface and the arc (which can blow out a significant amount of molten material). Numerical values to be considered are those relevant to the first stroke. Conservative data are obtained by considering positive strokes.

NOTE For spark gaps used on power supply systems, the possible power frequency follow current amplitude constitutes an important stress factor, which must be taken into consideration.

### D.6.2 SPD containing metal-oxide varistors

Stress to metal-oxide varistors caused by lightning can be divided into two main categories: overload and flashover. Each category is characterized by failure modes generated by different phenomena and governed by different parameters. The failure of a metal-oxide SPD is linked with its weakest characteristics and therefore it is unlikely that synergism between different fatal stresses can occur. It appears, therefore, to be acceptable to carry out separate tests to check the behaviour under each failure mode condition.

Overloads are caused by an amount of absorbed energy exceeding the capabilities of the device. The excessive energy considered here is related to the lightning stress itself. However, for SPDs installed on power supply systems, the follow current injected in the device by the power system immediately after the cessation of the lightning current flow can

also play an important role in the fatal damage of the SPD. Finally, an SPD can be fatally damaged by thermal instability under the applied voltage related to the negative temperature coefficient of the volt-ampere characteristics of the resistors. For the overload simulation of metal-oxide varistors, one main parameter is to be considered: the charge.

The charge governs the energy input into the metal-oxide resistors block, considering as a constant the residual voltage of the metal-oxide resistor block. Numerical values to be considered are those relevant to the lightning flash.

Flashovers and cracking are caused by the amplitude of current impulses exceeding the capabilities of the resistors. This failure mode is generally evidenced by an external flashover along the collar, sometimes penetrating into the resistor block causing a crack or a hole perpendicular to the collar. The failure is mainly linked with a dielectric collapse of the collar of the resistor block.

For the simulation of this lightning phenomenon, two main parameters are to be considered: the maximum value and the duration of the impulse current.

The maximum value of the impulse current determines, through the corresponding level of residual voltage, whether the maximum dielectric strength on the resistor collar is exceeded. Numerical values to be considered are those relevant to the first stroke. Conservative data are obtained by considering positive strokes.

The duration of the impulse current governs the duration of application of the dielectric stress on the resistor collar.

#### **D.7 Summary of the test parameters to be adopted in testing LPS components**

Table D.1 summarizes the most critical aspects of each LPS component during the performance of its function and gives the parameters of the lightning current to be reproduced in laboratory tests.

The numerical values given in Table D.1 are relevant to the lightning parameters of importance at the point of strike.

Test values are to be calculated considering the current sharing which can be expressed by means of the current sharing factor, as discussed in Clause D.3.

The numerical values of the parameters to be used during the tests can therefore be calculated on the base of the data given in Table D.1, applying the reduction factors linked with current sharing, as expressed by the formulae reported in Clause D.3.

## Annex E (informative)

### Surges due to lightning at different installation points

#### Overview

For dimensioning of conductors, SPDs and apparatus, the threat due to surges at the particular installation point of these components should be determined. Surges can arise from (partial) lightning currents and from induction effects into installation loops. The threat due to these surges must be lower than the withstand levels of the components used (defined by adequate tests as necessary).

#### E.1 Surges due to flashes to the structure (source of damage S1)

##### E.1.1 Surges flowing through external conductive parts and lines connected to the structure

When conducted to earth, the lightning current is divided between the earth termination system, the external conductive parts and the lines, directly or via SPDs connected to them.

If  $I_i = k_e \cdot I$  (E.1)

is the part of the lightning current relevant to each external conductive part or line, then the current sharing factor  $k_e$  depends on:

- the number of parallel paths;
- their conventional earthing impedance for underground parts, or their earth resistance, where overhead parts connect to underground, for overhead parts,
- the conventional earthing impedance of the earth-termination system.

- for underground installation 
$$k_e = \frac{Z}{Z_1 + Z \cdot (n_1 + n_2 \cdot \frac{Z_1}{Z_2})}$$
 (E.2)

- for overhead installation 
$$k_e = \frac{Z}{Z_2 + Z \cdot (n_2 + n_1 \cdot \frac{Z_2}{Z_1})}$$
 (E.3)

where

$Z$  is the conventional earthing impedance of the earth-termination system;

$Z_1$  is the conventional earthing impedance of the external parts or lines (Table E.1) running underground;

$Z_2$  is the earth resistance of the earthing arrangement connecting the overhead line to ground. If the earth resistance of the earthing point is not known, the value of  $Z_1$  shown in Table E.1 may be used (where the resistivity is relevant to the earthing point).

NOTE 1 This value is assumed in the above formula to be the same for each earthing point. If this is not the case, more complex equations need to be used.

$n_1$  is the overall number of external parts or lines running underground;

$n_2$  is the overall number of external parts or lines running overhead;

$I$  is the lightning current relevant to the LPS class considered.

Assuming as a first approximation that one half of the lightning current flows in the earth termination system and that  $Z_2 = Z_1$ , the value of  $k_e$  may be evaluated for an external conductive part or line by:

$$k_e = 0,5 / (n_1 + n_2) \quad (\text{E.4})$$

If entering lines (e.g. electrical and telecommunication lines) are unshielded or not routed in metal conduit, each of the  $n'$  conductors of the line carries an equal part of the lightning current

$$k'_e = k_e / n' \quad (\text{E.5})$$

$n'$  being the total number of conductors.

For shielded lines bonded at the entrance, the values of current sharing factor  $k'_e$  for each of the  $n'$  conductors of a shielded line are given by:

$$k'_e = k_e \cdot R_s / (n' \cdot R_s + R_c) \quad (\text{E.6})$$

with

$R_s$  ohmic resistance per unit length of shield;

$R_c$  ohmic resistance per unit length of inner conductor.

NOTE 2 This formula may underestimate the role of the shield in diverting lightning current due to mutual inductance between core and shield.

**Table E.1 – Conventional earthing impedance values  $Z$  and  $Z_1$  according to the resistivity of the soil**

$\rho$ $\Omega\text{m}$	$Z_1$ (*) $\Omega$	Conventional earthing impedance related to the type of LPS (**)		
		$Z$ $\Omega$		
		I	II	III – IV
≤100	8	4	4	4
200	11	6	6	6
500	16	10	10	10
1 000	22	10	15	20
2 000	28	10	15	40
3 000	35	10	15	60

NOTE 1 Values reported in this table refer to the conventional earthing impedance of a buried conductor under impulse condition (10/350  $\mu\text{s}$ ).

(\*) Values referred to external parts length over 100 m. For length of external parts lower than 100 m in high resistivity soil (> 500  $\Omega\text{m}$ ) values of  $Z_1$  could be doubled.

(\*\*) Earthing system complying with IEC 62305-3, clause 5.4.

### E.1.2 Factors influencing the sharing of the lightning current in power lines

For detailed calculations several factors can influence the amplitude and the shape of such surges:

- the cable length can influence current sharing and shape characteristics due to the L/R ratio;
- different impedances of neutral and phase conductors can influence current sharing among line conductors;

NOTE 1 For example, if the neutral (N) conductor has multiple earths, the lower impedance of N compared with L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, and L<sub>3</sub> could result in 50 % of the current flowing through the N conductor with the remaining 50 % being shared by the other 3 lines (17 % each). If N, L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, and L<sub>3</sub> have the same impedance, each conductor will carry approximately 25 % of the current.

- different transformer impedances can influence current sharing (this effect is negligible, if the transformer is protected by SPDs bypassing its impedance);
- the relation between the conventional earthing resistances of the transformer and the items on the load side can influence current sharing (the lower the transformer impedance, the higher is the surge current flowing into the low voltage system);
- parallel consumers cause a reduction of the effective impedance of the low voltage system which may increase the partial lightning current flowing into this system.

NOTE 2 Refer to Annex D of IEC 62305-4 for more information.

## E.2 Surges relevant to lines connected to the structure

### E.2.1 Surges due to flashes to lines (source of damage S3)

For direct lightning flashes to connected lines, partitioning of the lightning current in both directions of the line and the breakdown of insulation must be taken into account.

The selection of the  $I_{imp}$  value can be based on values given in Table E.2a for low voltage systems and Table E.2b for telecommunication systems where the preferred values of  $I_{imp}$  are associated with the lightning protection level (LPL).

**Table E.2a – Expected surge overcurrents due to lightning flashes on low voltage systems**

LPL (Category)	Low voltage systems			
	Direct and indirect flashes to the service		Flash near the structure <sup>(3)</sup>	Flash to the structure <sup>(3)</sup>
	source of damage S3 (direct flash) <sup>(1)</sup>	source of damage S4 (indirect flash) <sup>(2)</sup>	source of damage S2 (induced current)	Source of damage S1 (induced current)
	Current shape: 10/350 μs [kA]	Current shape: 8/20 μs [kA]	Current shape: <sup>(4)</sup> 8/20 μs [kA]	Current shape: <sup>(4)</sup> 8/20 μs [kA]
III o IV	5	2.5	0.1	5
II	7.5	3.75	0.15	7.5
I	10	5	0.2	10

NOTE : All values refer to each line conductor

- (1) Values relevant to the case of the strike to the last pole of the line close to the consumer and multiconductor (three phase + neutral) line
- (2) Values referred to overhead lines. For buried lines values can be halved
- (3) Loop conductors routing and distance from inducing current affect the values of expected surge overcurrents. Values in Table E.2.a refer to an short-circuited unshielded loop conductors with different routing in large buildings (loop area in the order of 50 m<sup>2</sup>, width = 5 m), 1 m apart from the structure wall, inside an unshielded structure or building with LPS ( $K_c = 0.5$ ). For other loop and structure characteristics, values should be multiplied by factors  $K_{S1}$ ,  $K_{S2}$ ,  $K_{S3}$  (see IEC 62305-2, clause B.4).
- (4) Loop inductance and resistance affect the shape of the induced current. Where the loop resistance is negligible, shape 10/350  $\mu$ s should be assumed. This is the case where a switching type SPD is installed in the induced circuit.

**Table E.2b – Expected surge overcurrents due to lightning flashes on telecommunication systems**

LPL (Category)	Telecommunication systems <sup>(4)</sup>			
	Direct and indirect flashes to the service		Flash near the structure <sup>(3)</sup>	Flash to the structure <sup>(3)</sup>
	source of damage S3 (direct flash) <sup>(1)</sup>	source of damage S4 (indirect flash) <sup>(2)</sup>	source of damage S2 (induced current)	source of damage S1 (induced current)
	current shape: 10/350 $\mu$ s [kA]	current shape: 8/20 $\mu$ s [kA]	current shape: 8/20 $\mu$ s [kA]	current shape: 8/20 $\mu$ s [kA]
III o IV	1	0.015	0.1	5
II	1.5	0.025	0.15	7.5
I	2	0.035	0.2	10

NOTE : All values refer to each line conductor

- (1) Values referred to unshielded lines with many pairs. For a unshielded drop wire values could be 5 times higher.
- (2) Values referred to overhead lines. For buried lines values can be halved
- (3) Loop conductors routing and distance from inducing current affect the values of expected surge overcurrents. Values in Table E.2.b refer to an short-circuited unshielded loop conductors with different routing in large buildings (loop area in the order of 50 m<sup>2</sup>, width = 5 m), 1 m apart from the structure wall, inside an unshielded structure or building with LPS ( $K_c = 0.5$ ). For other loop and structure characteristics, values should be multiplied by factors  $K_{S1}$ ,  $K_{S2}$ ,  $K_{S3}$  (see IEC 62305-2, clause B.4)
- (4) Refer to ITU-T Recommendation K.67 for more information.

For shielded lines, the values of the overcurrents given in Table E.2 can be reduced by a factor of 0,5.

NOTE It is assumed that the resistance of the shield is approximately equal to the resistance of all line conductors in parallel.

### **E.2.2 Surges due to flashes near the lines (Source of damage S4)**

Surges from flashes near lines have energies much lower than those associated with flashes to lines (source of damage S3).

Expected overcurrents, associated with a specific lightning protection level (LPL) are given in Table E.2.

For shielded lines the values of overcurrents given in Table E.2 can be reduced by a factor 0,5.

### **E.3 Surges due to induction effects (Source of damage S1 or S2)**

Surges due to induction effects from magnetic fields, generated either from nearby lightning flashes (source S2) or from lightning current flowing in the external LPS or the spatial shield of LPZ 1 (source S1) have a typical current shape of 8/20  $\mu$ s. Such surges are to be considered close to or at the terminal of apparatus inside LPZ 1 and at the boundary of LPZ 1/2.

#### **E.3.1 Surges inside an unshielded LPZ 1**

Inside an unshielded LPZ 1 (e.g. protected only by an external LPS according to IEC 62305-3 with mesh width greater than 5 m) relatively high surges are to be expected due to the induction effects from the undamped magnetic field.

Expected overcurrents, associated with a specific lightning protection level (LPL) are given in Table E.2.

#### **E.3.2 Surges inside shielded LPZs**

Inside LPZs with effective spatial shielding (requiring mesh width below 5m according to Annex A of IEC 62305-4), the generation of surges due to induction effects from magnetic fields is strongly reduced. In such cases the surges are much lower than those given in E.3.1.

Inside LPZ 1 the induction effects are lower due to the damping effect of its spatial shield.

Inside LPZ 2 the surges are further reduced due to the cascaded effect of both spatial shields of LPZ 1 and LPZ 2.

### **E.4 General information relating to SPDs**

The use of SPDs depends on their withstand capability, classified in IEC 61643-1 [6] for power and in IEC 61643-21 for telecommunication systems.

SPDs to be used according to their installation position are as follows:

- a) At the line entrance into the structure (at the boundary of LPZ 1, e.g. at the main distribution board MB):



- SPD tested with  $I_{imp}$  (typical current shape 10/350), e.g. SPD tested according to Class I;
  - SPD tested with  $I_n$  (typical current shape 8/20), e.g. SPD tested according to Class II.
- b) Close to the apparatus to be protected (at the boundary of LPZ 2 and higher, e.g. at a secondary distribution board SB, or at a socket outlet SA):
- SPD tested with  $I_{imp}$  (typical current shape 10/350), e.g. SPD tested according to Class I for power SPDs);
  - SPD tested with  $I_n$  (typical current shape 8/20), e.g. SPD tested according to Class II);
  - SPD tested with a combination wave (typical current current shape 8/20), e.g. SPD tested according to Class III.

## Bibliography

- [1] IEC 60664-1:1992, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*
  - [2] IEC 61000-4-5:1995, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test*
  - [3] Berger K., Anderson R.B., Kröniger H., *Parameters of lightning flashes*. CIGRE Electra No 41 (1975), p. 23 – 37
  - [4] Anderson R.B., Eriksson A.J., *Lightning parameters for engineering application*. CIGRE Electra No 69(1980), p. 65 - 102
  - [5] IEEE working group report, *Estimating lightning performance of transmission lines- Analytical models*. IEEE Transactions on Power Delivery, Volume 8, n. 3, July 1993
  - [6] IEC 61643-1:2005, *Low-voltage surge protective devices – Part 1: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Requirements and tests*
  - [7] IEC 61643-12:2002: *Low-voltage surge protective devices – Part 12: Surge protective devices connected to low voltage power distribution systems – Selection and application principles*
-