

	<b>Blitzschutz</b> <b>Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen</b>	Vornorm <b>DIN V</b> <b>VDE V 0185-4</b>
<b>VDE</b>	Dies ist eine <b>VDE-Vornorm</b> im Sinne von VDE 0022. Sie ist unter nebenstehenden Nummern in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekannt gegeben worden.	Klassifikation <b>VDE V 0185</b> Teil 4

ICS

## Vornorm

### Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet.

Protection against lightning  
Part 4: Electrical and electronic systems within structures

Protection contre la foudre  
Partie 4: Systèmes électriques et électroniques à l'intérieur des structures

Eine Vornorm ist das Ergebnis einer Normungsarbeit, das wegen bestimmter Vorbehalte zum Inhalt oder wegen des gegenüber einer Norm abweichenden Aufstellungsverfahrens vom DIN noch nicht als Norm herausgegeben wird. Zu dieser Vornorm wurde kein Entwurf veröffentlicht. Erfahrungen mit dieser Vornorm sind erbeten an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

### Beginn der Gültigkeit

Diese Vornorm gilt ab ...

### Vorwort

Für den Anwendungsbereich dieser Vornorm bestehen keine entsprechenden regionalen oder internationalen Normen.

Zuständig für diese Vornorm ist das Komitee 251 „Errichtung von Blitzschutzanlagen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE.

Fortsetzung Seite 2 bis 129

# — Vornorm —

## **DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11**

DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4) behandelt den Schutz von baulichen Anlagen mit elektrischen und elektronischen Systemen gegen die Wirkungen des elektromagnetischen Blitzimpulses (LEMP). Neben dem Blitzstrom und der gefährlichen Funkenbildung werden auch die Wirkungen von elektrischem und magnetischem Feld und von induzierten Spannungen und Strömen berücksichtigt, die bei direkten und bei indirekten Blitzeinschlägen entstehen.

Das Blitzschutzsystem besteht aus einer individuell angepassten Kombination von einzelnen Schutzmaßnahmen, die aus folgenden Bereichen ausgewählt werden können:

- Erdungsmaßnahmen, durch die der Blitzstrom aufgefangen, abgeleitet und in die Erde verteilt wird (z. B. durch den Äußeren Blitzschutz nach DIN V VDE V 0185-3 (VDE V 0185 Teil 3), oder durch einen äußeren räumlichen Schirm nach DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4), der dann die Funktion des Äußeren Blitzschutzes übernehmen muss).
- Potentialausgleichsmaßnahmen, durch die Potentialdifferenzen minimiert werden (z. B. durch ein vermaschtes Potentialausgleich-Netzwerk und durch Schutzbeschaltung aller Leitungen an jeder Zonen-  
grenze).
- Räumliche Schirmung, durch die das von Blitzeinschlägen hervorgerufene magnetische Feld in der Anlage und damit auch induzierte Spannungen und Ströme minimiert werden.
- Leitungsführung und -schirmung, durch die induzierte Spannungen und Ströme minimiert werden (z. B. durch möglichst kleine Leiterschleifen und durch Verwendung von geschirmten Kabeln oder Kabelkanälen).

Die bauliche Anlage wird in Blitzschutz-zonen (LPZ) unterteilt, so dass auch örtliche Unterschiede von Anzahl, Art und Empfindlichkeit der elektrischen und elektronischen Geräte berücksichtigt werden können. Für jede Blitzschutzzone werden mit Hilfe der Risikoanalyse nach DIN V VDE V 0185-2 (VDE V 0185 Teil 2) diejenigen Schutzmaßnahmen ausgewählt, die einen optimalen Schutz bei minimalen Kosten bieten.

Diese Vornorm entspricht dem derzeitigen Stand des Entwurfs für IEC 62305-4, in dem die überarbeiteten Inhalte aus der früheren Reihe IEC 61312 zum Schutz gegen elektromagnetischen Blitzimpuls (LEMP) zusammengefasst sind.

## **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.

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

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

**Tabelle NA.1**

<b>Europäische Norm</b>	<b>Internationale Norm</b>	<b>Deutsche Norm</b>	<b>Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk</b>
HD 625.1 S1:1996	IEC 60664-1:1992 (mod.)	DIN VDE 0110-1 (VDE 0110 Teil 1):1997-04	VDE 0110 Teil 1
EN 61000-4-5:1995	IEC 61000-4-5:1995	DIN EN 61000-4-5 (VDE 0847 Teil 4-5):2001-12	VDE 0847 Teil 4-5
EN 61000-4-9:1993	IEC 61000-4-9:1993	DIN EN 61000-4-9 (VDE 0847 Teil 4-9):2001-12	VDE 0847 Teil 4-9
EN 61000-4-10:1993	IEC 61000-4-10:1993	DIN EN 61000-4-10 (VDE 0847 Teil 4-10):2001-12	VDE 0847 Teil 4-10
–	IEC 61000-5-2:1997	–	–
EN 61643-11:2002	IEC 61643-1:1998 + Corr. 1998 (mod.)	DIN EN 61643-11 (VDE 0675 Teil 6-11):2002-xx	VDE 0675 Teil 6-11
–	IEC 61643-12:2002	–	–
EN 50310:2000	–	DIN EN 50310-2 (VDE 0800 Teil 2-310):2001-09	VDE 0800 Teil 2-310
EN 50174-2:2000	–	DIN EN 50174-2 (VDE 0800 Teil 174-2):2001-09	VDE 0800 Teil 174-2
–	–	DIN V VDE V 0185-1 (VDE V 0185 Teil 1):2002-11	VDE V 0185 Teil 1
–	–	DIN V VDE V 0185-2 (VDE V 0185 Teil 2):2002-11	VDE V 0185 Teil 2
–	–	DIN V VDE V 0185-3 (VDE V 0185 Teil 3):2002-11	VDE V 0185 Teil 3
–	ITU-T, K.20	–	–
–	ITU-T, K.21	–	–

## Nationaler Anhang NB (informativ)

### Literaturhinweise

DIN EN 50174-2 (VDE 0800 Teil 174-2), *Informationstechnik – Installation von Kommunikationsverkabelung – Installationsplanung und -praktiken in Gebäuden, Deutsche Fassung EN 50174-2:2000.*

DIN EN 50310-2 (VDE 0800 Teil 2-310), *Anwendung von Maßnahmen für Potentialausgleich und Erdung in Gebäuden mit Einrichtungen der Informationstechnik; Deutsche Fassung EN 50310:2000.*

DIN EN 61000-4-5 (VDE 0847 Teil 4-5), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-5: Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen Stoßspannungen (IEC 61000-4-5:1995 + A1:2000); Deutsche Fassung EN 61000-4-5:1995 + A1:2001.*

DIN EN 61000-4-9 (VDE 0847 Teil 4-9), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-5: Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit impulsförmiger Magnetfelder (IEC 61000-4-9:1993 + A1:2000); Deutsche Fassung EN 61000-4-9:1993 + A1:2001.*

## — Vornorm —

### **DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11**

DIN EN 61000-4-10 (VDE 0847 Teil 4-10), *Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-5: Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen gedämpft schwingende Magnetfelder (IEC 61000-4-10:1993 + A1:2000); Deutsche Fassung EN 61000-4-5:1993 + A1:2001.*

DIN EN 61643-11 (VDE 0675 Teil 6-11), *Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung – Teil 11: Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Niederspannungsanlagen – Anforderungen und Prüfungen (IEC 61643-1:1998 + Corrigendum:1998, modifiziert); Deutsche Fassung EN 61643-11:2002.*

DIN VDE 0110-1 (VDE 0110 Teil 1), *Isolationskoordination für elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen – Grundsätze, Anforderungen und Prüfungen (IEC 60664-1:1992, mod.); Deutsche Fassung HD 625.1 S1:1996.*

DIN V VDE V 0185-1 (VDE V 0185 Teil 1):2002, *Blitzschutz – Teil 1: Allgemeine Grundsätze.*

DIN V VDE V 0185-2 (VDE V 0185 Teil 2):2002, *Blitzschutz – Teil 2: Risiko-Management – Abschätzung des Schadensrisikos für bauliche Anlagen.*

DIN V VDE V 0185-3 (VDE V 0185 Teil 3):2002, *Blitzschutz – Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen.*

Inhalt

	Seite
Einführung .....	10
1 Anwendungsbereich .....	11
2 Normative Verweisungen .....	11
3 Begriffe .....	12
4 Symbole .....	15
5 Schutz von elektrischen und elektronischen Systemen gegen LEMP .....	16
5.1 Störung von elektrischen und elektronischen Systemen durch LEMP .....	16
5.2 Blitzschutzzonen .....	17
5.3 Übersicht über mögliche Schutzmaßnahmen gegen LEMP .....	19
6 Planung und Installation von LEMP-Schutz .....	20
6.1 Allgemeines .....	20
6.2 LEMP-Schutz-Management .....	20
7 Prüfung und Wartung des LEMP-Schutzes .....	21
7.1 Prüfung .....	21
7.2 Wartung .....	22
8 Erdungssystem .....	22
8.1 Erdungsanlage .....	22
8.2 Potentialausgleich-Netzwerk .....	23
8.3 Kombination der Erdungsanlage und des Potentialausgleich-Netzwerks .....	24
8.4 Werkstoffe .....	24
9 Potentialausgleich an der Grenze von LPZ .....	24
9.1 Potentialausgleichsmaßnahmen .....	25
9.2 Aufteilung des Blitzstroms .....	25
9.3 Potentialausgleich an der Grenze von LPZ 1 .....	25
9.4 Potentialausgleich an den Grenzen von LPZ 2 und höher .....	26
10 Integration elektronischer Systeme in das Potentialausgleich-Netzwerk .....	26
11 Räumliche Schirmung in Kombination mit Leitungsführung und -schirmung .....	26
11.1 Elektromagnetische Verträglichkeit in einer baulichen Anlage bei Blitzschlag .....	26
11.2 Gitterförmige räumliche Schirme .....	27
11.3 Leitungsführung und -schirmung .....	30
11.4 Beispiel für die Ausführung von Schirmung, Potentialausgleich und Erdung .....	31
12 Anforderungen für Überspannungsschutzgeräte .....	31
12.1 Maßgebliche Bedrohungswerte – Blitzstromparameter .....	31
12.2 Anordnung der SPDs nach dem Blitzschutzzonen-Konzept .....	32
12.3 Anforderungen an die Eigenschaften der SPDs .....	32
12.4 Energetische Koordination .....	33
12.5 Nachweis der energetischen Koordination .....	38

# — Vornorm —

## DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11

	Seite
13 Schutz von Geräten in bestehenden baulichen Anlagen .....	38
13.1 Checkliste .....	38
13.2 Integration von neuen elektronischen Systemen in bestehende bauliche Anlagen .....	38
13.3 Aufrüstung von Energieversorgung und Kabelinstallation innerhalb einer baulichen Anlage .....	40
13.4 Schutz durch Überspannungsschutzgeräte .....	40
13.5 Schutz durch isolierende Schnittstellen .....	41
13.6 Schutzmaßnahmen durch Leitungsführung und -schirmung .....	41
13.7 Aufrüstung eines bestehenden Äußeren Blitzschutzes zu einem räumlichen Schirm von LPZ 1 .....	42
13.8 Schutz durch ein Potentialausgleich-Netzwerk .....	42
13.9 Schutzmaßnahmen für außen angebrachte Geräte .....	42
13.10 Aufrüstung von Verbindungsleitungen zwischen bauliche Anlagen .....	43
Literaturhinweise .....	47
Anhang A (informativ) Zeitfunktion des Blitzstroms für Analysezwecke .....	85
Anhang B (informativ) Nachbildung des Blitzstroms für Prüzzwecke .....	89
Anhang C (informativ) Kopplungsmechanismen .....	93
Anhang D (informativ) LEMP-Schutz-Management .....	95
Anhang E (informativ) Begriffe zu Erdung und Potentialausgleich .....	96
Anhang F (informativ) Berechnung von induzierten Spannungen und Strömen in Leiterschleifen .....	99
Anhang G (informativ) Berechnung des magnetischen Feldes innerhalb von LPZ 1 bei nahen Blitzeinschlägen .....	102
Anhang H (informativ) Berechnung des magnetischen Feldes innerhalb von LPZ 1 bei direkten Blitzeinschlägen .....	104
Anhang I (informativ) Beispiele für die Koordination zwischen zwei SPDs .....	108
Anhang J (informativ) Einflussfaktoren für die Verteilung des Blitzstroms .....	114
Anhang K (informativ) Platzierung von SPD .....	126
Bild 1 – Einzelne Teilblitze .....	48
Bild 2 – Definition der Teilblitzparameter .....	48
Bild 3 – Prinzip für die Einteilung in verschiedene LPZ .....	49
Bild 4 – Beispiel für die Unterteilung einer baulichen Anlage in LPZ mit den geeigneten Stellen für den Potentialausgleich .....	50
Bild 5 – Beispiele für miteinander verbundene Blitzschutzzonen .....	52
Bild 6 – Beispiele für ausgestülpte Blitzschutzzonen .....	52
Bild 7 – Grundriss einer vermaschten Erdungsanlage eines Fabrikgeländes .....	53
Bild 8 – Verwendung der Armierungsstäbe einer baulichen Anlage für den Potentialausgleich .....	54
Bild 9 – Potentialausgleich in einer baulichen Anlage unter Nutzung der Armierung .....	55
Bild 10 – Beispiel für ein Erdungssystem als Kombination eines Potentialausgleich-Netzwerks und einer Erdungsanlage .....	56
Bild 11 – Potentialausgleich von metallenen Teilen und Versorgungsleitungen an einer Potentialausgleichsschiene .....	57

Bild 12 – Impulsspannung zwischen dem Phasenleiter und der Potentialausgleichsschiene .....	57
Bild 13 – Blitzstromverteilung zwischen den metallenen Teilen und den Versorgungsleitungen, die in eine bauliche Anlage eintreten .....	58
Bild 14 – Integration von elektronischen Systemen in das Potentialausgleich-Netzwerk .....	59
Bild 15 – Kombination von Integrationsmethoden in das Potentialausgleich-Netzwerk .....	60
Bild 16 – Elektromagnetische Verträglichkeit im Fall eines Blitzeinschlags .....	61
Bild 17 – Darstellung des magnetischen Feldes im Anstiegsbereich durch gedämpfte Schwingungen .....	62
Bild 18 – Gebäude- oder Raum-Schirm, gebildet durch metallene Armierung und Rahmen .....	63
Bild 19 – Volumen für elektronische Systeme innerhalb einer LPZ <i>n</i> .....	64
Bild 20 – Bestimmung der magnetischen Feldstärke bei nahen Blitzeinschlägen .....	65
Bild 21 – Bestimmung der magnetischen Feldstärke bei direkten Blitzeinschlägen .....	66
Bild 22 – Vorschlag einer „low-level“-Blitzstrom-Prüfung zur Ermittlung des Magnetfeldes innerhalb einer geschirmten baulichen Anlage .....	67
Bild 23 – Verringerung der Induktionswirkung durch Schirmung und Leitungsführung .....	68
Bild 24 – In einer Leiterschleife induzierte Spannungen und Ströme .....	69
Bild 25 – Beispiel für Blitzschutzzonen (LPZ), Schirmung, Potentialausgleich und Erdung an einem Bürogebäude .....	70
Bild 26 – Beispiel für den Einsatz von SPDs in Energieverteilssystemen nach dem Blitzschutzzonen-Konzept .....	71
Bild 27 – Grundsätzliches Modell für die energetische Koordination von SPDs in baulichen Anlagen bei vernachlässigbarer kleiner Impedanz des Potentialausgleich-Netzwerks .....	71
Bild 28 – Kombination von zwei Spannungsbegrenzertyp SPDs .....	72
Bild 29 – Kombination eines Schaltertyp-SPD 1 und eines Spannungsbegrenzertyp-SPD 2 .....	73
Bild 30 – Prinzip der Bestimmung der Entkopplungsinduktivität für die energetische Koordination bei 10/350- und 0,1-kA/μs-Impulsströmen .....	74
Bild 31 – Koordinationsprinzip nach Variante I (Spannungsbegrenzertyp-SPD) .....	75
Bild 32 – Koordinationsprinzip nach Variante II (Spannungsbegrenzertyp-SPD) .....	75
Bild 33 – Koordinationsprinzip nach Variante III (Schaltertyp-SPD gefolgt von Spannungsbegrenzertyp-SPD) .....	76
Bild 34 – Koordinationsprinzip nach Variante IV .....	76
Bild 35 – Koordination nach der „Durchlass-Energie“-Methode unter Verwendung eines Hybridgenerators .....	77
Bild 36 – Maßnahmen zur Verbesserung von Blitzschutz und EMV für neue Installationen in bestehenden Gebäuden mit unterschiedlichen Energienetzen .....	78
Bild 37 – Möglichkeiten für die Einrichtung von LPZ in bestehenden baulichen Anlagen .....	80
Bild 38 – Verkleinerung der Schleifenfläche unter Verwendung eines geschirmten Kabels dicht an einer Metallplatte .....	81
Bild 39 – Beispiel für die Nutzung einer Metallplatte als zusätzliche Schirmung .....	82
Bild 40 – Schutz von Antennen und anderen, außen angebrachten Geräten .....	83
Bild 41 – Inhärente Schirmung durch metallene Leitern und Rohre an einem Prozessturm, wenn diese in den Potentialausgleich einbezogen sind .....	84

# — Vornorm —

## DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11

	Seite
Bild 42 – Ideale Position für Leitungen an einem Mast (Querschnitt durch einen Stahlgittermast) .....	84
Bild A.1 – Zeitlicher Verlauf der Stirn des ersten Stoßströme .....	86
Bild A.2 – Zeitlicher Verlauf des Rückens des ersten Stoßstroms .....	86
Bild A.3 – Zeitlicher Verlauf der Stirn des Folgestoßstroms .....	87
Bild A.4 – Zeitlicher Verlauf des Rückens des Folgestoßstroms .....	87
Bild A.5 – Amplitudendichte des Blitzstroms entsprechend Gefährdungspegel I .....	88
Bild B.1 – Beispiel eines Prüfgenerators für die Nachbildung der spezifischen Energie des ersten Stoßstroms und der Ladung des Langzeitstroms .....	90
Bild B.2 – Definition für den Stromanstieg entsprechend Tabelle B.3 .....	91
Bild B.3 – Beispiel eines Prüfgenerators für die Nachbildung der Stirnteilheit des ersten Stoßstroms bei räumlich ausgedehnten Prüflingen .....	91
Bild B.4 – Beispiel eines Prüfgenerators für die Nachbildung der Stirnteilheit des Folgestoßstroms bei räumlich ausgedehnten Prüflingen .....	92
Bild E.1 – Erdung und Potentialausgleich .....	97
Bild G.1 – Abstand $s_a$ abhängig vom Blitzkugelradius $R$ und den Abmessungen der baulichen Anlage .....	103
Bild H.1 – Typen von ausgedehnten, gitterförmigen, räumlichen Schirmen .....	105
Bild H.2 – Magnetische Feldstärke $H_{1/\max}$ innerhalb eines gitterförmigen Schirmes Typ 1 .....	106
Bild H.3 – Magnetische Feldstärke $H_{1/\max}$ innerhalb eines gitterförmigen Schirmes Typ 1 .....	106
Bild I.1 – Schaltbild für die Koordination zwischen zwei Spannungsbegrenzertyp-SPDs .....	108
Bild I.2 – Spannungs-Strom-Kennlinien von zwei Spannungsbegrenzertyp-SPDs .....	108
Bild I.3 – Stromkennlinie und Spannungskennlinie für die Kombination von zwei Spannungsbegrenzertyp-SPD für einen 10/350-Impulsstrom .....	109
Bild I.4 – Schaltbild für die Koordination zwischen einem Schaltertyp-SPD 1 und einem Spannungsbegrenzertyp-SPD 2 .....	109
Bild I.5 – Stromkennlinie und Spannungskennlinie für die Kombination eines Schaltertyp-SPD 1 mit einem Spannungsbegrenzertyp-SPD 2 für den 10/350-Impulsstrom (SPD 1 hat nicht gezündet) .....	110
Bild I.6 – Stromkennlinie und Spannungskennlinie für die Kombination eines Schaltertyp-SPD 1 mit einem Spannungsbegrenzertyp-SPD 2 für den 10/350-Impulsstrom (SPD 1 hat gezündet) .....	110
Bild I.7 – Beispiel für die energetische Koordination zwischen Schaltertyp-SPD 1 und Spannungsbegrenzertyp-SPD 2 für den 10/350-Impulsstrom .....	112
Bild I.8 – Energetische Koordination für einen 0,1-kA/µs Impulsstrom .....	113
Bild J.1 – Grundsätzliches Modell für die Blitzstromverteilung .....	116
Bild J.2 – Schaltbild des grundsätzlichen Modells für die Blitzstromverteilung .....	117
Bild J.3 – Stromverteilung abhängig von der Kabellänge (siehe Bild J.2) .....	118
Bild J.4 – Stromverteilung für eine Kabellänge von 500 m (siehe Bild J.2) .....	119
Bild J.5 – Stromverteilung für eine Kabellänge von 50 m (siehe Bild J.2) .....	119
Bild J.6 – Stromverteilung abhängig vom Erdungswiderstand des Transformators, Kabellänge: 100 m (siehe Bild J.2) .....	120
Bild J.7 – Modell für die Blitzstromverteilung, wenn Verbraucher über das Niederspannungssystem parallelgeschaltet sind .....	121
Bild J.8 – Stromverteilung, wenn Verbraucher über das Niederspannungssystem parallelgeschaltet sind .....	122



	Seite
Bild J.9 – Vereinfachte Berechnung, wenn Verbraucher über das Niederspannungssystem parallelgeschaltet sind.....	123
Bild J.10 – Modell für die Stromverteilung, wenn Verbraucher über andere leitfähige Versorgungsleitungen parallelgeschaltet sind .....	124
Bild J.11 – Näherungslösung für die Stromverteilung, wenn Verbraucher über andere leitfähige Versorgungsleitungen parallelgeschaltet sind (abgeleitet aus Bild J.10).....	125
Bild K.1 – Schaltkreis für ein SPD, das über Leitungen unterschiedlicher Länge mit unterschiedlichen Lasten verbunden ist.....	126
Bild K.2 – Spannung am SPD und an der Last für Kabellänge 1 m (siehe Bild K.1) .....	127
Bild K.3 – Spannung am SPD und an der Last für Kabellänge 10 m (siehe Bild K.1) .....	128
Bild K.4 – Spannung am SPD und an der Last für Kabellänge 100 m (siehe Bild K.1) .....	129
Tabelle 1 – Maximalwerte der Blitzparameter abhängig vom Gefährdungspegel (siehe Bild 2) .....	44
Tabelle 2 – Minimalwerte der Blitzparameter und des zugehörigen Blitzkugelradius abhängig vom Gefährdungspegel.....	44
Tabelle 3 – Mindestabmessungen von Potentialausgleichsleitern zur Verbindung von internen metallenen Installationen mit der Potentialausgleichsschiene.....	45
Tabelle 4 – Mindestabmessungen von Verbindungsleitern zwischen verschiedenen Potentialausgleichsschienen oder zwischen Potentialausgleichsschienen und dem Erdungssystem.....	45
Tabelle 5 – Magnetische Dämpfung von gitterförmigen räumlichen Schirmen gegen ebene Wellen bedingt durch nahe Blitzeinschläge .....	45
Tabelle 6 – Strukturelle Kenndaten und Umgebungsbedingungen .....	46
Tabelle 7 – Installations-Kenndaten .....	46
Tabelle 8 – Geräte-Kenndaten .....	46
Tabelle A.1 – Parameter für Gleichung A.1.....	85
Tabelle B.1 – Prüfparameter des ersten Stoßstroms.....	90
Tabelle B.2 – Prüfparameter des Langzeitstroms .....	90
Tabelle B.3 – Prüfparameter der Stoßströme .....	90
Tabelle D.1 – LEMP-Schutz-Management für neue Gebäude und für umfassende Änderungen der Konstruktion oder der Nutzung von Gebäuden.....	95
Tabelle G.1 – Blitzkugelradius abhängig vom maximalen Blitzstrom.....	102
Tabelle G.2 – Beispiele für $I_{0/\max} = 100$ kA und $M = 2$ m entsprechend $SF = 12,6$ dB .....	103
Tabelle H.1 – Beispiele für $I_{0/\max} = 100$ kA und $M = 2$ m .....	105

## Einführung

Die Notwendigkeit für diese internationale Norm ergab sich aus der zunehmenden Verwendung von elektronischen Systemen, einschließlich von Rechnern, Informations- und Telekommunikationseinrichtungen, Steuerungssystemen. Derartige Systeme werden in vielen Bereichen des Handels und der Industrie, einschließlich der Steuerung von Fertigungsanlagen mit hohem Kapitalwert, großen Abmessungen und Komplexität, verwendet, bei denen aus Kosten- und Sicherheitsgründen durch Blitzschlag verursachte Ausfälle sehr unerwünscht sind.

DIN V VDE V 0185-3 (VDE V 0185 Teil 3) behandelt den Schutz baulicher Anlagen gegen materielle Schäden und Lebensgefahr, die durch die Wirkungen des Blitzstroms oder durch gefährliche Funkenbildung insbesondere bei direkten Blitzeinschlägen entstehen. Diese Norm behandelt jedoch nicht den Schutz von elektrischen und elektronischen Systemen.

Aber insbesondere empfindliche elektronische Systeme sind gefährdet durch den elektromagnetischen Blitzimpuls (LEMP), der alle Wirkungen des Blitzeinschlags umfasst (Blitzstrom und gefährliche Funkenbildung wie zuvor, aber zusätzlich auch die Wirkungen von elektrischem und magnetischem Feld und von induzierten Spannungen und Strömen), die bei direkten und bei indirekten Blitzeinschlägen entstehen.

DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4) behandelt deshalb den Schutz gegen LEMP von baulichen Anlagen mit elektrischen und elektronischen Systemen.

Der Blitz als Störquelle weist eine sehr hohe Energie auf. Blitzeinschläge setzen eine Energie von vielen Hunderten Mega-Joules frei, denen vielleicht eine Größenordnung von Milli-Joules gegenübersteht, die empfindliche Elektronik bereits beeinflussen kann. Aus diesem Grund ist eine geeignete, ingenieurmäßige Lösung zum Schutz erforderlich. Diese Norm versucht, den LEMP-Kopplungsmechanismus zwischen dem Blitzstrom als der primären Störquelle und einem elektrischen und insbesondere einem empfindlichen elektronischen System als Störsenke, zu erläutern.

Die Verträglichkeit zwischen Störsenke und Störquelle wird durch Beeinflussung des Kopplungsmechanismus durch geeignete LEMP-Schutzmaßnahmen erreicht.

## 1 Anwendungsbereich

Diese nationale Vornorm DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4) gibt Informationen für Planung, Installation, Inspektion, Instandhaltung und Prüfung von Schutzsystemen gegen LEMP-Wirkungen für bauliche Anlagen mit elektrischen und insbesondere empfindlichen elektronischen Systemen.

Die folgenden Fälle liegen außerhalb des Anwendungsbereiches dieser Norm: Fahrzeuge, Schiffe, Luftfahrzeuge und Installationen vor der Küste unterliegen speziellen behördlichen Vorschriften.

Diese Vornorm zeigt grundlegende Methoden und Daten für LEMP-Schutzsysteme. Darüber hinaus liefert sie Richtlinien für die Zusammenarbeit des Planers der elektronischen Systeme mit dem Planer der LEMP-Schutzsysteme, um einen optimalen Schutz zu erzielen. Die Norm behandelt nicht den detaillierten Entwurf des elektronischen Systems.

## 2 Normative Verweisungen

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

IEC 60664-1, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests.*

IEC 61000-4-5, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 5: Surge immunity test.*

IEC 61000-4-9, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 9: Pulse magnetic field immunity test. Basic EMC Publication.*

IEC 61000-4-10, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 10: Damped oscillatory magnetic field immunity test. Basic EMC Publication.*

IEC/TR3 61000-5-2, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5: Installation and mitigation guidelines – Section 2: Earthing and cabling.*

IEC 61643-1, *Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Part 1: Performance requirements and testing methods.*

IEC 61643-12, *Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Part 12: Selection and application principles.*

DIN EN 50310 (VDE 0800 Teil 2-310), *Anwendung von Maßnahmen für Potentialausgleich und Erdung in Gebäuden mit Einrichtungen der Informationstechnik.*

DIN EN 50174-2 (VDE 0800 Teil 174-2), *Installation von Kommunikationsverkabelung – Teil 2: Installationsplanung und -praktiken in Gebäuden.*

DIN V VDE V 0185-1 (VDE V 0185 Teil 1), *Blitzschutz – Teil 1: Allgemeine Grundsätze.*

DIN V VDE V 0185-2 (VDE V 0185 Teil 2), *Blitzschutz – Teil 2: Risiko Management – Abschätzung des Schadensrisikos für bauliche Anlagen.*

DIN V VDE V 0185-3 (VDE V 0185 Teil 3), *Blitzschutz – Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen.*

**DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11**

ITU-T Recommendation K.20, *Resistibility of telecommunication equipment installed in a telecommunications centre to overvoltages and overcurrents.*

ITU-T Recommendation K.21, *Resistibility of telecommunication equipment installed in customers premises to overvoltages and overcurrents.*

### 3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Vornorm gelten die Begriffe aus DIN V VDE V 0185-1 (VDE V 0185 Teil 1): 2002-11 und die nachstehend aufgeführten:

#### 3.1

**Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)** [en: electromagnetic compatibility (EMC)]

Fähigkeit einer Einrichtung oder eines Systems, in seiner elektromagnetischen Umgebung befriedigend zu arbeiten, ohne unannehmbare elektromagnetische Störgrößen für andere Einrichtungen in diese Umgebung einzubringen

#### 3.2

**elektromagnetischer Impuls des Blitzes** [en: lightning electromagnetic impuls (LEMP)]

umfasst alle transienten Erscheinungen von Blitzeinschlägen wie Blitzströme, elektrisches und magnetisches Feld des Blitzes, ebenso wie induzierte Spannungen und Ströme (siehe DIN V VDE V 0185-1 (VDE V 0185 Teil 1))

#### 3.3

**Gefährdungspegel** [en: protection level]

der Gefährdungspegel definiert den Blitz als Störquelle. Für jeden Gefährdungspegel (I bis IV) ist ein Satz von Maximum- (Dimensionierungskriterien) und Minimum- (Einfangkriterien) Werten des Blitzstroms fixiert, zusammen mit dem zugehörigen Blitzkugelradius (siehe DIN V VDE V 0185-1 (VDE V 0185 Teil 1)).

#### 3.4

**Einschlagpunkt**

Punkt, an dem ein Blitz die Erde, eine bauliche Anlage oder ein Blitzschutzsystem trifft

ANMERKUNG Ein Blitz kann mehr als einen Einschlagpunkt haben.

#### 3.5

**Blitzstrom  $I(t)$**

Strom am Einschlagpunkt (siehe DIN V VDE V 0185-1 (VDE V 0185 Teil 1))

#### 3.6

**Teilblitz** [en: stroke]

einzelne elektrische Entladung in einem Erdblitz, die ein Stoßstrom oder ein Langzeitstrom sein kann (siehe DIN V VDE V 0185-1 (VDE V 0185 Teil 1))

#### 3.7

**Stoßstrom**

Teilblitzstrom, dessen Rückenhalbwertzeit kleiner als 2 ms ist (siehe DIN V VDE V 0185-1 (VDE V 0185 Teil 1))

#### 3.8

**Langzeitstrom**

Teilblitzstrom mit einer Gesamtdauer (Zeit vom 10%-Wert an der vorderen Flanke bis zum 10%-Wert an der hinteren Flanke) von mehr als 2 ms und weniger als 1 s (siehe DIN V VDE V 0185-1 (VDE V 0185 Teil 1))

#### 3.9

**spezifische Energie eines Stoßstroms  $W/R$**

Energieumsatz, den ein Stoßstrom in einem Widerstand von 1  $\Omega$  bewirkt. Er ergibt sich als das Zeitintegral über das Quadrat des Stromes für die Dauer des Stoßstromes (siehe DIN V VDE V 0185-1 (VDE V 0185 Teil 1)).

### 3.10

#### **Blitzschutzzone** [en: lightning protection zone (LPZ)]

Schutzbereich, der nach der Art der Blitzgefährdung klassifiziert wird (siehe DIN V VDE V 0185-1 (VDE V 0185 Teil 1))

### 3.11

#### **Erdungssystem**

gesamtes System, das Potentialausgleich-Netzwerk und Erdungsanlage umfasst

### 3.12

#### **Potentialausgleich-Netzwerk**

durchverbundenes Netzwerk aus allen leitfähigen Teilen in und an einer baulichen Anlage. Seine Hauptaufgabe ist es, gefährliche Potentialdifferenzen in oder an der baulichen Anlage und zwischen Geräten zu vermeiden.

### 3.13

#### **Erdungsanlage**

Teil des äußeren Blitzschutzes, der den Blitzstrom in die Erde einleitet und dort verteilt (siehe DIN V VDE V 0185-1 (VDE V 0185 Teil 1))

### 3.14

#### **Erdungsbezugspunkt** [earthing reference point (ERP)]

der einzige Anschlusspunkt zwischen dem Erdungssystem und den metallenen Komponenten des elektronischen Systems

### 3.15

#### **Versorgungsleitungen**

metallene Leitungen wie elektrische Leitungen, Datenleitungen, Rohre (z. B. Wasser- oder Gas-Rohr) (siehe DIN V VDE V 0185-1 (VDE V 0185 Teil 1))

### 3.16

#### **Elektrische Leitung**

Leitung oder Kabel für die elektrische Energieversorgung

### 3.17

#### **Datenleitung**

Leitung oder Kabel für Informationsübertragung

### 3.18

#### **elektrisches System**

System, das Komponenten der Niederspannungs-Energieversorgung und möglicherweise auch elektronische Komponenten enthält

### 3.19

#### **elektronisches System**

System, das elektronische Komponenten enthält wie Telekommunikationseinrichtungen, Rechner, Steuerungssysteme, Radiosysteme, Leistungselektronik

### 3.20

#### **gitterförmiger räumlicher Schirm**

magnetischer Schirm für ein Gebäude oder einen Raum, der vorzugsweise aus gekreuzten Stäben natürlicher Komponenten der baulichen Anlage besteht (z. B. Stäbe der Betonarmierung, metallene Rahmen oder Unterkonstruktionen). Diese Art von Schirm hat typischerweise Öffnungen.

### 3.21

#### **Sicherheitsabstand** $d_s$ [en: safety distance]

Abstand, der zur Vermeidung von zu hohen magnetischen Feldstärken gegen den räumlichen Schirm einer Blitzschutzzone eingehalten werden muss (siehe DIN V VDE V 0185-1 (VDE V 0185 Teil 1))

**DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11**

**3.22**

**Störfestigkeit** [en: resistibility]

Fähigkeit einer elektrischen Einrichtung, leitungsgebundene und gestrahlte Störwirkungen des Blitzes ohne Beschädigung zu überstehen (siehe DIN V VDE V 0185-1 (VDE V 0185 Teil 1))

**3.23**

**Spannungsfestigkeit** [en: withstand voltage]

maximale Spannung, die eine elektrische Einrichtung ohne Beschädigung übersteht (siehe DIN V VDE V 0185-1 (VDE V 0185 Teil 1))

**3.24**

**Energiefestigkeit**  $W_{\max}$

maximale Energie, die eine elektrische Einrichtung ohne Beschädigung übersteht (siehe DIN V VDE V 0185-1 (VDE V 0185 Teil 1))

**3.25**

**Überspannungsschutzgerät** [en: surge protective device (SPD)]

Gerät, das dazu bestimmt ist, transiente Überspannungen zu begrenzen und Stoßströme abzuleiten. Es enthält mindestens ein nichtlineares Bauelement. (siehe DIN V VDE V 0185-1 (VDE V 0185 Teil 1)).

**3.26**

**Überspannungsschutzgerät (SPD) – Schaltertyp**

ein SPD, das eine hohe Impedanz hat, wenn keine Stoßspannung anliegt, das aber mit einem plötzlichen Wechsel zu niedriger Impedanz auf eine Stoßspannung reagiert. Typische Beispiele für solche Elemente sind: Funkenstrecken, Gasentladungsableiter, Thyristoren (gesteuerte Silizium-Gleichrichter) und Triacs. Diese SPDs werden manchmal als „Crowbar-Typ“ bezeichnet (siehe IEC 61643-12).

ANMERKUNG Ein Schaltertyp-SPD hat eine diskontinuierliche Spannungs-Strom-Kennlinie.

**3.27**

**Überspannungsschutzgerät (SPD) – Spannungsbegrenzertyp**

ein SPD, das eine hohe Impedanz hat, wenn keine Stoßspannung anliegt, das aber seine Impedanz mit steigenden Werten von Stoßspannung und Stoßstrom kontinuierlich verringert. Typische Beispiele für solche Elemente sind: Varistoren und Suppressordioden. Diese SPDs werden manchmal als „Clamping-Typ“ bezeichnet (siehe IEC 61643-12).

ANMERKUNG Ein Spannungsbegrenzertyp-SPD hat eine kontinuierliche Spannungs-Strom-Kennlinie.

**3.28**

**Überspannungsschutzgerät (SPD) – Kombinationstyp**

ein SPD, das Schalterkomponenten und Spannungsbegrenzerkomponenten in sich vereinigt. Es kann das Verhalten von Schaltertyp, Spannungsbegrenzertyp oder von beiden zeigen, abhängig von der Kombination der Parameter und von der anliegenden Spannung (siehe IEC 61643-12).

**3.29**

**Überspannungsschutzgerät (SPD) – Blitzstromableiter**

ein SPD, das am Übergang von LPZ 0<sub>A</sub> zu LPZ 1 installiert wird. Die Funktionsprüfung wird als Klasse I-Prüfung für SPDs nach IEC 61643-1 durchgeführt.

**3.30**

**Klasse I-Prüfung für SPDs**

Prüfverfahren für Blitzstrom-Ableiter nach IEC 61643-1 mit einem Impulsstrom 10/350 oder ähnlich

**3.31**

**Klasse II-Prüfung für SPDs**

Prüfverfahren für Überspannungsschutzgeräte nach IEC 61643-1. Die Prüfung wird mit einem Impulsstrom 8/20 durchgeführt.

### 3.32

#### Klasse III-Prüfung für SPDs

Prüfverfahren für Überspannungsschutzgeräte nach IEC 61643-1. Die Prüfung wird mit einem Hybridimpuls durchgeführt.

### 3.33

#### Impulsstrom [en: surge]

Impulsstrom, der durch den vollen oder anteiligen Blitzstrom entsteht oder vom Blitz induziert wird. Zur Prüfung oder Berechnung der Störfestigkeit oder der Koordination von SPDs werden folgende Impulsströme verwendet:

$I_{10/350}$  Prüfstrom mit der Wellenform 10/350, der den ersten Stoßstrom eines Blitzes simulieren soll.

ANMERKUNG Dieser Prüfstrom wird insbesondere für die Prüfung der energetischen Koordination von SPDs verwendet. Ein ähnlicher Strom wird für die Klasse I Prüfung (IEC 61643-1) verwendet, der dort durch seinen Scheitelwert, durch seine Ladung und seine Dauer definiert ist.

$I_{8/20}$  Prüfstrom mit der Wellenform 8/20, der den Strom durch ein SPD nach Klasse II simulieren soll.

ANMERKUNG Dieser Prüfstrom wird für die Klasse II Prüfung (IEC 61643-1) verwendet und ist dort durch seinen Scheitelwert und seine Wellenform 8/20 definiert.

$I_{CWG}$  Prüfstrom als Ausgangsstrom eines Hybridgenerators (IEC 61000-4-5), definiert durch seine Leerlaufspannung und durch seinen Kurzschlussstrom.

ANMERKUNG Die Wellenform hängt von der Last ab (Leerlauf:  $U_{OC} = 1,2/50$  ; Kurzschluss:  $I_{SC} = 8/20$ ). Dieser Strom wird für die Klasse III-Prüfung (IEC 61643-1) verwendet.

$I_{RAMP}$  Prüfstrom mit einer Stromsteilheit von  $0,1\text{kA}/\mu\text{s}$ .

ANMERKUNG Dieser Prüfstrom wurde definiert, um Blitz-Teilströme innerhalb des Systems zu simulieren, die durch die Wechselwirkung zwischen dem Blitzstrom und der Niederspannungs-Installation eine minimale Steilheit haben. Dieser Strom wird insbesondere dazu verwendet, die Entkopplung von aufeinander folgenden SPDs zu prüfen.

## 4 Symbole

- |      |           |  |
|------|-----------|--|
| 4.1  | $b$       | Breite einer Leiterschleife  |
| 4.2  | $C$       | Kapazität  |
| 4.3  | $d_r$     | Abstand eines betrachteten Punkts von der Decke einer geschirmten LPZ 1      |
| 4.4  | $d_w$     | Abstand eines betrachteten Punkts von der Wand einer geschirmten LPZ 1       |
| 4.5  | $d_{lr}$  | mittlerer Abstand einer Leiterschleife von der Decke einer geschirmten LPZ 1 |
| 4.6  | $d_{lw}$  | Abstand einer Leiterschleife von der Wand einer geschirmten LPZ 1            |
| 4.7  | $d_s$     | Sicherheitsabstand vom Schirm gegen zu hohe magnetische Felder               |
| 4.8  | $d_{s/1}$ | Sicherheitsabstand $d_s$ bei nahen Blitzeinschlägen                          |
| 4.9  | $d_{s/2}$ | Sicherheitsabstand $d_s$ bei direkten Blitzeinschlägen                       |
| 4.10 | $dI/dt$   | Stromsteilheit   |
| 4.11 | $E$       | elektrisches Feld des Blitzstroms  |
| 4.12 | $H$       | magnetisches Feld des Blitzstroms  |
| 4.13 | $H_f$     | magnetisches Feld des ersten Teilblitzes                                     |
| 4.14 | $H_n$     | magnetisches Feld in einer inneren LPZ $n$ , $n = 1, 2, \dots$               |
| 4.15 | $H_0$     | magnetisches Feld in LPZ $0_A$ und LPZ $0_B$                                 |
| 4.16 | $H_s$     | magnetisches Feld der Folgeblitze  |
| 4.17 | $I$       | Scheitelwert des Blitzstroms   |
| 4.18 | $I_f$     | Blitzstrom des ersten Teilblitzes in LPZ $0_A$                               |
| 4.19 | $I_n$     | leitungsgebundener Strom in einer inneren LPZ $n$ , $n = 1, 2, \dots$        |

# — Vornorm —

## DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11

4.20	$I_0$	Blitzstrom in LPZ 0 <sub>A</sub>
4.21	$I_s$	Blitzstrom der Folgeblitze in LPZ 0 <sub>A</sub>
4.22	$I_{ES}$	Impulsstrom durch das Erdungssystem
4.23	$I_{LV}$	Impulsstrom durch das Niederspannungssystem
4.24	$I_{SURGE}$	Impulsstrom eingespeist in ein zu prüfendes System
4.25	$I_{sc}$	Kurzschlussstrom
4.26	$k_H$	Geometriefaktor
4.27	$l$	Länge einer Leiterschleife
4.28	$L$	Eigeninduktivität
4.29	$M_L$	Gegeninduktivität (z. B. einer Leiterschleife)
4.30	<b>MOV</b>	<b>Metall Oxid Varistor</b>
4.31	$Q_f$	Gesamtladung aller Teilblitze (Gesamtladung des Blitzes)
4.32	$Q_l$	Ladung des Langzeitstroms
4.33	$Q_s$	Ladung des ersten Stoßstroms
4.34	$r$	Radius
4.35	$R$	Widerstand
4.36	$s_a$	Abstand vom Blitzeinschlagpunkt bzw. Blitzkanal
4.37	$SF$	Schirmungsfaktor in dB, Dämpfungswert einer Schirmung
4.38	$SG$	Funkenstrecke ( <b>S</b> park <b>G</b> ap)
4.39	$T$	Zeitdauer des Langzeitstroms
4.40	$T_1$	Stirnzeit
4.41	$\tau_1$	Stirnzeitkonstante
4.42	$T_2$	Rückenhalbwertzeit
4.43	$\tau_2$	Rückenzeitkonstante
4.44	$T_{p/f}$	Zeit bis zum Scheitelwert des ersten Teilblitzes
4.45	$T_{p/s}$	Zeit bis zum Scheitelwert des Folgeblitzes
4.46	$U_L$	Ladespannung
4.47	$U_n$	leitungsgebundene Spannung in einer inneren LPZ $n$ , $n = 1, 2, \dots$
4.48	$U_{oc}$	Leerlaufspannung
4.49	$U_{REF}$	Referenzspannung eines MOV bei einem Strom von 1 mA
4.50	$U_{SPARK}$	dynamische Überschlagspannung einer Funkenstrecke
4.51	$V_s$	Sicherheitsvolumen innerhalb eines gitterförmigen Schirmes
4.52	$M$	Maschenweite eines gitterförmigen Schirmes

## 5 Schutz von elektrischen und elektronischen Systemen gegen LEMP

### 5.1 Störung von elektrischen und elektronischen Systemen durch LEMP

#### 5.1.1 Störquelle

Die primäre Störquelle ist der elektromagnetische Impuls des Blitzes (LEMP), besonders der Blitzstrom und seines ungedämpften magnetisches Feld, das die gleiche Wellenform hat wie der Blitzstrom.

ANMERKUNG Für Schutzzwecke ist der Einfluss des elektrischen Feldes des Blitzes meist vernachlässigbar.

Der Blitzstrom besteht aus einzelnen Teilblitzen (Bild 1):



- erster Stoßstrom mit positiver oder negativer Polarität;
- Folgestoßströme mit negativer Polarität;
- Langzeitstrom mit positiver oder negativer Polarität.

Die Scheitelwerte der Blitzstromparameter am Blitzeinschlagpunkt für verschiedene Gefährdungspegel zeigt Tabelle 1.

Die Definitionen zeigt Bild 2.

Die Herleitung der festgelegten Scheitelwerte der Blitzstromparameter zeigt Anhang A von DIN V VDE V 0185-1 (VDE V 0185 Teil 1).

Eine Zeitfunktion des Blitzstroms für Analysezwecke ist in Anhang A angegeben. Diese Funktion wird z. B. für die Berechnung der Schirmwirkung, der Stromaufteilung in komplexen Systemen und von Induktionswirkungen gebraucht.

Eine Nachbildung des Blitzstroms für Prüfzwecke ist in Anhang B angegeben.

### 5.1.2 Störsenke

Störsenken sind elektrische und insbesondere empfindliche elektronische Systeme in oder an einer baulichen Anlage, die nur eine begrenzte Festigkeit gegen Impulsströme und gegen magnetische Felder haben.

Geräte außen an einer baulichen Anlage sind durch das ungedämpfte magnetische Feld und, wenn sie an exponierter Stelle angebracht sind, durch direkte Blitzeinschläge gefährdet. Elektronische Systeme innerhalb einer baulichen Anlage sind durch das verbleibende gedämpfte magnetische Feld und durch leitungsgebundene Impulsströme auf elektrischen und Datenleitungen gefährdet.

Die Festigkeit von solchen elektronischen Systemen wird üblicherweise durch Prüfung nach IEC 61000-4 nachgewiesen. Die Festigkeit gegen leitungsgebundene Impulsströme wird durch Prüfung nach IEC 61000-4-5 nachgewiesen (Prüfspannung: (0,5–1–2–4) kV bei einer 1,2/50-Wellenform bzw. Prüfstrom: (0,25–0,5–1–2) kA bei einer 8/20-Wellenform). Die Festigkeit gegen magnetisches Feld wird durch Prüfung nach IEC 61000-4-9 (Prüfpegel: (100–300–1 000) A/m bei einer 8/20-Wellenform) und IEC 61000-4-10 (Prüfpegel: (10–30–100) A/m bei 1 MHz) nachgewiesen.

### 5.1.3 Kopplungsmechanismus zwischen Störsenke und Störquelle

Die Störsenke mit der ihr eigenen Störfestigkeit muss mit der Störquelle kompatibel gemacht werden. Dafür muss der Kopplungsmechanismus geeignet beeinflusst werden. Dies wird durch die Anwendung von einzeln koordinierten Blitzschutzzonen (LPZ) erreicht.

**Anhang C** erklärt den Kopplungsmechanismus und zeigt, dass die Kopplung beeinflusst wird durch

- Erdung;
- Potentialausgleich;
- Schirmung;
- Leitungsführung und -schirmung von metallenen Leitern.

## 5.2 Blitzschutzzonen

Der zu schützende Raum muss in Blitzschutzzonen (LPZ) eingeteilt werden, um Bereiche unterschiedlicher LEMP-Bedrohungswerte mit der Festigkeit des elektronischen Systems kompatibel zu machen, und um Orte für den Potentialausgleich an den Zonengrenzen festzulegen. Zonen sind durch bedeutende Änderungen der LEMP-Bedrohungswerte an ihren Grenzen gekennzeichnet.

Diese Vorgehensweise bietet ein sehr flexibles Konzept für den Schutz von elektronischen Systemen gegen LEMP. Abhängig von Zahl, Art und Empfindlichkeit der elektronischen Geräte, können geeignete LPZ

## DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11

definiert werden, von kleinen lokalen Zonen (bis herab zum Gehäuse eines einzelnen elektronischen Geräts) bis zu großen integralen Zonen (die das gesamte Gebäudevolumen umfassen können).

### 5.2.1 Definitionen von Zonen

Abhängig von der Art der Blitzbedrohung sind folgende Blitzschutzzonen definiert:

#### Äußere Zonen

LPZ 0 ist eine Zone, die durch das ungedämpfte elektrische und magnetische Feld des Blitzes und durch Impulsströme bis zum vollen oder anteiligen Blitzstrom gefährdet ist.

LPZ 0<sub>A</sub> Gefährdet durch direkte Blitzeinschläge, durch Impulsströme bis zum vollen Blitzstrom und durch das volle Feld des Blitzes.

LPZ 0<sub>B</sub> Geschützt gegen direkten Blitzeinschlag. Gefährdet durch Impulsströme bis zu anteiligen Blitzströmen und durch das volle Feld des Blitzes.

LPZ 0<sub>C</sub> Gefahr von Berührungs- und Schrittspannungen für Lebewesen. Definiert auf Erdniveau innerhalb einer Höhe von 3 m und einem Abstand von 3 m außerhalb einer baulichen Anlage (siehe DIN V VDE V 0185-3 (VDE V 0185 Teil 3).

#### Innere Zonen (Geschützt gegen direkte Blitzeinschläge)

LPZ 1 Impulsströme begrenzt durch Stromaufteilung und durch SPDs an den Zonengrenzen. Das Feld des Blitzes kann durch räumliche Schirmung gedämpft sein.

LPZ 2 ... n Impulsströme weiter begrenzt durch Stromaufteilung und durch SPDs an den Zonengrenzen. Das Feld des Blitzes ist meistens durch räumliche Schirmung gedämpft.

Die Anforderungen für die inneren Zonen müssen entsprechend der Festigkeit der zu schützenden elektrischen und elektronischen Systeme definiert werden.

An der Grenze jeder inneren Zone muss der Potentialausgleich für alle eintretenden metallenen Teile und Versorgungsleitungen durchgeführt werden (direkt oder durch geeignete SPDs) und kann eine räumliche Schirmung installiert werden.

Das Prinzip für die Einteilung in verschiedene LPZ zeigt Bild 3.

Bild 4 zeigt ein Beispiel für die Einteilung einer baulichen Anlage in innere LPZ. Alle metallenen Versorgungsleitungen, die in die bauliche Anlage eintreten, werden an Potentialausgleichsschienen an der Grenze von LPZ 1 angeschlossen. Zusätzlich werden alle metallenen Versorgungsleitungen, die in die LPZ 2 (z. B. Computer Raum) eintreten, an Potentialausgleichsschienen an der Grenze von LPZ 2 angeschlossen. Außerdem muss Schirm 2 mit Schirm 1 verbunden werden. In diesem Beispiel übernimmt Schirm 1 auch die Aufgabe der Fangeinrichtung, der Ableitungen und der Erdungsanlage.

### 5.2.2 Verbindung mehrerer LPZ

Die Verbindung von LPZ der gleichen Art kann nötig sein, wenn zwei getrennte bauliche Anlagen durch elektrische oder Datenleitungen verbunden sind oder sie kann verwendet werden, um die benötigte Zahl von SPDs zu reduzieren.

Bild 5a zeigt zwei LPZ 1, die durch elektrische oder Datenleitungen verbunden sind. Besondere Sorgfalt ist zu beachten, wenn beide LPZ 1 getrennte bauliche Anlagen mit getrennten Erdungssystemen darstellen, die einige zehn oder hundert Meter voneinander entfernt sind. In diesem Fall kann ein großer Anteil des Blitzstroms über die ungeschützten Verbindungsleitungen fließen.

Bild 5b zeigt, dass dieses Problem durch die Verwendung von geschirmten Kabeln oder geschirmten Kabelkanälen zur Verbindung von beiden LPZ 1 gelöst werden kann, vorausgesetzt die Schirme können den anteiligen Blitzstrom führen. Die SPDs können entfallen, wenn der Spannungsfall längs dem Schirm nicht zu groß ist.

Bild 5c zeigt zwei LPZ 2, die durch elektrische oder Datenleitungen verbunden sind. Weil die Leitungen dem Bedrohungspegel von LPZ 1 ausgesetzt sind, sind SPDs an der Eintrittsstelle in jede LPZ 2 nötig.

Bild 5d zeigt, dass solche Störungen vermieden und die SPDs weggelassen werden können, wenn geschirmte Kabel oder geschirmte Kabelkanäle zur Verbindung von beiden LPZ 2 verwendet werden.

### **5.2.3 Ausstülpung einer LPZ**

Die Ausstülpung einer LPZ in den Bereich einer anderen LPZ kann in speziellen Fällen nötig werden oder kann dazu verwendet werden, die benötigte Zahl von SPDs zu reduzieren.

Bild 6a zeigt eine bauliche Anlage gespeist von einem Transformator. Wenn der Transformator außerhalb der baulichen Anlage steht, müssen nur die Niederspannungsleitungen, die in die bauliche Anlage eintreten, durch SPDs geschützt werden. Wenn aber der Transformator innerhalb der baulichen Anlage stehen soll, ist es dem Eigentümer des Gebäudes oft nicht erlaubt, Schutzmaßnahmen an der Hochspannungsseite zu installieren.

Bild 6b zeigt, dass dieses Problem durch Ausstülpung von LPZ 0 in den Bereich von LPZ 1 gelöst werden kann. Dann sind wieder nur SPDs an der Niederspannungsseite nötig.

Bild 6c zeigt eine LPZ 2, die von einer elektrischen oder einer Datenleitung gespeist wird. Diese Leitung muss mit zwei koordinierten SPDs beschaltet werden: eines an der Grenze zu LPZ 1, das andere an der Grenze zu LPZ 2.

Bild 6d zeigt, dass diese Leitung unmittelbar in LPZ 2 eintreten kann und nur mit einem SPD beschaltet werden muss, wenn LPZ 2 in den Bereich von LPZ 1 ausgestülpt wird durch Verwendung von geschirmten Kabeln oder geschirmten Kabelkanälen. Allerdings muss dieses SPD die Bedrohungswerte unmittelbar auf den Gefährdungspegel von LPZ 2 reduzieren.

## **5.3 Übersicht über mögliche Schutzmaßnahmen gegen LEMP**

### **5.3.1 Erdungsmaßnahmen**

Erdungsmaßnahmen sollen den Blitzstrom auffangen, ableiten und in die Erde verteilen. Dazu kann der Äußere Blitzschutz nach DIN V VDE V 0185-3 (VDE V 0185 Teil 3) oder ein räumlicher Schirm der LPZ 1 nach DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4), der mit der Erdungsanlage verbunden ist und die Funktion des Äußeren Blitzschutzes erfüllen kann, verwendet werden.

### **5.3.2 Potentialausgleichsmaßnahmen**

Potentialausgleichsmaßnahmen sollen Potentialdifferenzen zwischen leitfähigen Teilen der baulichen Anlage oder des elektronischen Systems minimieren. Das kann durch ein Potentialausgleich-Netzwerk und durch den Potentialausgleich für alle metallenen Teile oder leitfähigen Versorgungsleitungen an jeder LPZ-Grenze direkt oder durch geeignete SPDs geschehen.

### **5.3.3 Räumliche Schirmung**

Die Räumliche Schirmung soll das von direkten oder nahen Blitzeinschlägen hervorgerufene magnetische Feld innerhalb einer LPZ und damit auch Spannungen und Ströme, die in dem elektrischen oder elektronischen System induziert werden, reduzieren.

### **5.3.4 Leitungsführung und -schirmung**

Leitungsführung und -schirmung sollen Spannungen und Ströme, die in dem elektrischen oder elektronischen System induziert werden, reduzieren. Der Induktionseffekt hängt von der magnetischen Feldstärke und von der Fläche der betreffenden Leiterschleife ab. Das magnetische Feld kann durch räumliche Schirmung (siehe oben) oder durch Leitungsschirmung (Verwendung von geschirmten Kabeln oder Kabelkanälen) reduziert werden. Die Fläche der Leiterschleife kann durch eng benachbarte Führung von elektrischen und Datenleitungen minimiert werden.

## DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11

ANMERKUNG Um induzierte Spannungen und Ströme zu minimieren können räumliche Schirmung und Leitungsführung und -schirmung getrennt oder kombiniert eingesetzt werden.

## 6 Planung und Installation von LEMP-Schutz

### 6.1 Allgemeines

Für neue bauliche Anlagen kann der optimale Schutz für elektronische Systeme mit einem Minimum an Kosten nur erreicht werden, wenn das elektronische System gemeinsam mit dem Gebäude und vor dessen Errichtung geplant wird. Auf diese Weise kann die Nutzung natürlicher Komponenten des Gebäudes optimiert und die beste Alternative für Leitungsführung und -schirmung und für die Positionierung der Geräte gefunden werden.

Für bestehende bauliche Anlagen sind die Kosten für den LEMP-Schutz im Allgemeinen höher als bei neuen baulichen Anlagen. Die Kosten können aber optimiert werden, indem die LPZ geeignet gewählt und bestehende Installationen genutzt oder aufgerüstet werden.

Die Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen wird durch eine erste Risikoanalyse nach DIN V VDE V 0185-2 (VDE V 0185 Teil 2) ermittelt. Dabei gibt es vier Möglichkeiten für notwendige Schutzmaßnahmen:

- keine weiteren Schutzmaßnahmen;
- Schutzmaßnahmen nur für eintretende Leitungen;
- LPS nach VDE DIN V VDE V 0185-3 (VDE V 0185 Teil 3) einschließlich von Schutzmaßnahmen für eintretende Leitungen;
- LEMP-Schutz nach dieser Norm DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4).

Der optimale LEMP-Schutz kann nur erreicht werden, wenn

- die Maßnahmen von einem Blitzschutz-Fachkraft mit fundierter Kenntnis der EMV geplant werden,
- zwischen den Experten für den Bau und für den LEMP-Schutz (z. B. zwischen den Bau- und den Elektro-Ingenieuren) beste Koordination besteht,
- dem Managementplan nach Anhang D gefolgt wird.

Der durch diese Maßnahmen erreichte LEMP-Schutz soll durch Prüfung und Wartung aufrechterhalten bleiben. Nach wesentlichen Änderungen an der baulichen Anlage oder an den Schutzmaßnahmen muss eine erneute Risikoanalyse durchgeführt werden.

### 6.2 LEMP-Schutz-Management

Planung und Koordination von LEMP-Schutzmaßnahmen erfordern einen Managementplan (Anhang D). Dieser Plan beginnt mit einer ersten Risikoanalyse nach DIN V VDE V 0185-2 (VDE V 0185 Teil 2) zur Bestimmung der Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen.

Danach müssen folgende Maßnahmen getroffen werden:

- Ein **Gefährdungspegel (I bis IV)** muss festgelegt werden, um die Blitzstromparameter, das damit verbundene magnetische Feld und den zugehörigen Blitzkugelradius zu definieren (Tabelle 1 und 2). Im Allgemeinen ist für den LEMP-Schutz der Gefährdungspegel II ausreichend; im Fall von ausgedehnten und empfindlichen elektronischen Systemen sollte der Gefährdungspegel I gewählt werden.
- Die **Blitzschutzzonen** sind zu definieren, indem die äußeren Zonen LPZ  $0_A$ ,  $0_B$  und  $0_C$  festgelegt werden und indem die zu schützende bauliche Anlage in innere LPZ unterteilt wird (siehe 5.2).
- Ein **Erdungssystem**, bestehend aus einem Potentialausgleich-Netzwerk und einer Erdungsanlage, muss geplant werden (siehe Abschnitt 8).
- **Eintretende Versorgungsleitungen** müssen an den Grenzen der LPZ direkt oder durch geeignete SPDs an den Potentialausgleich angeschlossen werden (siehe Abschnitt 9).
- Das **elektronische System** muss in das Potentialausgleich-Netzwerk integriert werden (siehe Abschnitt 10).

- **Räumliche Schirmung** der LPZ in Kombination mit **Leitungsführung und -schirmung** soll eingeplant werden (siehe Abschnitt 11).
- Anforderungen an SPDs und ihre Koordinierung ist zu beachten (siehe Abschnitt 12).
- Für **bestehende bauliche Anlagen** müssen besondere Maßnahmen vorgesehen werden (siehe Abschnitt 13).

Die Kosten-Nutzen-Relation für die gewählten Schutzmaßnahmen sollte mit Hilfe der Risikoanalyse optimiert werden. Die abschließende Risikoanalyse muss nachweisen, dass das verbleibende Risiko kleiner als das akzeptierbare Risiko ist.

## **7 Prüfung und Wartung des LEMP-Schutzes**

### **7.1 Prüfung**

#### **7.1.1 Allgemeines**

Die Prüfung muss von einer Blitzschutz-Fachkraft durchgeführt werden. Die Prüfung umfasst die Prüfung der technischen Dokumentation, Sichtprüfungen und Messungen.

Ziel der Prüfung ist es, sicherzustellen, dass

- der LEMP-Schutz mit den Plänen übereinstimmt,
- alle Komponenten des LEMP-Schutzes ihre geplanten Funktionen erfüllen können,
- jede neu hinzugefügte Komponente oder jedes Teil, das den LEMP-Schutz beeinflussen kann, sachgerecht in den Schutz einbezogen ist.

Prüfungen sollen durchgeführt werden:

- während der Installation des LEMP-Schutzes;
- nach der Installation des LEMP-Schutzes;
- periodisch;
- nach jeder Änderung von Komponenten, die für den LEMP-Schutz relevant sind;
- gegebenenfalls nach einem Blitzeinschlag in die bauliche Anlage (z. B. nach dem Ansprechen eines Blitzzählers).

Die Häufigkeit der periodischen Prüfungen muss festgelegt werden unter Berücksichtigung

- des Gefährdungspegels,
- der lokalen Umgebungsbedingungen, wie korrosiver Boden und Atmosphäre,
- der Art der individuellen LEMP-Schutz Komponenten,
- des Wertes des akzeptierten Risikos.

#### **7.1.2 Durchführung der Prüfung**

##### **7.1.2.1 Prüfung der technischen Dokumentation**

Nach der Installation eines neuen LEMP-Schutzsystems muss die technische Dokumentation auf Übereinstimmung mit den relevanten Normen und mit dem LEMP-Schutz-Konzept und auf Vollständigkeit geprüft werden. Später muss die technische Dokumentation kontinuierlich auf dem neuesten Stand gehalten werden, z. B. nach jeder Änderung oder Ausweitung des LEMP-Schutzsystems.

##### **7.1.2.2 Sichtprüfung**

Die Sichtprüfung soll sicherstellen, dass

- alle Schutzeinrichtungen eingebaut und angeschlossen sind,

# — Vornorm —

## DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11

- alle Potentialausgleichsleitungen und Kabelschirme unbeschädigt und angeschlossen sind,
- es keine lockeren Verbindungen oder Unterbrechungen an Leitungen und Klemmen gibt,
- kein Teil des Systems, insbesondere auf Erdniveau, durch Korrosion beschädigt ist,
- keine Erweiterungen oder Änderungen vorgenommen wurden, die zusätzliche Schutzmaßnahmen erfordern,
- es keine Anzeichen für Schäden an SPDs und deren Sicherungen gibt,
- die Leitungsführung erhalten geblieben ist,
- die Sicherheitsabstände zu den Raumschirmungen eingehalten sind.

### 7.1.2.3 Messungen

An den Teilen, die einer Sichtprüfung nicht zugänglich sind, müssen die Prüfungen durch Durchgangsmessungen vervollständigt werden.

### 7.1.3 Dokumentation der Prüfung

Zur Erleichterung der Prüfung sollte eine Prüfprotokoll vorbereitet sein. Das Prüfprotokoll sollte ausreichend Information enthalten, um den Prüfer so durch seine Aufgabe zu leiten, dass er die Prüfergebnisse an der Installation und an den Komponenten, die Prüfverfahren und die aufgezeichneten Messwerte dokumentieren kann.

Der Prüfer muss einen Prüfbericht erstellen, der der technischen Dokumentation und den vorhergehenden Prüfberichten hinzugefügt werden muss.

Der Prüfbericht muss mindestens folgende Informationen enthalten:

- den allgemeinen Zustand des LEMP-Schutzsystems;
- jede Abweichung von der technischen Dokumentation;
- die Ergebnisse der durchgeführten Messungen.

## 7.2 Wartung

Nach einer Prüfung müssen alle festgestellten Mängel unverzüglich beseitigt werden. Wenn nötig, muss die technische Dokumentation auf den neuesten Stand gebracht werden.

## 8 Erdungssystem

Das Erdungssystem besteht aus

- der Erdungsanlage (in Kontakt mit der Erde), und
- dem Potentialausgleich-Netzwerk (nicht in Kontakt mit der Erde).

ANMERKUNG Bezeichnungen für Erdung und Potentialausgleich siehe Anhang E.

### 8.1 Erdungsanlage

Die Hauptaufgabe der Erdungsanlage ist es, einen größtmöglichen Anteil des Blitzstroms in die Erde abzuleiten, ohne gefährliche Potentialdifferenzen in der Erdungsanlage entstehen zu lassen. Dies wird durch ein vermaschtes Netzwerk mit einer typischen Maschenweite von 5 m unterhalb und um die bauliche Anlage herum erreicht.

Ein Ringerder um die bauliche Anlage herum oder im Betonfundament muss mit der Erdungsanlage typisch alle 5 m verbunden werden.

Die Betonarmierung im Boden des Fundaments muss ein definiert durchverbundenes Gitter bilden, das typisch alle 5 m mit der Erdungsanlage zu verbinden ist. Zusätzlich kann ein überlagertes Gitter (z. B. aus

verzinktem Stahl, Kupfer, Stahl oder Edelstahl) mit einer typischen Maschenweite von 5 m installiert werden, das mit den Armierungsstäben typisch jeden Meter zu verklemmen oder zu verschweißen ist. Die Enden des überlagerten Gitters können als Erdungsleiter zum Anschluss von Potentialausgleichsschienen dienen.

Wenn bauliche Anlagen durch Kabel miteinander verbunden sind, müssen ihre Erdungsanlagen über viele parallele Pfade miteinander verbunden werden. Die Wirkungen des Blitzstroms werden vermindert, wenn die Kabel in durchverbundenen metallenen Kabelkanälen oder gitterförmig armierten Betonkanälen geführt werden, die in die vermaschte Erdungsanlage integriert sind.

Ein Beispiel für eine vermaschte Erdungsanlage eines Fabrikgeländes zeigt Bild 7.

## 8.2 Potentialausgleich-Netzwerk

Die Hauptaufgabe des Potentialausgleich-Netzwerks ist es, in den inneren LPZ gefährliche Potentialdifferenzen zwischen allen Geräten zu vermeiden und das magnetische Feld zu reduzieren.

Das erforderliche niederinduktive Potentialausgleich-Netzwerk wird durch die vielfache Verbindung aller metallenen Komponenten innerhalb und außerhalb der baulichen Anlage erreicht. Es entsteht so ein dreidimensionales, vermaschtes Potentialausgleich-Netzwerk mit einer typischen Maschenweite von 5 m.

Außerdem vermindert das Potentialausgleich-Netzwerk das magnetische Feld innerhalb eines räumlichen Schirmes, weil es eine große Anzahl von Leiterschleifen mit typischen Maschenweiten von 5 m bildet. Dadurch wird das magnetische Feld innerhalb einer LPZ typisch um einen Faktor 2 (entsprechend 6 dB) weiter vermindert (siehe 11.2 und Tabelle 5).

Die Mindestabmessungen für Verbindungsleiter zeigt Tabelle 3.

Alle metallenen Komponenten in und an der baulichen Anlage müssen miteinander durch Potentialausgleichsleiter zu einem Potentialausgleich-Netzwerk mit einer typischen Maschenweite von 5 m verbunden werden. Alle leitfähigen Teile signifikanter Größe (wie elektromagnetische Schirme der LPZ, Betonarmierung, Aufzugschienen, Krane, metallene Böden, metallene Bodenrahmen, Versorgungsleitungen, Kabeltrassen) müssen einbezogen werden.

Der Schutzleiter PE der elektrischen Installation muss in das Potentialausgleich-Netzwerk nach der Maschen- oder Sternpunkt-Anordnung integriert werden (siehe Abschnitt 10).

Die elektromagnetischen Schirme der LPZ an der Außenseite und im Inneren der baulichen Anlage müssen in das Potentialausgleich-Netzwerk typisch alle 5 m durch Potentialausgleichsleiter eingebunden werden. Diese Schirme werden zusätzlich zur Betonarmierung installiert und umfassen z. B. metallene Dächer, metallene Fassaden und metallene Rahmen von Fenstern und Türen (Beispiele siehe Bild 8 und 9).

Das magnetische Feld innerhalb der baulichen Anlage wird über einen weiten Frequenzbereich vermindert durch die Reduktionsschleifen, die durch das Potentialausgleich-Netzwerk mit typischen Maschenweiten von 5 m gebildet werden.

Potentialausgleichsschienen sind zu installieren, damit Schränke, Gehäuse und Gestelle von elektronischen Systemen in das Potentialausgleich-Netzwerk integriert und Versorgungsleitungen, elektrische und Datenleitungen an den Grenzen der LPZ an den Potentialausgleich angeschlossen werden können. Alle Potentialausgleichsschienen müssen mit dem Potentialausgleich-Netzwerk auf kürzestmöglichem Weg (durch Erdungsleiter typisch nicht länger als 1 m) verbunden werden.

Ring-Potentialausgleichsschienen müssen typisch alle 5 m mit dem Potentialausgleich-Netzwerk durch Erdungsleiter verbunden werden.

Elektronische Systeme müssen nach der Maschen- oder Sternpunkt-Anordnung in den Potentialausgleich einbezogen werden (siehe Abschnitt 10).

Das Potentialausgleich-Netzwerk muss mit der Erdungsanlage typisch alle 5 m verbunden werden und vervollständigt so das Erdungssystem.

### 8.3 Kombination der Erdungsanlage und des Potentialausgleich-Netzwerks

Die Kombination von Erdungsanlage und Potentialausgleich-Netzwerk ergibt das Erdungssystem. Die Hauptaufgabe des Erdungssystems ist es, die Potentialdifferenzen zwischen zwei beliebigen Punkten von Installation oder Geräten so klein wie möglich zu halten. Dies wird durch vielfache und parallele Pfade für leitungsgeführte Blitzströme und induzierte Ströme erreicht. Durch die Vielzahl von Pfaden mit frequenzabhängigen Impedanzen ergibt sich ein System niedriger Impedanz für den hier zu betrachtenden Frequenzbereich.

Ein Beispiel für ein vermaschtes Erdungssystem zeigt Bild 10.

### 8.4 Werkstoffe

Die für den LEMP-Schutz eingesetzten Werkstoffe müssen den Wirkungen der Blitzströme ohne Beschädigung standhalten.

- Bei der Auswahl von Werkstoff und Abmessungen müssen auch Korrosionsprobleme berücksichtigt werden (siehe DIN V VDE V 0185-3 (VDE V 0185 Teil 3)).
- Werkstoffe für LPS und ihre Einsatzbedingungen sind in DIN V VDE V 0185-3 (VDE V 0185 Teil 3) angegeben. Andere Werkstoffe können verwendet werden, wenn sie gleichwertige mechanische, elektrische und chemische (Korrosion) Eigenschaften haben.
- Abmessungen und Werkstoffe für LPS-Leitungen, einschließlich von Fangeinrichtungen, Ableitungen und Erden sind in DIN V VDE V 0185-3 (VDE V 0185 Teil 3) spezifiziert.
- Die Mindestdicke von metallenen Blechen oder Rohren und Behältern, die als natürliche Komponenten von Fangeinrichtungen verwendet werden, müssen DIN V VDE V 0185-3 (VDE V 0185 Teil 3) entsprechen.
- Mindestabmessungen für Potentialausgleichsleiter sind in den Tabellen 3 und 4 spezifiziert.
- Der Mindestquerschnitt für Potentialausgleichsschienen aus Kupfer oder galvanisiertem Stahl muss  $50 \text{ mm}^2$  betragen.
- Klemmen und SPDs für den Potentialausgleich an der Grenze zwischen LPZ  $0_A$  und LPZ 1 müssen für Ströme ausgelegt werden, die den Werten von Tabelle 1 (abhängig vom Gefährdungspegel) und der Stromaufteilungsanalyse (siehe Beispiel in 9.2) entsprechen. Dies gilt auch für Leitungen, die aus LPZ  $0_A$  kommend LPZ  $0_B$  durchqueren und erst am Eintritt in LPZ 1 beschaltet werden.
- Für den Potentialausgleich an den Grenzen anderer LPZ müssen die Belastungswerte, aus denen die mechanischen Abmessungen abgeleitet werden können, individuell bestimmt werden.
- Wenn an beiden Enden geerdete Kabelschirme als Schutzmaßnahme an eintretenden Leitungen verwendet werden, darf der maximale Widerstand des Schirmes einige zehn  $\text{m}\Omega/\text{m}$  nicht überschreiten.

## 9 Potentialausgleich an der Grenze von LPZ

Der Potentialausgleich für alle metallenen Teile und Versorgungsleitungen (z. B. metallene Rohre, elektrische Energie- oder Datenleitungen), die an der Grenze einer inneren LPZ eintreten, muss an Potentialausgleichsschienen erfolgen, die so nahe als möglich am Eintrittspunkt installiert sind.

Es wird empfohlen, alle eintretenden Leitungen an derselben Stelle und an derselben Potentialausgleichsschiene anzuschließen. Wenn Leitungen an verschiedenen Stellen eintreten, wird eine Ring-Potentialausgleichsschiene empfohlen. Wenn mehrere Potentialausgleichsschienen notwendig sind, müssen sie untereinander so dicht wie möglich über das Potentialausgleich-Netzwerk verbunden werden. Eine Ring-Potentialausgleichsschiene muss mindestens alle 5 m mit dem Potentialausgleich-Netzwerk verbunden werden.

Die Installation von SPD mit geeigneter Energietragfähigkeit für elektrische oder Datenleitungen an der Eintrittsstelle in die LPZ ist immer notwendig. Die Anzahl der benötigten SPDs kann durch Anwendung von miteinander verbundenen oder ausgestülpten LPZ reduziert werden. Geschirmte Kabel oder durchverbundene metallene Kabelkanäle können verwendet werden, um mehrere LPZ der gleichen Ordnung zu einer einzigen LPZ zu verbinden oder um eine LPZ bis zur nächsten Grenze auszustülpen.



Die SPDs an den Grenzen verschiedener LPZ müssen untereinander und mit den zu schützenden Geräten bezüglich ihrer Festigkeit nach Abschnitt 12 und nach IEC 61643-12 koordiniert werden.

### 9.1 Potentialausgleichsmaßnahmen

Der Potentialausgleich an den Potentialausgleichsschienen über Potentialausgleichsleiter erfolgt direkt oder durch SPDs (siehe Bild 11). Für einen wirksamen Potentialausgleich sind folgende Installationsregeln wichtig:

- Die Basis für alle Potentialausgleichsmaßnahmen ist ein niederinduktives Potentialausgleich-Netzwerk.
- Potentialausgleichsschienen sollen an dieses Potentialausgleich-Netzwerk mit minimaler Induktivität über kürzestmögliche Leitungen angeschlossen werden.
- Die Mindestabmessungen der Leiter entsprechend der Tabellen 3 und 4.
- SPDs sollen über kürzestmögliche Leitungen an die Potentialausgleichsschiene und ebenso an den zu schützenden Phasenleiter angeschlossen werden um den induktiven Spannungsfall zu minimieren.
- Der induktive Spannungsfall an den Zuleitungen von SPDs kann auch minimiert werden, wenn SPDs mit getrennten Ein- und Ausgangsklemmen verwendet werden (V-Verdrahtung).
- Auf der geschützten Seite des Schaltkreises hinter einem SPD sollen Gegeninduktionswirkungen minimiert werden, indem die Flächen der Leiterschleifen klein gehalten oder indem geschirmte Kabel oder Kabelkanäle verwendet werden.

Die letzten beiden Punkte verdeutlicht Bild 12: Die Impulsspannung  $U$  zwischen dem Phasenleiter und der Potentialausgleichsschiene ist höher als die Begrenzungsspannung  $U_{SPD}$  des SPDs, infolge des induktiven Spannungsfalls am Potentialausgleichsleiter (auch wenn die Scheitelwerte von  $U_{SPD}$  und  $U_L$  nicht notwendig zeitgleich auftreten). Außerdem induziert der durch das SPD fließende anteilige Blitzstrom eine zusätzliche Spannung in der Leiterschleife auf der geschützten Seite des Schaltkreises hinter dem SPD. Deshalb kann die maximale Spannung, die die Geräte gefährdet, deutlich höher sein als die Begrenzungsspannung des SPDs.

### 9.2 Aufteilung des Blitzstroms

Durch den Potentialausgleich entstehen viele parallele Pfade für den Blitzstrom. Der Blitzstromanteil an einem Potentialausgleichspunkt kann wie folgt ermittelt werden:

Wenn eine individuelle Berechnung nicht möglich ist, kann nach Bild 13 angenommen werden, dass ein Anteil  $I_E$  von 50 % des gesamten Blitzstroms  $I$  in die Erdungsanlage der baulichen Anlage fließt. Der verbleibende Anteil  $I_S$  von 50 % verteilt sich auf die metallenen Teile und Versorgungsleitungen, die in die bauliche Anlage eintreten. Der Wert des Stroms in jedem einzelnen metallenen Teil und in jeder einzelnen Versorgungsleitung ergibt sich zu  $I_1 = I_S/n$ , wenn  $n$  die gesamte Anzahl der metallenen Teile und Versorgungsleitungen ist. Für den Strom in einem Einzelleiter einer Leitung ergibt sich  $I_C = I_1/m$ , wenn  $m$  die Anzahl der Einzelleiter einer Leitung ist. Bei geschirmten Leitungen fließt der Strom über den Schirm.

Bei einem Wohnhaus darf die Telefonleitung bei der Berechnung von  $n$  vernachlässigt werden, weil sie nur einen geringen Einfluss auf den Strom hat, der in den übrigen metallenen Teilen und Versorgungsleitungen fließt. Trotzdem muss die Telefonleitung an den Potentialausgleich angeschlossen werden, wobei ein Nominalwert von 5 % des Blitzstroms angenommen werden muss.

### 9.3 Potentialausgleich an der Grenze von LPZ 1

Es ist wichtig, dass die Art des Potentialausgleichs an eintretenden Versorgungsleitungen mit dem betroffenen Netzbetreiber (Energieversorger oder Telekommunikationsanbieter) abgesprochen wird, weil sich widersprechende Anforderungen auftreten können.

SPDs und Klemmen, die für den Potentialausgleich an der Grenze zwischen LPZ 0<sub>A</sub> und LPZ 1 verwendet werden, müssen für Ströme nach Tabelle 1 spezifiziert sein, wobei die Stromaufteilung zu berücksichtigen ist. Für SPDs und Klemmen, die für den Potentialausgleich an der Grenze zwischen LPZ 0<sub>B</sub> und LPZ 1 verwendet werden, müssen die Ströme individuell ermittelt werden. Einzelheiten für die Anforderungen an SPDs müssen mit Abschnitt 12 übereinstimmen.

## 9.4 Potentialausgleich an den Grenzen von LPZ 2 und höher

Die Prinzipien für den Potentialausgleich an der Grenze von LPZ 1 sind auch an den Grenzen von LPZ 2 und höher anwendbar. Alle metallenen Teile und Versorgungsleitungen, die an der Grenze eintreten, müssen unmittelbar an der Grenze über lokale Potentialausgleichsschienen an den Potentialausgleich angeschlossen werden.

SPDs, die an den Grenzen von LPZ 2 und höher verwendet werden, müssen koordiniert werden mit Bezug auf die SPDs an der Grenze von LPZ 1 und ebenso mit Bezug auf die Festigkeit der zu schützenden Geräte gegen leitungsgebundene Impulsströme. Einzelheiten für die Anforderungen an SPDs müssen mit Abschnitt 12 übereinstimmen.

## 10 Integration elektronischer Systeme in das Potentialausgleich-Netzwerk

Leitfähige Teile des elektronischen Systems, wie Schränke, Gehäuse und Gestelle müssen in das Potentialausgleich-Netzwerk einbezogen werden. Dafür gibt es zwei grundsätzliche Anordnungen (Bild 14):

- Sternpunkt-Anordnung S oder
- Maschen-Anordnung M.

Wenn die Sternpunkt-Anordnung S verwendet wird, müssen alle metallenen Komponenten des elektronischen Systems gegen das Potentialausgleich-Netzwerk geeignet isoliert sein. Im Allgemeinen wird die Sternpunkt-Anordnung S für kleine, lokal begrenzte Systeme verwendet, wo alle Versorgungsleitungen und Kabel an einer einzigen Stelle in das elektronische System eintreten. Die Sternpunkt-Anordnung S darf an das Potentialausgleich-Netzwerk nur an einem einzigen Erdungsbezugspunkt (ERP) angeschlossen werden, wodurch sich die Anordnung  $S_s$  ergibt. In diesem Fall müssen auch alle Leitungen zwischen den individuellen Geräten parallel zu der Sternpunkt-Anordnung der Potentialausgleichsleitungen verlaufen, um Induktionsschleifen zu vermeiden.

Wenn die Maschen-Anordnung M verwendet wird, müssen die metallenen Komponenten des elektronischen Systems nicht gegen das Potentialausgleich-Netzwerk isoliert sein, sondern müssen in das Potentialausgleich-Netzwerk an vielfachen Potentialausgleichspunkten integriert werden, wodurch sich die Anordnung  $M_m$  ergibt. Die Anordnung  $M_m$  wird im Allgemeinen für ausgedehnte und offene Systeme verwendet, wo es viele Leitungen zwischen den einzelnen Geräten gibt und wo die Leitungen an mehreren Stellen in das elektronische System eintreten. Dadurch wird auch für hohe Frequenzen ein niederinduktives Netzwerk erreicht. Außerdem wirken die vielfachen Kurzschlusschleifen der  $M_m$ -Anordnung als Reduktionsschleifen, die das ursprüngliche magnetische Feld im Bereich des elektronischen Systems reduzieren.

Bild 15 zeigt, wie in komplexen Systemen die Vorteile beider Anordnungen kombiniert werden können, wodurch sich Kombination 1 ( $S_s$  kombiniert mit  $M_m$ ) oder Kombination 2 ( $M_s$  kombiniert mit  $M_m$ ) ergibt.

## 11 Räumliche Schirmung in Kombination mit Leitungsführung und -schirmung

Das magnetische Feld, das von direkten oder nahen Blitzeinschlägen innerhalb einer LPZ erzeugt wird, kann nur durch räumliche Schirmung der LPZ reduziert werden. Andererseits können Spannungen und Ströme, die in dem elektrischen oder elektronischen System induziert werden, durch räumliche Schirmung, durch Leitungsführung und -schirmung oder durch Kombination beider Maßnahmen reduziert werden.

### 11.1 Elektromagnetische Verträglichkeit in einer baulichen Anlage bei Blitzschlag

Bild 16 gibt ein Beispiel für die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) in einer baulichen Anlage mit den Blitzschutzonen LPZ 0, LPZ 1 und LPZ 2. Das elektronische System ist innerhalb von LPZ 2 installiert.

Die primäre elektromagnetische Störquelle für das elektronische System ist der Blitzstrom  $I_0$  mit seinem magnetischen Feld  $H_0$ . Auf den eintretenden Versorgungsleitungen fließt ein anteiliger Blitzstrom. Die Ströme und das magnetische Feld haben die gleiche Wellenform. Der hier betrachtete Blitzstrom besteht aus einem ersten Teilblitz (10/350-Wellenform) und aus Folgeblitzen (0,25/100-Wellenform). Der Strom des ersten Teilblitzes erzeugt das magnetische Feld  $H_t$ , der des Folgeblitzes das magnetische Feld  $H_s$ .

Die magnetischen Induktionswirkungen sind im Wesentlichen durch den Anstieg des magnetischen Feldes bis zum Scheitelwert bestimmt. Wie in Bild 17 gezeigt, kann der Anstieg von  $H_f$  durch ein gedämpft schwingendes Feld von 25 kHz mit dem Scheitelwert  $H_{f/\max}$  und der Zeit bis zum Scheitelwert  $T_{p/f}$  von 10  $\mu\text{s}$  charakterisiert werden. Auf gleiche Weise kann der Anstieg von  $H_s$  durch ein gedämpft schwingendes Feld von 1 MHz mit dem Scheitelwert  $H_{s/\max}$  und der Zeit bis zum Scheitelwert  $T_{p/s}$  von 0,25  $\mu\text{s}$  charakterisiert werden.

Daraus folgt, dass für die Induktionswirkung das magnetische Feld des ersten Teilblitzes durch eine typische Frequenz von 25 kHz und das des Folgeblitzes durch eine typische Frequenz von 1 MHz charakterisiert werden kann. Gedämpft schwingende magnetische Felder mit diesen Frequenzen sind für Prüfzwecke in IEC 61000-4-9 und IEC 61000-4-10 definiert.

Die Störsenke ist das elektronische System mit seiner eigenen Störfestigkeit gegen leitungsgebundene und gestrahlte Blitzwirkungen.

Durch die Einrichtung von inneren Blitzschutz zonen (LPZ) mit elektromagnetischen Schirmen und Überspannungsschutzgeräten (SPDs) an den Grenzen der LPZ, werden die ursprünglichen Blitzwirkungen bedingt durch  $I_0$  und  $H_0$  bis auf den Festigkeitspegel der Störsenke reduziert.

Wie in Bild 16 gezeigt, muss die Störsenke dem umgebenden magnetischen Feld  $H_2$  und den leitungsgebundenen Strömen  $I_2$  und Spannungen  $U_2$  standhalten.

Die Reduktion von  $I_1$  auf  $I_2$  und von  $U_1$  auf  $U_2$  werden in Abschnitt 12 behandelt, während die Reduktion von  $H_0$  auf einen ausreichend niederen Wert von  $H_2$  hier behandelt wird:

Im Fall von gitterförmigen räumlichen Schirmen kann angenommen werden, dass die Wellenform des magnetischen Feldes innerhalb der LPZ ( $H_1$ ,  $H_2$ ) die gleiche ist, wie die des magnetischen Feldes außen ( $H_0$ ).

Die Festigkeit des elektronischen Systems gegen Störungen kann durch geeignete Prüfungen nach IEC 61000-4-5 (leitungsgebundene Überspannungen und Überströme), IEC 61000-4-9 (gestrahltes magnetisches Feld durch den ersten Teilblitz) und IEC 61000-4-10 (gestrahltes magnetisches Feld durch die Folgeblitze) getestet werden.

Bild 17 zeigt, dass die Prüfungen nach IEC 61000-4-9 und IEC 61000-4-10 den Anstieg des magnetischen Feldes des ersten Teilblitzes  $H_f$  und der Folgeblitze  $H_s$  hinreichend nachbilden.

ANMERKUNG Wenn Gebäude oder Räume mit elektronischen Systemen durch große räumliche Schirme ausreichend gegen das magnetische Feld geschirmt sind, ist dadurch im Allgemeinen auch das transiente elektrische Feld auf einen ausreichend niederen Wert reduziert.

## 11.2 Gitterförmige räumliche Schirme

Große räumliche Schirme von inneren LPZ sind in der Praxis üblicherweise aus natürlichen Komponenten der baulichen Anlage aufgebaut, wie z. B. der metallenen Armierung in Decken, Wänden und Böden, metallenen Rahmen, Dächern und Fassaden. Diese Komponenten bilden einen gitterförmigen räumlichen Schirm. Eine wirksame Schirmung erfordert typische Maschenweiten kleiner als 5 m.

ANMERKUNG 1 Deshalb ist die Schirmwirkung vernachlässigbar, wenn die LPZ 1 von einem normalen äußeren LPS nach DIN V VDE V 0185-3 (VDE V 0185 Teil 3) mit Maschenweiten und typischen Abständen größer als 5 m gebildet wird.

ANMERKUNG 2 Die Schirmung in weiteren inneren LPZ kann durch räumliche Schirmung, durch geschlossene metallene Gestelle oder Schränke oder durch die metallenen Gerätegehäuse bewirkt werden.

Bild 18 zeigt das Prinzip, wie metallene Betonarmierung und metallene Rahmen (für Metalltüren und möglicherweise für geschirmte Fenster) für einen großen räumlichen Schirm eines Gebäudes oder eines Raums eingesetzt werden können.

Elektronische Systeme dürfen nur innerhalb eines Sicherheitsvolumens aufgestellt werden, das den Sicherheitsabstand vom Schirm des LPZ einhält (siehe Bild 19). Der Grund sind die hohen Werte des

# — Vornorm —

## DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11

magnetischen Feldes nahe dem Schirm, der von anteiligen Blitzströmen durchflossen sein kann (besonders bei LPZ 1).

Wenn eine individuelle theoretische oder experimentelle Untersuchung der Schirmwirkung nicht vorliegt, muss die Dämpfung wie folgt ermittelt werden:

### 11.2.1 Gitterförmiger räumlicher Schirm von LPZ 1 bei nahen Blitzeinschlägen

Die Bedingungen bei einem nahen Blitzeinschlag zeigt Bild 20. Das einfallende magnetische Feld in der Umgebung des geschirmten Raums von LPZ 1 kann näherungsweise als ebene Welle betrachtet werden.

Das einfallende magnetische Feld  $H_0$  berechnet sich zu

$$H_0 = I_0 / (2 \cdot \pi \cdot s_a) \quad \text{in A/m}$$

Dabei ist:

$I_0$  Blitzstrom in LPZ 0<sub>A</sub> in A;

$s_a$  Abstand zwischen dem Blitzeinschlagpunkt und der Mitte des geschirmten Raumes in m.

Daraus folgt für den Scheitelwert des magnetischen Feldes in LPZ 0 bedingt durch

- den ersten Teilblitz:  $H_{0/f/\max} = I_{f/\max} / (2 \cdot \pi \cdot s_a)$  in A/m,
- die Folgeblitze:  $H_{0/s/\max} = I_{s/\max} / (2 \cdot \pi \cdot s_a)$  in A/m.

Dabei ist:

$I_{f/\max}$  Scheitelwert des Blitzstroms des ersten Teilblitzes in A;

$I_{s/\max}$  Scheitelwert des Blitzstroms der Folgeblitze in A,

beide abhängig vom gewählten Gefährdungspegel.

Die Reduktion von  $H_0$  auf  $H_1$  innerhalb von LPZ 1 kann mit den  $SF$ -Werten aus Tabelle 5 berechnet werden (auch wenn diese Tabelle normalerweise nur für ebene Felder gilt):

$$H_{1/\max} = H_{0/\max} / 10^{SF/20} \quad \text{in A/m}$$

Dabei ist:

$SF$  Schirmungsfaktor berechnet mit den Formeln aus Tabelle 5 in dB;

$H_{0/\max}$  magnetisches Feld in LPZ 0

Daraus folgt für den Scheitelwert des magnetischen Feldes in LPZ 1:

- bedingt durch den ersten Teilblitz:  $H_{1/f/\max} = H_{0/f/\max} / 10^{SF/20}$  in A/m
- bedingt durch die Folgeblitze:  $H_{1/s/\max} = H_{0/s/\max} / 10^{SF/20}$  in A/m

Diese Werte des magnetischen Feldes gelten nur im Sicherheitsvolumen  $V_s$  innerhalb des gitterförmigen Schirmes mit dem Sicherheitsabstand  $d_{s/1}$  zum Schirm in m (siehe Bild 19)

$$d_{s/1} = M \cdot SF/10 \quad \text{für } SF \geq 10$$

$$d_{s/1} = M \quad \text{für } SF < 10$$

Dabei ist:

$SF$  Schirmungsfaktor berechnet mit den Formeln aus Tabelle 5 in dB;

$M$  Maschenweite des gitterförmigen Schirmes in m.

Weitere Informationen zur Berechnung der magnetischen Feldstärke innerhalb von gitterförmigen Schirmen bei nahen Blitzeinschlägen siehe Anhang G.

### 11.2.2 Gitterförmiger räumlicher Schirm von LPZ 1 bei direkten Blitzeinschlägen

Der Schirm eines Gebäudes, der die LPZ 1 umgibt, kann Teil eines äußeren LPS sein, sodass bei einem direkten Blitzeinschlag Blitzströme darin fließen. Diesen Fall zeigt Bild 21 mit der Annahme, dass der Blitz die bauliche Anlage in einem bestimmten Punkt des Daches trifft.

Für die magnetische Feldstärke  $H_1$  in einem bestimmten Punkt innerhalb von LPZ 1 gilt:

$$H_1 = k_H \cdot I_0 \cdot \left( \frac{M}{d_w \cdot \sqrt{d_r}} \right) \text{ in A/m}$$

Dabei ist:

$d_r$  kürzester Abstand zwischen dem betrachteten Punkt und dem Dach von LPZ 1 in m;

$d_w$  kürzester Abstand zwischen dem betrachteten Punkt und der Wand von LPZ 1 in m;

$I_0$  Blitzstrom in LPZ 0<sub>A</sub> in A;

$k_H$  Geometriefaktor  $k_H = 0,01 \cdot \frac{1}{\sqrt{m}}$ ,

$M$  Maschenweite des gitterförmigen Schirmes von LPZ 1 in m.

Daraus folgt für den Scheitelwert des magnetischen Feldes in LPZ 1, wobei die Anmerkung zu beachten ist:

- bedingt durch den ersten Teilblitz:  $H_{1/f/\max} = k_H \cdot I_{f/\max} \cdot \frac{M}{d_w \cdot \sqrt{d_r}}$  in A/m;
- bedingt durch die Folgeblitze:  $H_{1/s/\max} = k_H \cdot I_{s/\max} \cdot \frac{M}{d_w \cdot \sqrt{d_r}}$  in A/m.

Dabei ist\_

$I_{f/\max}$  Scheitelwert des Blitzstroms des ersten Teilblitzes in A;

$I_{s/\max}$  Scheitelwert des Blitzstroms der Folgeblitze in A;

beide abhängig vom gewählten Gefährdungspegel.

ANMERKUNG Das magnetische Feld vermindert sich um den Faktor 2, wenn ein vermaschtes Potentialausgleich-Netzwerk nach 8.2 installiert ist.

Diese Werte des magnetischen Feldes gelten nur im Sicherheitsvolumen  $V_s$  innerhalb des gitterförmigen Schirmes mit dem Sicherheitsabstand  $d_{s/2}$  zum Schirm in m (siehe Bild 19):

$$d_{s/2} = M.$$

Weitere Informationen zur Berechnung der magnetischen Feldstärke innerhalb von gitterförmigen Schirmen bei direkten Blitzeinschlägen siehe Anhang H.

# — Vornorm —

## DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11

### 11.2.3 Gitterförmige räumliche Schirme von LPZ $\geq 2$

In den gitterförmigen Schirmen von LPZ 2 und höher fließen keine wesentlichen Anteile von Blitzströmen. Deshalb kann in erster Näherung die Reduktion von  $H_n$  bis  $H_{n+1}$  innerhalb von LPZ  $n+1$  wie in 11.2.1 mit den Formeln für die  $SF$ -Werte aus Tabelle 5 berechnet werden:

$$H_{n+1} = H_n / 10^{SF/20} \text{ in A/m.}$$

Dabei ist:

- $SF$  Schirmungsfaktor berechnet mit den Gleichungen aus Tabelle 5 in dB;
- $H_n$  magnetisches Feld innerhalb LPZ  $n$  in A/m.

ANMERKUNG Bestimmung von  $H_n = H_1$ : bei Blitzeinschlägen nahe LPZ 1 siehe 11.2.1 und Bild 20, bei Blitzeinschlägen direkt in den gitterförmigen Schirm von LPZ 1 siehe 11.2.2 und Bild 21.

Diese Werte des magnetischen Feldes gelten nur im Sicherheitsvolumen  $V_s$  innerhalb des gitterförmigen Schirmes mit dem Sicherheitsabstand  $d_{s/2}$  zum Schirm (siehe 11.2.1 und Bild 19).

### 11.2.4 Experimentelle Bestimmung des magnetischen Feldes

Neben der theoretischen Berechnung des magnetischen Feldes innerhalb von geschirmten baulichen Anlagen kann das Feld auch durch Messungen bestimmt werden. Bild 22 zeigt einen Vorschlag für die Nachbildung eines direkten Blitzeinschlags in einem bestimmten Punkt einer geschirmten baulichen Anlage durch einen Blitzstromgenerator. Normalerweise können solche Messungen als „low-level-Prüfung“ durchgeführt werden, wobei die Wellenform des simulierten Blitzstroms mit der des original Blitzstroms identisch sein muss.

## 11.3 Leitungsführung und -schirmung

Nachdem die räumliche Schirmung einer LPZ festgelegt ist, können Spannungen oder Ströme, die in ein elektrisches oder elektronisches System induziert werden, weiter vermindert werden durch geeignete Leitungsführung (also durch minimieren der Fläche von Leiterschleifen) oder durch Verwendung von geschirmten Kabeln oder Kabelkanälen (also durch minimieren der Induktionswirkung innen).

Bild 23 zeigt Beispiele für räumliche Schirmung, für Leitungsführung und -schirmung und für die Kombination beider Maßnahmen.

Die Leitungen und Kabel von elektrischen und elektronischen Systemen sind so nahe wie möglich entlang der metallenen Komponenten des Potentialausgleich-Netzwerks zu verlegen. Es ist vorteilhaft, die Leitungen und Kabel in metallene Schienen des Potentialausgleich-Netzwerks einzubetten, z. B. in U-förmige Kanäle oder in Rohre (siehe auch IEC 61000-5-2).

Nahe am Schirm einer LPZ (besonders LPZ 1) ist besondere Vorsicht bei der Installation von Leitungen nötig, wegen der dort hohen magnetischen Feldstärken.

Wenn Leitungen, die zwischen getrennten LEMP-geschützten baulichen Anlagen verlaufen, zu schützen sind, sollten sie innerhalb von metallenen Kabelkanälen geführt werden, die an beiden Enden an den Potentialausgleichsschienen der getrennten baulichen Anlagen angeschlossen sein müssen. Wenn die (wie zuvor beidseitig an den Potentialausgleich angeschlossenen) Kabelschirme den zu erwartenden anteiligen Blitzstrom führen können, sind zusätzliche metallene Kabelkanäle nicht nötig.

Spannungen und Ströme, die in Leiterschleifen von Installationen induziert werden, erzeugen leitungsgebundene Impulsströme (common mode) in dem elektronischen System (siehe Bild 24). Zur Berechnung dieser magnetisch induzierten Spannungen und Ströme siehe Anhang F.

## 11.4 Beispiel für die Ausführung von Schirmung, Potentialausgleich und Erdung

Bild 25 zeigt als Beispiel ein großes Bürogebäude.

Die Schirmung wird durch die Stahlarmierung und durch die metallenen Fassaden für LPZ 1 und durch geschirmte Schränke für empfindliche elektronische Systeme in LPZ 2 erreicht. Damit ein eng vermaschtes Potentialausgleich-Netzwerk installiert werden kann, sind mehrere Anschlüsse an dem Potentialausgleich in jedem Raum vorgesehen.

LPZ 0 ist in den Bereich von LPZ 1 eingestülpt, um die 20-kV-Energieeinspeisung aufzunehmen, weil die Installation von Überspannungsschutzgeräten an der Hochspannungsseite unmittelbar beim Gebäudeeintritt in diesem besonderen Fall nicht möglich ist.

## 12 Anforderungen für Überspannungsschutzgeräte

Das Blitzschutzzonen-Konzept erfordert die Installation von Überspannungsschutzgeräten (SPDs nach IEC 61643-1), wann immer eine elektrische Leitung die Grenze zwischen zwei Zonen durchdringt. Diese SPDs müssen energetisch koordiniert sein, damit die Gesamtbelastung auf die SPDs entsprechend ihrer Energietragfähigkeit aufgeteilt wird und um die ursprüngliche Blitzbedrohung auf Werte unterhalb der Festigkeit der zu schützenden Geräte zu reduzieren.

Ausgehend von der ursprünglichen Blitzbedrohung, kann die Aufteilung des Blitzstroms im System bestimmt und für die Auswahl von geeigneten SPDs verwendet werden. Für eine wirksame Koordination müssen die Kenndaten der einzelnen SPDs (wie vom Hersteller veröffentlicht), die Bedrohungswerte an ihrem Einbauort und die Kenndaten der zu schützenden Geräte beachtet werden.

### 12.1 Maßgebliche Bedrohungswerte – Blitzstromparameter

Die primäre Blitzbedrohung ist durch die drei Blitzstrom-Komponenten gegeben:

- erster Stoßstrom,
- Folgestoßströme,
- Langzeitstrom.

Alle drei Komponenten sind eingeprägte Ströme. Für die Koordination von hintereinander geschalteten SPDs ist der erste Stoßstrom entscheidend, weil die Folgestoßströme kleinere spezifische Energie, kleinere Ladung und kleinere Amplitude, aber eine höhere Stromsteilheit haben. Der Langzeitstrom kann gegebenenfalls (in IT-Systemen und bei Ableitern zwischen N und PE in TT-Systemen) eine zusätzliche Belastung für den Blitzstromableiter (SPDs mit Klasse I-Prüfung) sein, ist aber für die Koordination der nachfolgenden SPDs ohne Bedeutung.

**ANMERKUNG** Sobald SPDs für den ersten Stoßstrom spezifiziert sind, ergeben sich für die Folgestoßströme keine weiteren Probleme. Wenn Induktivitäten als Entkopplungselemente verwendet werden, erleichtert die höhere Stromsteilheit die Entkopplung.

Tabelle 1 enthält die Parameter für den gesamten Blitzstrom für verschiedene Gefährdungspegel. Ein einzelnes SPD wird allerdings nur mit einem Anteil des gesamten Blitzstroms belastet.

**ANMERKUNG** Analytische Funktionen der Stoßströme für Analysezwecke sind in Anhang A angegeben.

Die für die Koordination nötigen Kennwerte (z. B. Wellenform oder Energie) werden von diesen Parametern abgeleitet:

- Für den ersten Stoßstrom ist ein Prüfstrom mit einer Wellenform 10/350 definiert, der einen direkten Blitzschlag nachbilden soll. Dies ist der geeignete Strom für die Prüfung der energetischen Koordination von SPDs.
- Anteilige Blitzströme innerhalb des Systems können abweichende Wellenformen haben, die durch die Wechselwirkung zwischen dem Blitzstrom und der Niederspannungs-Installation entstehen können. Ein

**DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11**

Prüfstrom mit einer Stromsteilheit von  $0,1 \text{ kA}/\mu\text{s}$  ist definiert, um solche Fälle nachzubilden. Dieser Strom wird insbesondere für die Prüfung der Entkopplung von hintereinander geschalteten SPDs verwendet.

## **12.2 Anordnung der SPDs nach dem Blitzschutzzonen-Konzept**

Bild 26 zeigt ein Beispiel für die Anwendung von SPDs in Energieverteilungssystemen nach dem Blitzschutzzonen-Konzept. Die SPDs sind hintereinander geschaltet. Sie werden nach den Anforderungen an ihrem jeweiligen Einbauort ausgewählt.

Es wird empfohlen, dass Energie- und Datenleitungen in eine LPZ dicht zusammen eintreten und gemeinsam an dieselbe Potentialausgleichsschiene angeschlossen werden. Das ist besonders wichtig für bauliche Anlagen aus nicht abschirmendem Material (Holz, Ziegel usw.) weil die LPZ 1 dann keinen elektromagnetischen Schirm hat.

**ANMERKUNG** Wirksame Schirmung erfordert typische Maschenweiten unter 5 m (siehe Abschnitt 11). Deshalb ist die Schirmwirkung vernachlässigbar, wenn eine LPZ 1 durch ein normales äußeres LPS nach DIN V VDE V 0185-3 (VDE V 0185 Teil 3) mit Maschenweiten und typischen Abständen größer als 5 m gebildet wird. Andererseits haben Gebäude in Stahlkonstruktion mit vielen strukturellen Stahlträgern eine deutliche Schirmwirkung.

Die ausgewählten SPDs und ihre Integration in das gesamte elektrische System innerhalb der bauliche Anlage sollen sicherstellen, dass der wesentliche Teil des Blitzstroms an der Grenze von LPZ  $0_A$  nach LPZ 1 in die Erdungsanlage abfließt.

Sobald der wesentliche Teil der Energie des anteiligen Blitzstroms abgeleitet ist, müssen die nachfolgenden SPDs nur noch ausgelegt werden für die verbleibende Belastung hinter der Grenze von LPZ  $0_A$  nach LPZ 1 und für die zusätzlichen Induktionswirkungen des elektromagnetischen Feldes innerhalb von LPZ 1 (insbesondere wenn LPZ 1 keinen elektromagnetischen Schirm hat).

**ANMERKUNG** Wenn Schaltertyp-SPDs eingebaut werden, muss für die Belastung der nachfolgenden SPDs beachtet werden, dass das vorgeschaltete SPD möglicherweise seine Ansprechspannung nicht erreicht.

Alle SPDs müssen nach den Verfahren in 9.1 in den Potentialausgleich einbezogen werden.

Die Gesamtzahl der benötigten SPDs kann durch die Verwendung von miteinander verbundenen oder ausgestülpten LPZ nach 5.2 deutlich verringert werden.

## **12.3 Anforderungen an die Eigenschaften der SPDs**

Die Anforderungen an die Eigenschaften der einzelnen SPDs müssen nach dem Blitzschutzzonen-Konzept festgelegt werden.

Der geeignete Spannungs-Gefährdungspegel des SPDs und die verbleibende Belastung hinter dem SPD muss bestimmt werden. In Energieversorgungssystemen müssen die Regeln der Isolationskoordination (siehe IEC 60664-1) angewendet und die Festigkeit der zu schützenden Geräte bestimmt werden (siehe IEC 61000-4-5). In empfindlichen elektronischen Systemen können niedrigere Spannungs-Gefährdungspegel erforderlich sein (siehe IEC 61000-4-5 und ITU-T).

**ANMERKUNG** In der Praxis muss ein Sicherheitsabstand zur Festigkeit der Geräte eingehalten werden.

### **12.3.1 Grenze von LPZ $0_A$ nach LPZ 1**

Leitungen, die aus der LPZ  $0_A$  kommen, führen anteilige Blitzströme. Der Blitzstromableiter (SPD mit Klasse I-Prüfung) soll an dieser Grenze den wesentlichen Teil solcher Ströme ableiten.

Der anteilige Blitzstrom, der als Belastung für einen solchen SPD maßgeblich ist, kann abhängig von den folgenden Faktoren berechnet werden (siehe Anhang J):

- dem gewählten Gefährdungspegel (siehe Tabelle 1);
- der Impedanz der Erdung und der metallenen Versorgungsleitungen (z. B. Wasser- und Gas-Rohre, Telekommunikations- und Energie-Kabel), die in LPZ 1 eintreten;



– dem Typ (TN, TT, IT, ...) und der Konfiguration des Energienetzes.

### 12.3.2 Grenze von LPZ 0<sub>B</sub> nach LPZ 1

In LPZ 0<sub>B</sub> sind durch den Blitzstrom bedingte elektromagnetische Felder dominant. Ein direkter Blitzeinschlag ist ausgeschlossen. In diesem Fall können die Induktionswirkungen durch einen Impulsstrom mit der Wellenform 8/20 (Klasse II-Prüfung) oder durch eine entsprechende Prüfung mit dem Hybridgenerator (Klasse III-Prüfung) nach IEC 61643-1 nachgebildet werden.

### 12.3.3 Grenze von LPZ 1 nach LPZ 2

Die verbleibende Belastung hinter der Grenze von LPZ 0<sub>A</sub> nach LPZ 1 und die zusätzlichen Induktionswirkungen des elektromagnetischen Feldes innerhalb von LPZ 1 bestimmen die Anforderungen für die SPDs an der Grenze von LPZ 1 nach LPZ 2. Wenn keine detaillierte Analyse der Belastung möglich ist, kann die Belastung durch einen Impulsstrom mit der Wellenform 8/20 (Klasse II-Prüfung) oder durch eine entsprechende Prüfung mit dem Hybridgenerator (Klasse III-Prüfung) nach IEC 61643-1 nachgebildet werden. Wenn das vorgeschaltete SPD ein Schaltertyp ist (insbesondere an der Grenze von LPZ 0 zu LPZ 1), muss auch die Wellenform 10/350 beachtet werden, solange dieses SPD nicht angesprochen hat.

## 12.4 Energetische Koordination

### 12.4.1 Zweck der Koordination

Die Anzahl der in einem zu schützenden System installierten SPDs hängt von den Anforderungen des Blitzschutzkonzepts, der Festigkeit der Geräte und den Kenndaten der verwendeten SPDs ab. Der Spannungs-Gefährdungspegel des gewählten SPDs muss der Festigkeit der zu schützenden Geräte und den Anforderungen der Isolationskoordination in der Niederspannungs-Installation entsprechen.

Die energetische Koordination muss verhindern, dass SPDs innerhalb des Systems überlastet werden. Dazu muss die individuelle Belastung der SPDs abhängig von ihrem Einbauort und ihren Kenndaten ermittelt werden.

Sobald zwei oder mehr SPDs hintereinander geschaltet werden, muss die Koordination der SPDs und der zu schützenden Geräte geprüft werden.

Die energetische Koordination ist erreicht, wenn für alle Impulsströme der Anteil der Energie für jedes SPD gleich oder kleiner ist, als es seiner Energiefestigkeit entspricht.

Die Energiefestigkeit kann bestimmt werden aus

- einer elektrischen Prüfung nach IEC 61643-1,
- den technischen Daten vom Hersteller des SPDs.

Bild 27 zeigt das Grundmodell für die energetische Koordination von SPDs. Dieses Modell ist nur gültig, solange die Impedanz des Potentialausgleich-Netzwerks und die Gegeninduktivität zwischen dem Potentialausgleich-Netzwerk und Verbindungsleitung von SPD 1 und SPD 2 vernachlässigbar klein ist.

### 12.4.2 Methoden der Koordination

#### 12.4.2.1 Allgemeines

Die Koordination von SPDs geschieht nach folgenden Methoden:

a) Koordination ohne gesonderte Entkopplungselemente

Diese Methode basiert auf der stationären Spannungs-Strom-Kennlinie und ist anwendbar für Spannungsbegrenzertyp-SPD (z. B. MOV oder Suppressor Dioden). Sie ist nur wenig von der Wellenform des Stroms abhängig.

**DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11**

ANMERKUNG Eine gewisse Entkopplung ist schon durch den natürlichen Widerstand und die Induktivität der Leitungen gegeben.

b) Koordination mit gesonderten Entkopplungselementen

Für Koordinationszwecke können Impedanzen mit ausreichender Stromtragfähigkeit als Entkopplungselemente verwendet werden. Widerstände werden hauptsächlich in Informationssystemen, Induktivitäten in Energiesystemen verwendet. Für die Wirksamkeit der Koordination durch Induktivitäten ist die Stromsteilheit  $dI/dt$  der entscheidende Parameter.

ANMERKUNG 1 Entkopplungselemente können durch gesonderte Komponenten oder durch Verwendung der natürlichen Impedanzen der Kabel zwischen aufeinander folgenden SPDs realisiert werden.

ANMERKUNG 2 Induktivität eines Kabels mit zwei parallelen Leitern: Wenn beide Leiter (Phase und Erdungsleiter) im gleichen Kabel sind, ist die Induktivität etwa 0.5 bis 1  $\mu\text{H}/\text{m}$  (abhängig vom Querschnitt der Leiter). Wenn beide Leiter getrennt geführt sind, müssen höhere Induktivitäten angenommen werden (abhängig vom Abstand der beiden Leiter).

c) Koordination durch getriggerte SPDs (ohne Entkopplungselemente)

Die Koordination kann auch durch getriggerte SPDs erfolgen, deren Ansprechen durch eine Zündelektronik so gesteuert wird, dass die nachgeschalteten SPDs energetisch nicht überlastet werden.

ANMERKUNG Diese Methode benötigt keine Entkopplung, auch wenn eine gewisse Entkopplung schon durch die natürlichen Impedanzen der Leitungen gegeben ist.

**12.4.2.2 Koordination von zwei Spannungsbegrenzertyp-SPDs**

Bild 28a zeigt den grundsätzlichen Schaltkreis dieser Koordinationsart unter Verwendung von MOV als Beispieltechnologie. Bild 28b zeigt die Energieaufteilung im Schaltkreis. Die gesamte Energie, die in das System eingespeist wird, steigt mit dem Impulsstrom an. Solange die Energie, die in jedem der beiden MOV umgesetzt wird, seine Energiefestigkeit nicht übersteigt, ist die energetische Koordination erreicht.

Die energetische Koordination von Spannungsbegrenzertyp-SPD ohne gesonderte Entkopplungselemente soll über die stationäre Spannungs-Strom-Kennlinie für den betreffenden Strombereich realisiert werden. Diese Methode ist nur wenig von der Wellenform des Stroms abhängig. Wenn aber Induktivitäten als Entkopplungselemente verwendet werden, muss die Wellenform des Impulsstroms (z. B. 10/350 oder 8/20) beachtet werden.

Für Wellenformen mit kleiner Stromsteilheit (z. B. 0,1  $\text{kA}/\mu\text{s}$ ), sind Induktivitäten für die Entkopplung von Spannungsbegrenzertyp-SPDs nicht sehr wirksam. Wenn möglich, sollten Widerstände (oder natürliche Widerstände von Kabeln) als Entkopplungselemente verwendet werden.

Wenn zwei Spannungsbegrenzertyp-SPDs koordiniert werden, müssen beide für Strom und Energie des entsprechenden Impulsstroms dimensioniert sein. Die Dauer des Impulsstroms wird gegenüber dem eingespeisten Impulsstrom nicht merkbar verkürzt. Anhang I (Bilder I.1 bis I.3) gibt ein Beispiel für die energetische Koordination von zwei Spannungsbegrenzertyp-SPDs (MOV).

**12.4.2.3 Koordination von Schaltertyp- und Spannungsbegrenzertyp-SPD**

Bild 29a zeigt den grundsätzlichen Schaltkreis dieser Koordinationsart unter Verwendung einer Funkenstrecke (SG) und eines MOV als Beispieltechnologien. Bild 29b zeigt das Grundprinzip der energetischen Koordination für die Kombination eines Schaltertyp-SPD 1 und eines Spannungsbegrenzertyp-SPD 2.

Die Zündung der SG (SPD 1) hängt ab von der Summe der Begrenzungsspannung  $U_2$  am MOV (SPD 2) und dem dynamischen Spannungsfall am Entkopplungselement  $U_{DE}$ . Sobald die Spannung  $U_1$  die dynamische Überschlagsspannung  $U_{SPARK}$  überschreitet, zündet die SG und die Koordination ist erreicht. Dies ist nur abhängig von

- den Kennlinien der MOV,
- der Steilheit und Amplitude des eingespeisten Impulsstroms,
- dem Entkopplungselement (Induktivität oder Widerstand) (siehe IEC 61643-1).

Wenn eine Induktivität als Entkopplungselement verwendet wird, müssen Anstiegszeit und Scheitelwert des Impulsstroms beachtet werden (z. B. für Wellenform 10/350 oder 8/20). Je größer die Steilheit  $dI/dt$ , desto kleiner ist die für die Entkopplung benötigte Induktivität. Insbesondere für die Koordination zwischen SPD (Klasse I-Prüfung) und SPD (Klasse II-Prüfung) ist der Impulsstrom mit der minimalen Stromsteilheit von  $0,1 \text{ kA}/\mu\text{s}$  zu beachten (siehe 12.1). Die Koordination solcher SPDs muss sowohl für den 10/350 Impulsstrom als auch für die minimale Stromsteilheit von  $0,1 \text{ kA}/\mu\text{s}$  sichergestellt werden.

Zwei grundsätzliche Fälle sind zu betrachten:

a) keine Zündung der Funkenstrecke

Wenn die SG nicht zündet, fließt der gesamte Impulsstrom durch den MOV (siehe Anhang I, Bild I.5). Wie in Bild 29b gezeigt, wird die Koordination nicht erreicht, wenn die Energie des Impulsstroms höher ist als die Energiefestigkeit des MOV. Wenn eine Induktivität als Entkopplungselement verwendet wird, ist der „worst case“ die minimale Stromsteilheit von  $0,1 \text{ kA}/\mu\text{s}$ .

b) Zündung der Funkenstrecke

Wenn die SG zündet, wird die Dauer des Stromflusses durch den MOV beträchtlich verringert (siehe Anhang I, Bild I.6). Wie in Bild 29b gezeigt, ist die Koordination erreicht, wenn die SG zündet, bevor die Energiefestigkeit des MOV erreicht wird.

### Bestimmung der Entkopplungsinduktivität

Bild 30 zeigt die Vorgehensweise zur Bestimmung der benötigten Entkopplungsinduktivität für beide Kriterien: für den 10/350-Impulsstrom und für die minimale Stromsteilheit von  $0,1 \text{ kA}/\mu\text{s}$ . Für die Bestimmung des benötigten Entkopplungselements müssen die dynamischen Spannungs-Strom-Kennlinien beider SPDs betrachtet werden. Die Bedingung für eine erfolgreiche Koordination ist, dass die SG zündet, bevor die Energiefestigkeit des MOV erreicht wird.

Die Zündung der SG hängt von seiner Überschlagsspannung  $U_{\text{SPARK}}$  und von der Summe der Spannung  $U_2$  am MOV (SPD 2) und der Spannung am Entkopplungselement  $U_{\text{DE}}$  ab. Die Spannung  $U_2$  hängt vom Strom  $i$  (siehe Spannungs-Strom-Kennlinie des MOV), die Spannung  $U_{\text{DE}} = L_{\text{DE}} \cdot dI/dt$  von der Stromsteilheit ab.

Für den 10/350-Impulsstrom, hängt die Stromsteilheit  $dI/dt \approx I_{\text{max}} / 10 \mu\text{s}$  von der zulässigen Amplitude  $I_{\text{max}}$  des MOV ab (bestimmt aus seiner Energiefestigkeit  $W_{\text{max}}$ ). Weil beide Spannungen  $U_{\text{DE}}$  und  $U_2$  Funktionen von  $I_{\text{max}}$  sind, hängt die Spannung  $U_1$  an der SG auch von  $I_{\text{max}}$  ab. Je größer  $I_{\text{max}}$ , desto größer ist auch die Steilheit der Spannung  $U_1$  an der SG. Deshalb wird bei diesem Kriterium die Überschlagsspannung  $U_{\text{SPARK}}$  des SG üblicherweise durch die „Impulse Überschlagsspannung bei  $1 \text{ kV}/\mu\text{s}$ “ beschrieben.

Für den  $0,1\text{-kA}/\mu\text{s}$ -Impulsstrom ist die Stromsteilheit  $dI/dt = 0,1 \text{ kA}/\mu\text{s}$  konstant. Deshalb ist auch die Spannung  $U_{\text{DE}}$  konstant, während die Spannung  $U_2$  wie vorher eine Funktion von  $I_{\text{max}}$  ist. Die Steilheit der Spannung  $U_1$  an der SG folgt der Spannungs-Strom-Kennlinie des MOV und ist wesentlich niedriger als im ersten Fall. Wegen der dynamischen Kennlinie der Ansprechspannung der SG, nimmt ihre Überschlagsspannung mit einer längeren Dauer des Spannungsfalls an der SG ab (diese Dauer hängt ab vom Wert von  $I_{\text{max}}$ , der aus der Energiefestigkeit  $W_{\text{max}}$  des MOV abgeleitet ist). Deshalb sollte angenommen werden, dass die Überschlagsspannung  $U_{\text{SPARK}}$  schließlich bis zur „Ansprech-Gleichspannung bei  $500 \text{ V/s}$ “ abnimmt, wenn die Dauer des Stromflusses durch den MOV immer weiter zunimmt.

Schließlich muss der größere der beiden Induktivitätswerte  $L_{\text{DE-10/350}}$  und  $L_{\text{DE-0,1 kA}/\mu\text{s}}$  für die Entkopplungsinduktivität  $L_{\text{DE}}$  angewendet werden (siehe die Beispiele in Anhang I, Bilder I.7 und I.8).

**ANMERKUNG** Für die Bestimmung eines Entkopplungselements in einem Niederspannungs-Energiesystem wäre der „worst case“ ein Kurzschluss am SPD 2 ( $U_2 = 0$ ), weil dann die benötigte Spannung  $U_{\text{DE}}$  maximal wird. Wenn SPD 2 ein Spannungsbegrenzertyp ist, hat es eine Begrenzungsspannung  $U_2 > 0$ , was die benötigte Spannung  $U_{\text{DE}}$  beträchtlich vermindert. Diese Begrenzungsspannung ist zumindest höher als der Scheitelwert der Netzspannung (z. B. Nennwechselspannung  $230 \text{ V}$ : Scheitelwert  $\sqrt{2} \cdot 230 \text{ V} = 325 \text{ V}$ ). Ein Einbeziehen dieser Begrenzungsspannung von SPD 2 führt zu passend dimensionierten Entkopplungselementen. Andernfalls würden sie überdimensioniert.

#### 12.4.2.4 Koordination von zwei Schalttyp-SPDs

Diese Koordinationsart wird unter Verwendung von Funkenstrecken (SG) als Beispieltechnologie beschrieben. Für die Koordination zwischen Funkenstrecken muss deren dynamische Ansprechkennlinie verwendet werden.

Nach Zündung von SG 2 kann die Koordination durch Verwendung eines Entkopplungselements erreicht werden. Für die Bestimmung des benötigten Entkopplungselements kann SG 2 durch einen Kurzschluss ersetzt werden. Für die Zündung von SG 1 muss der dynamische Spannungsfall am Entkopplungselement größer sein als die Ansprechspannung von SG 1.

Für Induktivitäten als Entkopplungselemente hängt der benötigte Wert von  $U_{DE}$  im Wesentlichen von der Steilheit des Impulsstroms ab. Deshalb müssen Wellenform und Steilheit des Impulsstroms beachtet werden.

Für Widerstände als Entkopplungselemente, hängt der benötigte Wert von  $U_{DE}$  im Wesentlichen vom Scheitelwert des Impulsstroms ab. Dieser Wert ist auch bei der Auslegung der Impulsparameter des Entkopplungselements maßgebend.

Nach der Zündung von SG 1 teilt sich die Gesamtenergie nach den stationären Spannungs-Strom-Kennlinien der einzelnen Elemente auf.

ANMERKUNG Fertigungstoleranzen von SPD-Kennlinien sind grundsätzlich zu beachten. Bei Funkenstrecken oder Gasentladungsröhren ist die Steilheit des Impulses besonders wichtig.

#### 12.4.3 Grundsätzliche Koordinations-Varianten für Schutzsysteme

Es gibt vier Koordinations-Varianten für Schutzsysteme: Die ersten drei verwenden einpolige SPDs, die vierte zweipolige SPD mit integrierten Entkopplungselementen. Diese Koordinations-Varianten sollten betrachtet werden, wobei auch interne SPDs, die in den zu schützenden Geräten eingebaut sein können, beachtet werden sollten.

##### 12.4.3.1 Variante I

Alle SPDs haben die gleiche kontinuierliche Spannungs-Strom-Kennlinie (wie MOV oder Suppressordioden) und die gleiche Begrenzungsspannung  $U_{RES}$ . Die Koordination von SPD und zu schützenden Geräten wird üblicherweise durch die Impedanzen der Leitungen zwischen ihnen erreicht (Bild 31).

ANMERKUNG Toleranzen von Komponenten sollten beachtet werden.

##### 12.4.3.2 Variante II

Alle SPDs haben die gleiche kontinuierliche Spannungs-Strom-Kennlinie (wie MOV oder Suppressordioden). Die Begrenzungsspannung  $U_{RES}$  steigt stufenweise von SPD 1 zu SPD 3 an (Bild 32).

Dies ist eine Koordinations-Variante für Energieversorgungs-Systeme.

ANMERKUNG Diese Variante erfordert, dass die Begrenzungsspannung des Schutzelements innerhalb des zu schützenden Geräts (SPD 4) größer ist als die Begrenzungsspannung des unmittelbar davor installierten SPDs (SPD 3).

##### 12.4.3.3 Variante III

SPD 1 hat eine diskontinuierliche Spannungs-Strom-Kennlinie (wie Funkenstrecken). Die nachgeschalteten SPDs haben kontinuierliche Spannungs-Strom-Kennlinien (wie MOV oder Suppressordioden). Alle SPDs haben die gleiche Begrenzungsspannung  $U_{RES}$  (Bild 33).

Das typische an dieser Variante ist, dass durch das Schalter-Verhalten von SPD 1 die Rückenhalbwertzeit des eingespeisten Impulsstroms 10/350 verringert wird, was die nachgeschalteten SPDs beträchtlich entlastet.

ANMERKUNG Weitere Informationen zu Datenleitungen sind in ITU-TS zu finden.

#### 12.4.3.4 Variante IV

Es gibt zweipolige SPDs, die kaskadierte Stufen von intern koordinierten SPDs zusammen mit Längsimpedanzen oder Filtern enthalten (Bild 34). Bei erfolgreicher interner Koordination wird der Energietransfer zu den nachgeschalteten SPDs oder Geräten minimiert. Diese SPDs müssen vollständig mit den anderen SPDs im System koordiniert werden entsprechend einer geeigneten Variante I, II oder III.

**ANMERKUNG** Die Längsimpedanz bzw. der Filter kann entfallen, wenn durch andere geeignete Maßnahmen (z. B. Abstimmung der Kennlinien oder getriggerte SPDs) die energetische Koordination sichergestellt ist.

#### 12.4.4 Koordination nach der „Durchlass-Energie“-Methode

Impulsströme aus einem Hybridgenerator können für die Auswahl und Koordination von SPDs verwendet werden. Der wesentliche Vorteil dieser Methode ist die Möglichkeit, ein SPD als „black box“ zu betrachten (Bild 35). Für einen gegebenen Impulsstrom am Eingang von SPD 1 werden die Ausgangswerte der Leerlaufspannung und des Kurzschlussstroms bestimmt („Durchlass-Energie“-Methode). Diese Ausgangskennlinien werden in eine äquivalente „2- $\Omega$ -Hybridgenerator-Beanspruchung“ (Leerlaufspannung 1,2/50, Kurzschlussstrom 8/20) umgewandelt. Der Vorteil ist, dass keine speziellen Kenntnisse über die internen Daten des SPDs nötig sind.

**ANMERKUNG** Diese Methode liefert gute Ergebnisse, wenn SPD 2 keine Rückwirkung auf SPD 1 hat. Das bedeutet, dass die Impulsströme am Eingang von SPD 2 quasi eingeprägte Ströme sind. Dies ist richtig, solange die Spannungsstrom-Kennlinien von SPD 1 und SPD 2 sehr unterschiedlich sind (wie z. B. bei der Koordination einer Funkenstrecke mit einem MOV).

Das Ziel dieser Koordinations-Methode ist, die Eingangswerte von SPD 2 (z. B. Entladungsstrom) mit den Ausgangswerten von SPD 1 (z. B. Spannungs-Gefährdungspegel) vergleichbar zu machen.

Bei erfolgreicher Koordination darf der äquivalente Hybridgenerator-Impuls am Ausgang von SPD 1 den Hybridgenerator-Impuls, den SPD 2 ohne Schaden absorbieren kann, nicht überschreiten.

Der äquivalente Hybridgenerator-Impuls am Ausgang von SPD 1 muss für den „worst case“ der Belastung ( $I_{max}$ ,  $U_{max}$ , Durchlass-Energie) bestimmt werden.

**ANMERKUNG** Weitere Informationen zu dieser Koordinations-Methode finden sich in IEC 61643-12.

#### 12.4.5 Koordination zwischen einem externen SPD und einem zu schützenden Gerät

##### 12.4.5.1 Auswahl des externen SPDs

Ein äußeres SPD unmittelbar vor einem zu schützenden Gerät und das Gerät selbst müssen unter Beachtung ihrer Kennlinien koordiniert werden.

Diese Koordination muss sicherstellen, dass die Festigkeit des zu schützenden Geräts für jeden relevanten Parameter nicht überschritten wird.

Einzelheiten zur Festigkeit von Geräten finden sich in den Normen:

- IEC 61000-4-5;
- ITU-T K.20 und K.21;
- IEC 60664-1-1.

**ANMERKUNG** Geräte, die den Festigkeitsanforderungen der oben genannten Normen entsprechen, können interne SPDs enthalten. Deren Kennlinien können die Koordination beeinflussen.

##### 12.4.5.2 Position des externen SPDs

Trotz korrekter energetischer Koordination können Geräte beschädigt werden, wenn das externe SPD nicht unmittelbar vor dem oder nahe an dem zu schützenden Gerät eingebaut wird. Die Ursache dafür sind

## DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11

Schwingungen zwischen den Leitungen und dem Gerät, die zu Überspannungen bis zum zweifachen der Begrenzungsspannung des SPDs führen können. Beispiele dafür zeigt Anhang K.

### 12.5 Nachweis der energetischen Koordination

Die Koordination sollte nachgewiesen werden durch:

- Experimentelle Koordinationsprüfung  
Die Koordination kann im Einzelfall experimentell nachgewiesen werden.
- Berechnung (siehe Anhang J)  
Einfache Fälle können mit Näherungsverfahren berechnet werden. Komplexe Systeme erfordern eine Computer-Simulation.
- Anwendung von miteinander koordinierten SPD-Familien  
In diesem Fall muss der Hersteller der SPDs die Koordination nachweisen.
- Anwendung der „Durchlass-Energie“-Methode.

## 13 Schutz von Geräten in bestehenden baulichen Anlagen

In bestehenden baulichen Anlagen müssen geeignete Schutzmaßnahmen gegen Blitzwirkungen die vorhandene Konstruktion und vorgegebenen Bedingungen von baulichen Anlagen und von bestehenden elektrischen und elektronischen Systemen berücksichtigen.

Eine passende Checkliste hilft dabei, spezielle Punkte zu erkennen und die kostengünstigsten Maßnahmen für den Schutz von elektrischen und elektronischen Systemen zu finden. Die Checkliste erleichtert die Risikoanalyse und die Auswahl der am besten geeigneten Schutzmaßnahmen.

Insbesondere für bestehende bauliche Anlagen ist eine systematische Planung für das Blitzschutzkonzept und für Erdung, Potentialausgleich, Leitungsführung und -schirmung nötig.

### 13.1 Checkliste

Die Checkliste in den Tabellen 6 bis 9 soll dazu dienen, die benötigten Daten über die bauliche Anlage und ihre Installationen zu sammeln. Auf der Basis dieser Daten muss dann eine Risikoanalyse nach DIN V VDE V 0185-2 (VDE V 0185 Teil 2) durchgeführt werden, um festzustellen, ob ein Schutz notwendig ist und, wenn ja, um die kostengünstigsten Schutzmaßnahmen zu finden.

### 13.2 Integration von neuen elektronischen Systemen in bestehende bauliche Anlagen

#### 13.2.1 Allgemeines

Wenn bestehende Installationen um neue elektronische Systeme erweitert werden, können die bestehenden Installationen die anwendbaren Schutzmaßnahmen beschränken.

Bild 36 zeigt ein Beispiel, in dem eine bestehende Installation (auf der linken Seite) mit einer neuen Installation (auf der rechten Seite) zusammengeschaltet ist. Die bestehende Installation schränkt die anwendbaren Schutzmaßnahmen ein. Trotzdem können durch entsprechende Planung und Auslegung der neuen Installation alle notwendigen Schutzmaßnahmen eingesetzt werden.

#### 13.2.2 Übersicht über mögliche Schutzmaßnahmen

##### Energieversorgung

Die bestehende Energieversorgung (Bild 36, Pos. 1) in einer baulichen Anlage ist sehr oft vom Typ TN-C. Treten in diesen Systemen EMV-Probleme (z. B. netzfrequente Störungen) auf, können diese durch isolierende Schnittstellen vermieden werden (siehe unten).

## Überspannungsschutzgeräte

Um vom Blitz erzeugte, leitungsgebundene Impulsströme zu begrenzen, müssen SPDs an der Grenze zu jeder LPZ und gegebenenfalls auch an den zu schützenden Geräten installiert werden (Bild 36, Pos. 3 und Bild 37).

### Isolierende Schnittstellen

Um netzfrequente Störungen zu vermeiden, können isolierende Schnittstellen zwischen bestehenden und neuen Geräten eingesetzt werden: Klasse II-isolierte Geräte (Bild 36 Pos. 5), Isolier-Transformatoren (Bild 36, Pos. 6), Lichtwellenleiter-Kabel oder Optokoppler (Bild 36, Pos. 7).

### Leitungsführung und -schirmung

Große Schleifen in der Leitungsführung können zu sehr hohen induzierten Spannungen führen. Diese können vermieden werden, indem elektrische und Datenleitungen eng benachbart geführt werden (Bild 36, Pos. 8), wodurch die Fläche der Leiterschleife minimiert wird.

Soweit zulässig, wird der Gebrauch von geschirmten Datenleitungen empfohlen. Insbesondere für ausge dehnte bauliche Anlagen wird eine zusätzliche Schirmung z. B. durch metallene Kabelkanäle (Bild 36 Pos. 9) empfohlen. Alle diese Schirme müssen auf beiden Seiten an den Potentialausgleich angeschlossen sein.

Maßnahmen bei Leitungsführung und -schirmung sind umso wichtiger, je geringer die Schirmwirkung des räumlichen Schirmes von LPZ 1 und je größer die Fläche der Leiterschleife ist.

ANMERKUNG Weitere Hinweise insbesondere zur Installation von Kommunikationsverkabelung finden sich in DIN EN 50174-2 (VDE 0800 Teil 174-2).

### Räumliche Schirmung

Eine räumliche Schirmung von LPZ gegen das magnetische Feld eines Blitzes erfordert typische Maschenweiten unter 5 m.

Eine LPZ 1, die von einem normalen äußeren LPS nach DIN V VDE V 0185-3 (VDE V 0185 Teil 3) (Fangeinrichtungen, Ableitungen und Erdungsanlage) gebildet wird, hat Maschenweiten und typische Abstände größer als 5 m. Deshalb ist ihre Schirmwirkung vernachlässigbar. Wenn eine höhere Schirmwirkung nötig ist, muss das äußere LPS aufgerüstet werden (siehe 13.7).

Blitzschutz zonen LPZ 2 und höher brauchen meist eine räumliche Schirmung, die auch empfindliche elektronische Systeme schützt.

### Potentialausgleich

Der Potentialausgleich für Blitzströme mit Frequenzen bis zu einigen MHz erfordert ein vermaschtes, niederinduktives Potentialausgleich-Netzwerk mit typischen Maschenweiten von 5 m. Alle Versorgungsleitungen, die in eine LPZ eintreten, müssen so nahe als möglich an der Grenze der LPZ direkt oder durch geeignete SPDs an den Potentialausgleich angeschlossen werden.

Wenn in bestehenden baulichen Anlagen diese Bedingungen nicht erfüllt werden können, müssen andere geeignete Schutzmaßnahmen vorgesehen werden.

ANMERKUNG Weitere Hinweise zu Potentialausgleich und Erdung insbesondere in Gebäuden mit Einrichtungen der Informationstechnik finden sich in DIN EN 50310-2 (VDE 0800 Teil 2-310).

### 13.2.3 Einrichtung von LPZ für elektronische Systeme

Abhängig von Anzahl, Typ und Empfindlichkeit der elektronischen Geräte werden geeignete innere LPZ definiert, von kleinen lokalen Zonen (bis herab zum Gehäuse eines einzelnen Geräts) bis zu großen integrierten Zonen (die auch das gesamte Gebäude umfassen können).

Bild 37 zeigt die typische Auslegung von LPZ für den LEMP-Schutz von elektronischen Systemen und zeigt verschiedene Lösungen, die insbesondere auch für bestehende bauliche Anlagen geeignet sind:

Bild 37a zeigt die Installation einer einzelnen LPZ 1, wodurch ein geschütztes Volumen innerhalb der gesamten baulichen Anlage entsteht, das für robuste elektronische Systeme geeignet ist.

# — Vornorm —

## DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11

- Diese LPZ 1 kann durch ein LPS nach DIN V VDE V 0185-3 (VDE V 0185 Teil 3) gebildet werden, das aus einem äußeren LPS (Fangeinrichtungen, Ableitungen und Erdungsanlage) und einem internen LPS (Blitzschutz-Potentialausgleich und Einhaltung der Trennungsabstände) besteht.
- Das äußere LPS schützt die LPZ 1 gegen direkte Blitzeinschläge, aber das magnetische Feld innerhalb von LPZ 1 bleibt nahezu ungedämpft (weil Fangeinrichtungen und Ableitungen typische Maschenweiten und typische Abstände von mehr als 5 m haben, ist – wie oben erklärt – die räumliche Schirmwirkung vernachlässigbar). Wenn das Risiko von direkten Blitzeinschlägen sehr gering ist, kann das äußere LPS auch entfallen.
- Das interne LPS erfordert den Potentialausgleich aller Versorgungsleitungen, die in die bauliche Anlage an der Grenze von LPZ 1 eintreten, was die Installation von geeigneten SPDs nach Abschnitt 12 für alle elektrischen und Datenleitungen einschließt. Durch diese Maßnahme werden die vom Blitz erzeugten leitungsgebundenen Impulsströme auf eintretenden Versorgungsleitungen beherrscht.
- Wenn eine signifikante Dämpfung des ursprünglichen magnetischen Blitzfelds innerhalb von LPZ 1 nötig ist, kann die durch Einbeziehen der natürlichen metallenen Komponenten der baulichen Anlage in das äußere LPS geschehen, wodurch ein gitterförmiger räumlicher Schirm von LPZ 1 entsteht (siehe 13.7). Seine Schirmwirkung kann nach Abschnitt 11 berechnet werden.
- Isolierende Schnittstellen innerhalb von LPZ 1 können helfen, niederfrequente Störungen zu vermeiden.

Bild 37b zeigt für empfindliche elektronische Systeme die Installation einer großen, integrierten LPZ 2 innerhalb von LPZ 1. Der gitterförmige räumliche Schirm von LPZ 2, aufgebaut nach Abschnitt 11, bewirkt eine signifikante Dämpfung des magnetischen Blitzfelds. In diesem Fall müssen die SPDs für alle elektrischen und Datenleitungen, die aus LPZ 0 kommen und unmittelbar in LPZ 2 eintreten, nach Abschnitt 12 an den direkten Übergang von LPZ 0 über LPZ 1 nach LPZ 2 angepasst sein.

Bild 37c zeigt die Installation von einzelnen LPZ 2 innerhalb von LPZ 1. In diesem Fall müssen zusätzliche SPDs für die elektrischen und Datenleitungen an der Grenze von jeder LPZ 2 installiert werden. Diese SPDs müssen mit den SPDs an der Grenze von LPZ 1 nach Abschnitt 12 koordiniert werden.

Bild 37d zeigt die Installation von mehreren großen LPZ 2 für alle empfindlichen elektronischen Systeme. Die einzelnen LPZ 2 sind durch geschirmte Kabelkanäle miteinander zu einer durchgehenden LPZ 2 verbunden. Deshalb werden für die elektrischen und Datenleitungen, die aus LPZ 0 kommen und über einen Kabelkanal direkt in LPZ 2 eintreten, wie in Bild 37b nur einmal SPD benötigt.

### 13.3 Aufrüstung von Energieversorgung und Kabelinstallation innerhalb einer baulichen Anlage

Die bestehende Energieversorgung (Bild 36, Pos. 1) in einer baulichen Anlage ist sehr oft vom Typ TN-C. Wenn durch die Verbindung von geerdeten Datenleitungen mit dem PEN-Leiter netzfrequente Störungen verursacht werden, können diese durch folgende Maßnahmen vermieden werden:

- Isolierende Schnittstellen durch Verwendung von Klasse II-isolierten elektrischen Geräten oder von Trenn-Transformatoren. Für nur wenige elektronische Geräte kann dies eine Lösung sein (siehe 13.5)
- Installation einer neuen Energieversorgung von Typ TN-S (Bild 36, Pos. 2). Dies ist die empfohlene Lösung, insbesondere für eine große Anzahl von elektronischen Geräten.

Die Anforderungen an Erdung, Potentialausgleich und Leitungsführung müssen erfüllt werden.

### 13.4 Schutz durch Überspannungsschutzgeräte

Um die vom Blitz erzeugten, leitungsgebundenen Impulsströme auf elektrischen Leitungen zu beherrschen, müssen SPDs nach Abschnitt 12 an jeder Eintrittsstelle in eine innere LPZ installiert werden (Bild 36, Pos. 3 und Bild 37).

Eine unkoordinierte Anwendung von SPDs innerhalb des Gebäudes kann zu Fehlfunktionen oder Zerstörungen im elektronischen System führen, insbesondere wenn lokale SPDs oder SPDs innerhalb von Geräten das ordnungsgemäße Funktionieren der SPDs am Gebäudeeintritt verhindern.



Damit die Wirksamkeit der LEMP-Schutzmaßnahmen aufrechterhalten werden kann, ist es nötig, den Einbauort der installierten SPDs zu dokumentieren.

### **13.5 Schutz durch isolierende Schnittstellen**

Netzfrequente Störströme in Geräten und ihren Datenleitungen können durch große Leiterschleifen oder durch das Fehlen eines ausreichend niederinduktiven Potentialausgleich-Netzwerks entstehen. Solche Störungen (besonders in TN-C-Installationen) lassen sich vermeiden, indem eine geeignete Trennung zwischen bestehenden und neuen Installationen durch isolierende Schnittstellen erreicht wird, wie z. B.

- Klasse II-isolierte Geräte (Doppelte Isolierung ohne PE-Leiter),
- Trenn-Transformatoren,
- Lichtwellenleiter ohne metallene Komponenten,
- Optokoppler.

Isolierende Schnittstellen, die gegen vom Blitz induzierte Überspannungen eingesetzt werden sollen, benötigen eine erhöhte Spannungsfestigkeit. Eine Spannungsfestigkeit von etwa 5 kV für eine Wellenform 1,2/50 kann erwartet werden. Soweit nötig, muss der Schutz solcher Schnittstellen gegen höhere Überspannungen durch SPDs sichergestellt werden, deren Ansprechspannung dicht unterhalb der Spannungsfestigkeit liegt.

**ANMERKUNG** Es ist sorgfältig darauf zu achten, dass metallene Gerätegehäuse keinen zufälligen galvanischen Kontakt mit dem Potentialausgleich-Netzwerk oder mit anderen metallenen Teilen haben, sondern gegen diese isoliert bleiben. Diese Forderung ist meistens erfüllt, weil elektronische Geräte, die in Wohn- oder Büroräumen verwendet werden, nur über ihre Kabel mit Erde verbunden sind.

### **13.6 Schutzmaßnahmen durch Leitungsführung und -schirmung**

Geeignete Leitungsführung und -schirmung sind wirksame Maßnahmen um Überspannungen zu reduzieren. Diese Maßnahmen sind besonders wichtig, wenn die räumliche Schirmwirkung von LPZ 1 vernachlässigbar klein ist. In diesem Fall können die folgenden Maßnahmen einen guten Schutz gegen die Wirkungen des LEMP bieten:

- Minimierung der Flächen von Leiterschleifen

Die Energieeinspeisung neuer Geräte aus dem bestehenden Netz sollte vermieden werden, weil dadurch Leiterschleifen mit großer Fläche entstehen, was das Risiko von Zerstörungen an der Isolation signifikant erhöht. Weiterhin können große Leiterschleifen durch eng benachbarte Führung von elektrischen und Datenleitungen vermieden werden (Bild 36, Pos. 8).

- Verwendung von geschirmten Kabeln oder metallenen Kabelkanälen

Es wird empfohlen, geschirmte Datenleitungen zu verwenden, wobei der Schirm zumindest an beiden Enden mit dem Potentialausgleich verbunden sein muss. Zusätzliche Schirmung ist möglich durch metallene Platten oder Kabelkanäle, die an den Potentialausgleich angeschlossen und gut durchverbunden sein müssen. Die Verbindungen müssen durch Verschraubung von überlappten Teilen oder durch Potentialausgleichsleiter erfolgen. Um die Impedanz des Kabelkanals klein zu halten, müssen mehrere multiple Verschraubungen oder Potentialausgleichsleiter über den Umfang des Kabelkanals verteilt werden (siehe IEC 61000-5-2).

Beispiele für gute Leitungsführung und -schirmung zeigen die Bilder 38 und 39.

Für Datenleitungen von mehr als 10 m Länge zwischen elektronischen Geräten in Bereichen, die nicht speziell für elektronische Systeme ausgelegt sind, wird empfohlen, symmetrische Datenleitungen mit geeigneten galvanischen Trennungen (z. B. Optokoppler, Trenn-Transformatoren oder Isoliervverstärker) einzusetzen. Die zusätzliche Verwendung doppelt geschirmter Kabel kann von Vorteil sein.

### 13.7 Aufrüstung eines bestehenden Äußeren Blitzschutzes zu einem räumlichen Schirm von LPZ 1

Ein bestehender Äußerer Blitzschutz nach DIN V VDE V 0185-3 (VDE V 0185 Teil 3), der eine LPZ 1 umschließt, kann auferüstet werden durch:

- Integration von bestehenden metallenen Fassaden und Dächern in den Äußeren Blitzschutz;
- Einbinden der Armierung vom armierten Betondach hinunter durch die Wände bis zur Erdungsanlage der baulichen Anlage, vorausgesetzt die durchgehende elektrische Leitfähigkeit ist sichergestellt;
- Verringerung der Abstände der Ableitungen und der Maschenweite der Fangeinrichtungen typisch unter 5 m;
- Installation von flexiblen Potentialausgleichsleitern zur Überbrückung von Dehnungsfugen zwischen benachbarten, aber strukturell getrennten, armierten Teilen.

### 13.8 Schutz durch ein Potentialausgleich-Netzwerk

Bestehende Erdungssysteme für Netzfrequenz stellen möglicherweise keinen ausreichenden Potentialausgleich für Blitzströme mit Frequenzen bis zu einigen MHz dar, weil ihre Impedanz für diese Frequenzen zu hoch sein kann.

Sogar ein LPS nach DIN V VDE V 0185-3 (VDE V 0185 Teil 3), das den Blitzschutz-Potentialausgleich zwingend als Teil des internen LPS einschließt, kann für empfindliche elektronische Systeme unzureichend sein: Das Potentialausgleichssystem mit Maschenweiten und typischen Abständen größer als 5 m kann zu hohe Impedanz haben.

Die Installation eines niederinduktiven Potentialausgleich-Netzwerks nach 8.2 mit typischen Maschenweiten von 5 m und darunter wird dringend empfohlen.

Im Allgemeinen sollte das Potentialausgleich-Netzwerk nicht als Rückleiter für Energie- oder Datenleitungen verwendet werden. Deshalb muss der PE-Leiter in das Potentialausgleich-Netzwerk integriert werden, während der PEN-Leiter nicht integriert werden darf.

Der direkte Anschluss eines Funktions-Erdungsleiters an den Potentialausgleich eines niederinduktiven Potentialausgleich-Netzwerks ist erlaubt, weil in diesem Fall die Störeinkopplung in elektrische oder Datenleitungen sehr gering ist. Ein direkter Anschluss an PEN-Leiter oder andere mit ihm verbundene Teile ist verboten, um netzfrequente Störungen im elektronischen System zu vermeiden.

### 13.9 Schutzmaßnahmen für außen angebrachte Geräte

#### 13.9.1 Allgemeines

Beispiele für außen angebrachte Geräte sind Sensoren jeder Art einschließlich von Antennen, meteorologischen Sensoren, Überwachungskameras, außenliegenden Sensoren in Anlagen der Verfahrenstechnik (für Druck, Temperatur, Durchfluss, Ventilstellung usw.) und jede andere Art von elektrischen, elektronischen oder radiotechnischen Geräten, die außen an baulichen Anlagen, an Masten oder an Prozesstürmen angebracht sind.

#### 13.9.2 Schutz von außen angebrachten Geräten

Wenn immer möglich, sollen die Geräte in eine LPZ 0<sub>B</sub> gebracht werden, z. B. indem eine lokale Fangeinrichtung verwendet wird, um sie gegen direkten Blitzeinschlag zu schützen (siehe Bild 40). An hohen baulichen Anlagen soll das Blitzkugelverfahren (siehe DIN V VDE V 0185-3 (VDE V 0185 Teil 3) für Geräte auf dem Dach oder an den Seiten angewendet werden, um festzustellen ob ein direkter Blitzeinschlag möglich ist und um entsprechende Fangeinrichtungen richtig zu platzieren. In vielen Fällen können Geländer, Leitern, Rohre usw. die Funktion der Fangeinrichtung übernehmen. Alle Geräte, mit Ausnahme von bestimmten Arten von Antennen, können auf diese Weise geschützt werden. Antennen müssen manchmal an exponierter Stelle angebracht werden, weil ihre Leistung von Blitzableitungen in der Nähe ungünstig beeinflusst werden kann. Manche Antennenbauarten sind selbst-schützend, weil nur gut geerdete, leitfähige

Elemente einem Blitzschlag ausgesetzt sind. Bei anderen Bauarten, die nicht so gut geschützt sind, müssen SPDs an den Zuleitungskabeln eingebaut werden, damit keine zu hohen Impulsspannungen über das Kabel bis zum Sender oder Empfänger gelangen können. Wenn ein äußeres LPS vorhanden ist, sollen Antennen-träger in jedem Fall daran angeschlossen werden.

### 13.9.3 Verminderung von Überspannungen in Kabeln

Hohe induzierte Spannungen und Ströme können vermieden werden, indem die Leitungen in geerdeten Kanälen, Trassen oder metallenen Rohren geführt werden. Alle Kabel, die zu einem bestimmten Gerät führen, müssen den Kabelkanal am selben Punkt verlassen. Maximaler Nutzen sollte aus den inhärenten Schirmungseigenschaften der baulichen Anlage gezogen werden, indem Kabel soweit als möglich innerhalb von rohrförmigen Komponenten geführt werden. Wo dies nicht möglich ist, wie im Fall von Prozesstürmen, sollen die Kabel auf der Außenseite, aber dicht an der baulichen Anlage geführt werden unter bestmöglicher Nutzung der natürlichen Schirmung durch metallene Rohre, stählerne Leitern und andere gut geerdete Teile (Bild 41). Bei Masten aus L-Profilen (Bild 42) sollten für eine bestmögliche Schutzwirkung die Kabel in der inneren Ecke des L-Profiles geführt werden.

## 13.10 Aufrüstung von Verbindungsleitungen zwischen bauliche Anlagen

Verbindungsleitungen zwischen getrennten baulichen Anlagen sind entweder

- isolierend (Lichtwellenleiter ohne metallenen Komponenten) oder
- metallenen (z. B. Drahtpaare, Wellenleiter, Koaxialkabel, Mehraderleitungen, aber auch Lichtwellenleiter mit durchgehenden metallenen Komponenten).

Die Schutzanforderungen hängen ab vom Typ der Leitung, der Anzahl der Leitungen und davon, ob die Erdungsanlagen der baulichen Anlagen miteinander verbunden sind.

### 13.10.1 Isolierende Leitungen

Wenn Lichtwellenleiter ohne metallene Komponenten (z. B. ohne metallene Armierung, Feuchtigkeitssperffolie oder internen Stahldraht) verwendet werden, um getrennte bauliche Anlagen miteinander zu verbinden, sind keine Schutzmaßnahmen für diese Leitungen nötig.

### 13.10.2 Metallene Leitungen

- Ohne geeignete Verbindung der Erdungsanlagen von getrennten baulichen Anlagen, bilden die Verbindungsleitungen einen niederinduktiven Strompfad für den Blitzstrom. Deshalb fließt ein wesentlicher Teil des Blitzstroms entlang dieser Verbindungsleitungen.

Der benötigte Potentialausgleich direkt oder durch SPDs an den Eingängen in beide LPZ 1 schützt nur die Geräte innerhalb, während die Leitungen außerhalb ungeschützt bleiben.

Die Leitungen können durch die Installation eines zusätzlichen parallelen Potentialausgleichsleiters geschützt werden. Der Blitzstrom teilt sich dann zwischen ihnen auf.

Die empfohlene Methode ist aber, die Leitungen in geschlossenen und durchverbundenen metallenen Kabelkanälen zu führen. In diesem Fall sind sowohl die Leitungen als auch die Geräte geschützt.

- Auch bei geeigneter Verbindung der Erdungsanlagen von getrennten baulichen Anlagen, wird der Schutz der Leitungen mit durchverbundenen metallenen Kabelkanälen empfohlen. Wenn aber sehr viele Leitungen die beiden baulichen Anlagen verbinden, können die Schirme oder Armierungen der Kabel, wenn sie auf beiden Seiten geerdet sind, die Funktion der Kabelkanäle übernehmen.

**— Vornorm —**

DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11

**Tabelle 1 – Maximalwerte der Blitzparameter abhängig vom Gefährdungspegel  
(siehe Bild 2)**

Erster Stoßstrom			Gefährdungspegel			
Stromparameter	Symbol	Einheit	I	II	III	IV
Stromscheitelwert	$I$	kA	200	150	100	
Ladung des Stoßstroms	$Q_{\text{stoß}}$	C	100	75	50	
Spezifische Energie	$W/R$	kJ/Ω	10 000	5 625	2 500	
Zeitparameter	$T_1/T_2$	µs/µs	10/350			
Folgestoßstrom			Gefährdungspegel			
Stromparameter	Symbol	Einheit	I	II	III	IV
Stromscheitelwert	$I$	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			Gefährdungspegel			
Stromparameter	Symbol	Einheit	I	II	III	IV
Ladung des Langzeitstroms	$Q_{\text{lang}}$	C	200	150	100	
Zeitparameter	$T_{\text{lang}}$	s	0,5			
Blitz			Gefährdungspegel			
Stromparameter	Symbol	Einheit	I	II	III	IV
Ladung des Blitzes	$Q_{\text{blitz}}$	C	300	225	150	

**Tabelle 2 – Minimalwerte der Blitzparameter und des zugehörigen Blitzkugelradius abhängig vom Gefährdungspegel**

Einfangkriterien			Gefährdungspegel			
	Symbol	Einheit	I	II	III	IV
Stromscheitelwert	$I$	kA	2,9	5,4	10,1	15,7
Blitzkugelradius	$R$	m	20	30	45	60

**Tabelle 3 – Mindestabmessungen von Potentialausgleichsleitern zur Verbindung von internen metallenen Installationen mit der Potentialausgleichsschiene**

Werkstoff	Leiterquerschnitt mm <sup>2</sup>
Cu	6
Al	10
Fe	16

**Tabelle 4 – Mindestabmessungen von Verbindungsleitern zwischen verschiedenen Potentialausgleichsschienen oder zwischen Potentialausgleichsschienen und dem Erdungssystem**

Werkstoff	Leiterquerschnitt mm <sup>2</sup>
Cu	16
Al	25
Fe	50

**Tabelle 5 – Magnetische Dämpfung von gitterförmigen räumlichen Schirmen gegen ebene Wellen bedingt durch nahe Blitzeinschläge**

Werkstoff	<i>SF</i> (dB) (siehe Anmerkungen 1 und 2)	
	25 kHz (gültig für den ersten Teilblitz)	1 MHz (gültig für Folgeblitze)
Kupfer oder Aluminium	$20 \cdot \log (8,5/M)$	$20 \cdot \log (8,5/M)$
Stahl (siehe Anmerkung 3)	$20 \cdot \log \left[ \frac{8,5/M}{\sqrt{1 + 18 \cdot 10^{-6} / r^2}} \right]$	$20 \cdot \log (8,5/M)$

*M* Maschenweite des gitterförmigen Schirmes in m  
*r* Radius eines Stabes des gitterförmigen Schirmes in m

ANMERKUNG 1 *SF* = 0, wenn das Ergebnis der Formeln negativ wird.

ANMERKUNG 2 *SF* erhöht sich um 6 dB, wenn ein vermaschtes Potentialausgleich-Netzwerk nach 8.2 installiert ist.

ANMERKUNG 3 Permeabilität  $\mu_r \approx 200$

# — Vornorm —

DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11

**Tabelle 6 – Strukturelle Kenndaten und Umgebungsbedingungen**

Punkt	Fragen
1	Mauerwerk, Ziegel, Holz, armerter Beton, Stahlskelett, metallene Fassaden?
2	Einzelne bauliche Anlage oder miteinander verbundene Blöcke mit Dehnungsfugen?
3	Ausgedehnte niedrige oder hochragende bauliche Anlagen? (Dimensionen der baulichen Anlage)
4	Armierung der baulichen Anlage überall durchverbunden?
5	Art, Typ und Qualität des metallenen Dachmaterials?
6	Metallene Fassaden in den Potentialausgleich einbezogen?
7	Metallene Fensterrahmen in den Potentialausgleich einbezogen?
8	Größe der Fenster?
9	Bauliche Anlage mit einem äußeren LPS ausgerüstet?
10	Schutzklasse und Qualität dieser LPS?
11	Material des Erdbodens (Fels, Erde)?
12	Höhe, Abstand und Erdungsanlage von benachbarten baulichen Anlagen?
ANMERKUNG Für detaillierte Informationen siehe DIN V VDE V 0185-2 (VDE V 0185 Teil 2).	

**Tabelle 7 – Installations-Kenndaten**

Punkt	Fragen
1	Typ von eintretenden Versorgungsleitungen (Erdkabel oder Freileitung)?
2	Antennen oder andere außen angebrachte Geräte?
3	Typ der Energieversorgung (Hoch- oder Nieder-Spannung, Freileitung oder Erdkabel)?
4	Leitungsführung (Anzahl und Anordnung von Steigleitungen , Kabeltrassen)?
5	Verwendung von metallenen Kabelkanälen?
6	Haben die elektronischen Geräte innerhalb der baulichen Anlage eine unabhängige Stromversorgung?
7	Gibt es metallene Verbindungen zu anderen baulichen Anlagen?
ANMERKUNG Für detaillierte Informationen siehe DIN V VDE V 0185-2 (VDE V 0185 Teil 2).	

**Tabelle 8 – Geräte-Kenndaten**

Punkt	Fragen
1	Verbindungsleitungen der elektronischen Systeme (geschirmte oder ungeschirmte Mehrader-Kabel, Koaxialkabel, analog und/oder digital, symmetrisch oder unsymmetrisch, Lichtwellenleiter)? (siehe Anmerkung 1)
2	Spezifizierte Festigkeit der elektronischen Systeme? (siehe Anmerkungen 1 und 2)
ANMERKUNG 1 Für detaillierte Informationen siehe DIN V VDE V 0185-2 (VDE V 0185 Teil 2).	
ANMERKUNG 2 Für detaillierte Informationen siehe ITU-T K.21, IEC 61000-4-5, IEC 61000-4-9 und IEC 61000-4-10.	

**Tabelle 9 – Weitere für das Schutzkonzept wichtige Fragen**

Punkt	Fragen
1	Typ des Energienetzes ist TN (TN-S oder TN-C), TT oder IT?
2	Aufstellungsort der elektronischen Geräte? (siehe Anmerkung)
3	Verbindungen von Funktionserdungsleitungen des elektronischen Systems mit dem Potentialausgleich-Netzwerk?
ANMERKUNG Für detaillierte Informationen siehe Abschnitt 11.	

## Literaturhinweise

### Abschnitt 11:

König, Steinbigler: Magnetic field distribution inside a gridlike spatial shield in the case of a direct lightning strike. 24th International Conference on Lightning protection (ICLP), Ref. No. 3a4, Birmingham 1998

### Abschnitt 12:

Altmeier, Pelz, Scheibe: Computer simulation of surge voltage protection in low-voltage systems. 21st International Conference on Lightning protection (ICLP), Ref. No. 7.08, 1992, Berlin

Birkl, Hasse, Zahlmann: System convenient use of arresters in low voltage mains. etz 17, 1994, pp. 964–971

Birkl, Hasse, Zahlmann: Investigations of the interaction of lightning currents with low-voltage installations and their related lightning threat parameters. 23rd International Conference on Lightning protection (ICLP), 1996, Florence

Hasse, Wiesinger: Lightning protection for information systems: a part of EMC. 21st International Conference on Lightning protection (ICLP), 1992, Berlin

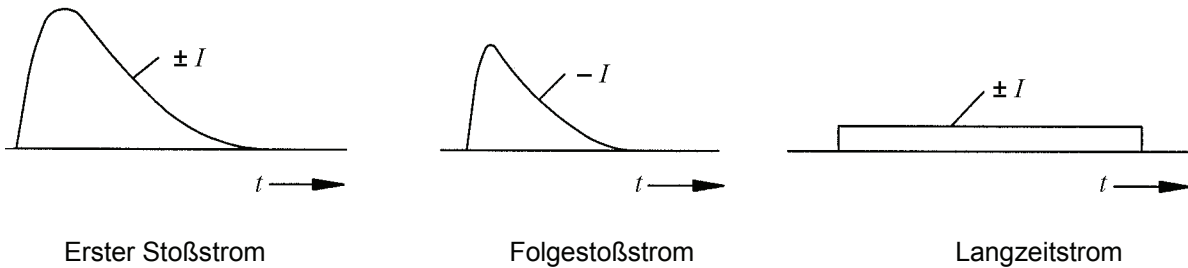
Hasse, Wiesinger, Zahlmann, Zischank: Principle for an advanced coordination of surge protective devices in low voltage systems. 22nd International Conference on Lightning protection (ICLP), 1994, Budapest

Lai, Martzloff: Coordination cascaded surge protection devices: High-low versus low-high. IEEE Transactions, IAS-29, No. 4, 1993, pp 680–687

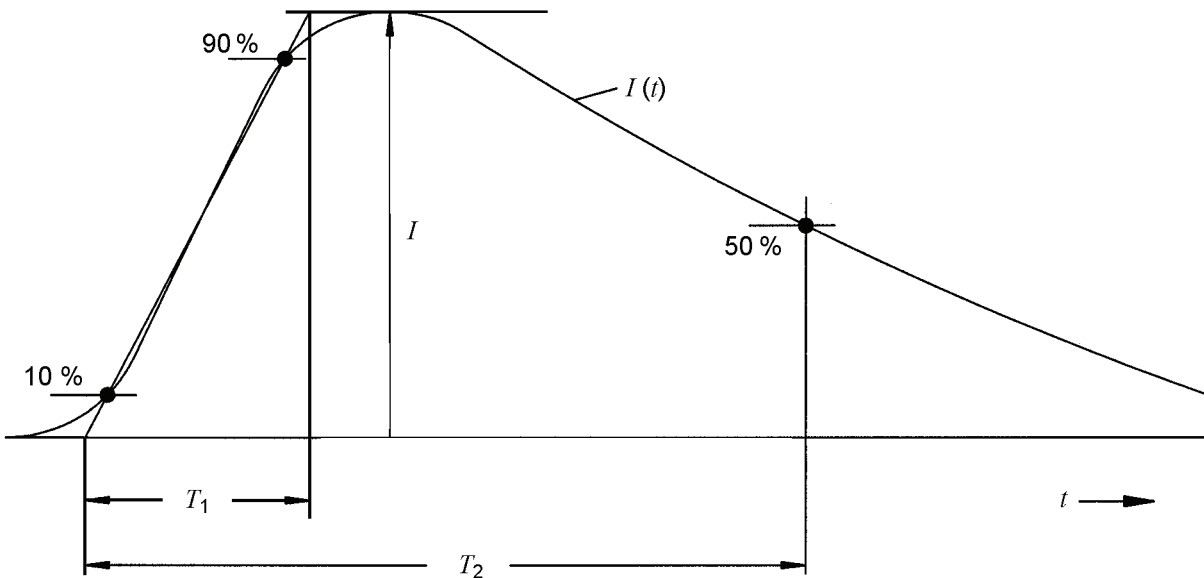
Rakotomalala, Auriol, Rousseau: Lightning distribution through earthing systems. IEEE Proceedings, 1994, pp. 419–423

### Abschnitt 13:

Montandon, E: Bonding and routing practice with respect on lightning protection and EMC. Proceedings, 21st ICLP, Berlin, Sept. 1992



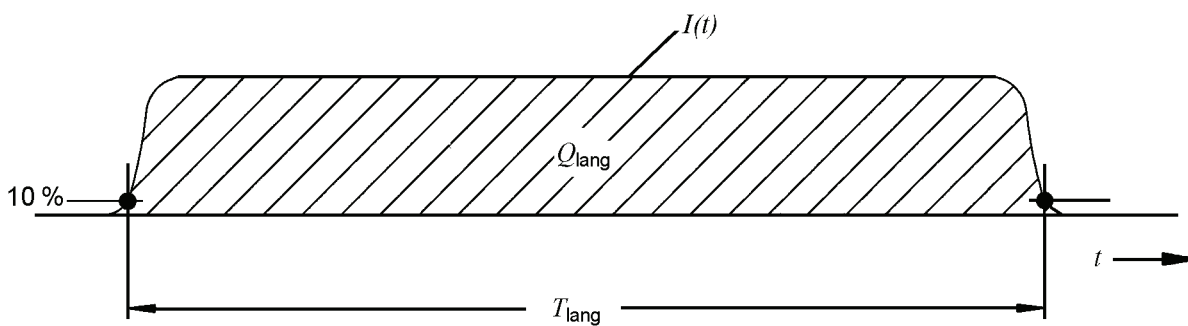
**Bild 1 – Einzelne Teilblitze**



**Legende**

- $I$  Stromscheitelwert
- $T_1$  Stirnzeit
- $T_2$  Rückenthalbwertzeit

**Bild 2a – Stoßstrom**



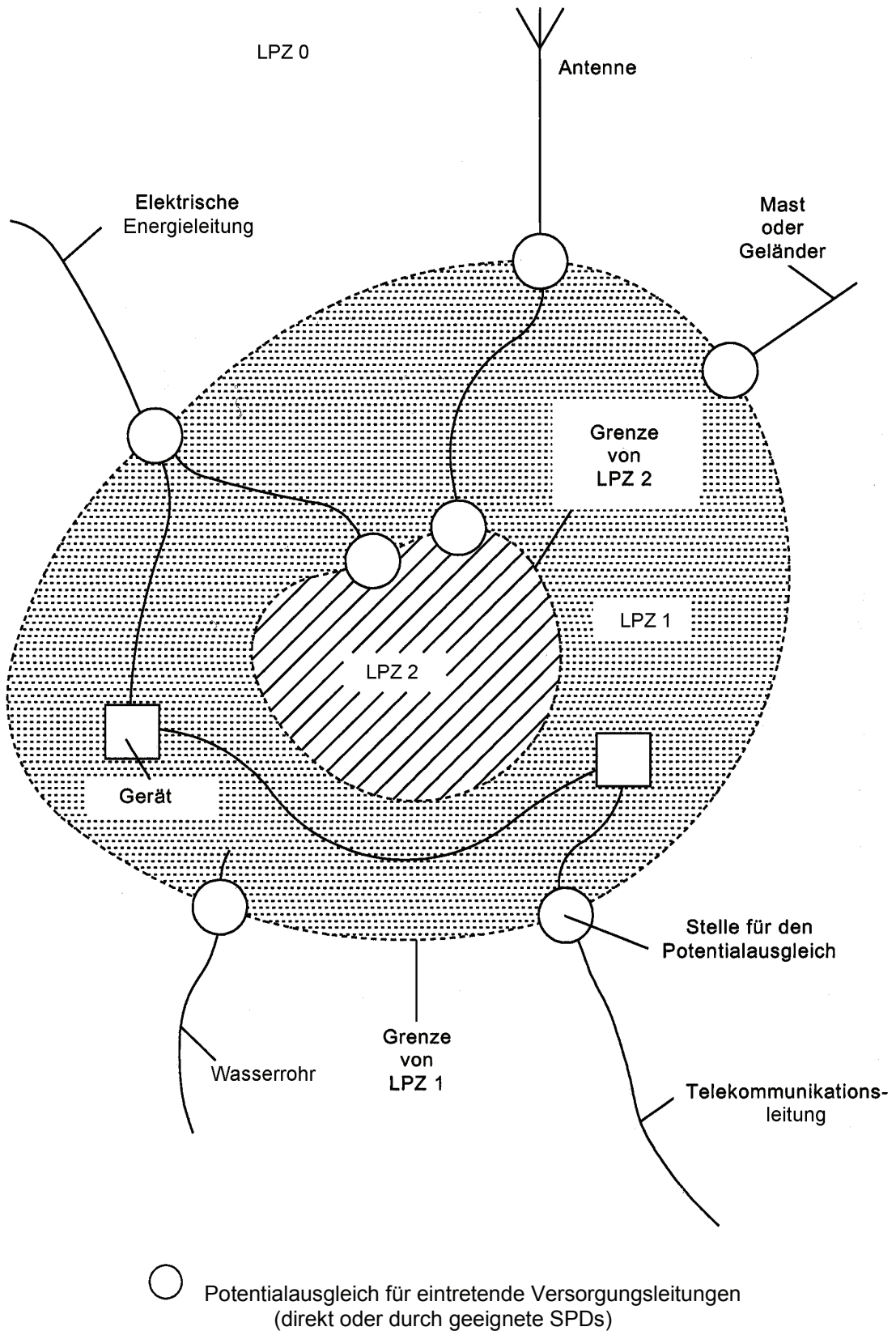
**Legende**

- $T_{lang}$  Dauer (Zeit zwischen den 10%-Werten in der Stirn und im Rücken)
- $Q_{lang}$  Ladung des Langzeitstroms

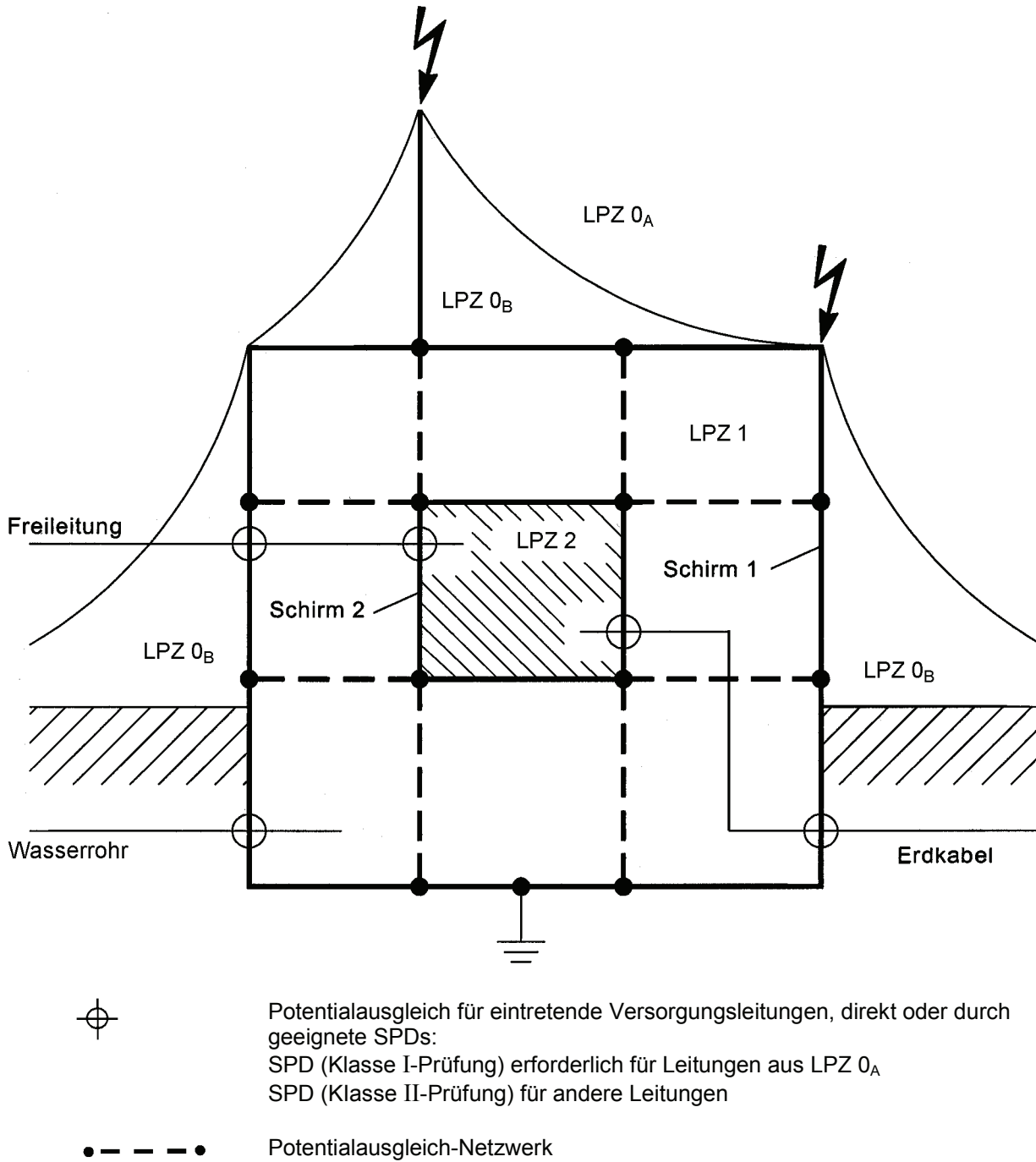
**Bild 2b – Langzeitstrom**

**Bild 2 – Definition der Teilblitzparameter**

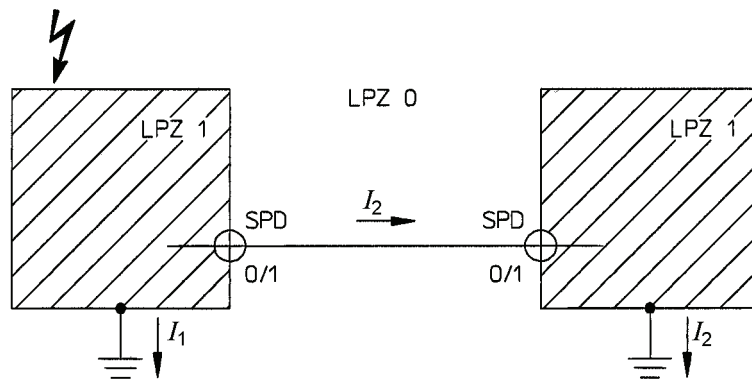




**Bild 3 – Prinzip für die Einteilung in verschiedene LPZ**

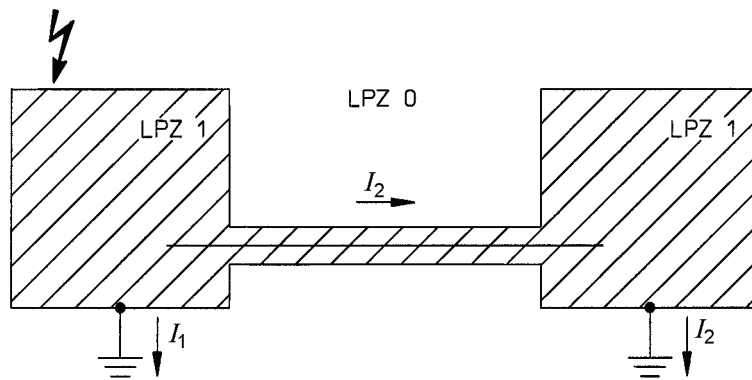


**Bild 4 – Beispiel für die Unterteilung einer baulichen Anlage in LPZ mit den geeigneten Stellen für den Potentialausgleich**



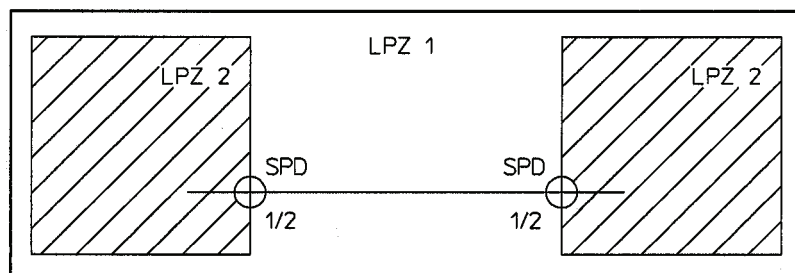
$I_1, I_2$  anteilige Blitzströme

**Bild 5a – Verbindung von zwei LPZ 1 unter Verwendung von SPDs**

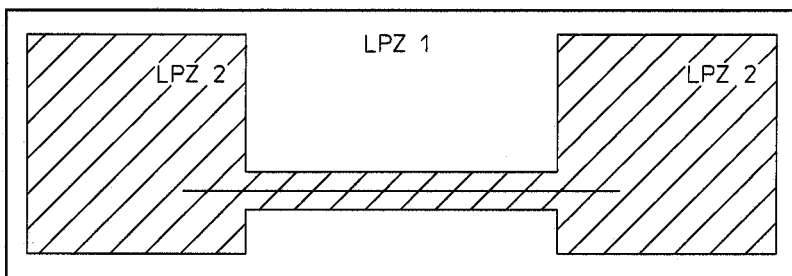


$I_1, I_2$  anteilige Blitzströme

**Bild 5b – Verbindung von zwei LPZ 1 unter Verwendung von geschirmten Kabeln oder geschirmten Kabelkanälen**

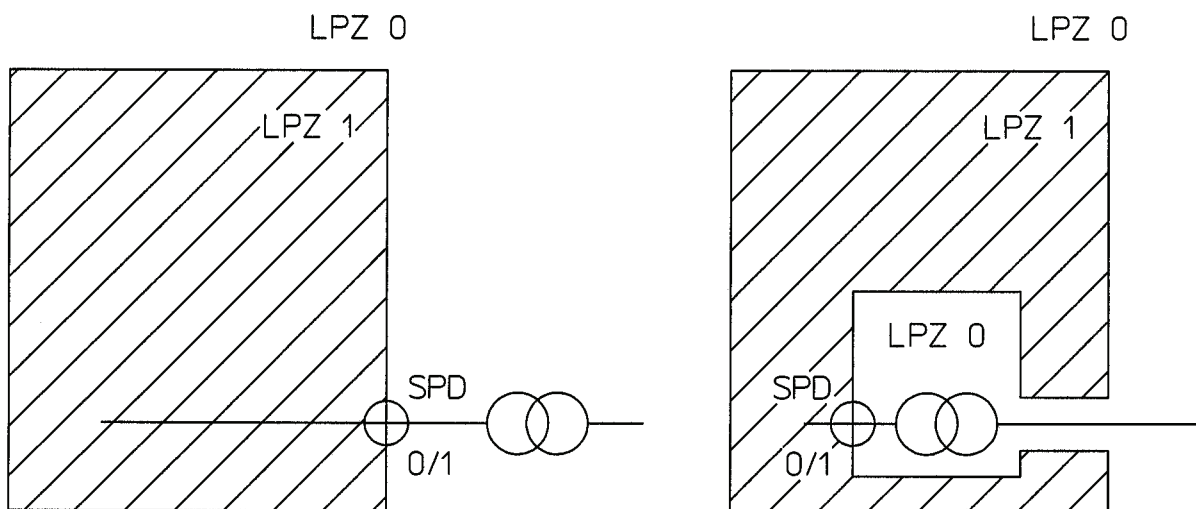


**Bild 5c – Verbindung von zwei LPZ 2 unter Verwendung von SPDs**



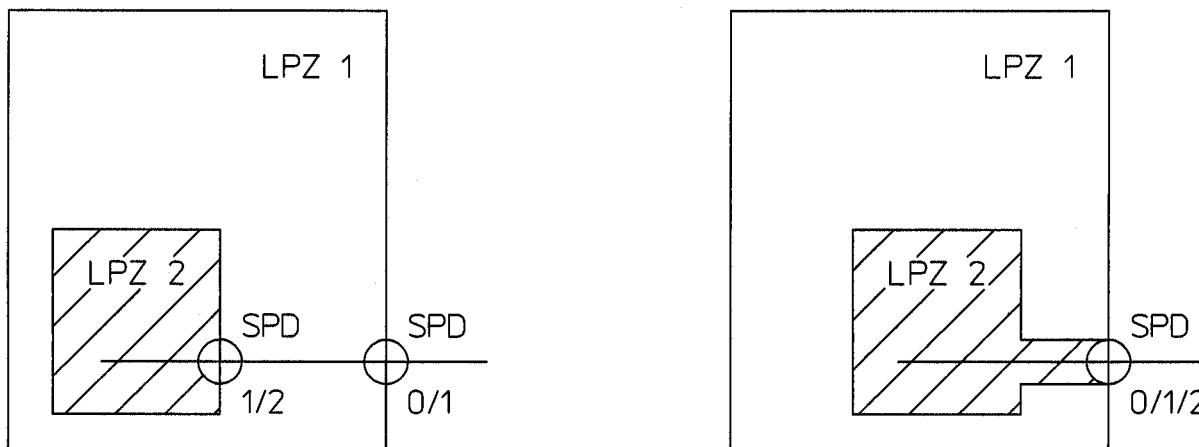
**Bild 5d – Verbindung von zwei LPZ 2 unter Verwendung von geschirmten Kabeln oder geschirmten Kabelkanälen**

**Bild 5 – Beispiele für miteinander verbundene Blitzschutzzonen**



**Bild 6a – Transformator außerhalb der baulichen Anlage**

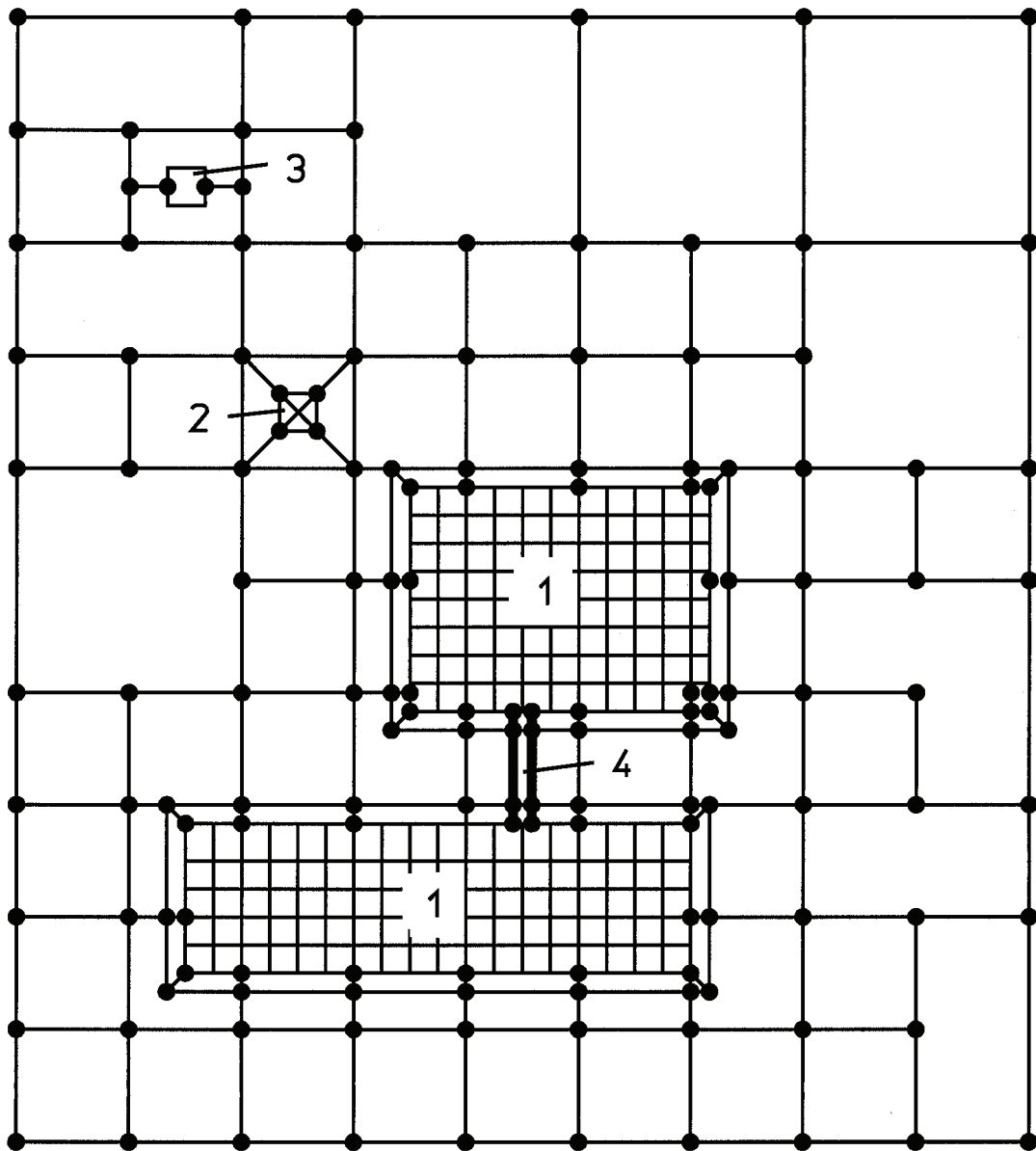
**Bild 6b – Transformator innerhalb der baulichen Anlage (LPZ 0 eingestülpt in LPZ 1)**



**Bild 6c – Zwei koordinierte SPDs (0/1) und SPD (1/2) nötig**

**Bild 6d – Nur ein SPD (0/1/2) nötig (LPZ 2 ausgestülpt in LPZ 1)**

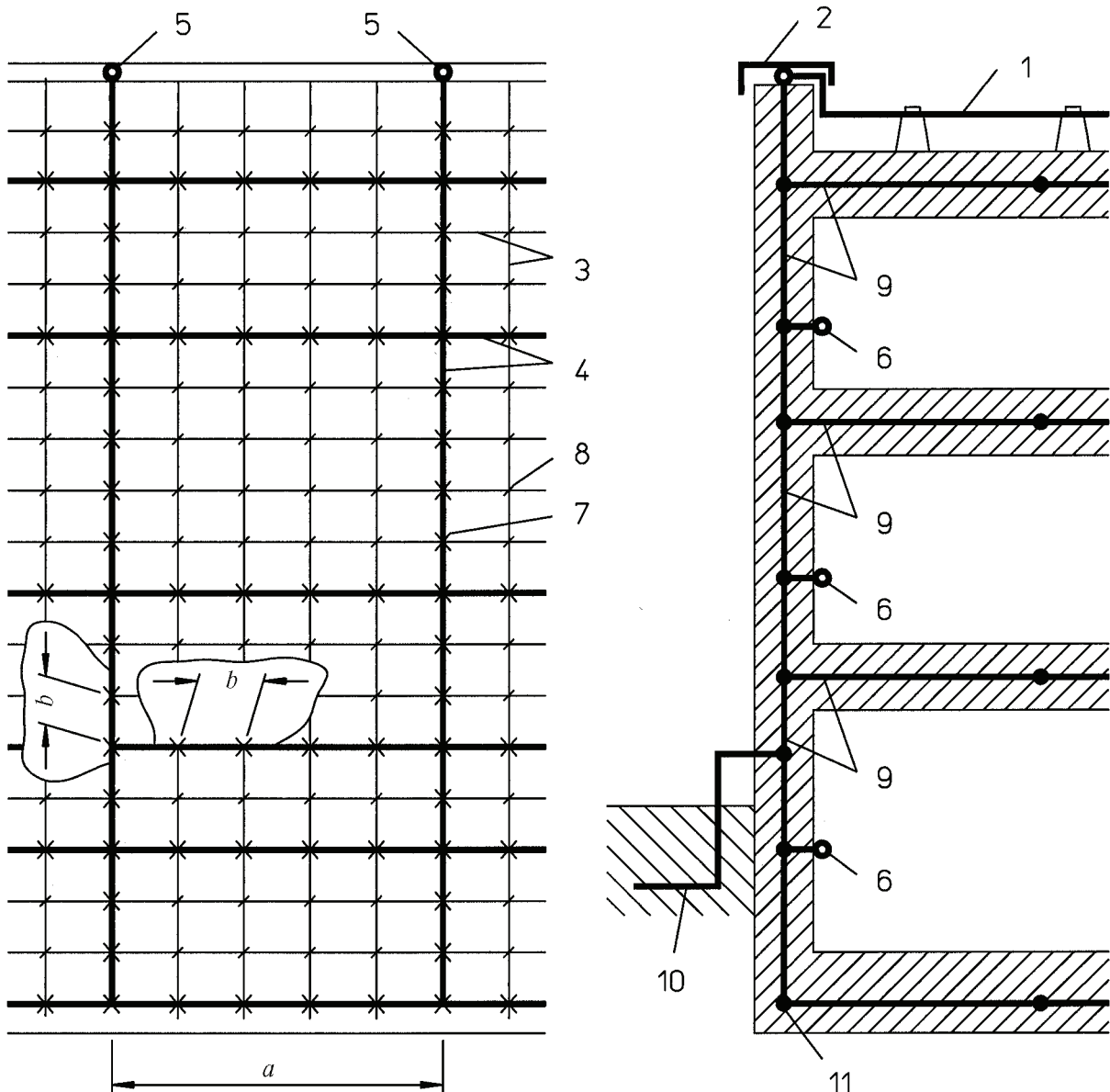
**Bild 6 – Beispiele für ausgestülpte Blitzschutzzonen**



**Legende**

- 1 Gebäude mit vermaschtem Netzwerk in der Armierung
- 2 Turm innerhalb des Geländes
- 3 allein stehendes Gerät
- 4 Kabeltrasse

**Bild 7 – Grundriss einer vermaschten Erdungsanlage eines Fabrikgeländes**

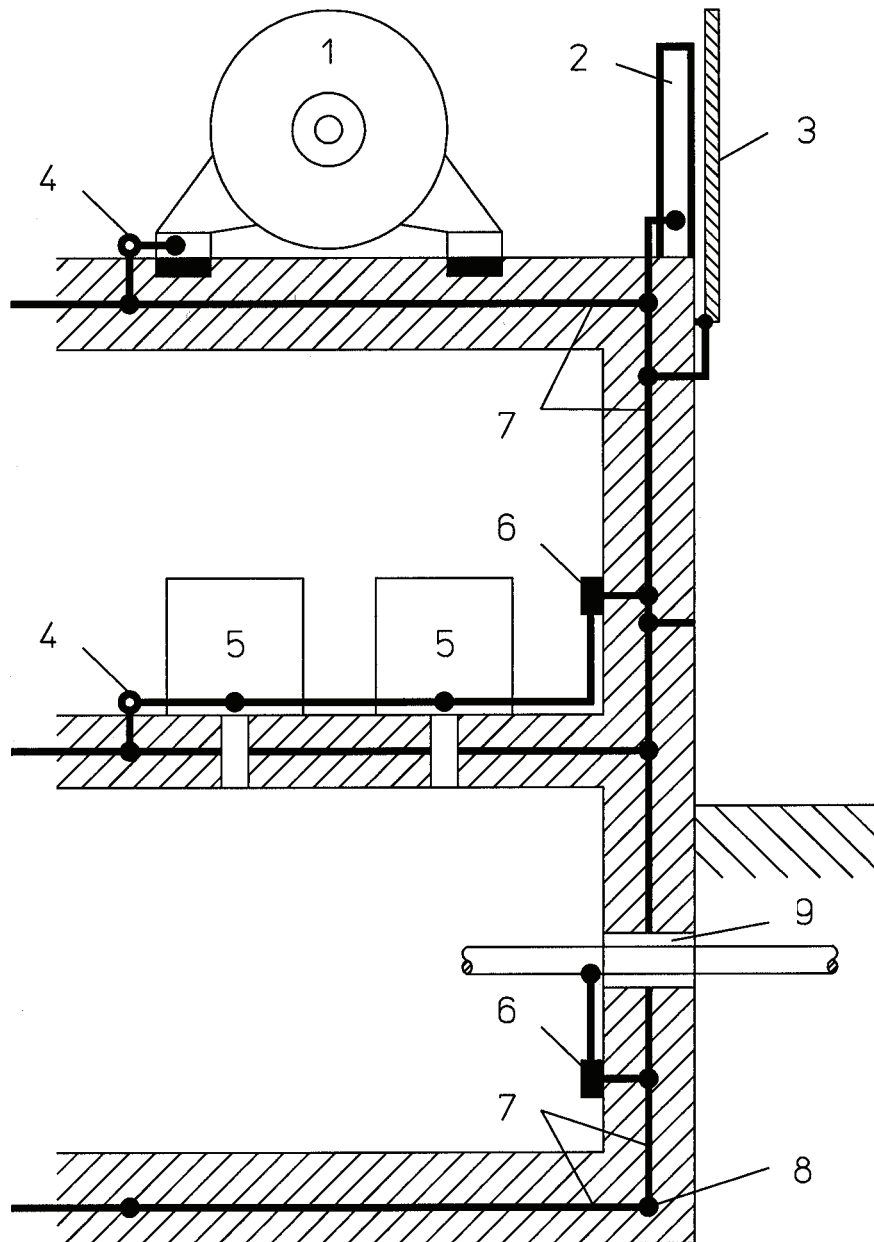


**Legende**

- 1 Leiter der Fangeinrichtung
- 2 metallene Abdeckung der Attika
- 3 Armierungsstäbe aus Stahl
- 4 der Armierung überlagertes Maschengitter
- 5 Anschluss an das Gitter
- 6 Anschluss für eine interne Potentialausgleichsschiene
- 7 Verbindung durch schweißen oder klemmen
- 8 willkürliche Verbindung
- 9 Armierung im Beton (mit überlagertem Maschengitter)
- 10 Ringerder (soweit vorhanden)
- 11 Fundamenterder

- a typischer Abstand von 5 m im überlagerten Maschengitter
- b typischer Abstand von 1 m für Verbindungen dieses Gitters mit der Armierung

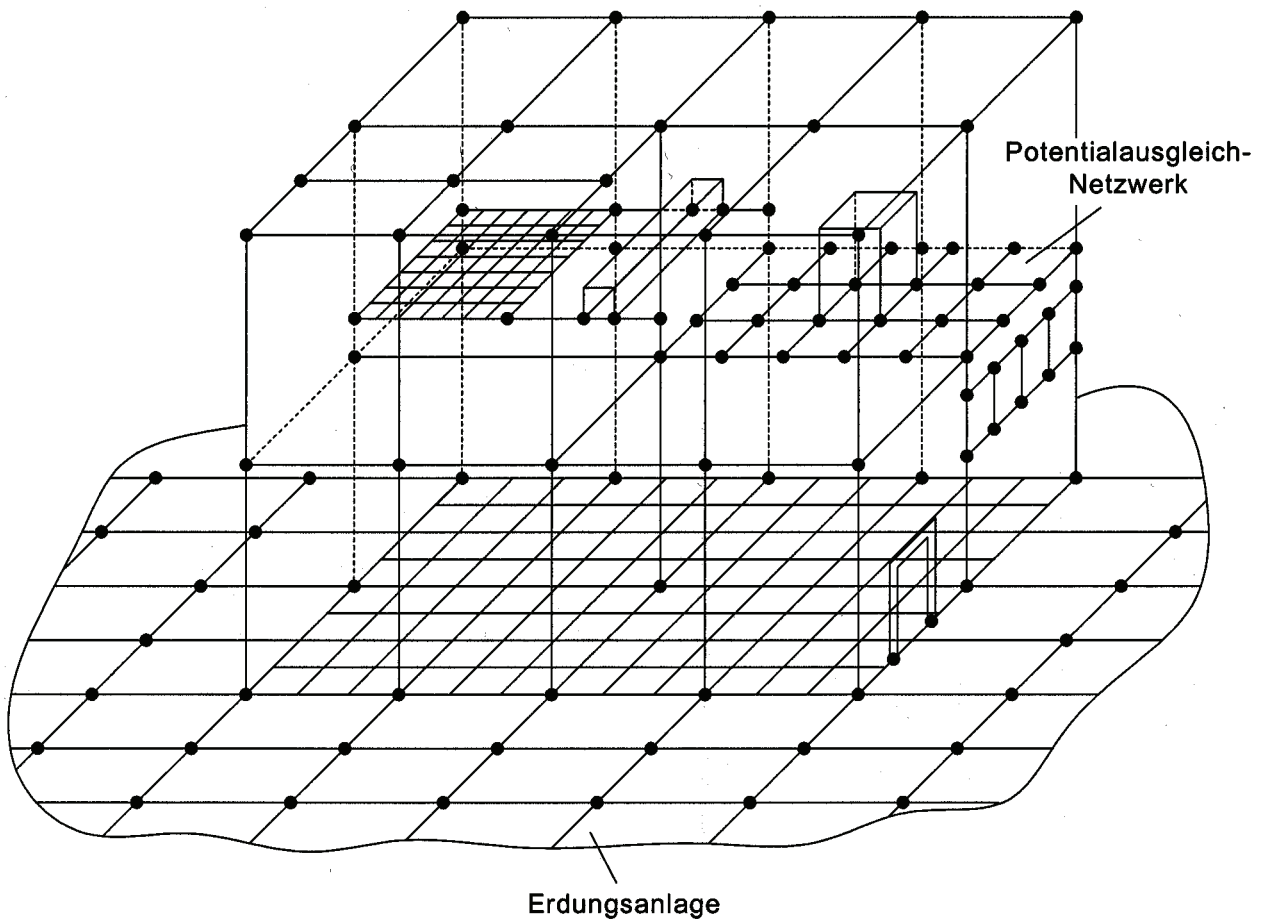
**Bild 8 – Verwendung der Armierungsstäbe einer baulichen Anlage für den Potentialausgleich**



**Legende**

- 1 Geräte der elektrischen Energieversorgung
- 2 Stahlträger
- 3 metallene Verkleidung der Fassade
- 4 Anschluss für den Potentialausgleich
- 5 elektrische oder elektronische Geräte
- 6 Potentialausgleichsschiene
- 7 Armierung im Beton (mit überlagertem Maschengitter)
- 8 Fundamenterder
- 9 gemeinsame Eintrittsstelle für verschiedene Versorgungsleitungen

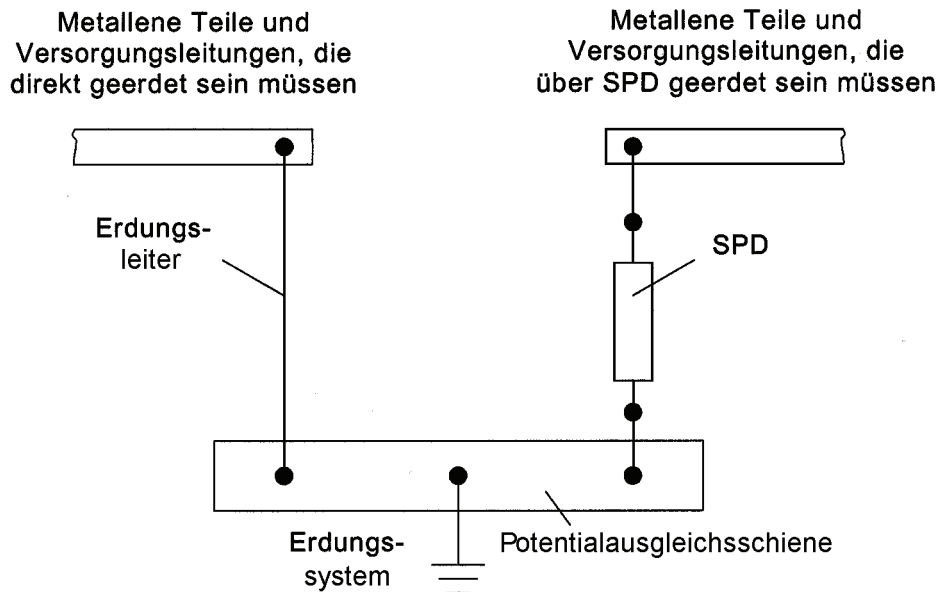
**Bild 9 – Potentialausgleich in einer baulichen Anlage unter Nutzung der Armierung**



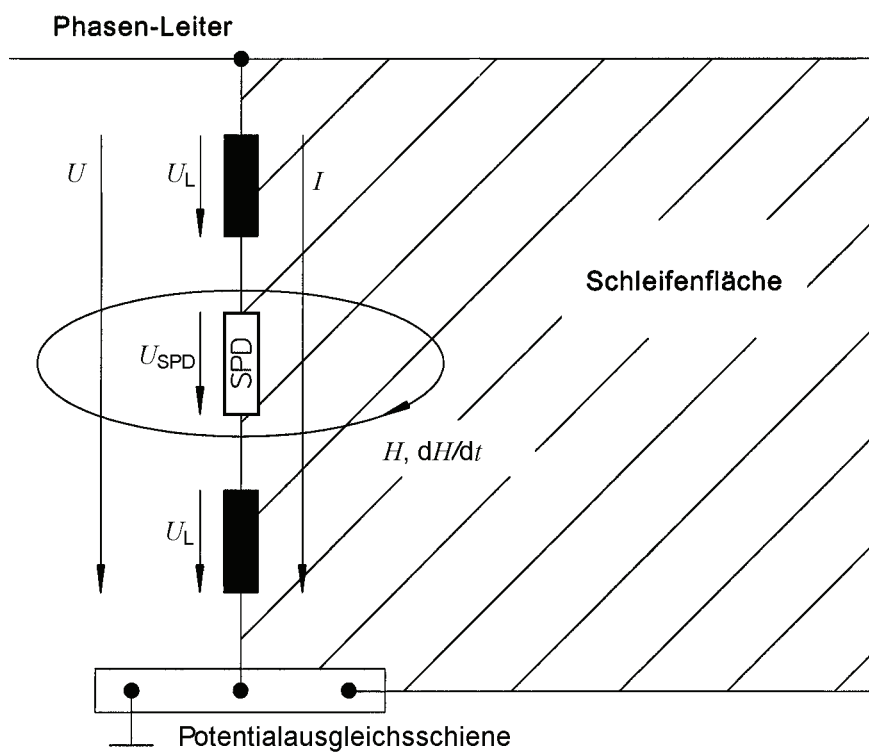
ANMERKUNG Alle gezeichneten Verbindungen sind entweder verbundene, metallene Strukturelemente oder Potentialausgleich-Netzwerk. Einige davon können auch als Fangeinrichtung, Ableitung oder Erder verwendet werden.

**Bild 10 – Beispiel für ein Erdungssystem als Kombination eines Potentialausgleich-Netzwerks und einer Erdungsanlage**





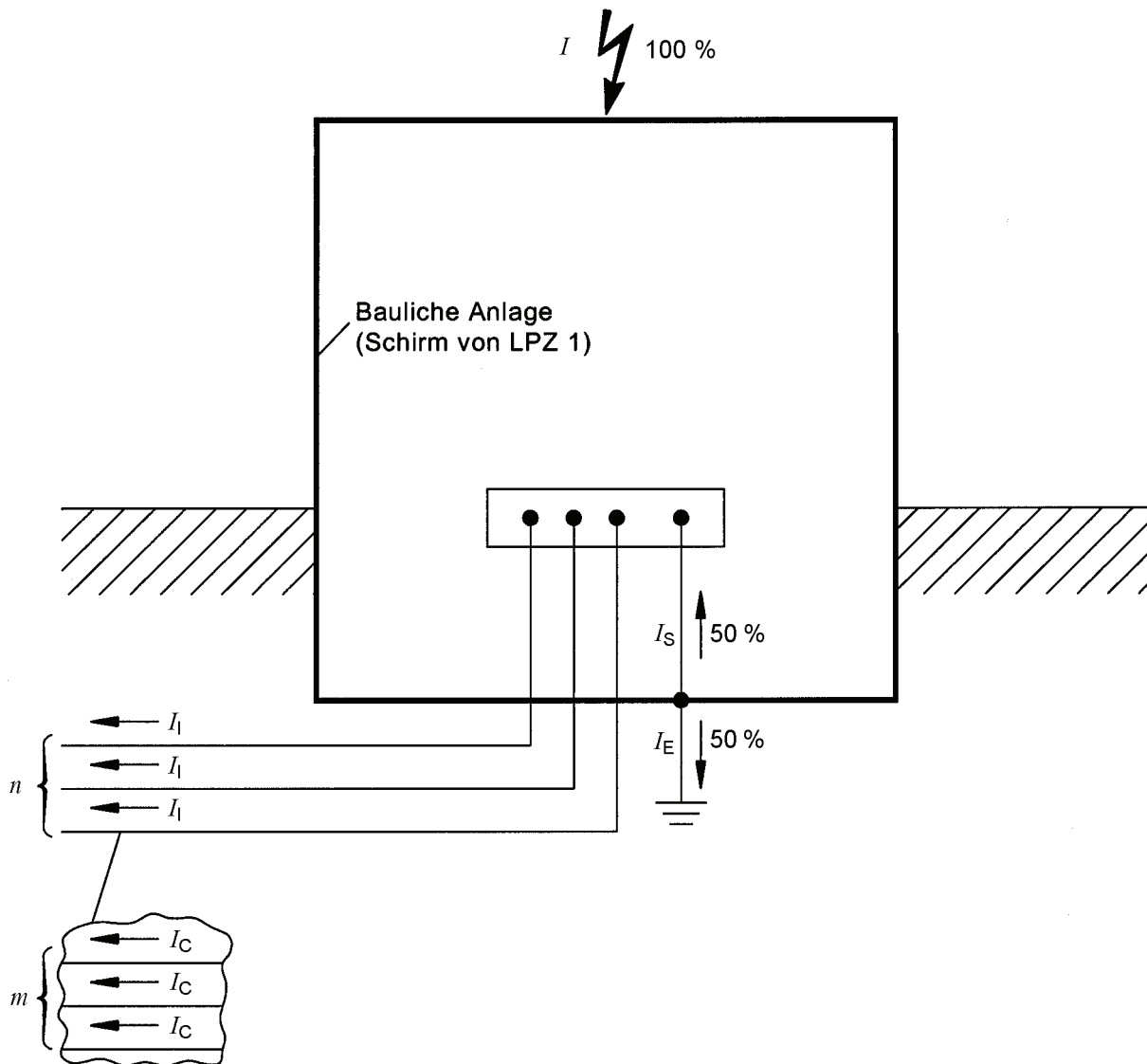
**Bild 11 – Potentialausgleich von metallenen Teilen und Versorgungsleitungen an einer Potentialausgleichsschiene**



**Legende**

- $I$  anteiliger Blitzstrom
- $U$  Impulsspannung zwischen dem Phasenleiter und der Potentialausgleichsschiene
- $U_{SPD}$  Begrenzungsspannung des SPDs
- $U_L$  induktiver Spannungsfall an den Potentialausgleichsleitern

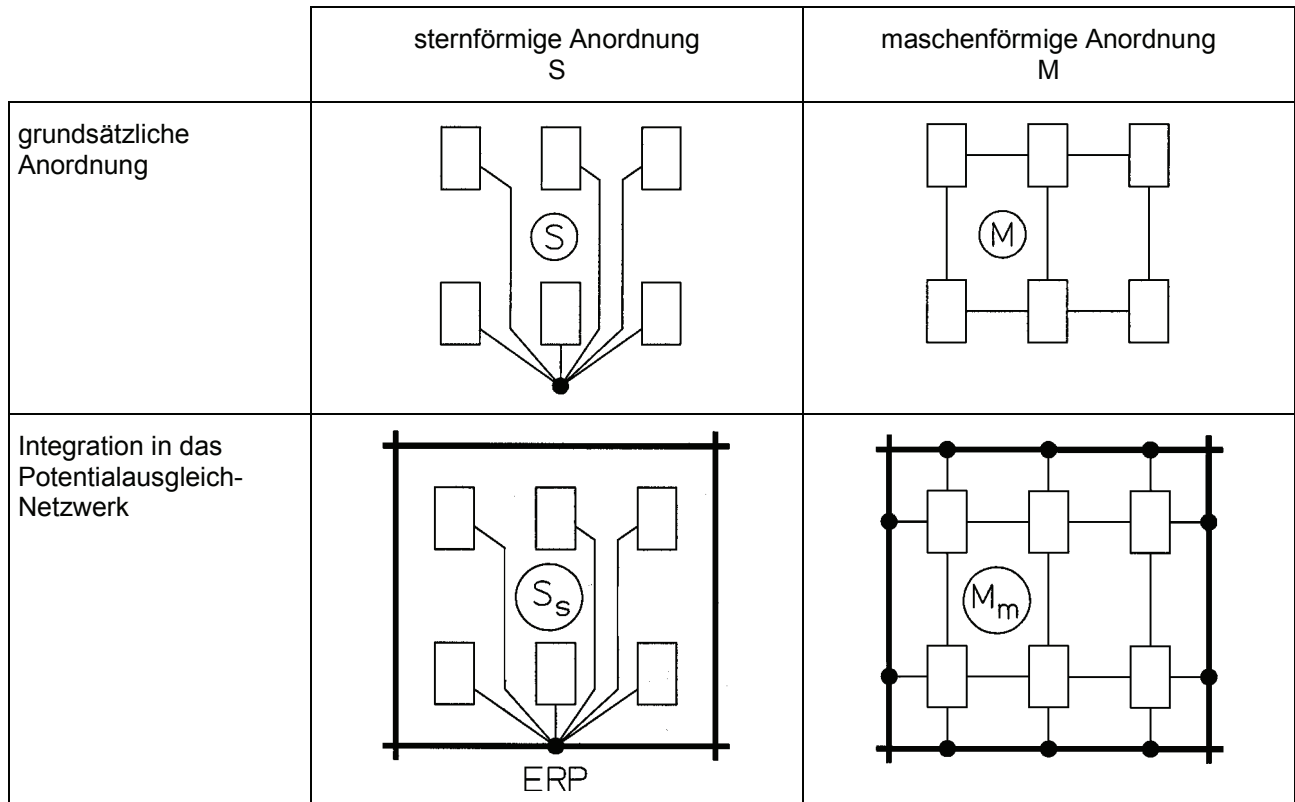
**Bild 12 – Impulsspannung zwischen dem Phasenleiter und der Potentialausgleichsschiene**



**Legende**

- |       |   |       |                                 |
|-------|---|-------|---------------------------------|
| $I$   | gesamter Blitzstrom                       | $I_c$ | Strom in einem einzelnen Leiter |
| $I_E$ | Strom in die Erdungsanlage                | $n$   | Anzahl der Versorgungsleitungen |
| $I_S$ | Strom in alle Versorgungsleitungen        | $m$   | Anzahl der Leiter               |
| $I_l$ | Strom in eine einzelne Versorgungsleitung |       |                                 |

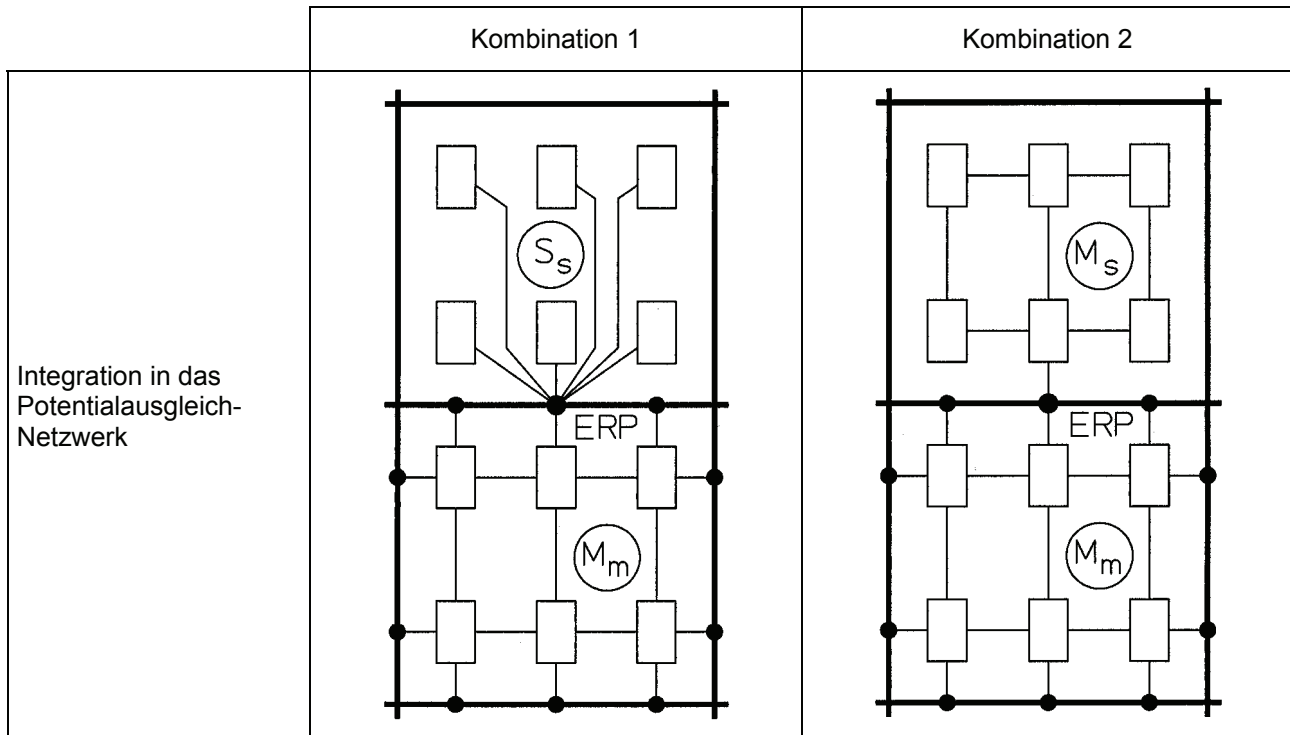
**Bild 13 – Blitzstromverteilung zwischen den metallenen Teilen und den Versorgungsleitungen, die in eine bauliche Anlage eintreten**



**Legende**

- Potentialausgleich-Netzwerk
- Potentialausgleichsleiter
- Gerät
- Anschlusspunkt an das Potentialausgleich-Netzwerk
- ERP Erdungsbezugspunkt
- $S_s$  sternförmige Anordnung integriert über einen Sternpunkt
- $M_m$  maschenförmige Anordnung integriert über ein Maschengitter

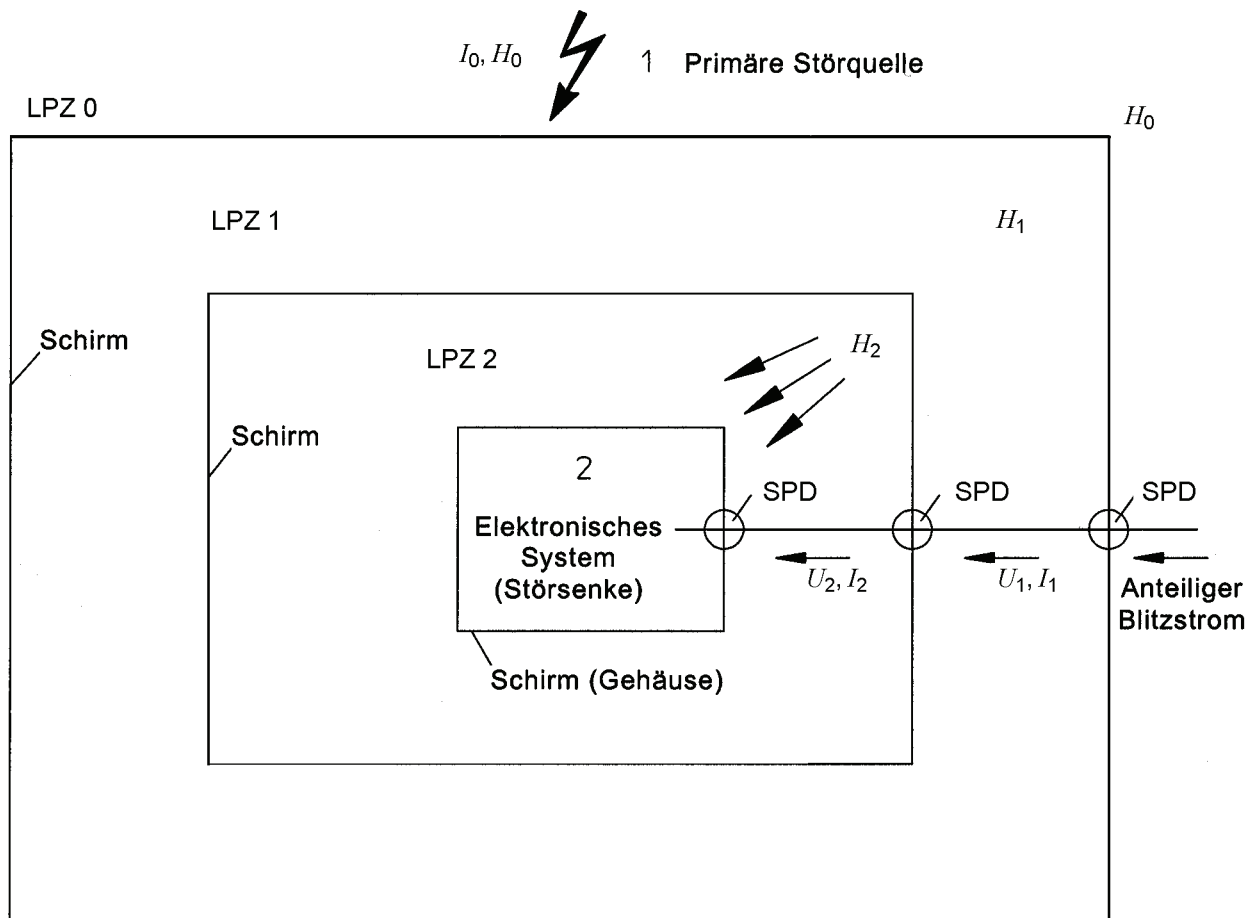
**Bild 14 – Integration von elektronischen Systemen in das Potentialausgleich-Netzwerk**



**Legende**

- Potentialausgleich-Netzwerk
- Potentialausgleichsleiter
- Gerät
- Anschlusspunkt an das Potentialausgleich-Netzwerk
- ERP Erdungsbezugspunkt
- $S_s$  sternförmige Anordnung integriert über einen Sternpunkt
- $M_m$  maschenförmige Anordnung integriert über ein Maschengitter
- $M_s$  maschenförmige Anordnung integriert über einen Sternpunkt

**Bild 15 – Kombination von Integrationsmethoden in das Potentialausgleich-Netzwerk**



**Legende**

- 1 Primäre Störquelle  
definiert entsprechend dem gewählten Gefährdungspegel durch:

DIN V VDE V 0185-1  $I_0$  und  $H_0$ : Impuls 10/350  $\mu$ s und 0,25/100  $\mu$ s  
(VDE V 0185 Teil 1):

- 2 Elektronisches System (Störsenke)  
definiert durch die Festigkeit gegen leitungsgebundene ( $U, I$ ) und gestrahlte ( $H$ ) Blitzwirkungen:

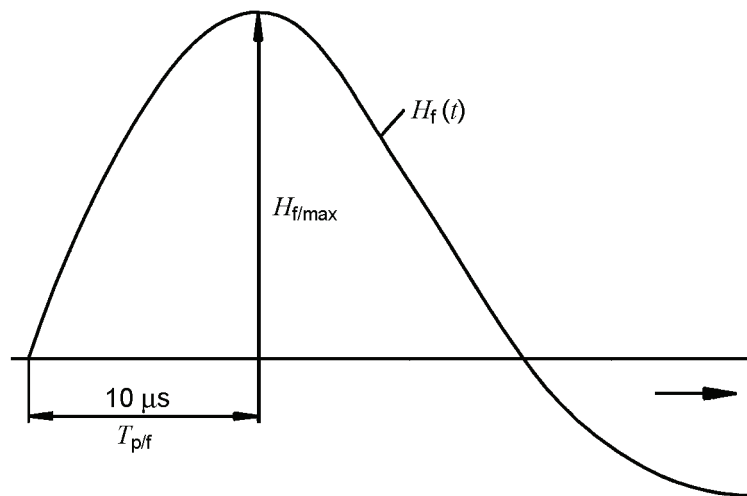
IEC 61000-4-5:  $U$ : Impuls 1,2/50  $\mu$ s  
 $I$ : Impuls 8/20  $\mu$ s

IEC 61000-4-9:  $H$ : Impuls 8/20  $\mu$ s, (gedämpfte Schwingung 25 kHz),  $T_p = 10 \mu$ s

IEC 61000-4-10:  $H$ : (Impuls 0,2/5  $\mu$ s), gedämpfte Schwingung 1 MHz,  $T_p = 0,25 \mu$ s

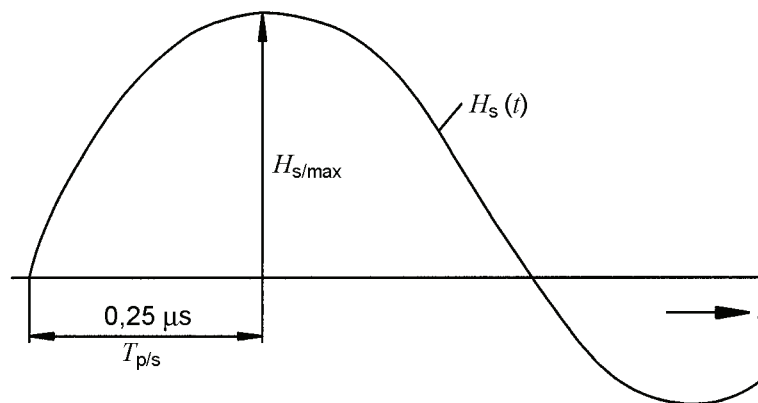
**Bild 16 – Elektromagnetische Verträglichkeit im Fall eines Blitzeinschlags**

Grundnorm: IEC 61000-4-9



**Bild 17a – Simulation der Stirn des Magnetfeldes des ersten Teilblitzes (10/350 μs) durch einen Einzelimpuls 8/20 μs (gedämpfte Schwingung 25 kHz)**

Grundnorm: IEC 61000-4-10

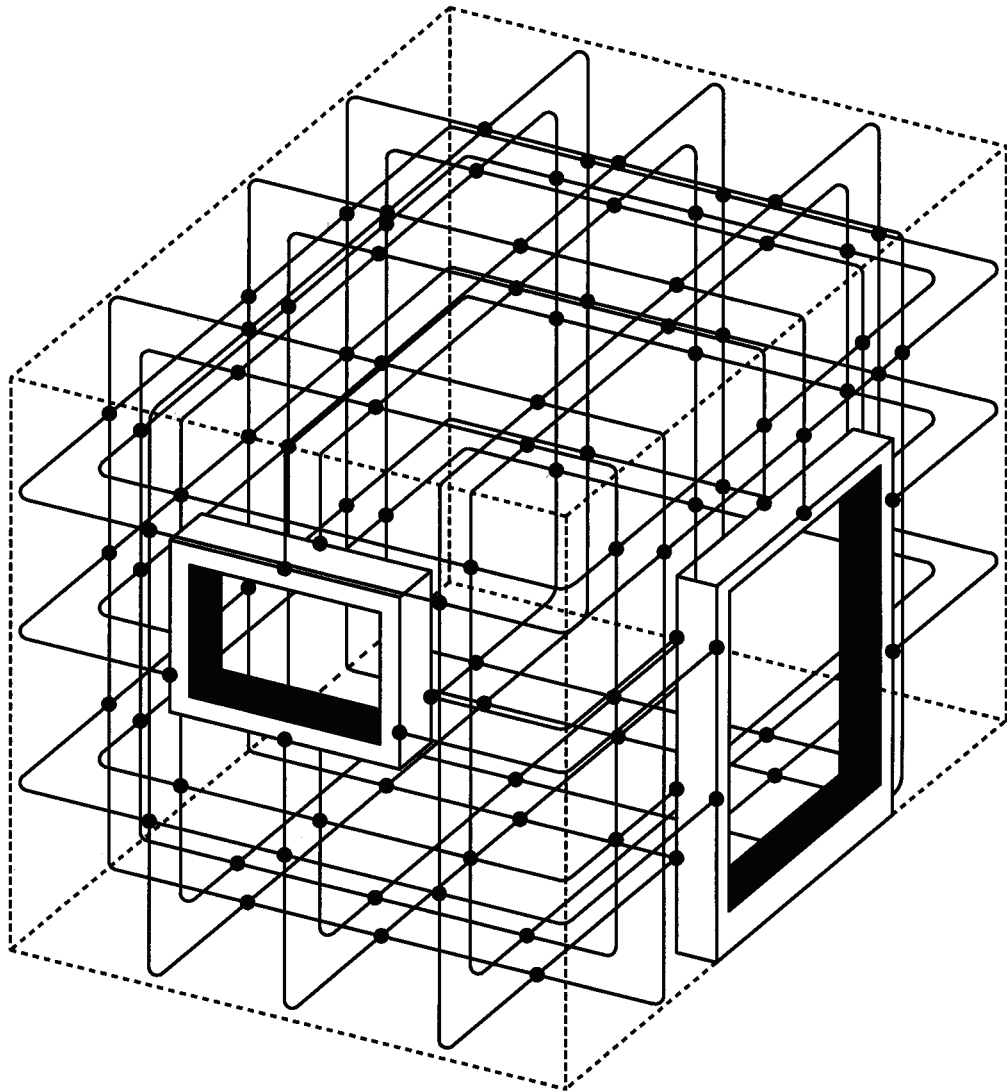


**Bild 17b – Simulation der Stirn des Magnetfeldes des Folgeblitzes (0,25/100 μs) durch eine gedämpfte Schwingung 1 MHz (Mehrfachimpuls 0,2/5 μs)**

ANMERKUNG 1 Auch wenn die Definition der Zeit bis zum Maximalwert  $T_p$  und der Stirnzeit  $T_1$  verschieden sind, können ihre Werte in erster Näherung gleichgesetzt werden.

ANMERKUNG 2 Die Relation der Maximalwerte ist  $H_{f(max)}/H_{s(max)} = 4 : 1$ .

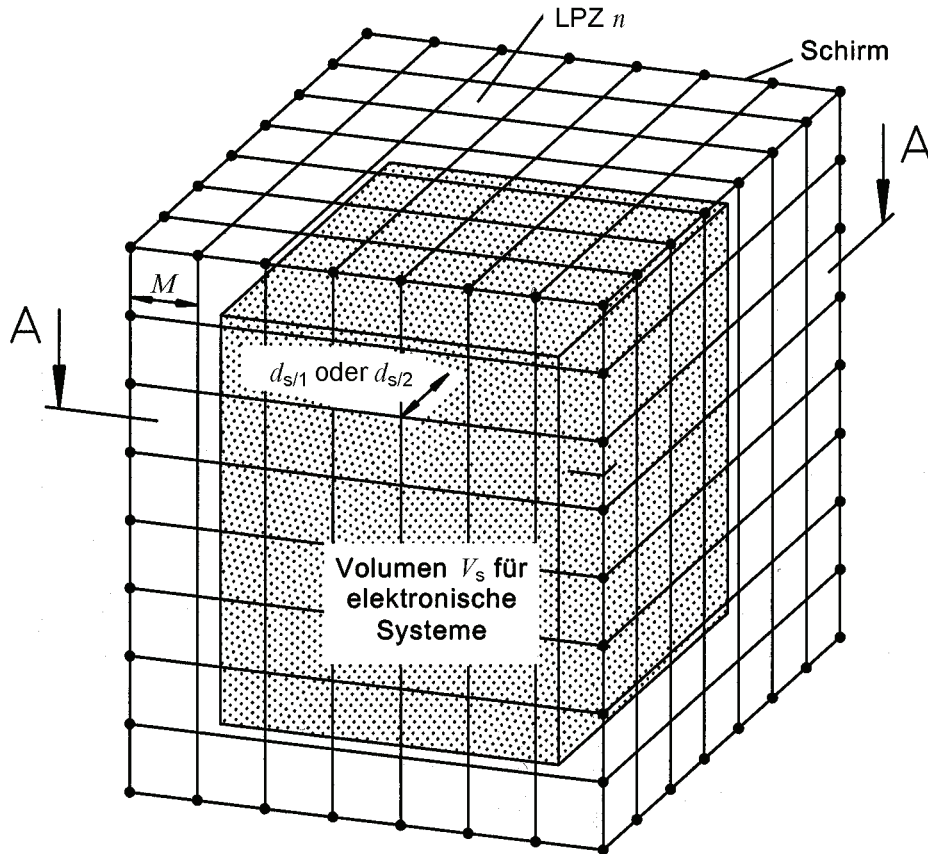
**Bild 17 – Darstellung des magnetischen Feldes im Anstiegsbereich durch gedämpfte Schwingungen**



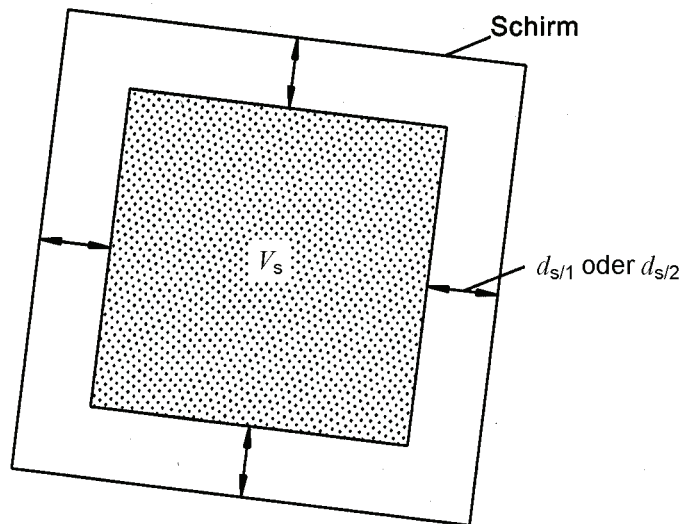
- geschweißt oder geklemmt an jedem Stab und an den Kreuzungspunkten

ANMERKUNG In der Praxis wird es für ausgedehnte bauliche Anlagen nicht möglich sein, tatsächlich an jedem Punkt zu schweißen (oder zu klemmen). Aber die meisten Punkte sind natürlicherweise verbunden durch festen Berührungskontakt oder durch Verrödeln. Für die Praxis genügt deshalb etwa eine Verbindung je Meter.

**Bild 18 – Gebäude- oder Raum-Schirm, gebildet durch metallene Armierung und Rahmen**



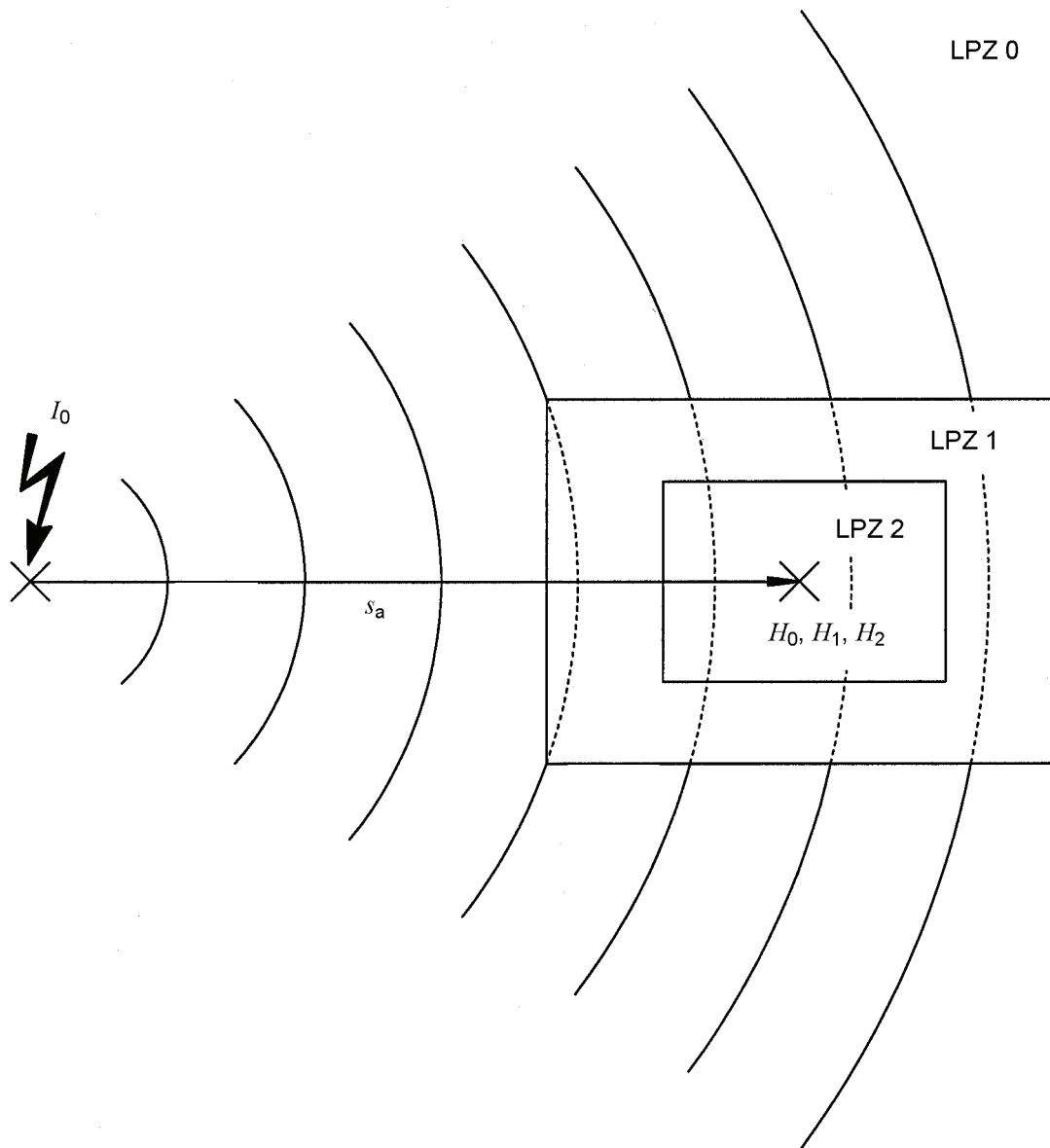
Schnitt A - A



ANMERKUNG Das Volumen  $V_s$  für die Installation von elektronischen Systemen muss einen Sicherheitsabstand  $d_{s/1}$  oder  $d_{s/2}$  vom Schirm der LPZ  $n$  einhalten.

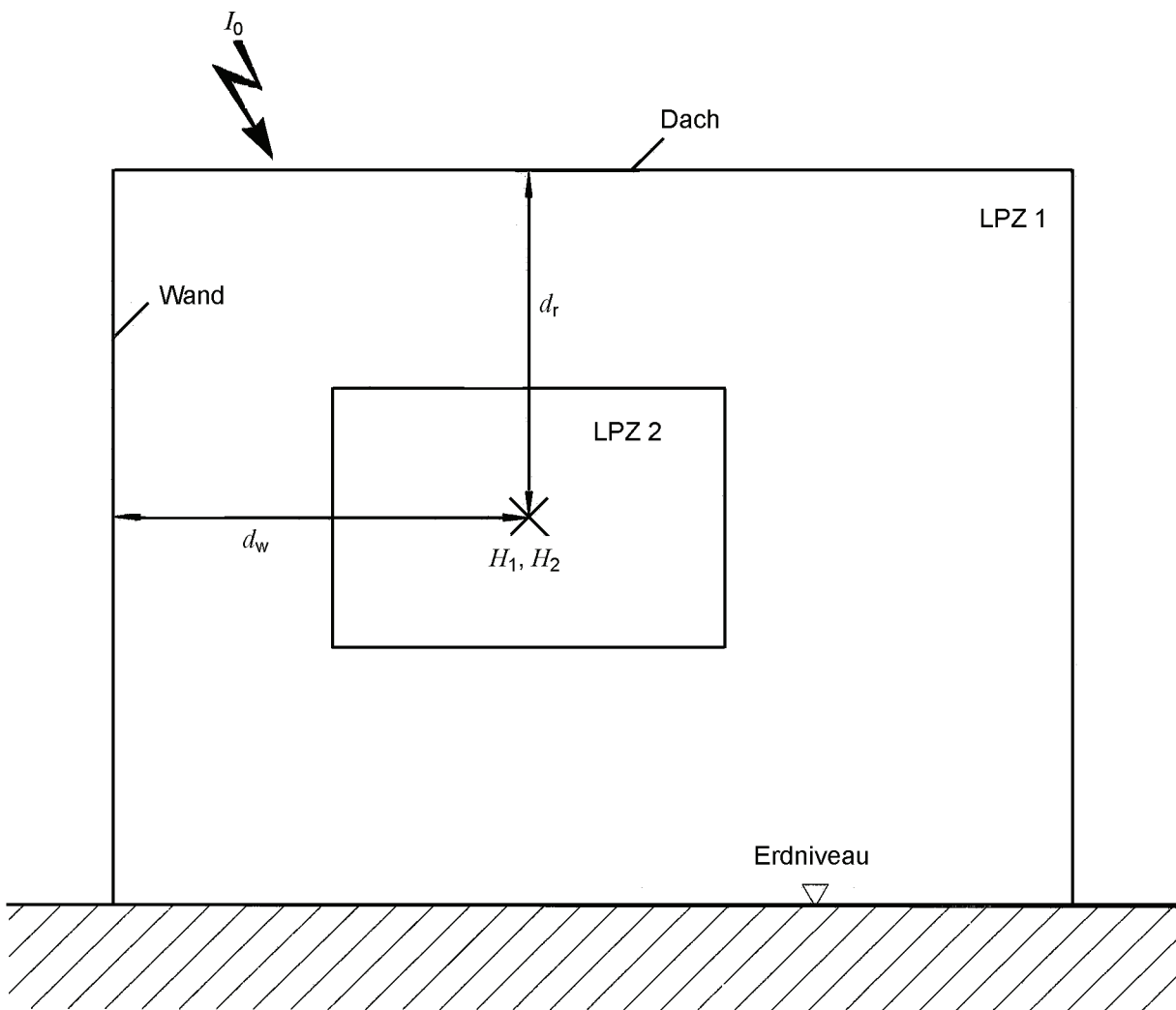
Bild 19 – Volumen für elektronische Systeme innerhalb einer LPZ  $n$





keine Schirmung	$H_0 = \frac{I_0}{2 \cdot \pi \cdot s_a}$
innerhalb LPZ 1	$H_1 = \frac{H_0}{10^{SF_1/20}}$
innerhalb LPZ 2	$H_2 = \frac{H_1}{10^{SF_2/20}}$

Bild 20 – Bestimmung der magnetischen Feldstärke bei nahen Blitzeinschlägen



innerhalb LPZ 1	$H_1 = \frac{k_H \cdot I_0 \cdot M_1}{d_w \cdot \sqrt{d_r}}$
innerhalb LPZ 2	$H_2 = \frac{H_1}{10^{SF_2/20}}$

**Bild 21 – Bestimmung der magnetischen Feldstärke bei direkten Blitzeinschlägen**

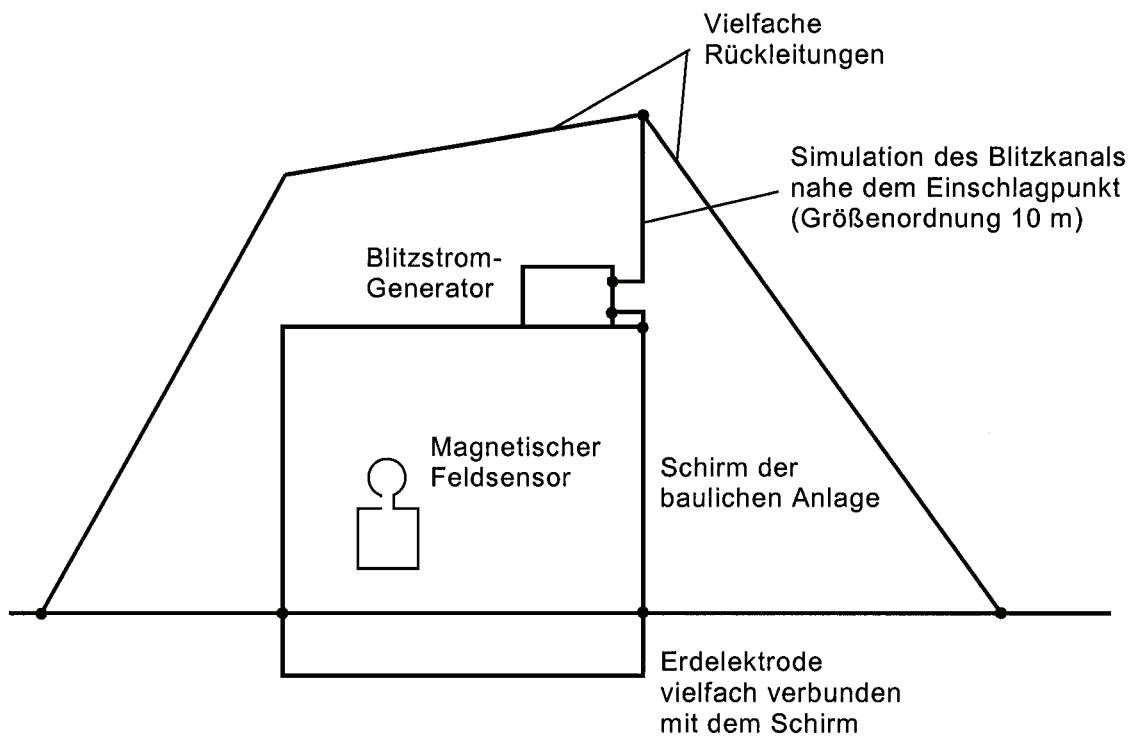
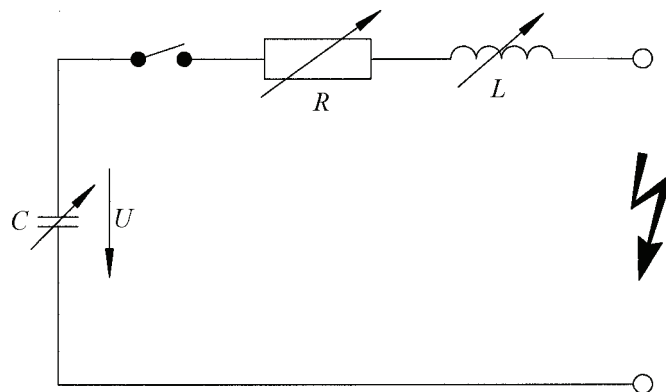


Bild 22a – Prüfanordnung



**Legende**

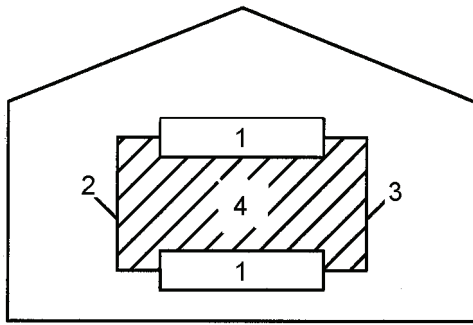
- $U$  typisch einige 10 kV
- $C$  typisch einige 10 nF

Bild 22b – Blitzstrom-Generator

Bild 22 – Vorschlag einer „low-level“-Blitzstrom-Prüfung zur Ermittlung des Magnetfeldes innerhalb einer geschirmten baulichen Anlage

# — Vornorm —

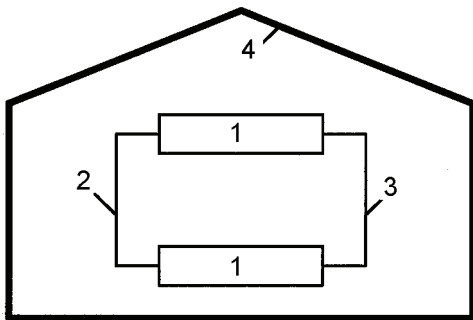
DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11



### Legende

- 1 Geräte
- 2 Leitung a (z. B. Energieleitung)
- 3 Leitung b (z. B. Datenleitung)
- 4 Fläche der Induktionsschleife

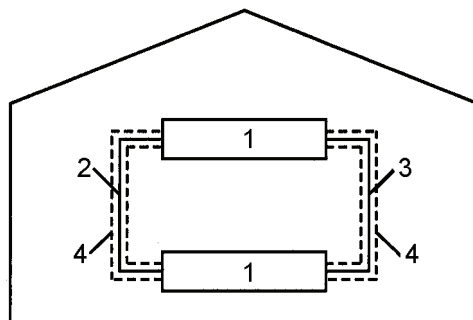
**Bild 23a – Ungeschütztes System**



### Legende

- 1 Geräte
- 2 Leitung a (z. B. Energieleitung)
- 3 Leitung b (z. B. Datenleitung)
- 4 räumlicher Schirm

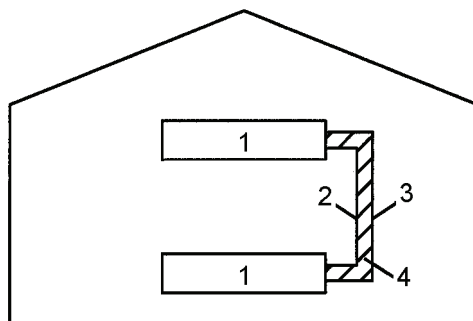
**Bild 23b – Verringerung des Magnetfeldes innerhalb einer LPZ durch räumliche Schirmung**



### Legende

- 1 Geräte
- 2 Leitung a (z. B. Energieleitung)
- 3 Leitung b (z. B. Datenleitung)
- 4 geschirmte Leitung

**Bild 23c – Verringerung der Magnetfeldwirkung durch geschirmte Leitungen**



### Legende

- 1 Geräte
- 2 Leitung a (z. B. Energieleitung)
- 3 Leitung b (z. B. Datenleitung)
- 4 minimierte Induktionsschleife

**Bild 23d – Verringerung der Induktionsschleife durch geeignete Leitungsführung**

**Bild 23 – Verringerung der Induktionswirkung durch Schirmung und Leitungsführung**

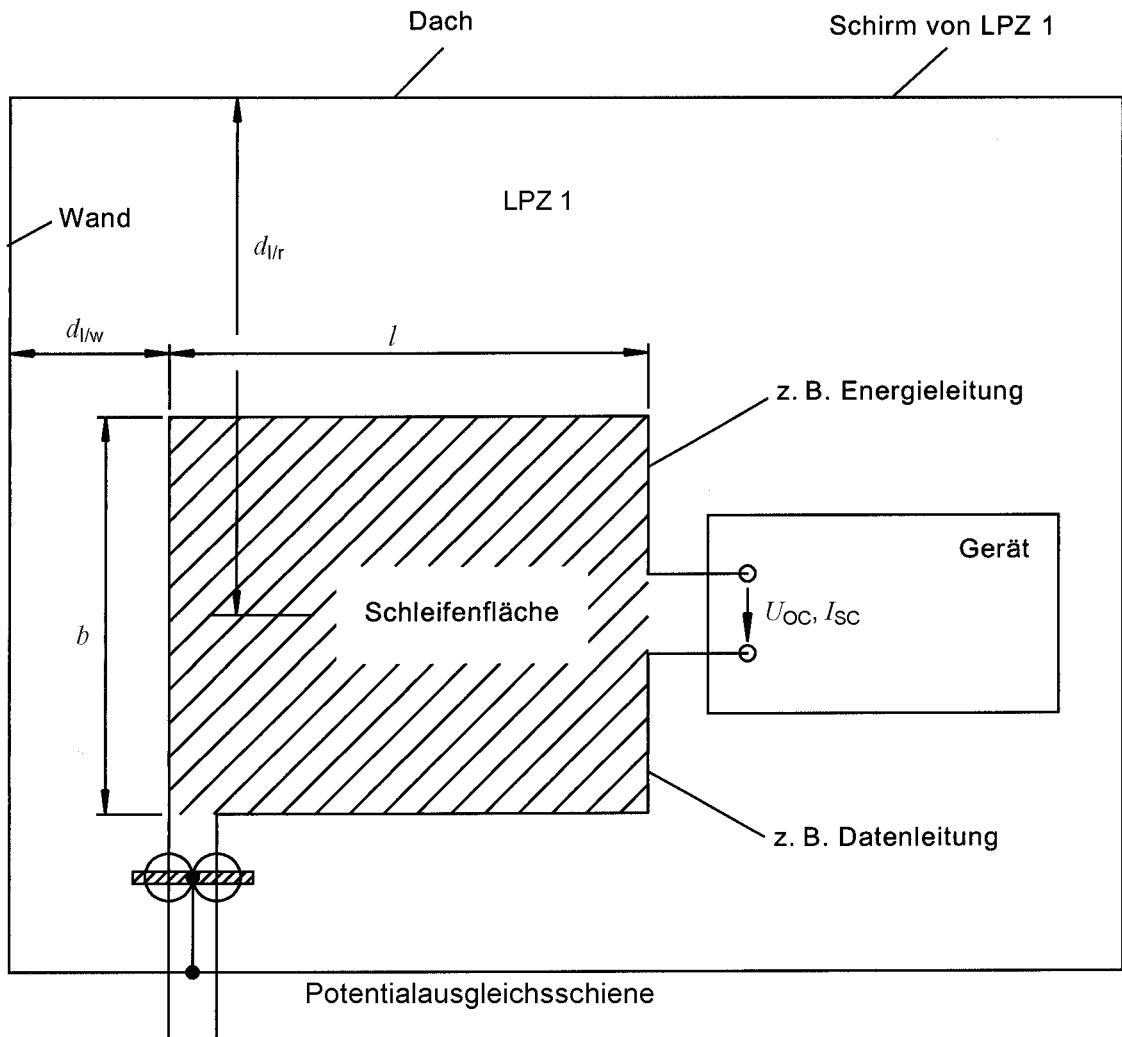
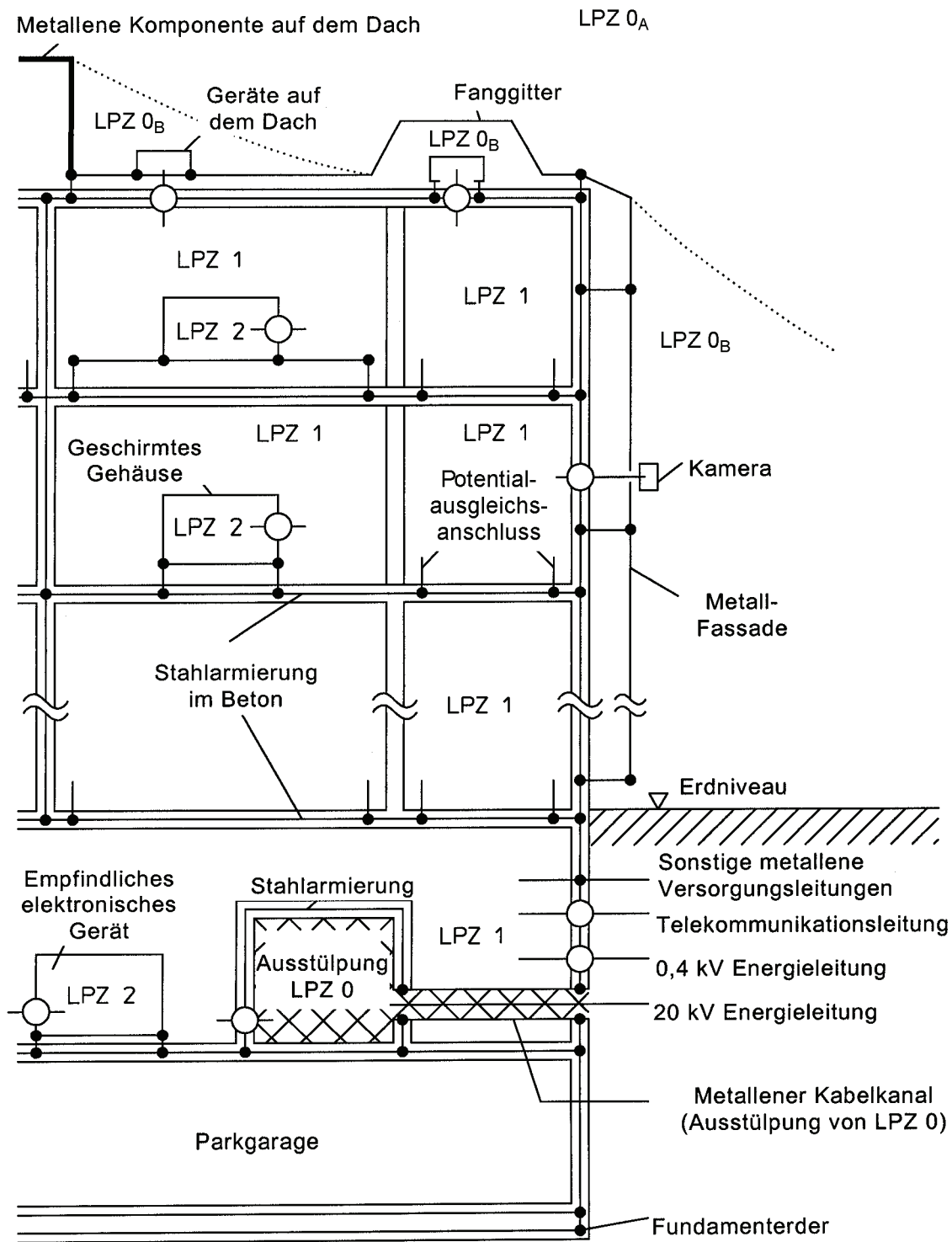


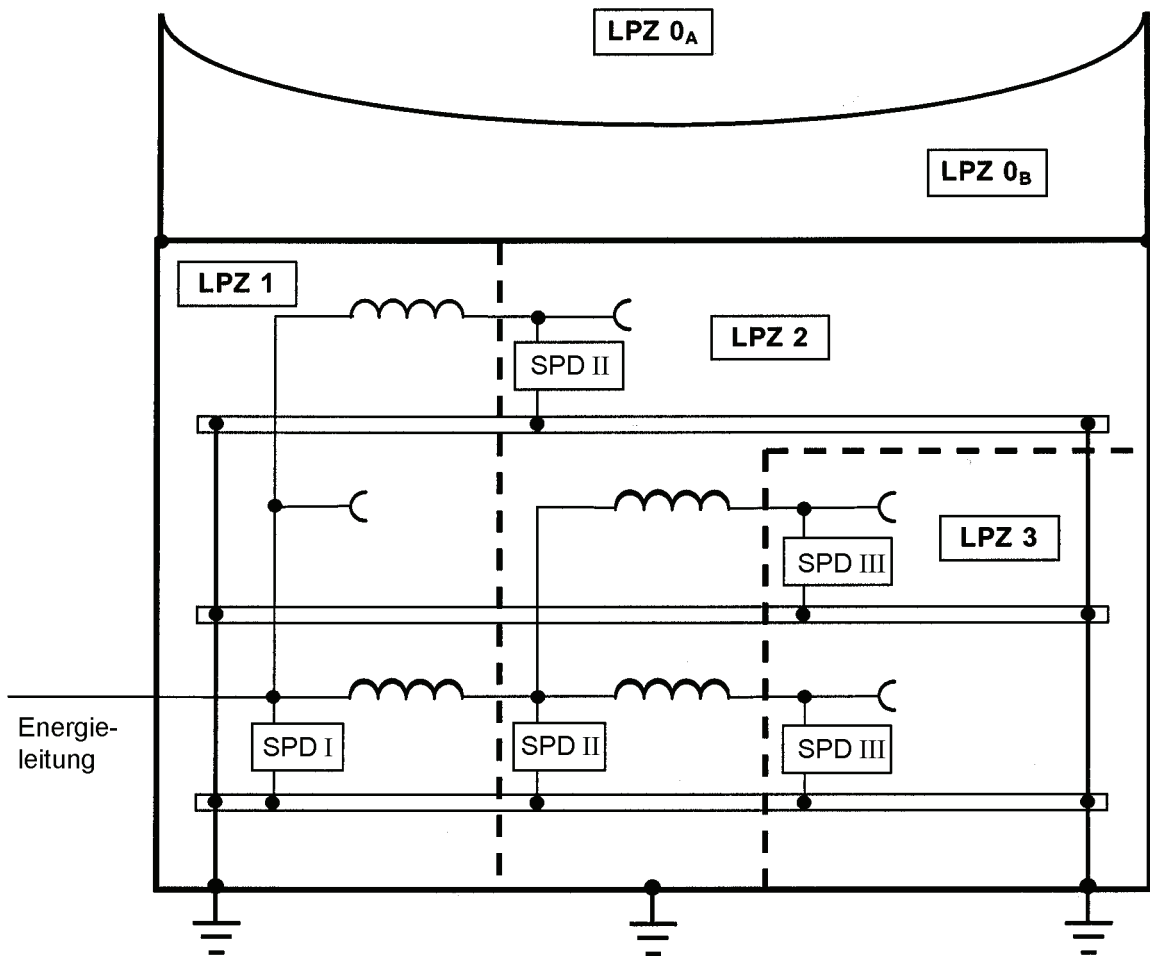
Bild 24 – In einer Leiterschleife induzierte Spannungen und Ströme



**Legende**

- Potentialausgleich
- Überspannungsschutzgerät (SPD)

**Bild 25 – Beispiel für Blitzschutzzonen (LPZ), Schirmung, Potentialausgleich und Erdung an einem Bürogebäude**



Legende



-  Überspannungsschutzgerät (z. B. nach Klasse II)
-  Entkopplungselement oder längere Leitung

Bild 26 – Beispiel für den Einsatz von SPDs in Energieverteilungsanlagen nach dem Blitzschutzkonzept

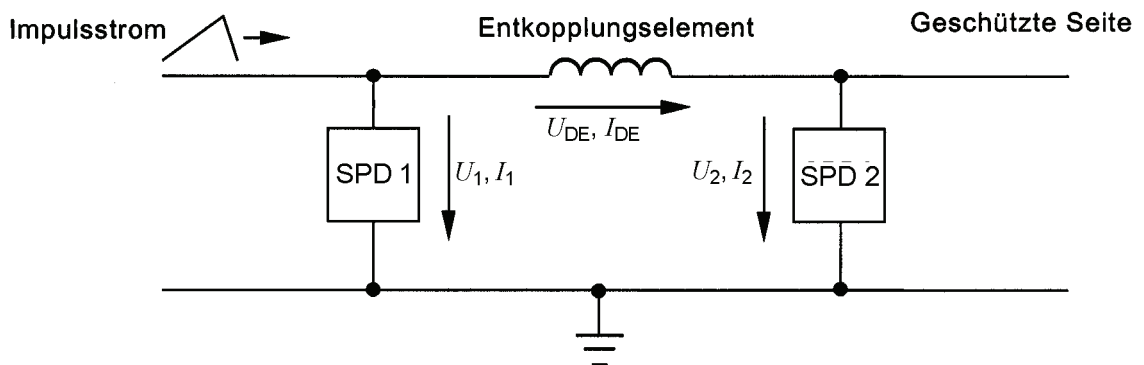


Bild 27 – Grundsätzliches Modell für die energetische Koordination von SPDs in baulichen Anlagen bei vernachlässigbarer kleiner Impedanz des Potentialausgleich-Netzwerks

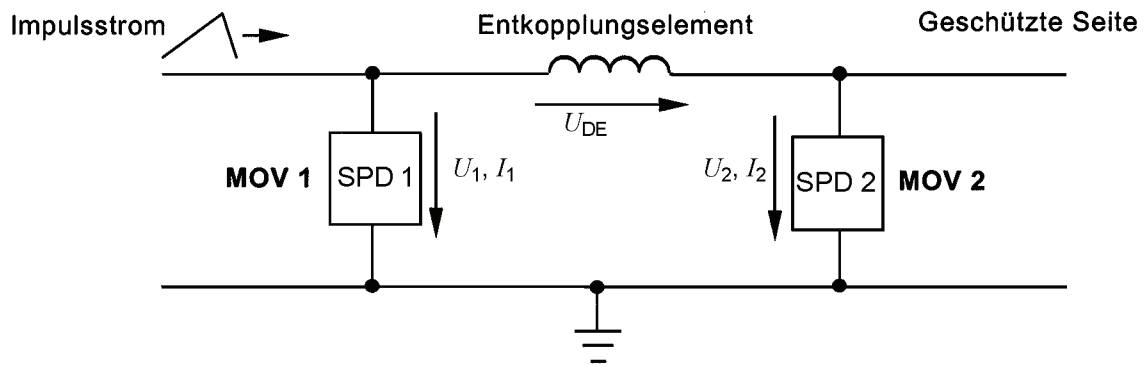


Bild 28a – Schaltung für die Kombination von zwei Spannungsbegrenzertyp-SPDs

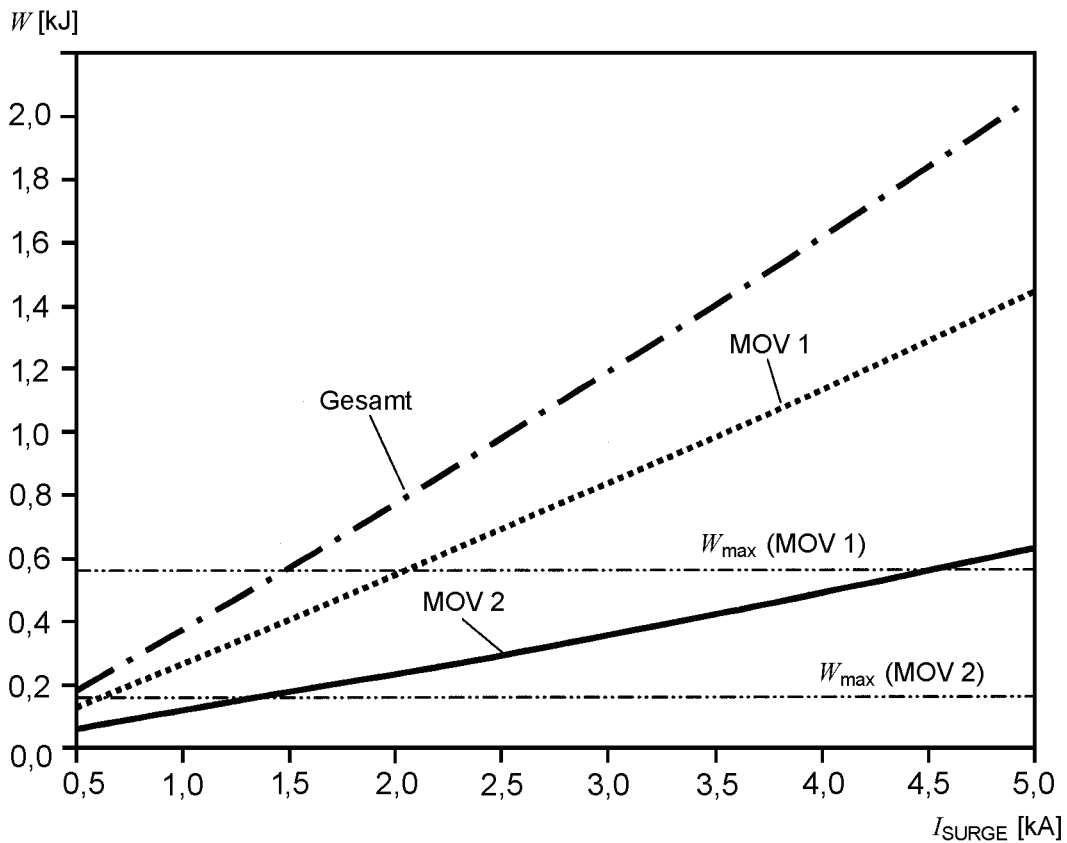


Bild 28b – Prinzip der energetischen Koordination von zwei Spannungsbegrenzertyp-SPDs (MOV 1 und MOV 2)

Bild 28 – Kombination von zwei Spannungsbegrenzertyp SPDs



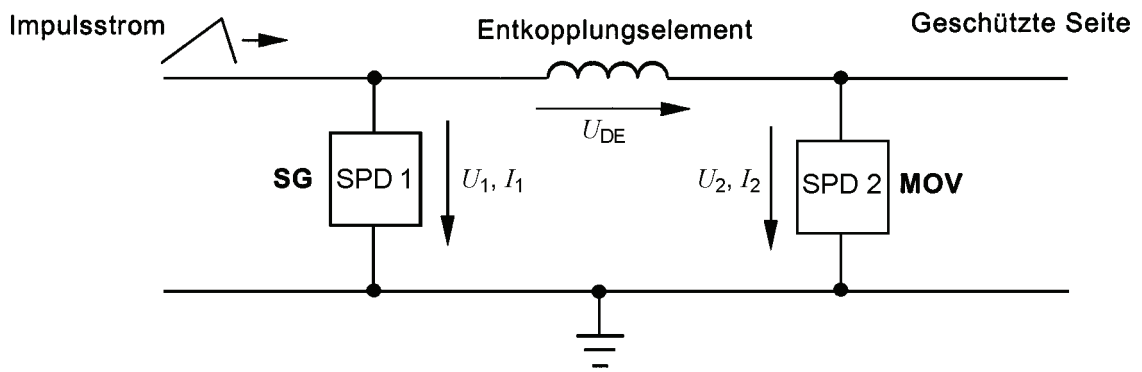


Bild 29a – Schaltung für die Kombination eines Schaltertyp-SPD 1 und eines Spannungsbegrenzertyp-SPD 2

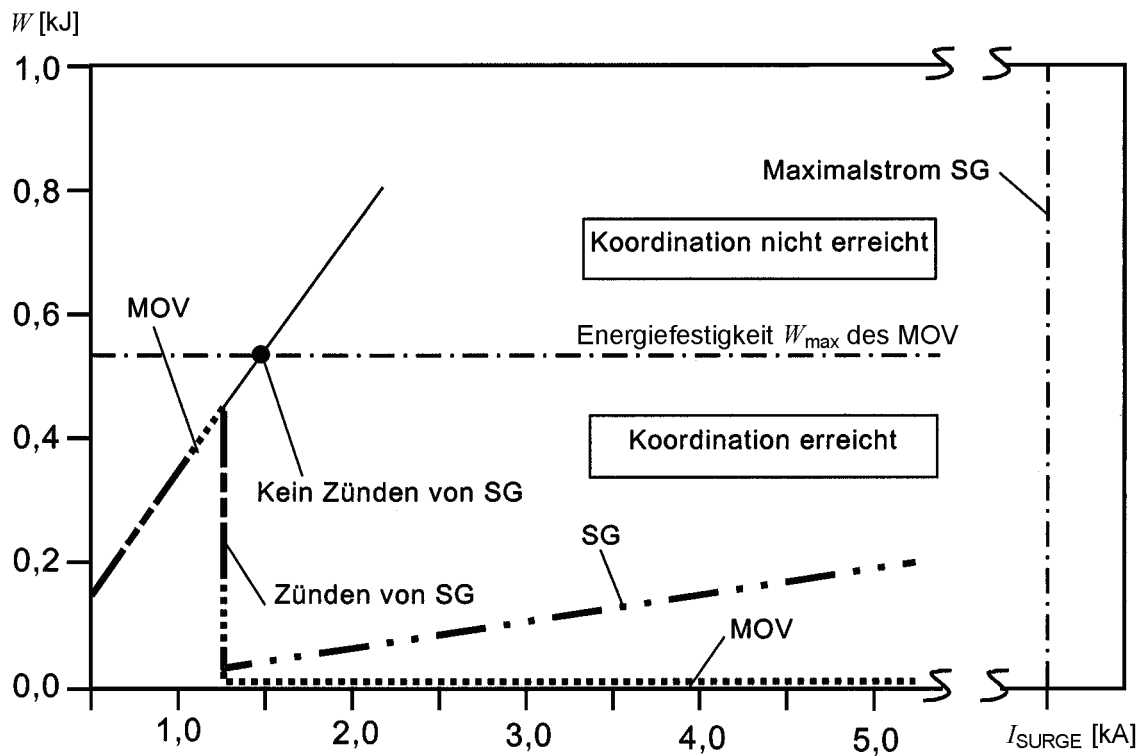
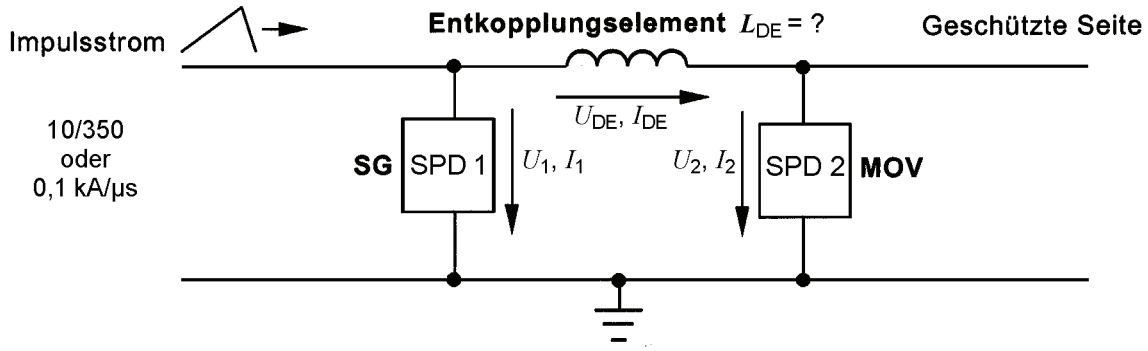


Bild 29b – Prinzip für die energetische Koordination von einem Schaltertyp-SPD (SG) und einem Spannungsbegrenzertyp-SPD (MOV)

Bild 29 – Kombination eines Schaltertyp-SPD 1 und eines Spannungsbegrenzertyp-SPD 2

# — Vornorm —

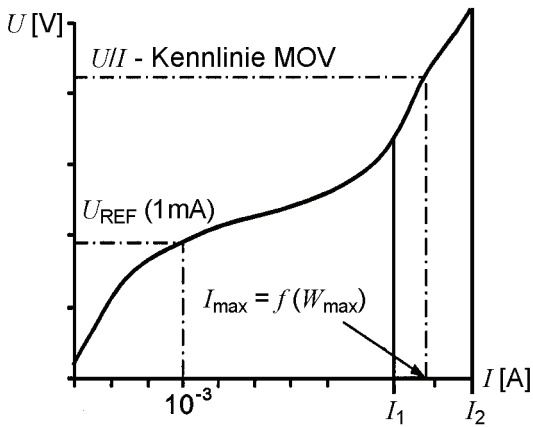
DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11



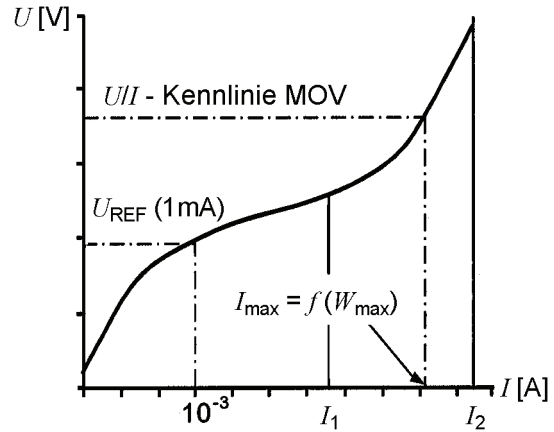
Spannungen  
Zünden von SG  
Koordination erreicht

$U_1 = U_2 + U_{DE} = U_2 + L \cdot dI/dt$   
 $U_1 = U_{SPARK}$   
 Zünden von SG, bevor die Energiefestigkeit  $W_{max}$  des MOV überschritten wird

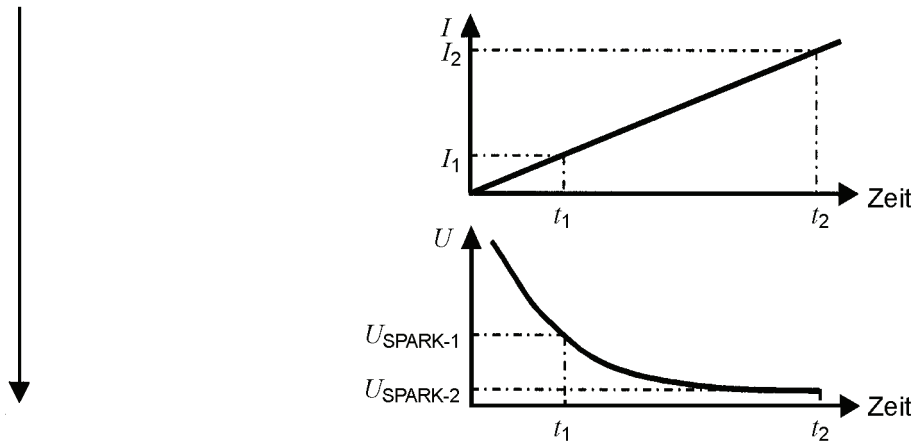
Energetische Koordination für 10/350	Energetische Koordination für 0,1 kA/μs
--------------------------------------	---



$I_1 < I_{max}$  für  $(L_{DE-1} \geq L_{DE-10/350})$   
 $I_2 < I_{max}$  für  $(L_{DE-2} \geq L_{DE-10/350})$

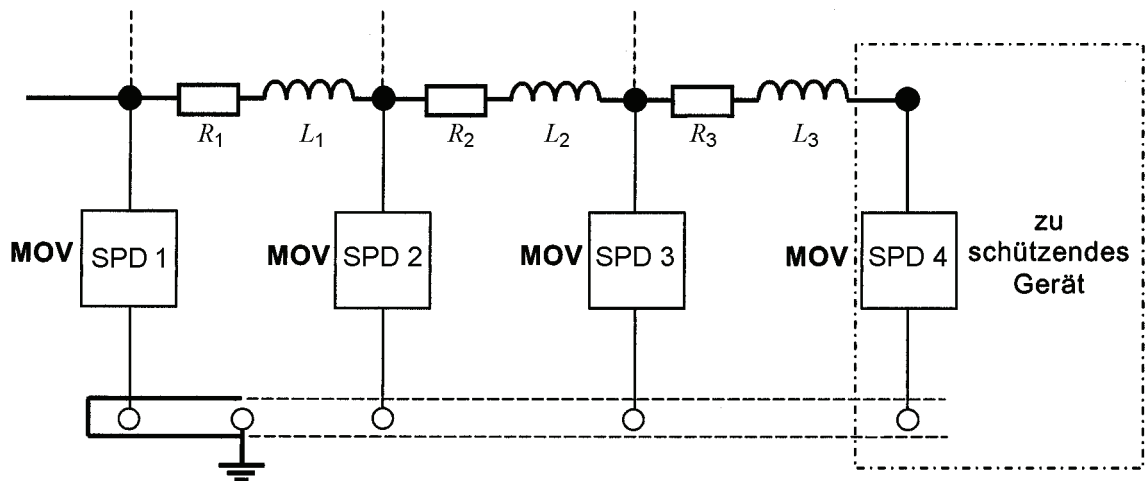


$I_1 < I_{max}$  für  $(L_{DE-1} \geq L_{DE-10/350})$   
 $I_2 < I_{max}$  für  $(L_{DE-2} \geq L_{DE-10/350})$



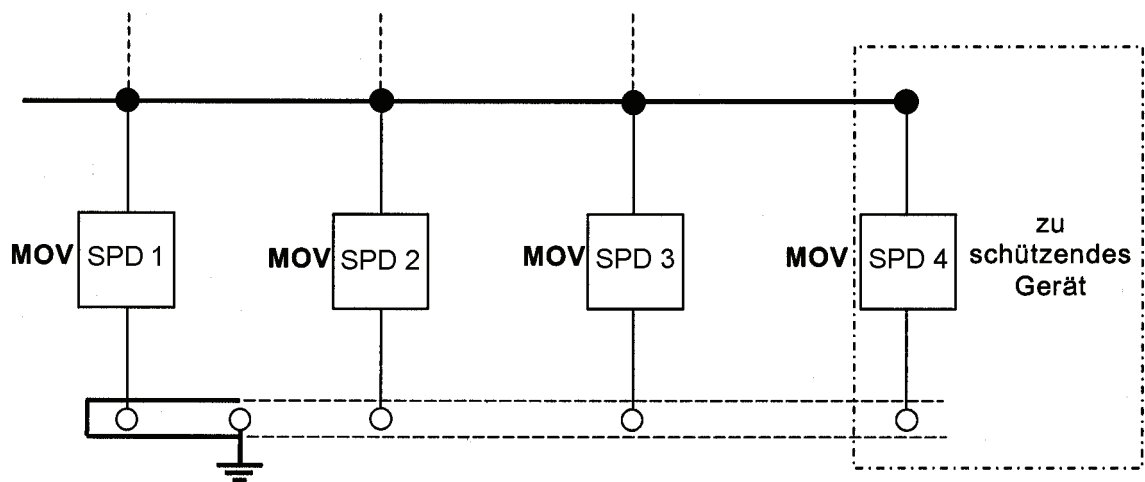
$L_{DE} = (U_{SPARK} - U_2) / (dI/dt)$ wobei $U_2 = f(I_{max})$	
$L_{DE-10/350} = (U_{SPARK} - U_2) / (I_{max}/10\mu s)$	$L_{DE-0,1 kA/\mu s} = (U_{SPARK} - U_2) / (0,1 kA/\mu s)$
Der nötige Wert $L_{DE}$ ist der größere Wert der Induktivitäten $L_{DE-10/350}$ und $L_{DE-0,1 kA/\mu s}$ .	

**Bild 30 – Prinzip der Bestimmung der Entkopplungsinduktivität für die energetische Koordination bei 10/350- und 0,1-kA/μs-Impulsströmen**



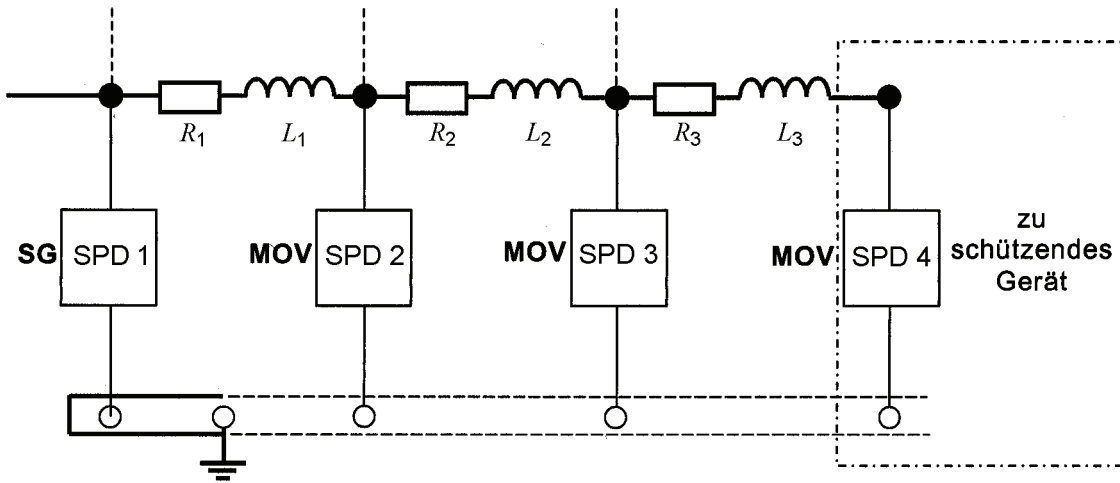
$$U_{\text{RES}} (\text{SPD 1}) = U_{\text{RES}} (\text{SPD 2}) = U_{\text{RES}} (\text{SPD 3}) = U_{\text{RES}} (\text{SPD 4})$$

**Bild 31 – Koordinationsprinzip nach Variante I (Spannungsbegrenzertyp-SPD)**



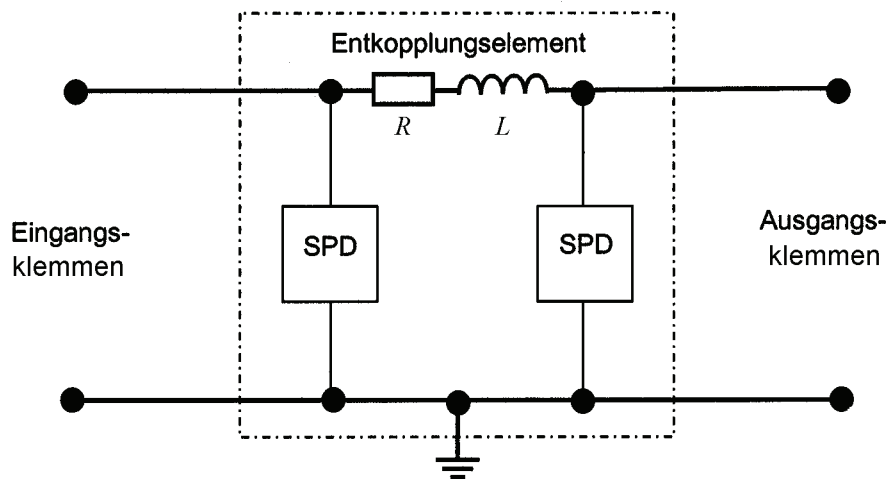
$$U_{\text{RES}} (\text{SPD 1}) < U_{\text{RES}} (\text{SPD 2}) < U_{\text{RES}} (\text{SPD 3}) < U_{\text{RES}} (\text{SPD 4})$$

**Bild 32 – Koordinationsprinzip nach Variante II (Spannungsbegrenzertyp-SPD)**



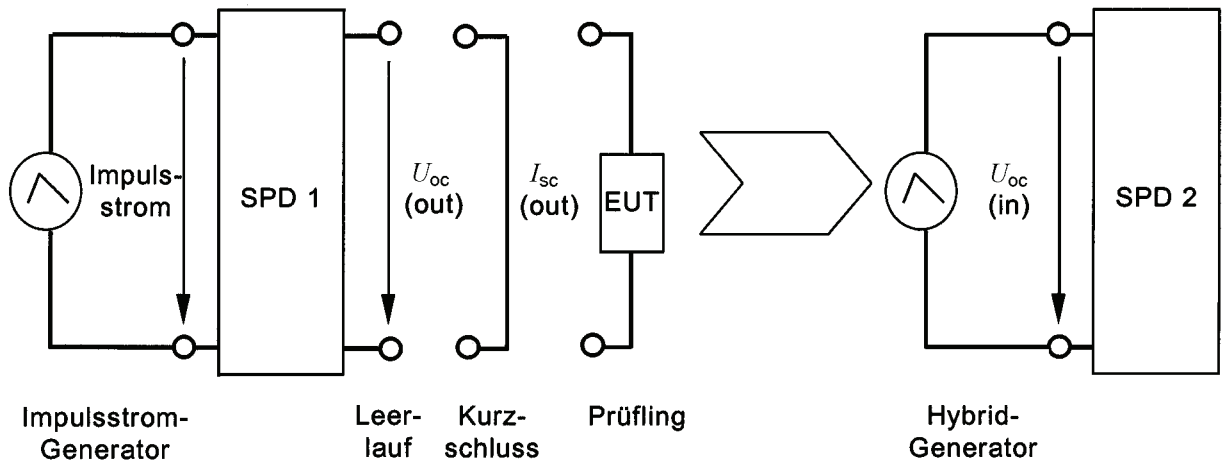
$$U_{RES} (\text{SPD 2}) = U_{RES} (\text{SPD 3}) = U_{RES} (\text{SPD 4})$$

**Bild 33 – Koordinationsprinzip nach Variante III (ein Schaltertyp-SPD gefolgt von Spannungsbegrenzertyp-SPD)**



**Bild 34 – Koordinationsprinzip nach Variante IV**

**ANMERKUNG** Die Längsimpedanz bzw. der Filter kann entfallen, wenn durch andere geeignete Maßnahmen (z. B. Abstimmung der Kennlinien oder getriggerte SPDs) die energetische Koordination sichergestellt ist.



Umwandlung von  $U_{oc} \text{ (out)}$  und  $I_{sc} \text{ (out)}$  in einen gleichwertigen Hybridimpuls:

$$U_{oc} \text{ (1,2/50-Wellenform)} \quad I_{sc} \text{ (8/20-Wellenform)} \quad Z_1 = 2 \Omega$$

**Bild 35 – Koordination nach der „Durchlass-Energie“-Methode unter Verwendung eines Hybridgenerators**



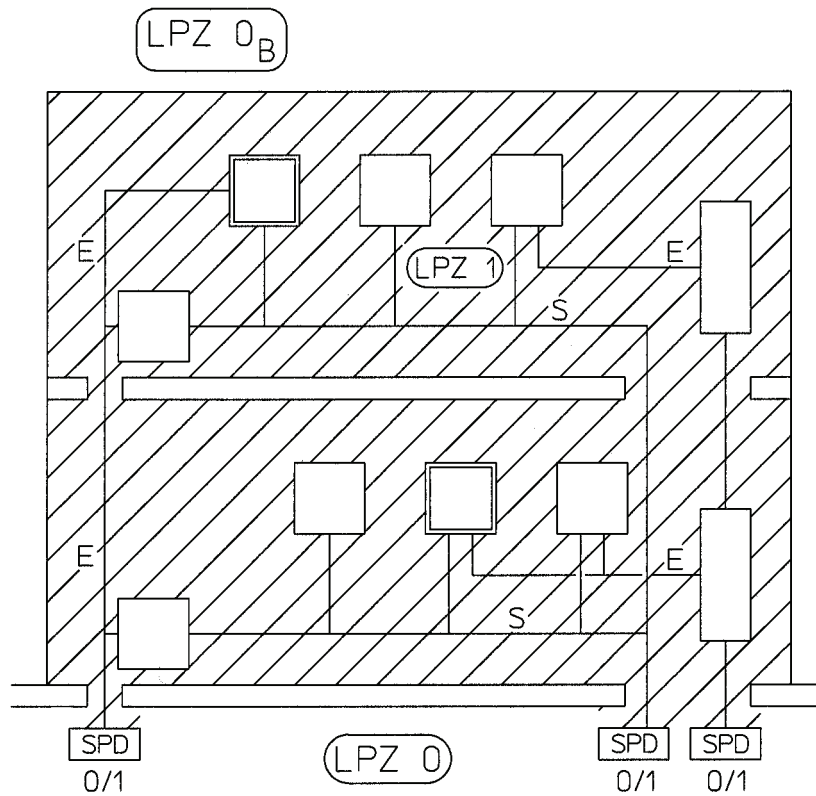


Bild 37a – Ungeschirmte LPZ 1 für robuste elektronische Systeme

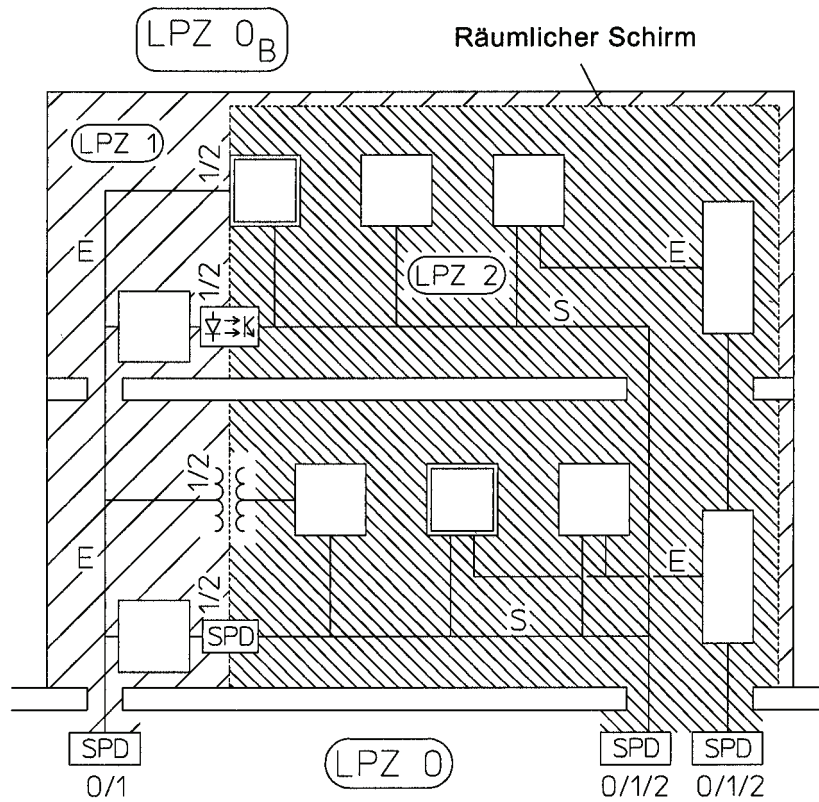
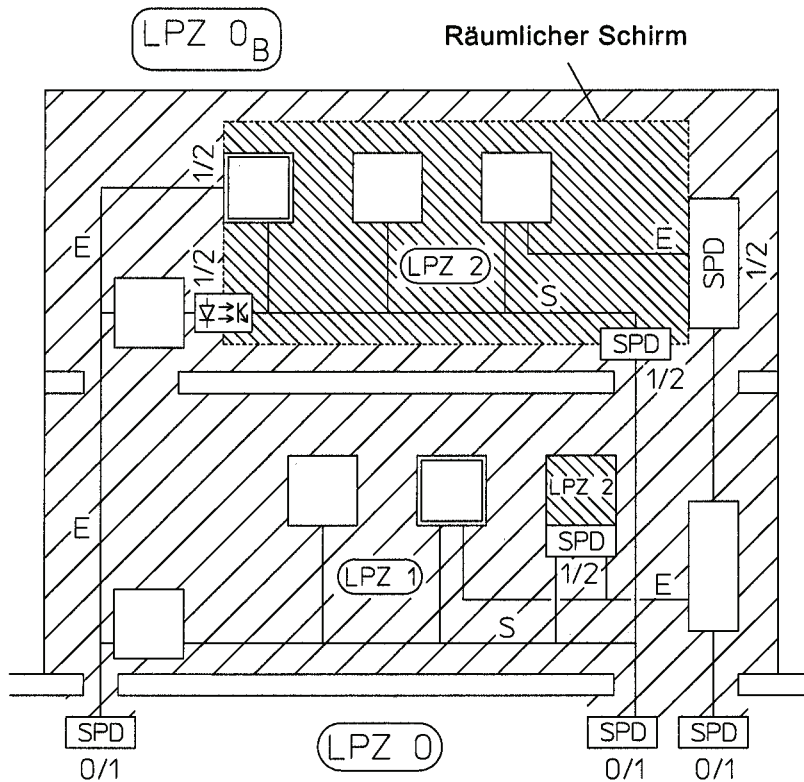


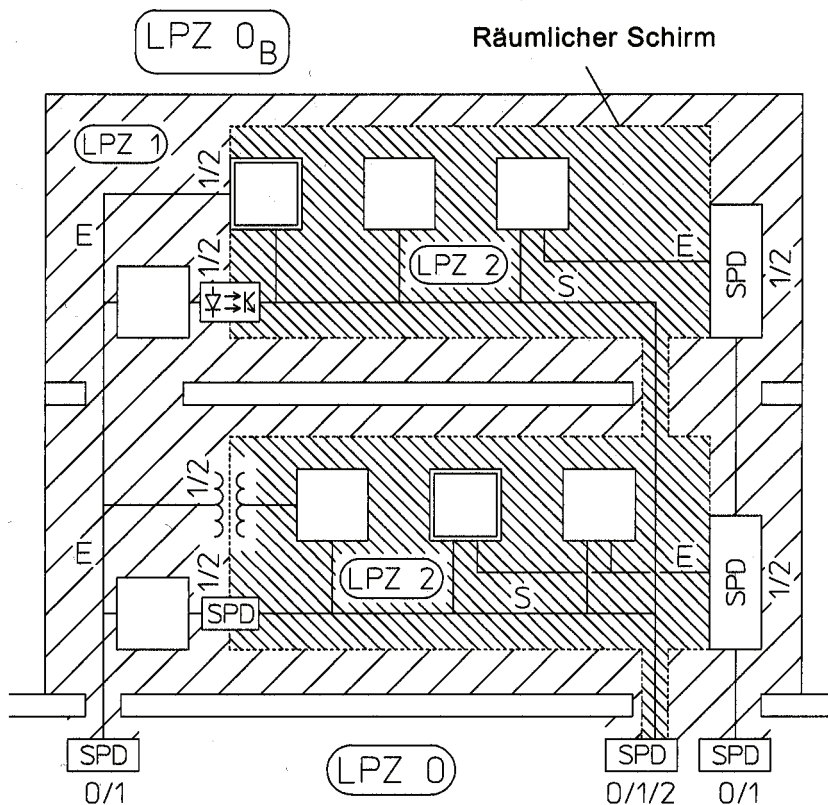
Bild 37b – Ausgedehnte LPZ 2 für neue, empfindliche elektronische Systeme

**— Vornorm —**

DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11



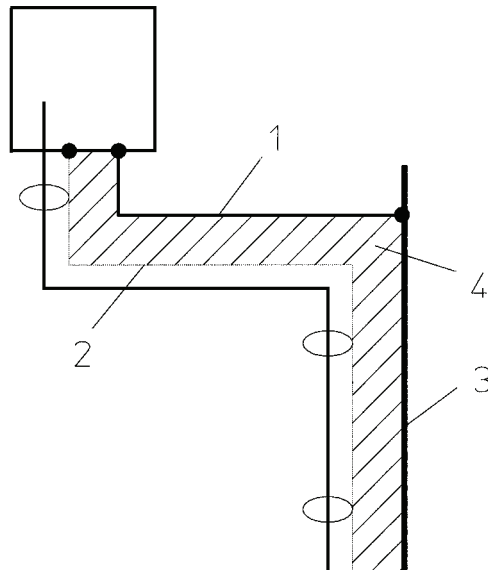
**Bild 37c – Lokale LPZ 2 und kleine, lokale LPZ 2 für neue, empfindliche elektronische Systeme**



**Bild 37d – Mehrere, miteinander verbundene lokale LPZ 2 für neue, empfindliche elektronische Systeme**

**Bild 37 – Möglichkeiten für die Einrichtung von LPZ in bestehenden baulichen Anlagen**



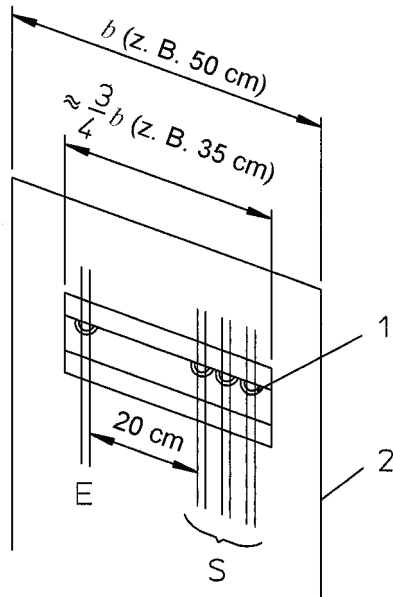


**Legende**

- 1 PE, nur bei Verwendung von Klasse I-Geräten
- 2 Optionale Kabelschirme müssen an beiden Enden an den Potentialausgleich angeschlossen werden
- 3 Metallplatte als zusätzliche Schirmung (siehe Bild 39)
- 4 Kleine Schleifenfläche

ANMERKUNG Wegen der kleinen Schleifenfläche bleibt die induzierte Spannung zwischen dem Kabelschirm und der Metallplatte klein.

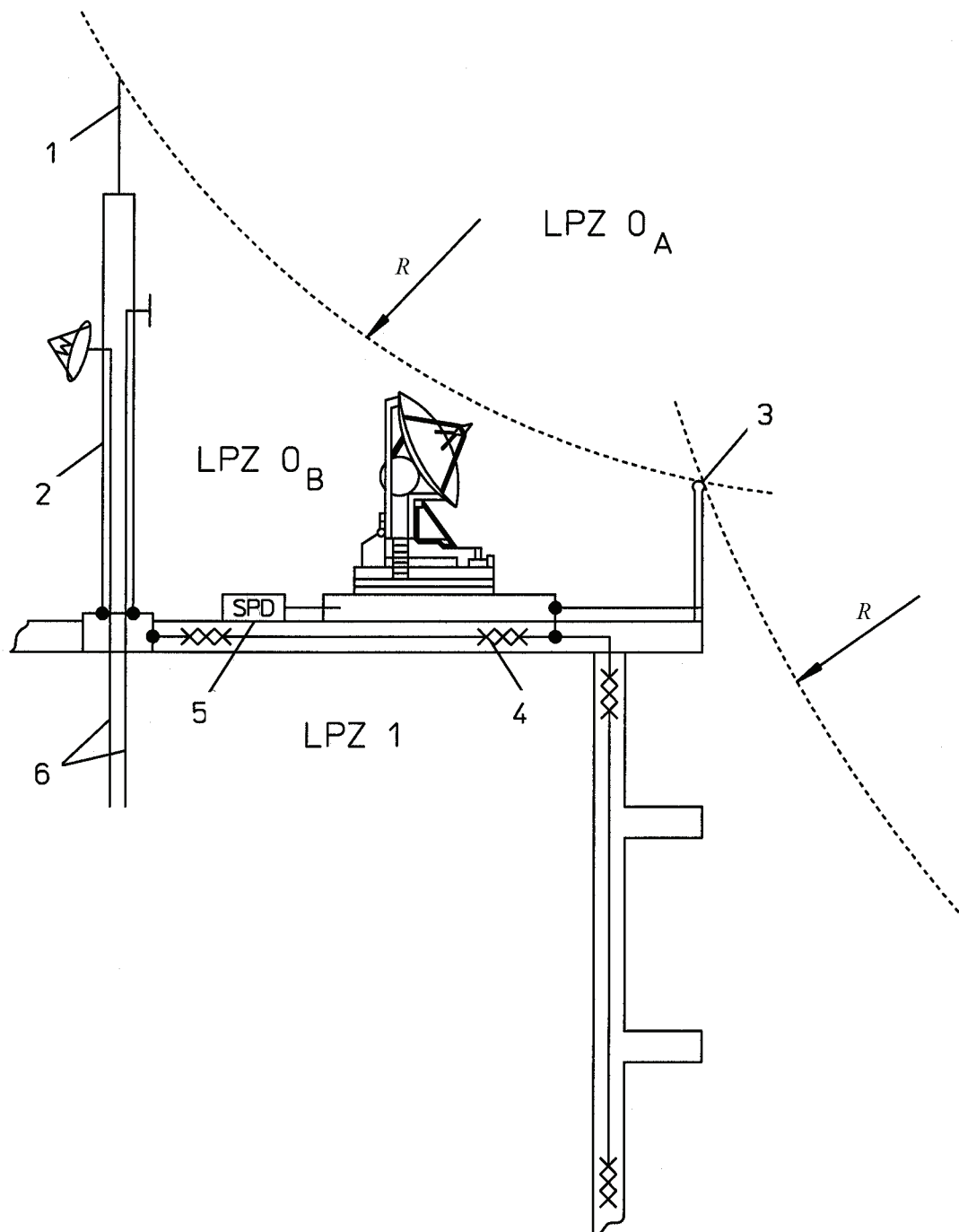
**Bild 38 – Verkleinerung der Schleifenfläche unter Verwendung eines geschirmten Kabels dicht an einer Metallplatte**



**Legende**

- 1 Kabelbefestigung mit oder ohne Potentialausgleich zwischen Kabelschirmen und Metallplatte
- 2 an den Kanten ist die magnetische Feldstärke größer als in der Mitte der Metallplatte
- E Energieleitungen
- S Datenleitungen

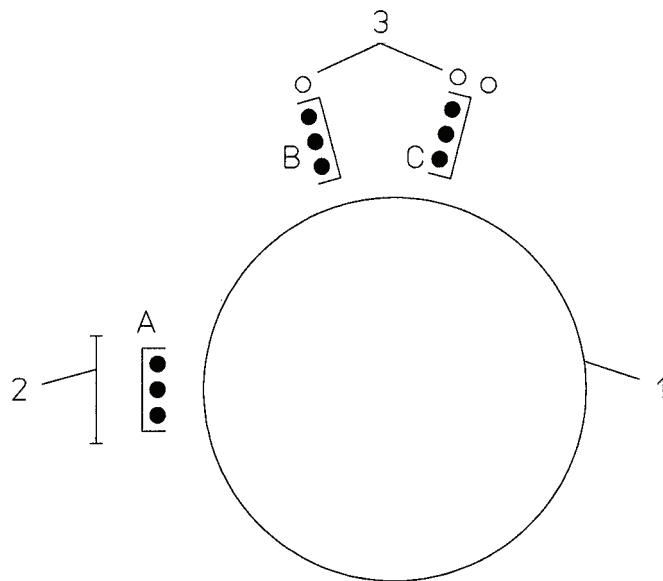
**Bild 39 – Beispiel für die Nutzung einer Metallplatte als zusätzliche Schirmung**



**Legende**

- 1 Fangstange
- 2 Stahlmast mit Antennen
- 3 Geländer
- 4 durchverbundene Armierung
- 5 Leitungen aus LPZ 0<sub>B</sub> brauchen SPDs an der Eintrittsstelle
- 6 Leitungen aus LPZ 1 können ohne SPDs an der Eintrittsstelle bleiben, wenn sie innerhalb des Stahlmastes geführt werden
- R Blitzkugelradius

**Bild 40 – Schutz von Antennen und anderen, außen angebrachten Geräten**

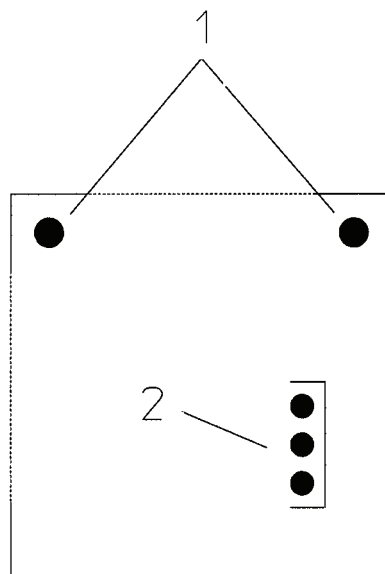


**Legende**

- 1 Prozessturm
- 2 Steigleiter
- 3 Rohre

ANMERKUNG A, B, C sind gute Alternativen für die Positionierung von elektrischen Leitungen.

**Bild 41 – Inhärente Schirmung durch metallene Leitern und Rohre an einem Prozessturm, wenn diese in den Potentialausgleich einbezogen sind**



**Legende**

- 1 ideale Position für Leitungen in den inneren Ecken der L-Träger
- 2 alternative Position für eine geerdete Kabeltrasse innerhalb des Mastes

**Bild 42 – Ideale Position für Leitungen an einem Mast (Querschnitt durch einen Stahlgittermast)**

## Anhang A (informativ)

### Zeitfunktion des Blitzstroms für Analysezwecke

Die Wellenformen

- des ersten Stoßstroms 10/350 µs,
- der Folgestoßströme 0,25/100 µs

können definiert werden als:

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

mit

- I* Stromscheitelwert,
- k* Korrekturfaktor für den Stromscheitelwert,
- t* Zeit,
- $\tau_1$  Stirnzeitkonstante,
- $\tau_2$  Rückenzeitkonstante.

Für die Wellenformen des ersten Stoßstroms und des Folgestoßstroms gelten die in Tabelle A.1 angegebenen Parameter für die unterschiedlichen Gefährdungspegel. Die analytischen Kurven sind in den Bildern A.1 bis A.4 dargestellt.

Der Langzeitstrom kann durch eine Rechteck-Wellenform mit einem mittleren Strom  $I = Q_{\text{lang}}/T_{\text{lang}}$  und einer Dauer  $T_{\text{lang}}$  nach Tabelle 1 beschrieben werden.

Aus den analytischen Kurven kann die Amplitudendichte des Blitzstroms abgeleitet werden: Bild A.5.

**Tabelle A.1 – Parameter für Gleichung A.1**

Parameter	Erster Stoßstrom			Folgestoßstrom		
	Gefährdungspegel			Gefährdungspegel		
	I	II	III, IV	I	II	III, IV
<i>I</i> (kA)	200	150	100	50	37,5	25
<i>k</i>	0,93	0,93	0,930	0,993	0,993	0,993
$\tau_1$ (µs)	19,0	19	19	0,454	0,454	0,454
$\tau_2$ (µs)	485	485	485	143	143	143

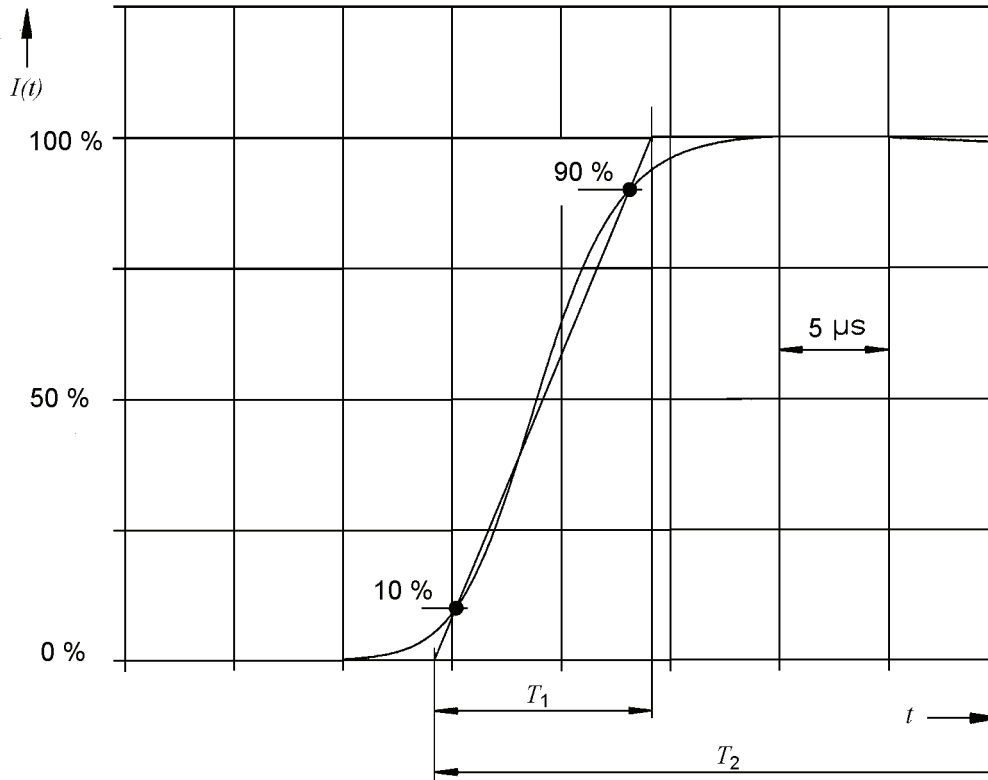


Bild A.1 – Zeitlicher Verlauf der Stirn des ersten Stoßströme

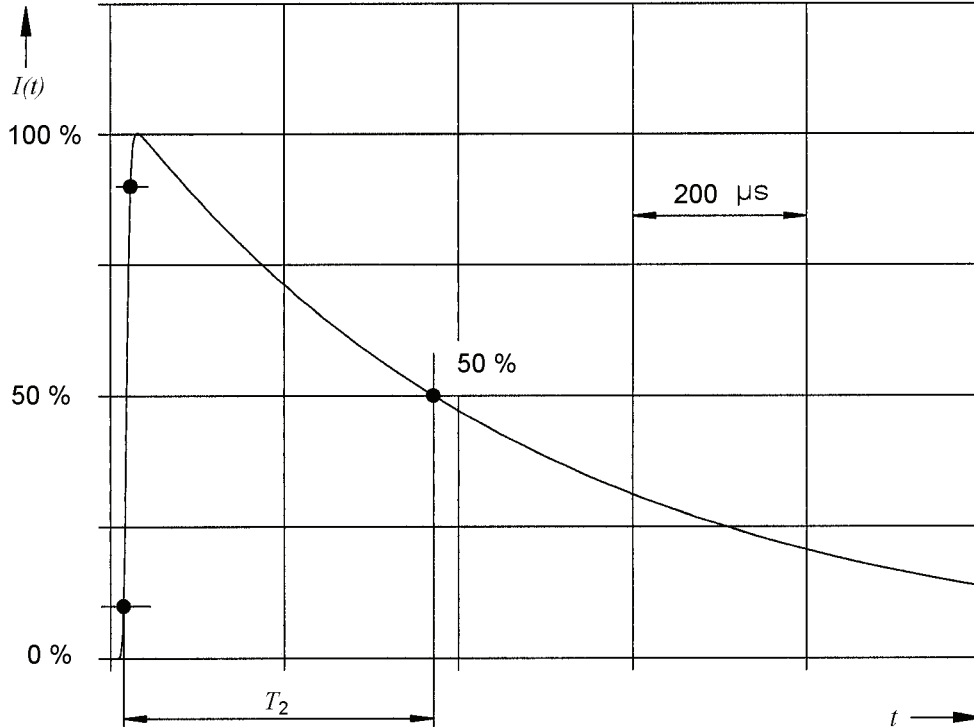


Bild A.2 – Zeitlicher Verlauf des Rückens des ersten Stoßstroms

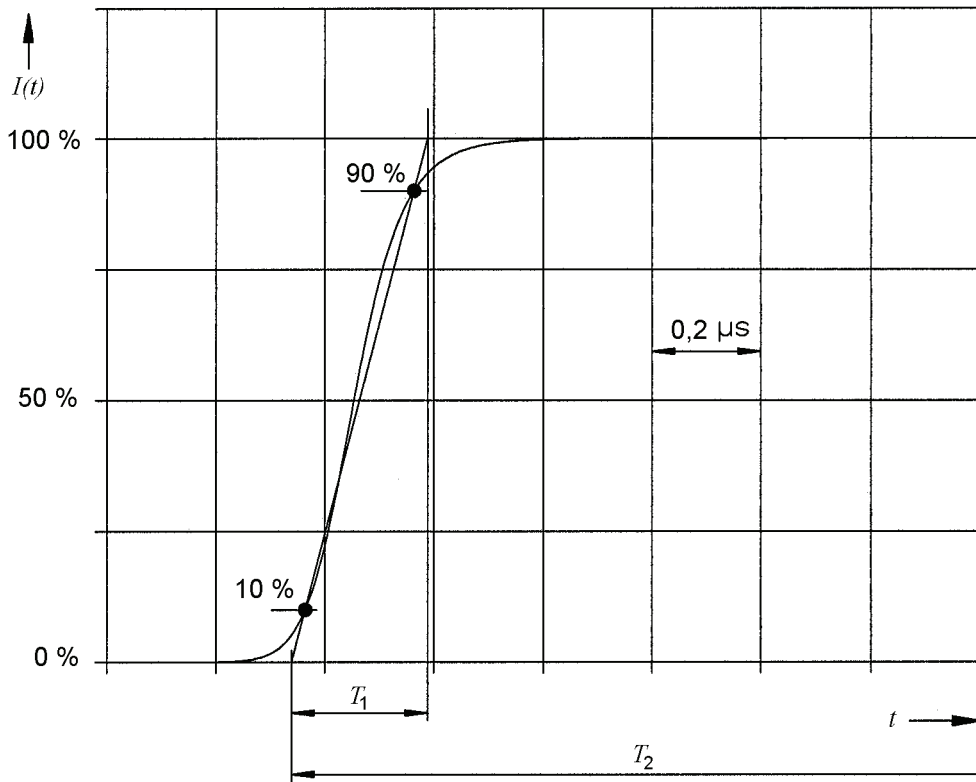


Bild A.3 – Zeitlicher Verlauf der Stirn des Folgestoßstroms

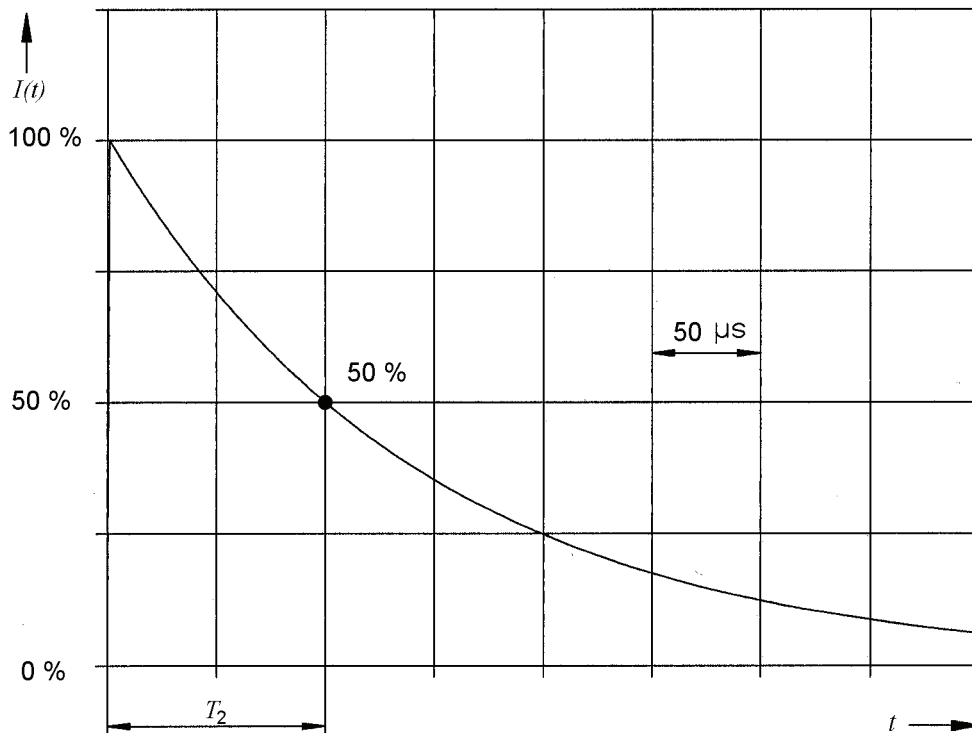
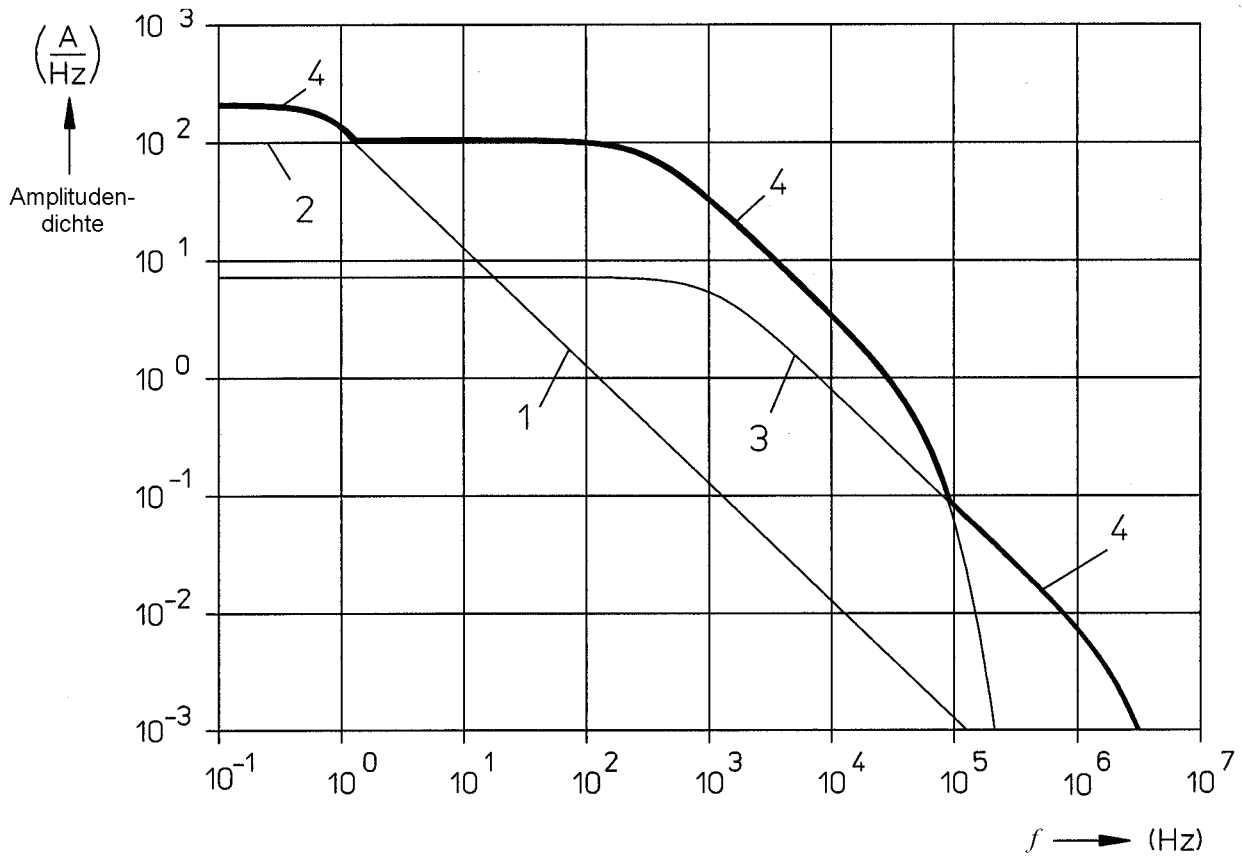


Bild A.4 – Zeitlicher Verlauf des Rückens des Folgestoßstroms



Nr	Blitzstromkomponente	Stromscheitelwert <i>I</i>	Zeitverlauf
1	Langzeitstrom	400 A	0,5 s
2	erster Stoßstrom	200 kA	10/350 µs
3	Folgestoßstrom	50 kA	0,25/100 µs
4	Einhüllende		

**Bild A.5 – Amplitudendichte des Blitzstroms entsprechend Gefährdungspegel I**



## Anhang B (informativ)

### Nachbildung des Blitzstroms für Prüfzwecke

**ANMERKUNG** Wenn ein System vom Blitz getroffen wird, verteilt sich der Blitzstrom innerhalb des Systems. Wenn bestimmte Eingänge oder Ausgänge des Systems geprüft werden sollen, muss dies bei der Auswahl geeigneter Prüfparameter für die betreffenden Systemkomponenten berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck muss eine Systemanalyse durchgeführt werden.

#### B.1 Nachbildung der spezifischen Energie des ersten Stoßstroms und der Ladung des Langzeitstroms

Die Prüfparameter sind in den Tabellen B.1 und B.2 definiert und Bild B.1 zeigt ein Beispiel für einen Prüfgenerator, der zur Nachbildung der spezifischen Energie des ersten Stoßstroms kombiniert mit der Ladung des Langzeitstroms verwendet werden kann.

Die Prüfungen sollen nachweisen, dass keine mechanischen Beschädigungen und unzulässige Erwärmungs- und Schmelzwirkungen eintreten.

Die für die Nachbildung des ersten Stoßstroms maßgeblichen Prüfparameter (Stromscheitelwert  $I$ , die spezifische Energie  $W/R$ , und die Ladung  $Q_{\text{stoß}}$ ) sind in Tabelle B.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 für die Nachbildung des Langzeitstroms maßgeblichen Prüfparameter (Ladung  $Q_{\text{lang}}$  und Dauer  $T_{\text{lang}}$ ) sind in Tabelle B.2 angegeben.

Abhängig vom Prüfobjekt und dem erwarteten Zerstörmechanismus können die Prüfungen für den ersten Stoßstrom oder den Langzeitstrom einzeln durchgeführt werden oder als kombinierte Prüfung, in der der Langzeitstrom unmittelbar auf den ersten Stoßstrom folgt. Prüfungen auf Ausschmelzungen infolge des Lichtbogens sollten mit beiden Polaritäten durchgeführt werden.

#### B.2 Nachbildung der Stirnsteilheit von Stoßströmen

Der Stromanstieg bestimmt die magnetisch induzierten Spannungen und Ströme in Schleifen in der Nähe von blitzstromführenden Leitern.

Der Stromanstieg von Stoßströmen ist als Anstieg des Stromes  $\Delta i$  während der Zeit  $\Delta t$  definiert (Bild B.2). Die Prüfparameter für die Nachbildung dieses Stromanstiegs sind in Tabelle B.3 angegeben. Die Bilder B.3 und B.4 zeigen Beispiele für Prüfgeneratoren, die zur Nachbildung der Stirnsteilheit von Blitzströmen bei direkten Blitzeinschlägen verwendet werden können. Die Nachbildung wird für einen ersten Stoßstrom und für einen Folgestoßstrom durchgeführt.

**ANMERKUNG** Diese Nachbildung deckt die Stirnsteilheit von Stoßströmen ab. Der Rücken des Stroms hat für diese Art der Nachbildung keine Bedeutung.

Die Nachbildung nach Abschnitt B.2 kann unabhängig oder in Kombination mit der Nachbildung nach Abschnitt B.1 angewendet werden.

Für weitere Informationen über Prüfparameter zur Nachbildung von Blitzwirkungen auf Blitzschutz-Komponenten siehe DIN V VDE V 0185-1 (VDE V 0185 Teil 1).

**Tabelle B.1 – Prüfparameter des ersten Stoßstroms**

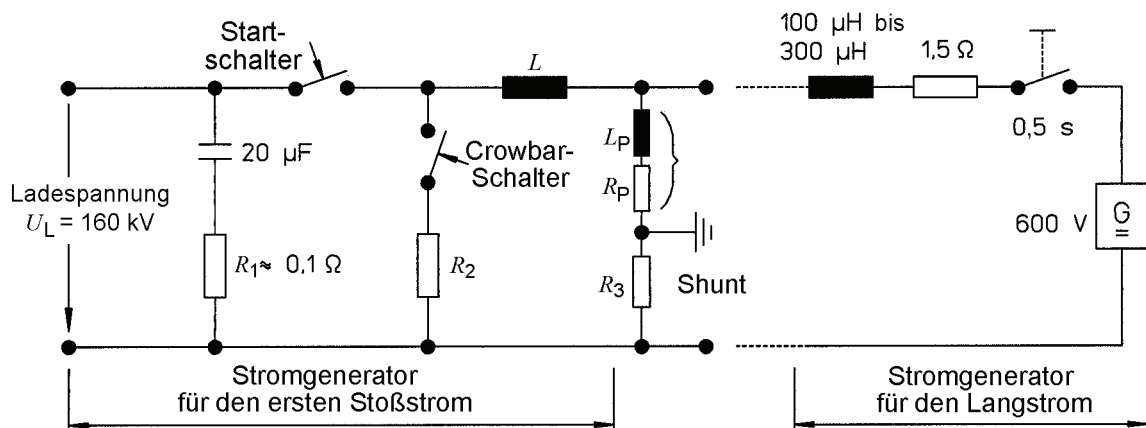
Prüfparameter		Gefährdungspegel			Toleranz
		I	II	III, IV	
Stromscheitelwert $I$	(kA)	200	150	100	± 10 %
Ladung $Q_{\text{stoß}}$	(C)	100	75	50	± 20 %
spezifische Energie $W/R$	(kJ/Ω)	10 000	5 625	2 500	± 35 %

**Tabelle B.2 – Prüfparameter des Langzeitstroms**

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

**Tabelle B.3 – Prüfparameter der Stoßströme**

Prüfparameter		Gefährdungspegel			Toleranz
		I	II	III, IV	
Erster Stoßstrom					
$\Delta I$	(kA)	200	150	100	± 10 %
$\Delta t$	(µs)	10	10	10	± 20 %
Folgestoßstrom					
$\Delta I$	(kA)	50	37,5	25	± 10 %
$\Delta t$	(µs)	0,25	0,25	0,25	± 20 %



$L + L_p \approx 10 \mu\text{H}$	$R_2 + R_p + R_3 \approx 20 \text{ m}\Omega$
----------------------------------	--

Die Werte gelten für Gefährdungspegel I.

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

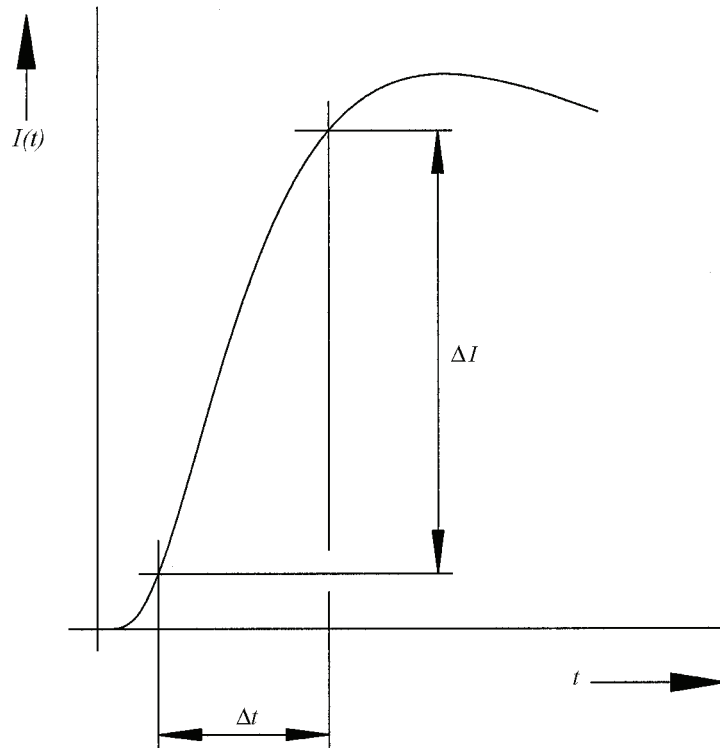
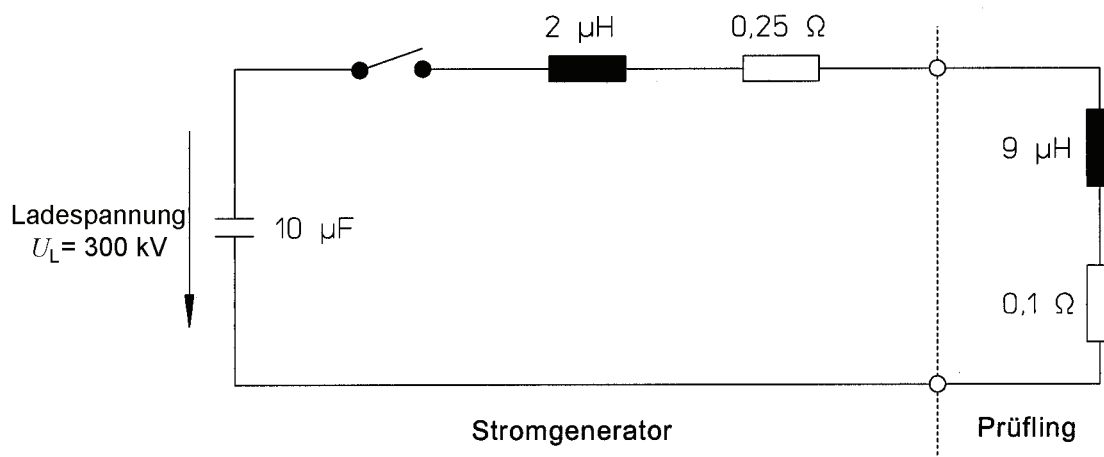


Bild B.2 – Definition für den Stromanstieg entsprechend Tabelle B.3

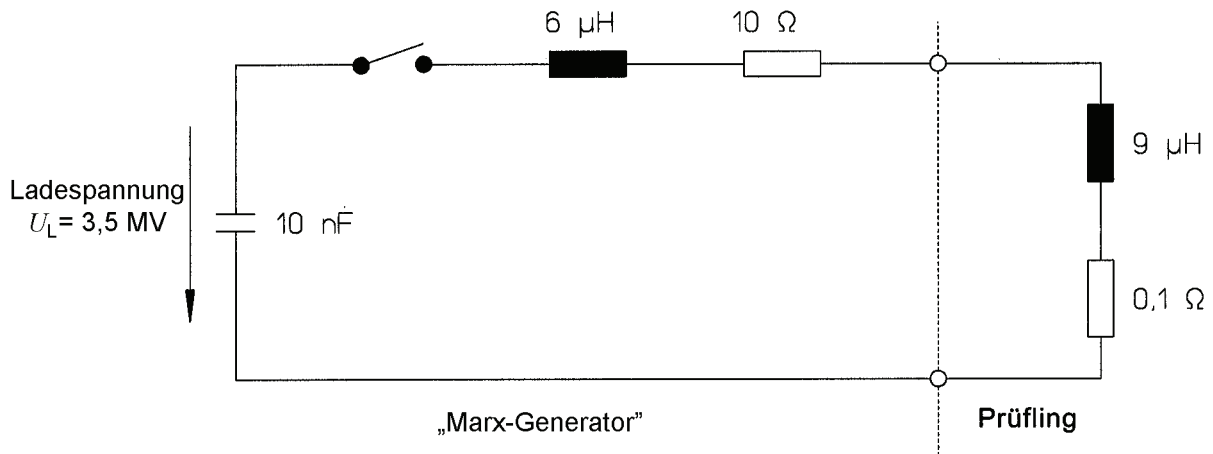


Die Werte gelten für Gefährdungspegel I.

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

— Vornorm —

DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11



Die Werte gelten für Gefährdungspegel I.

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

## Anhang C (informativ)

### Kopplungsmechanismen

#### C.1 Allgemeines zu den Kopplungsmechanismen

Für die praktische Anwendung, und um mit Ersatzschaltbildern mit konzentrierten Elementen arbeiten zu können, ist es vorteilhaft, zwischen ohmscher Kopplung und magnetischer bzw. elektrischer Feldkopplung zu unterscheiden.

Die Einkopplung von Transienten in elektronische Systeme durch direkte und nahe Blitzeinschläge entsteht durch verschiedene Mechanismen:

- ohmsche Kopplung (z. B. durch den Widerstand der Erdungsanlage oder des Kabelschirms);
- magnetische Feldkopplung (z. B. durch Schleifen der Installation oder durch Induktivitäten von Erdungsleitern);
- elektrische Feldkopplung (z. B. durch Stabantennen).

Die elektrische Feldkopplung in Geräte innerhalb der baulichen Anlage ist im Allgemeinen sehr klein gegenüber der magnetischen Feldkopplung.

Die Kopplung wird beeinflusst durch

- Erdung;
- Potentialausgleich;
- Schirmung;
- Führung und Art der metallenen Leiter.

#### C.2 Ohmsche Kopplung

Wenn eine bauliche Anlage vom Blitz getroffen wird, erzeugt der in die Erde fließende Strom üblicherweise eine Spannung in der Größenordnung von einigen hundert kV zwischen der Erdungsanlage und der fernen Erde, abhängig vom Erdungswiderstand. Dadurch fließen anteilige Blitzströme durch externe leitfähige Teile (z. B. Kabel), die mit der Erdungsanlage verbunden sind, zur fernen Erde.

Der anteilige Blitzstrom im Kabelschirm bewirkt eine Spannung zwischen dem Innenleiter und dem Kabelschirm.

#### C.3 Magnetische Feldkopplung

Der Blitzstrom, der in einem Leiter oder im Blitzkanal fließt, erzeugt ein magnetisches Feld, das bis zu Abständen von einigen 100 m näherungsweise dieselbe Wellenform hat wie der Blitzstrom.

Bei nahen Blitzeinschlägen ist die magnetische Feldstärke  $H(t)$  näherungsweise proportional zum Blitzstrom  $I(t)$  und umgekehrt proportional zum Abstand  $s_a$  vom Einschlagpunkt:

$$H(t) = \frac{I(t)}{2\pi s_a} \quad (\text{C.1})$$

Diese Formel kann für einfache Abschätzungen verwendet werden, aber in den meisten Fällen muss das magnetische Feld im Detail analysiert werden.

## — Vornorm —

### DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11

Wenn das magnetische Feld Leiterschleifen durchsetzt, erzeugt es Spannungen proportional zu  $dH/dt$  (Leerlauf) oder Ströme proportional zu  $H(t)$  (Kurzschluss). Dieser Vorgang wird als magnetische Induktion bezeichnet.

#### C.4 Elektrische Feldkopplung

Die elektrische Feldstärke, die durch die Annäherung des Blitz-Leaders entsteht, erreicht bis zu 500 kV/m im Bereich bis zu einem Abstand von einigen 100 m vom späteren Einschlagpunkt.

Sobald die Hauptentladung beginnt, bricht das elektrische Feld zusammen, wobei Feldänderungen  $dE/dt$  in der Größenordnung von 500 (kV/m)/ $\mu$ s zu berücksichtigen sind.

## Anhang D (informativ)

### LEMP-Schutz-Management

Die Frage, ob ein LEMP-Schutz nötig ist, sollte möglichst früh in der Planungsphase einer neuen baulichen Anlage, oder vor der Installation eines neuen elektronischen Systems in einer bestehenden baulichen Anlage, geklärt werden.

Im Allgemeinen liegt es in der Verantwortung des Architekten und der Ingenieure des Gebäudes, die Planung des LEMP-Schutzes zu koordinieren, indem sie eine Blitzschutz-Fachkraft hinzuziehen.

Um ein technisch und wirtschaftlich optimales LEMP-Schutzsystem zu installieren und zu erhalten, ist ein LEMP-Schutz-Management nötig.

Die notwendigen Schritte des LEMP-Schutz-Managements zeigt Tabelle D.1.

**Tabelle D.1 – LEMP-Schutz-Management für neue Gebäude und für umfassende Änderungen der Konstruktion oder der Nutzung von Gebäuden**

Schritt	Ziel	Maßnahme ist durchzuführen von (soweit betroffen)
Erste Risikoanalyse <sup>a</sup>	Prüfung der Notwendigkeit eines LEMP-Schutzes auf der Basis des akzeptierbaren Risikos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Blitzschutz-Fachkraft <sup>b</sup></li> <li>– Eigentümer</li> </ul>
LEMP-Schutz-Planung	Vorbereitung eines Schutzkonzepts mit der Definition von <ul style="list-style-type: none"> <li>– Gefährdungspegeln, die maßgebliche Blitzstromparameter definieren</li> <li>– LPZ und ihren Grenzen</li> <li>– räumlicher Schirmung</li> <li>– Potentialausgleich-Netzwerken</li> <li>– Erdungsanlagen</li> <li>– Leitungsführung und -schirmung</li> <li>– Potentialausgleich von Versorgungsleitungen an den Grenzen der LPZ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Blitzschutz-Fachkraft</li> <li>– Eigentümer</li> <li>– Architekt</li> <li>– Planer der elektronischen Systeme</li> <li>– Planer maßgeblicher Installationen</li> </ul>
LEMP-Schutz Auslegung	Allgemeine Zeichnungen und Beschreibungen Vorbereitung der Ausschreibungsunterlagen Detailzeichnungen und Zeitpläne für die Installation	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ingenieurbüro oder gleichwertig</li> </ul>
LEMP-Schutzsystem Installation und Überprüfung	Qualität der Installation Dokumentation Mögliche Revision von Detailzeichnungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Blitzschutz-Fachkraft</li> <li>– Errichter des LEMP-Schutzsystems</li> <li>– Ingenieurbüro</li> <li>– Prüfungsbeauftragter</li> </ul>
LEMP-Schutzsystem Abnahme	Prüfung und Dokumentation des Zustands des Systems	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Unabhängige Blitzschutz-Fachkraft</li> <li>– Prüfungsbeauftragter</li> </ul>
Abschließende Risikoanalyse <sup>a</sup>	Prüfung, ob das verbleibende Risiko kleiner als das akzeptierbare Risiko ist	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Unabhängige Blitzschutz-Fachkraft</li> <li>– Prüfungsbeauftragter</li> </ul>
Wiederkehrende Prüfungen	Sicherstellung eines angemessenen LEMP-Schutzsystems	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Blitzschutz-Fachkraft</li> <li>– Prüfungsbeauftragter</li> </ul>
<sup>a</sup> Siehe DIN V VDE V 0185-2 (VDE V 0185 Teil 2).		
<sup>b</sup> Mit fundierten Kenntnissen der EMV und der Installationspraxis.		

## **Anhang E** (informativ)

### **Begriffe zu Erdung und Potentialausgleich**

Die Erdungsanlage ist in Kontakt mit dem Boden und kann ein Teil des räumlichen Schirmes der baulichen Anlagen sein (z. B. Armierung im Fundamentboden).

Das Potentialausgleich-Netzwerk ist ein vielfach vermaschtes System, das zunächst nicht in Kontakt mit dem Boden ist. Das Potentialausgleich-Netzwerk ist ein niederinduktives Netzwerk und garantiert überall ein im Wesentlichen gleiches Potential.

Das Potentialausgleich-Netzwerk und die Erdungsanlage bilden zusammen das vielfach vermaschte Erdungssystem.

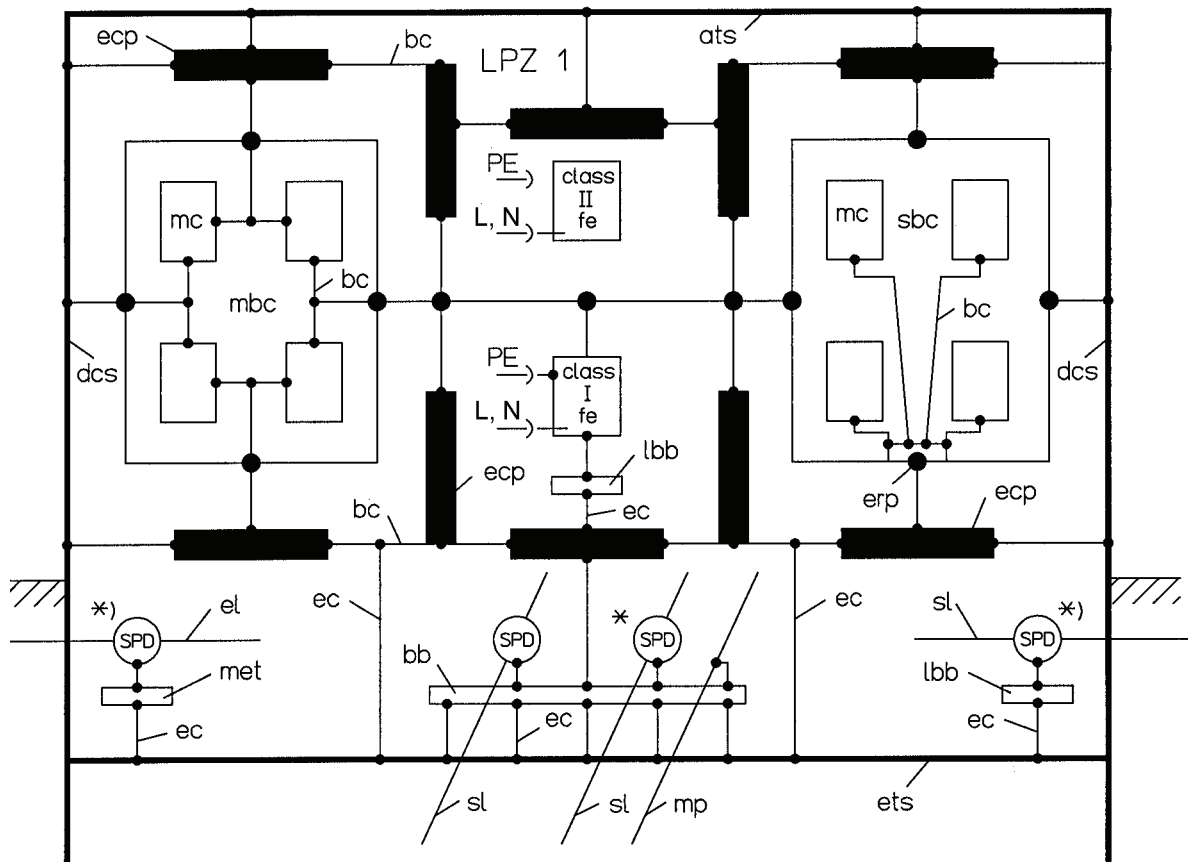
Bei sternförmigem oder isoliertem maschenförmigen Potentialausgleich des elektronischen Systems müssen die Erdungsleiter isoliert sein und dürfen mit keinen anderen metallenen Teilen in Kontakt sein, ausgenommen mit dem Erdungsbezugspunkt. Alle elektrischen Kabel und Leitungen treten in das (lokale) elektronische System am Erdungsbezugspunkt ein und sind parallel zum Erdungsleiter zu installieren (siehe Abschnitt 10).

Bei vermaschtem Potentialausgleich können alle elektrischen Kabel und Leitungen in das (lokale) elektronische System an beliebigen Stellen eintreten, ohne Rücksicht auf die Lage der Erdungsleiter (siehe Abschnitt 10).

Beispiele für Begriffe zu Erdung und Potentialausgleich siehe Bild E.1.



LPZ 0



ANMERKUNG Legende siehe nächste Seite.

**Bild E.1 – Erdung und Potentialausgleich**

# — Vornorm —

## DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11

### Legende zu Bild E.1

- ats Fangeinrichtung, die auch Teil des räumlichen Schirmes der baulichen Anlage sein kann (z. B. metallenes Dach)
- bb Potentialausgleichsschiene (Ring-Potentialausgleichsschiene, horizontaler Potentialausgleichsleiter, in Sonderfällen auch eine Metallplatte), insbesondere für den Potentialausgleich von elektrischen und Datenleitungen und von elektronischen Geräten. Sie kann auch als allgemeine Potentialausgleichsschiene verwendet werden. Sie ist mehrfach durch Erdungsleiter an das Erdungssystem anzuschließen (typisch alle 5 m)
- bc Potentialausgleichsleiter (Potentialausgleichsverbinding, Potentialausgleichsleitung)
- dcs Ableitungen (Blitzableitungen) die auch Teil des räumlichen Schirmes der baulichen Anlage sein können (z. B. metallene Fassade, Armierung der Wände)
- ec Erdungsleiter (Haupt-Erdungsleiter) zur Verbindung mit der Erdungsanlage
- ecp sonstige leitfähige Teile oder metallene Installationen in und an der baulichen Anlage, ausgenommen die elektrische Installation (z. B. Aufzugschienen, Krane, metallene Böden, metallene Türrahmen, metallene Rohre von Versorgungsleitungen, metallene Kabeltrassen, Armierung im Boden, in den Wänden oder in der Decke).
- el Leitungen oder Kabel der elektrischen Energieversorgung
- erp Erdungsbezugspunkt (ERP), gebildet durch eine lokale Potentialausgleichsschiene (Einzelpunkt-Verbindung)
- ets Erdungsanlage (Erder-Netzwerk, allgemeines Erder-Netzwerk), das auch Teil des räumlichen Schirmes der baulichen Anlage sein kann (Erder: einzelne oder Gruppe von Elektroden der Erdungsanlage)
- fe angeschlossene Geräte: Klasse I: mit PE-Leiter; Klasse II: ohne PE-Leiter
- L,N Phasenleiter und Neutralleiter der Netzversorgung
- lbb lokale Potentialausgleichsschiene (Erdungsanschluss), z. B. für den Anschluss von elektrischen oder elektronischen Installationen
- LPZ Blitzschutzzone
- mbc vermaschter Potentialausgleich von (lokalen) elektronischen Systemen
- mc metallene Komponente (metallenes Teil) des (lokalen) elektronischen Systems (z. B. Schrank, Gehäuse, Gestell)
- met Haupt-Potentialausgleichsschiene (Haupt-Erdungsschiene, Erdungssammelschiene, Haupt-Erdanschluss), insbesondere für den Anschluss des PE-Leiters des elektrischen Systems. Sie kann auch als allgemeine Potentialausgleichsschiene verwendet werden.
- mp metallene Rohre von Versorgungsleitungen
- PE Schutzleiter (Schutzerdungsleiter, Geräte-Erdungsleiter, Schutzerdung), Bestandteil des Potentialausgleich-Netzwerks
- sbc sternförmiger Potentialausgleich von (lokalen) elektronischen Systemen
- sl Datenleitung oder -kabel
- SPD Überspannungsschutzgerät
- \*) Potentialausgleich für Versorgungsleitungen am Eintritt in LPZ 1 (Rohre, elektrische und Datenleitungen oder Kabel)

## Anhang F (informativ)

### Berechnung von induzierten Spannungen und Strömen in Leiterschleifen

Es werden rechteckige Schleifen nach Bild 24 betrachtet. Wenn andere Schleifenanordnungen bestehen, können sie in rechteckige Schleifen mit gleicher Fläche umgewandelt werden.

#### F.1 Situation innerhalb LPZ 1 bei nahen Blitzeinschlägen

Das magnetische Feld  $H_1$  innerhalb des Volumens  $V_s$  von LPZ 1 wird als homogen angenommen (siehe 11.2.1).

Für die Leerlaufspannung  $U_{oc}$  gilt

$$U_{oc} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot dH_1/dt \quad \text{in V}$$

Während der Stirnzeit  $T_1$  tritt der maximale Wert  $U_{oc/max}$  auf

$$U_{oc/max} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/max}/T_1 \quad \text{in V}$$

Dabei ist:

- $\mu_0$  gleich  $4\pi \cdot 10^{-7}$  in Vs/Am;
- $b$  Breite der Leiterschleife in m;
- $H_1$  zeitabhängiges magnetisches Feld innerhalb LPZ 1 in A/m;
- $H_{1/max}$  maximaler Wert des magnetischen Feldes innerhalb LPZ 1 in A/m;
- $l$  Länge der Leiterschleife in m;
- $T_1$  Stirnzeit des magnetischen Feldes, identisch mit der Stirnzeit des Blitzstroms in s.

Für den Kurzschlussstrom  $I_{sc}$  gilt, solange der ohmsche Widerstand der Drähte vernachlässigbar ist (worst case)

$$I_{sc} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot H_1/L \quad \text{in A.}$$

Der maximale Wert  $I_{sc/max}$  ist

$$I_{sc/max} = \mu_0 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/max}/L \quad \text{in A.}$$

mit

- $L$  Eigeninduktivität der Leiterschleife in H.

Mit

- $r$  Radius des Drahtes der Leiterschleife in m

gilt für rechteckige Schleifen:

# — Vornorm —

**DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11**

$$L = \left\{ 0,8\sqrt{l^2 + b^2} - 0,8(l+b) + 0,4 \cdot l \cdot \ln \left( \frac{2b/r}{1+(b/l)^2} \right) + 0,4 \cdot b \cdot \ln \left( \frac{2l/r}{1+\sqrt{1+(l/b)^2}} \right) \right\} \cdot 10^{-6}$$

Für Spannung und Strom, die vom magnetischen Feld  $H_{1/f}$  des ersten Teilblitzes ( $T_1 = 10 \mu\text{s}$ ) induziert werden, gilt

$$U_{oc/f/\max} = 0,126 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/f/\max} \quad \text{in V,}$$

$$I_{sc/f/\max} = 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot l \cdot H_{1/f/\max} / L \quad \text{in A.}$$

Für Spannung und Strom, die vom magnetischen Feld  $H_{1/s}$  von Folgeblitzen ( $T_1 = 0,25 \mu\text{s}$ ) induziert werden, gilt

$$U_{oc/s/\max} = 5,04 \cdot b \cdot l \cdot H_{1/s/\max} \quad \text{in V,}$$

$$I_{sc/s/\max} = 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot l \cdot H_{1/s/\max} / L \quad \text{in A.}$$

Dabei ist:

$H_{1/f/\max}$  maximaler Wert des magnetischen Feldes in A/m innerhalb LPZ 1, erzeugt durch den ersten Teilblitz;

$H_{1/s/\max}$  maximaler Wert des magnetischen Feldes in A/m innerhalb LPZ 1, erzeugt durch Folgeblitze.

## F.2 Situation innerhalb LPZ 1 bei direkten Blitzeinschlägen

Für das magnetische Feld  $H_1$  innerhalb des Volumens  $V_s$  von LPZ 1 gilt (siehe 11.2.2):

$$H_1 = \frac{k_H \cdot I_0 \cdot M}{d_w \cdot \sqrt{d_r}} \quad \text{in A/m.}$$

Für die Leerlaufspannung  $U_{oc}$  gilt

$$U_{oc} = \mu_0 \cdot b \cdot \ln \left( 1 + \frac{l}{d_{l/w}} \right) \cdot k_H \cdot \frac{M}{\sqrt{d_{l/r}}} \cdot \frac{dI_0}{dt} \quad \text{in V.}$$

Während der Stirnzeit  $T_1$  tritt der maximale Wert  $U_{oc/\max}$  auf

$$U_{oc/\max} = \mu_0 \cdot b \cdot \ln \left( 1 + \frac{l}{N_{l/w}} \right) \cdot k_H \cdot \frac{M}{\sqrt{d_{l/r}}} \cdot \frac{I_{0/\max}}{T_1} \quad \text{in V.}$$

Dabei ist:

$\mu_0$   $4\pi \cdot 10^{-7}$  in Vs/Am;

$b$  Breite der Leiterschleife in m;

$d_{l/w}$  Abstand der Leiterschleife von der Wand des Schirmes, wobei  $d_{l/w} \geq d_{s/2}$  in m;

$d_{l/r}$  mittlerer Abstand der Leiterschleife von der Decke des Schirmes in m;

$I_0$  Blitzstrom in LPZ 0<sub>A</sub> in A;

$I_{0/\max}$  maximaler Wert des Blitzstroms in LPZ 0<sub>A</sub> in A;

$k_H$  Geometriefaktor  $k_H = 0,01 \cdot \frac{1}{\sqrt{m}}$ ;

$l$  Länge der Leiterschleife in m;

$T_1$  Stirnzeit des Blitzstroms in LPZ 0<sub>A</sub> in s;

$M$  Maschenweite des gitterförmigen Schirmes in m.

Für den Kurzschlussstrom  $I_{sc}$  gilt, solange der ohmsche Widerstand der Drähte vernachlässigbar ist (worst case)

$$I_{sc} = \mu_0 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{lw}) \cdot k_H \cdot (Ml \sqrt{d_{lr}}) \cdot I_0/L \text{ in A.}$$

Der maximale Wert von  $I_{sc/\max}$  ist

$$I_{sc/\max} = \mu_0 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{lw}) \cdot k_H \cdot (Ml \sqrt{d_{lr}}) \cdot I_{0/\max}/L \text{ in A.}$$

mit

$L$  Eigeninduktivität der Leiterschleife in H.

Für die Berechnung der Eigeninduktivität  $L$  siehe Abschnitt F.1.

Für Spannung und Strom, die vom magnetischen Feld des ersten Teilblitzes ( $T_1 = 10 \mu\text{s}$ ) induziert werden, gilt

$$U_{oc/f/\max} = 1,26 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{lw}) \cdot (Ml \sqrt{d_{lr}}) \cdot I_{f/\max} \text{ in V,}$$

$$I_{sc/f/\max} = 12,6 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{lw}) \cdot (Ml \sqrt{d_{lr}}) \cdot I_{f/\max}/L \text{ in A.}$$

Für Spannung und Strom, die vom magnetischen Feld von Folgeblitzen ( $T_1 = 0,25 \mu\text{s}$ ) induziert werden, gilt

$$U_{oc/s/\max} = 50,4 \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{lw}) \cdot (Ml \sqrt{d_{lr}}) \cdot I_{s/\max} \text{ in V,}$$

$$I_{sc/s/\max} = 12,6 \cdot 10^{-6} \cdot b \cdot \ln(1 + l/d_{lw}) \cdot (Ml \sqrt{d_{lr}}) \cdot I_{s/\max}/L \text{ in A.}$$

Dabei ist

$I_{f/\max}$  maximaler Wert des Stroms des ersten Teilblitzes in kA;

$I_{s/\max}$  maximaler Wert des Stroms von Folgeblitzen in kA.

### F.3 Situation innerhalb LPZ $\geq 2$

Das magnetische Feld  $H_n$  innerhalb LPZ  $n$  für  $n \geq 2$  wird als homogen angenommen (siehe 11.2.3).

Deshalb gelten für die Berechnung von induzierten Spannungen und Strömen dieselben Gleichungen wie in F.1, wobei anstelle von  $H_1$  jeweils  $H_n$  einzusetzen ist.

## Anhang G (informativ)

### Berechnung des magnetischen Feldes innerhalb von LPZ 1 bei nahen Blitzeinschlägen

Wie in 11.2.1 gezeigt, ist die magnetische Feldstärke  $H_{1/\max}$  innerhalb von LPZ 1 bei nahen Blitzeinschlägen abhängig von: dem Blitzstrom  $I_{0/\max}$ , dem Schirmfaktor  $SF$  des Schirmes von LPZ 1 und dem Abstand  $s_a$  zwischen dem Blitzkanal und dem Mittelpunkt von LPZ 1 (siehe Bild 20).

Der Blitzstrom  $I_{0/\max}$  hängt vom gewählten Gefährdungspegel ab (siehe Tabelle 1). Der Schirmfaktor  $SF$  (siehe Tabelle 7) ist im Wesentlichen eine Funktion der Maschenweite des gitterförmigen Schirmes. Der Abstand  $s_a$  ist entweder

- ein gegebener Abstand zwischen dem Mittelpunkt von LPZ 1 und einem Objekt in der Nähe (z. B. ein Mast), das vom Blitz getroffen wird, oder
- der minimale Abstand zwischen dem Mittelpunkt von LPZ 1 und dem Blitzkanal, wenn der Blitz in der Nähe der LPZ 1 in den Erdboden einschlägt.

Der ungünstigste Fall ist der größtmögliche Strom  $I_{0/\max}$  kombiniert mit dem kleinstmöglichen Abstand  $s_a$ . Wie in Bild G.1 gezeigt, ist der minimale Abstand  $s_a$  eine Funktion der Höhe  $h$  und der Länge  $l$  (beziehungsweise der Breite  $b$ ) der baulichen Anlage (LPZ 1) und eine Funktion des Blitzkugelradius  $R$  in Abhängigkeit von  $I_{0/\max}$  (siehe Tabelle G.1), definiert nach dem elektrogeometrischen Modell (siehe DIN V VDE V 0185-1 (VDE V 0185 Teil 1)). Der Abstand ergibt sich aus

$$s_a = \sqrt{2Rh - h^2} + l/2 \quad \text{für } h < R,$$

$$s_a = R + l/2 \quad \text{für } h \geq R.$$

**ANMERKUNG** Bei Abständen, die kleiner sind als dieser minimale Wert, schlägt der Blitz direkt in die bauliche Anlage ein (siehe Anhang I).

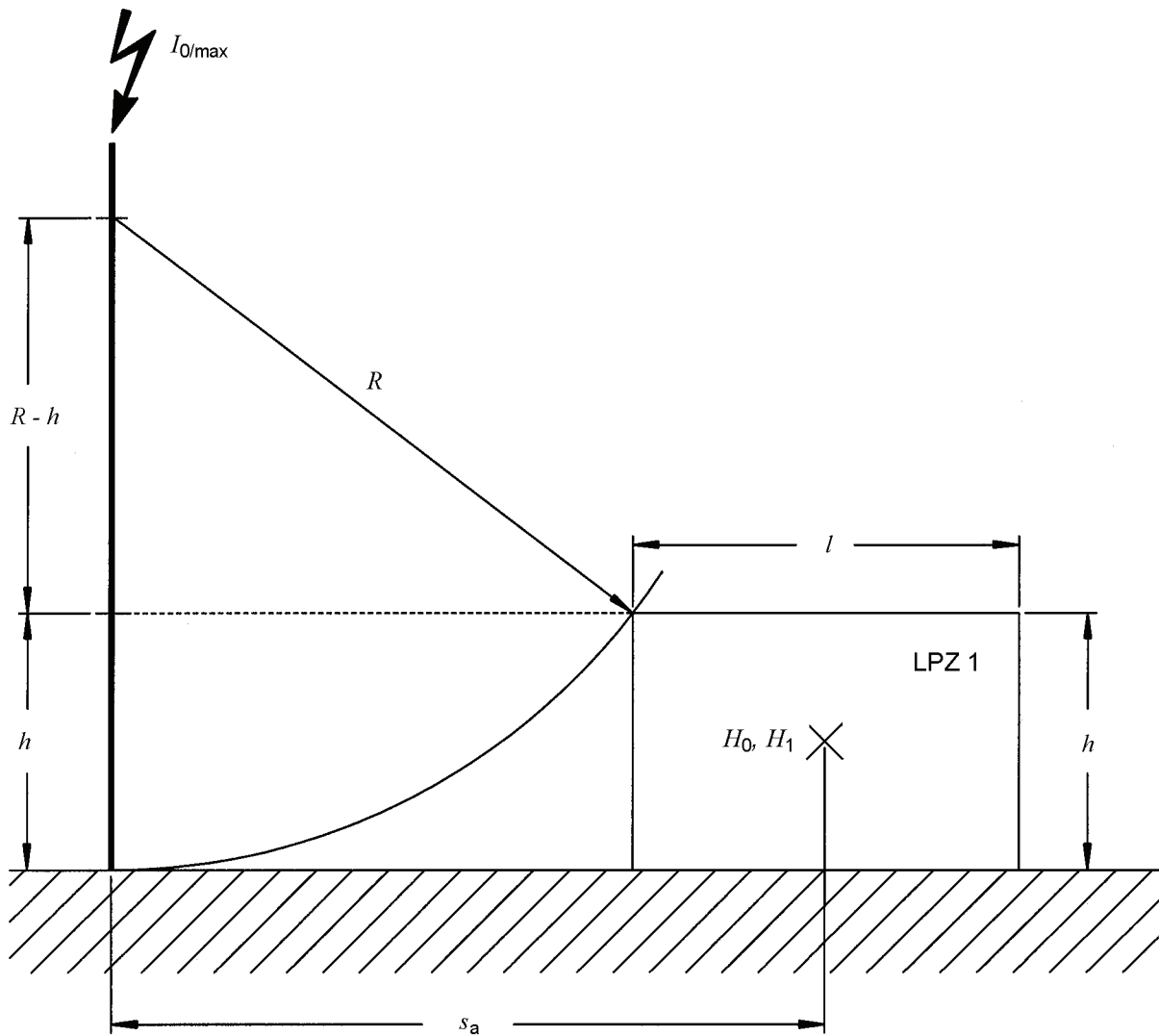
Als Beispiel für die Anwendung der Formeln aus 11.2.1, können drei typische, gitterförmige Schirme mit den Abmessungen nach Tabelle G.2 definiert werden. Für den gitterförmigen Schirm aus Kupfer wird eine mittlere Maschenweite von  $M = 2$  m angenommen. Das ergibt einen Schirmfaktor  $SF = 12,6$  dB und einen Sicherheitsabstand  $d_{s/1} = 2,5$  m, der das Sicherheitsvolumen  $V_s$  definiert. Die Werte für  $H_{0/\max}$  und  $H_{1/\max}$ , die überall innerhalb von  $V_s$  als gültig angenommen werden, werden für  $I_{0/\max} = 100$  kA berechnet und in Tabelle G.2 gezeigt.

**Tabelle G.1 – Blitzkugelradius abhängig vom maximalen Blitzstrom**

Gefährdungspegel	Maximaler Blitzstrom $I_{0/\max}$ kA	Blitzkugelradius $R$ m
I	200	313
II	150	260
III, IV	100	200

**Tabelle G.2 – Beispiele für  $I_{0/\max} = 100 \text{ kA}$  und  $M = 2 \text{ m}$  entsprechend  $SF = 12,6 \text{ dB}$**

Typ des Schirmes	$l \times b \times h$ m	$s_a$ m	$H_{0/\max}$ A/m	$H_{1/\max}$ A/m
1	$10 \times 10 \times 10$	67	236	56
2	$50 \times 50 \times 10$	87	182	43
3	$10 \times 10 \times 50$	137	116	27



**Legende:**

- $h$  Höhe der baulichen Anlage
- $l$  Breite der baulichen Anlage
- $R$  Blitzkugelradius
- $H_0, H_1$  magnetische Feldstärken

**Bild G.1 – Abstand  $s_a$  abhängig vom Blitzkugelradius  $R$  und den Abmessungen der baulichen Anlage**

## Anhang H (informativ)

### Berechnung des magnetischen Feldes innerhalb von LPZ 1 bei direkten Blitzeinschlägen

Die Formeln, die in 11.2.2 zur Bestimmung der magnetischen Feldstärke  $H_{1/\max}$  angegeben sind, beruhen auf numerischen Berechnungen des magnetischen Feldes für drei typische gitterförmige Schirme nach Bild H.1. Für diese Berechnungen wurde ein Blitzeinschlag in eine der Ecken des Daches angenommen. Der Blitzkanal wurde durch einen senkrechten Leiter mit einer Länge von 100 m oberhalb des Daches nachgebildet. Die Erde wurde durch eine ideal leitende Ebene nachgebildet.

Für die Berechnung wurde die magnetische Feldkopplung zwischen jedem Stab des gitterförmigen Schirmes mit allen anderen Stäben, einschließlich des Blitzkanals, berücksichtigt. Daraus ergibt sich ein Gleichungssystem für die Berechnung der Blitzstromverteilung in dem gitterförmigen Schirm. Aus dieser Stromverteilung wurde die magnetische Feldstärke innerhalb des Schirm abgeleitet. Es wurde angenommen, dass die ohmschen Widerstände der Stäbe vernachlässigt werden können. Deshalb ist die Stromverteilung in dem gitterförmigen Schirm und die magnetische Feldstärke nicht frequenzabhängig. Weil auch die kapazitive Kopplung vernachlässigt wurde, treten keine transienten Effekte auf.

Die Bilder H.2 und H.3 zeigen einige Ergebnisse für den gitterförmigen Schirm Typ 1 nach Bild H.1. In allen Fällen wurde ein maximaler Blitzstrom  $I_{0/\max} = 100$  kA angenommen. In beiden Bildern ist  $H_{1/\max}$  die maximale magnetische Feldstärke im betrachteten Punkt, wie sie sich aus den Komponenten  $H_x$ ,  $H_y$  und  $H_z$  ergibt.

$$H_{1/\max} = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}$$

In Bild H.2 ist  $H_{1/\max}$  entlang einer geraden Linie beginnend im Blitzeinschlagpunkt ( $x = y = 0$ ,  $z = 10$  m) und endend im Mittelpunkt des Volumens ( $x = y = 5$  m,  $z = 5$  m) berechnet.  $H_{1/\max}$  ist aufgetragen als Funktion der x-Koordinate eines Punkts auf dieser Linie. Der Parameter ist die Maschenweite  $M$  des gitterförmigen Schirmes.

In Bild H.3 ist  $H_{1/\max}$  für zwei Punkte innerhalb des Schirmes (Punkt A:  $x = y = 5$  m,  $z = 5$  m; Punkt B:  $x = y = 3$  m,  $z = 7$  m) berechnet. Das Ergebnis ist als Funktion der Maschenweite  $M$  aufgetragen.

Beide Bilder zeigen den bestimmenden Parameter für die Verteilung des magnetischen Feldes innerhalb eines gitterförmigen Schirmes: der Abstand von der Wand oder dem Dach und die Maschenweite. In Bild H.2 sollte beachtet werden, dass entlang von anderen Linien durch das Volumen des Schirmes Nulldurchgänge und Vorzeichenwechsel bei den Komponenten der magnetischen Feldstärke  $H_{1/\max}$  auftreten können. Die Formeln in 11.2.2 können deshalb nur erste Näherungen für die in Wirklichkeit weit komplexere Verteilung des magnetischen Feldes innerhalb von gitterförmigen Schirmen sein.

Als Beispiel für die Anwendung der Formeln aus 11.2.2, können drei typische, gitterförmige Schirme mit den Abmessungen nach Tabelle H.1 definiert werden. Für den gitterförmigen Schirm aus Kupfer wird eine mittlere Maschenweite von  $M = 2$  m angenommen. Das ergibt einen Sicherheitsabstand  $d_{s/2} = 2,0$  m, der das Sicherheitsvolumen  $V_s$  definiert. Die innerhalb von  $V_s$  gültigen Werte für  $H_{1/\max}$  werden für  $I_{0/\max} = 100$  kA berechnet und in Tabelle C.1 gezeigt. Der Abstand zum Dach ist halb so groß wie die Höhe:  $d_f = h/2$ . Der Abstand zur Wand ist halb so groß wie die Länge:  $d_w = l/2$  (Mittelpunkt) oder gleich:  $d_w = d_{s/2}$  (worst case in der Nähe der Wand).



Tabelle H.1 – Beispiele für  $I_{0/\max} = 100 \text{ kA}$  und  $M = 2 \text{ m}$

Typ des Schirmes	$l \times b \times h$ m	$H_{1/\max}$ (Mittelpunkt) A/m	$H_{1/\max} (d_w = d_{s/2})$ A/m
1	10 × 10 × 10	179	447
2	50 × 50 × 10	36	447
3	10 × 10 × 50	80	200

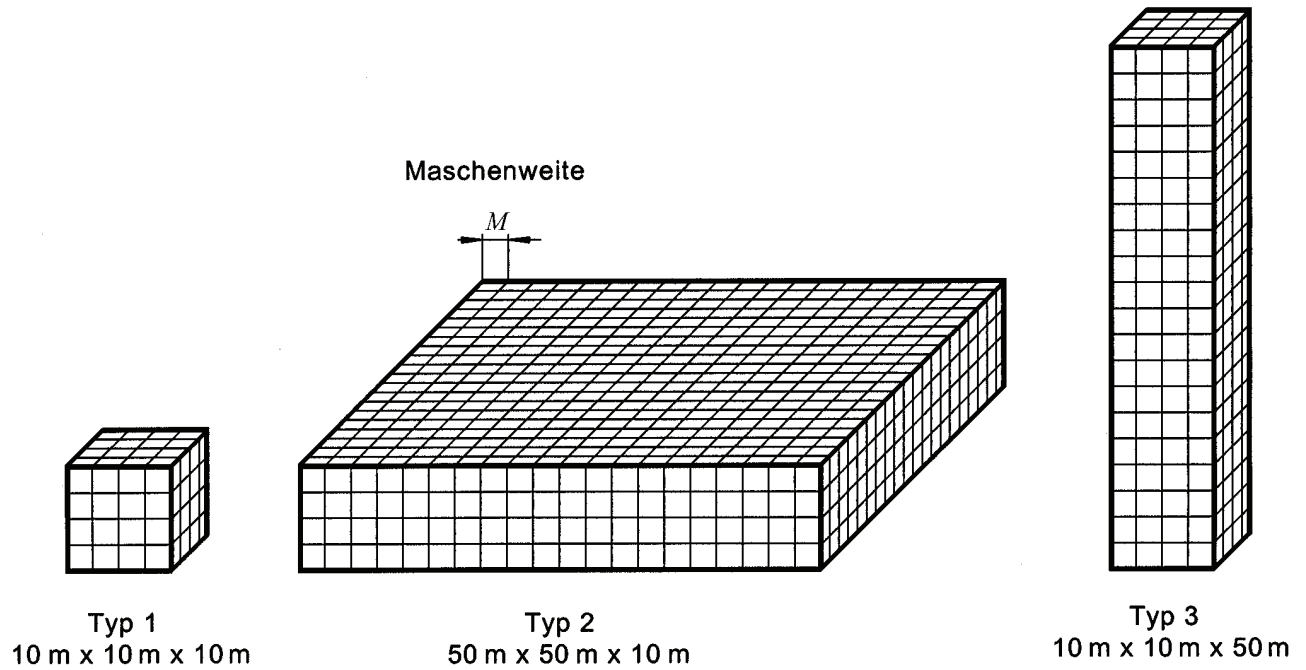


Bild H.1 – Typen von ausgedehnten, gitterförmigen, räumlichen Schirmen

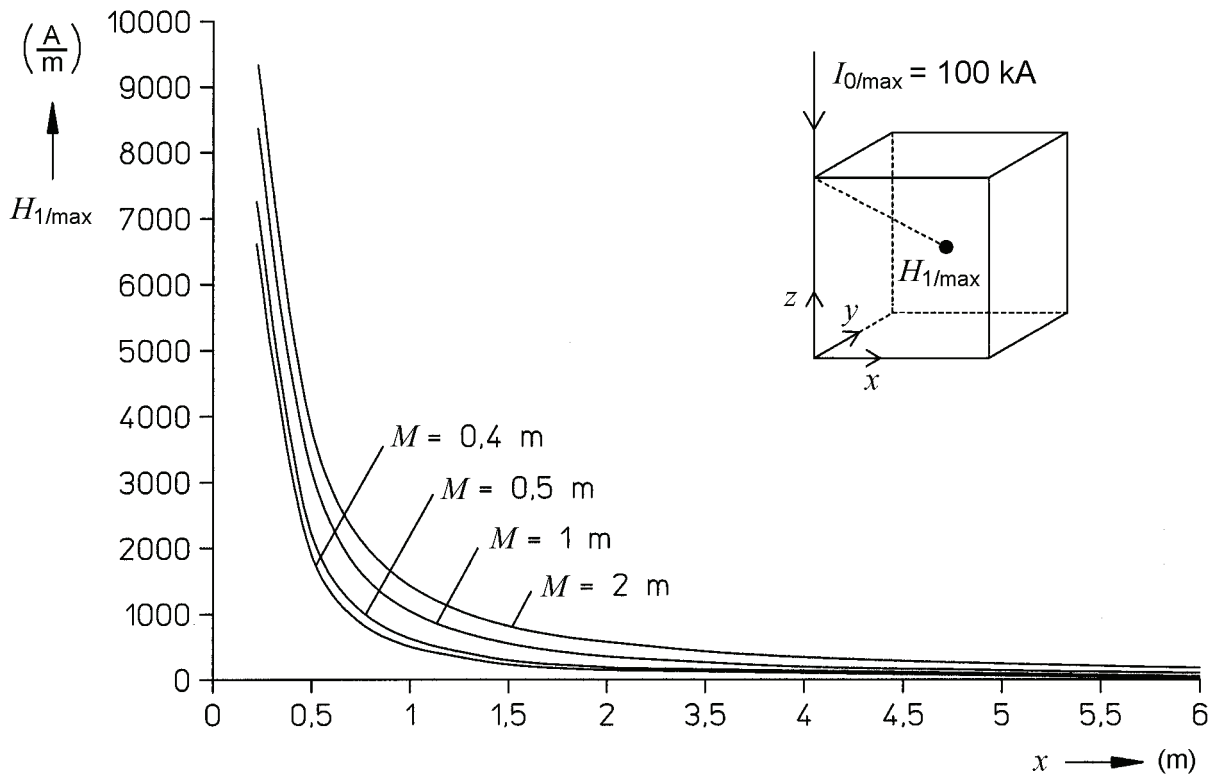


Bild H.2 – Magnetische Feldstärke  $H_{1/\max}$  innerhalb eines gitterförmigen Schirmes Typ 1

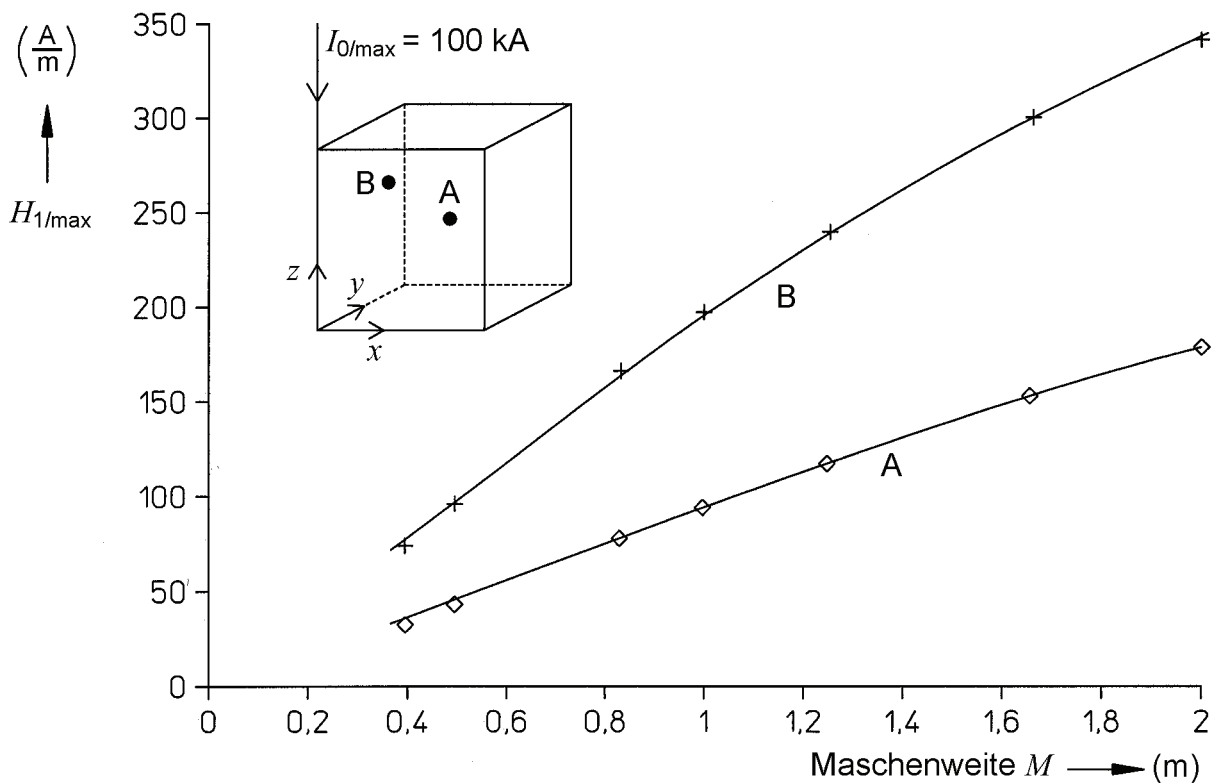


Bild H.3 – Magnetische Feldstärke  $H_{1/\max}$  innerhalb eines gitterförmigen Schirmes Typ 1

**Literaturhinweise zu diesem Anhang**

VG 95 375-4 (1991-11-01) Elektromagnetische Verträglichkeit; Grundlagen und Maßnahmen für die Entwicklung von Systemen; Schirmung

VG 96 907 (2000-06-01) Schutz gegen Nuklear-Elektromagnetischen Impuls (NEMP) und Blitzschlag – Konstruktionsmaßnahmen und Schutzeinrichtungen – Teil 2: Besonderheiten für verschiedene Anwendungen

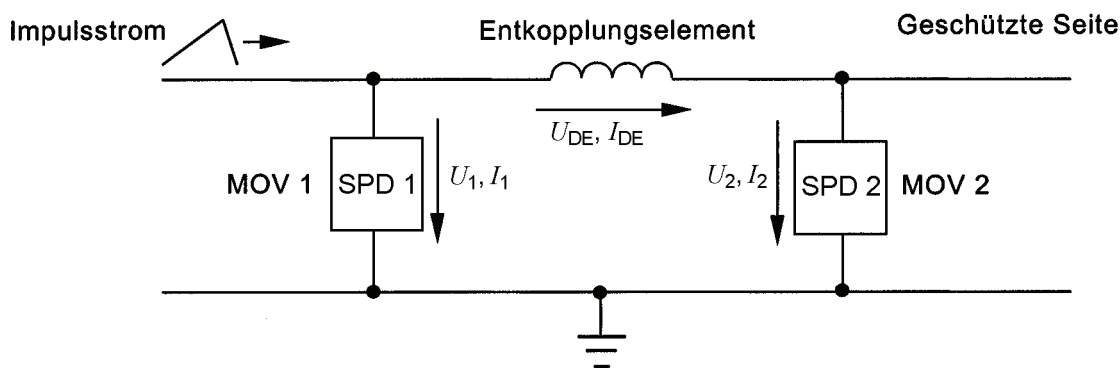
Lang U., Wiesinger J.: EMC-based lightning protection concept for a large new administration building. 22th ICLP, Budapest 1994, paper R6a-03.

Kaden H.: Die elektromagnetische Schirmung in der Fernmelde- und Hochfrequenztechnik (Seiten 191 – 197). Springer-Verlag Berlin 1950.

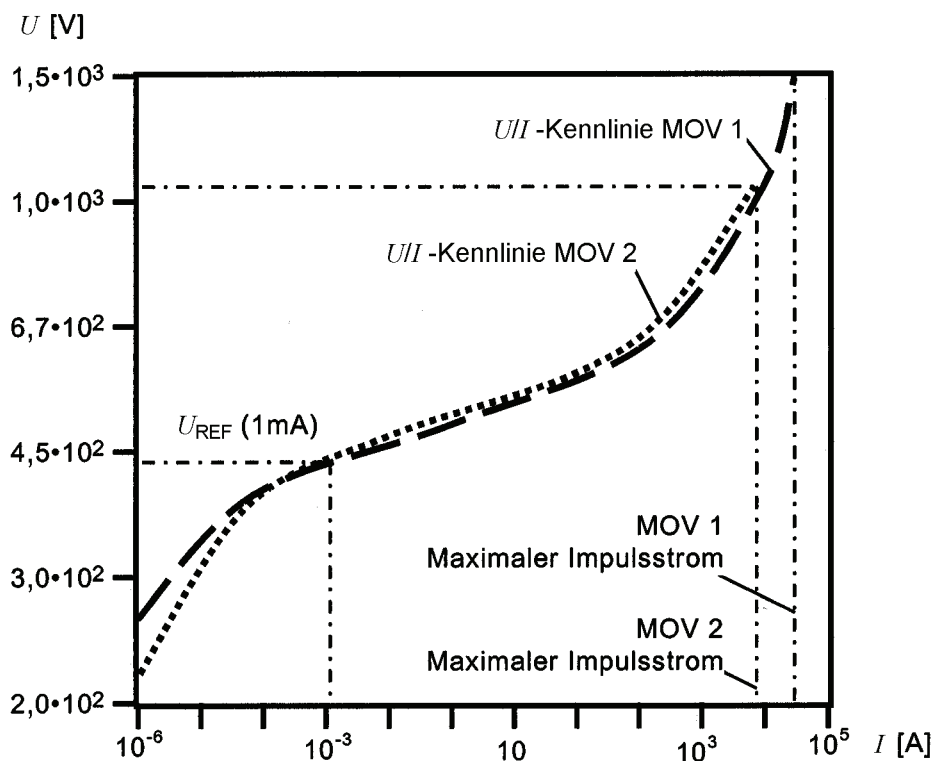
## Anhang I (informativ)

### Beispiele für die Koordination zwischen zwei SPDs

#### I.1 Beispiel mit zwei Spannungsbegrenzertyp-SPDs



**Bild I.1 – Schaltbild für die Koordination zwischen zwei Spannungsbegrenzertyp-SPDs**



ANMERKUNG Dieses Beispiel zeigt, dass die Kenntnis der Referenz-Spannung  $U_{REF}$  des MOV allein für Koordinationszwecke nicht ausreicht.

**Bild I.2 – Spannungs-Strom-Kennlinien von zwei Spannungsbegrenzertyp-SPDs**

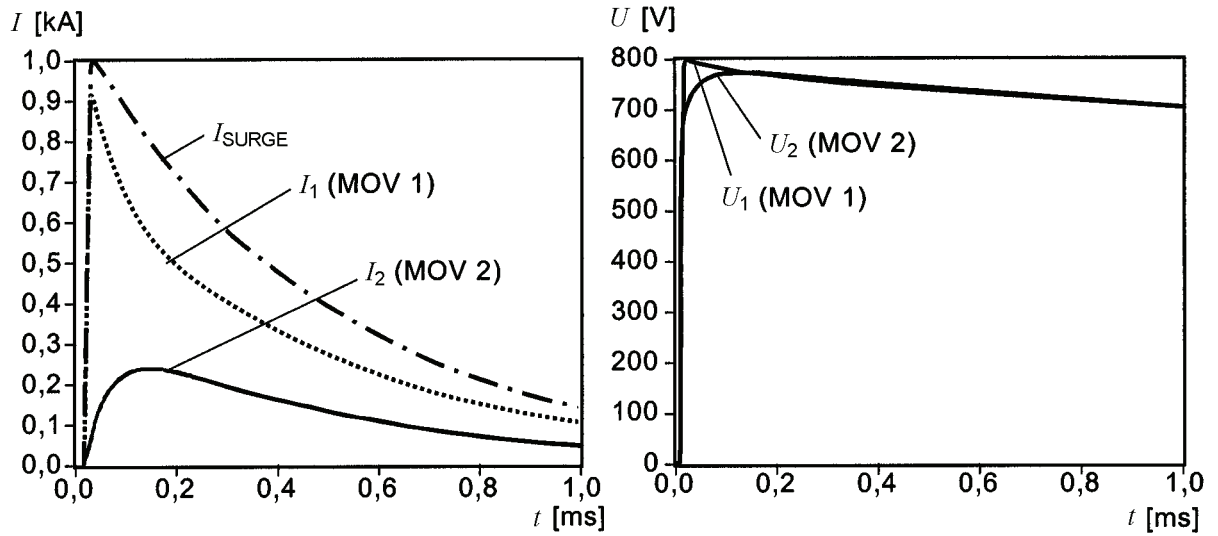


Bild I.3 – Stromkennlinie und Spannungskennlinie für die Kombination von zwei Spannungsbegrenzertyp-SPD für einen 10/350-Impulsstrom

## I.2 Beispiel mit Schaltertyp-SPD und Spannungsbegrenzertyp-SPD

### I.2.1 Prinzip der Koordination

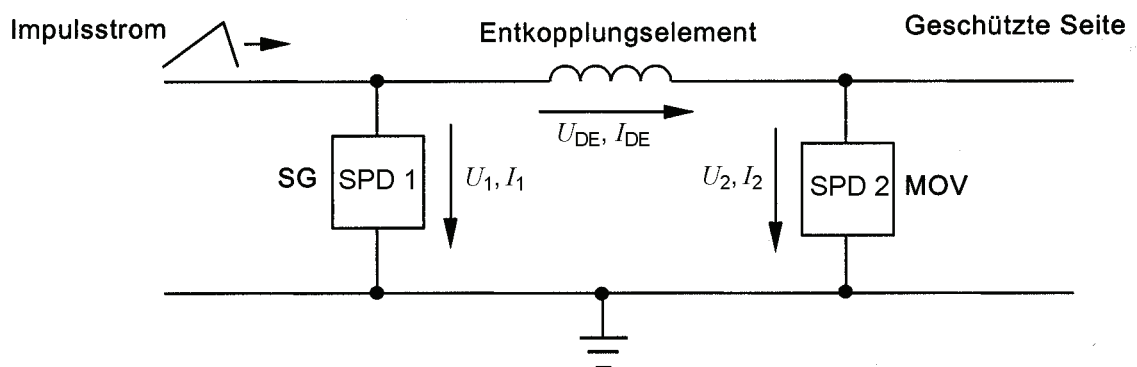
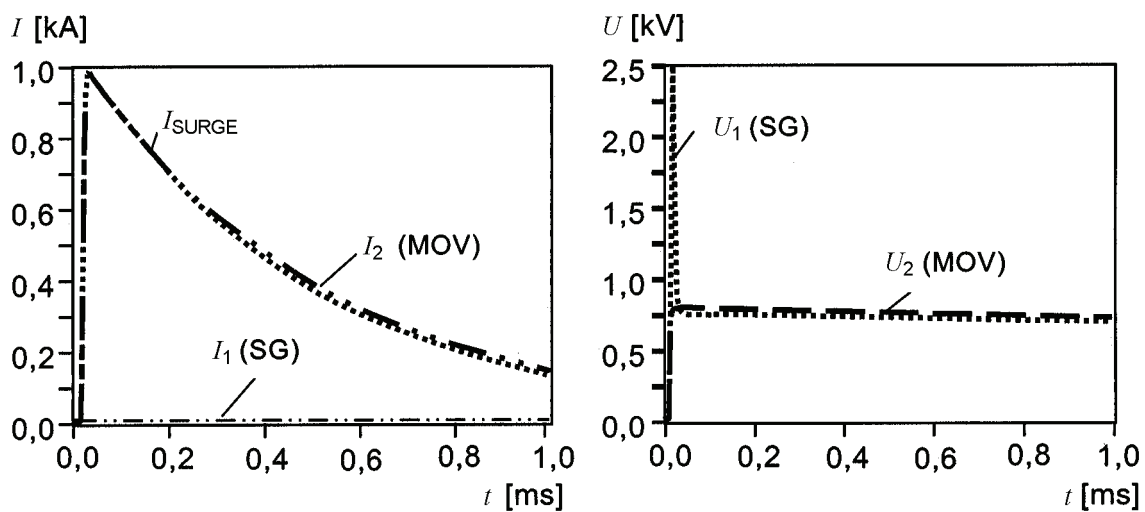
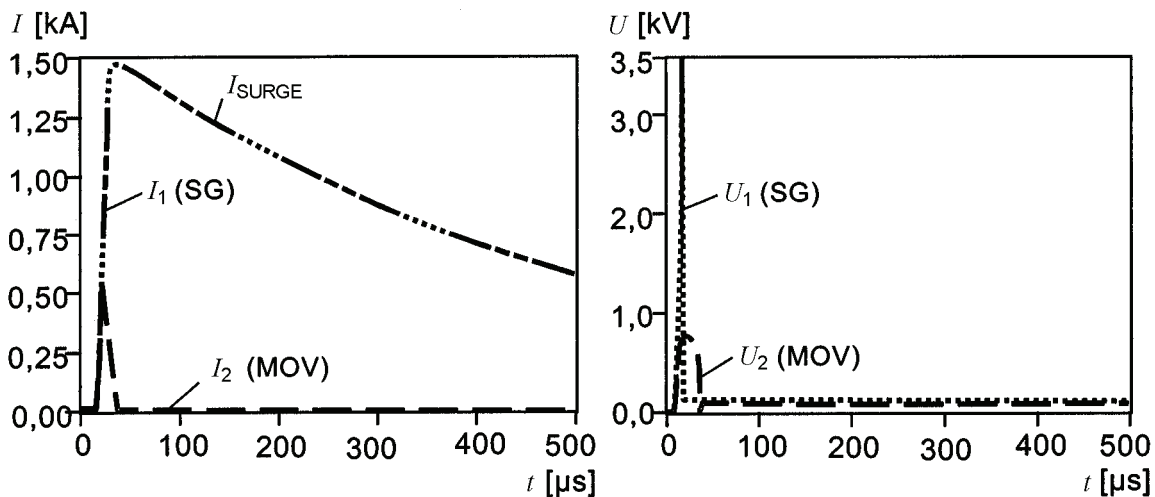


Bild I.4 – Schaltbild für die Koordination zwischen einem Schaltertyp-SPD 1 und einem Spannungsbegrenzertyp-SPD 2



**Bild I.5 – Stromkennlinie und Spannungskennlinie für die Kombination eines Schaltertyp-SPD 1 mit einem Spannungsbegrenzertyp-SPD 2 für den 10/350-Impulsstrom (SPD 1 hat nicht gezündet)**



**Bild I.6 – Stromkennlinie und Spannungskennlinie für die Kombination eines Schaltertyp-SPD 1 mit einem Spannungsbegrenzertyp-SPD 2 für den 10/350-Impulsstrom (SPD 1 hat gezündet)**

I.2.2 Beispiel für einen 10/350 Impulsstrom

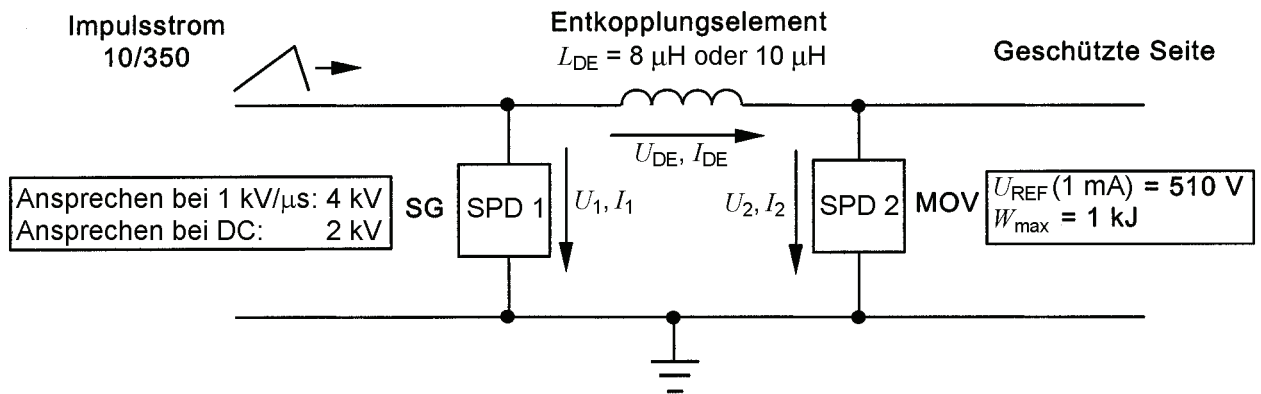


Bild I.7a – Schaltbild für die Koordination bei einem 10/350-Impulsstrom

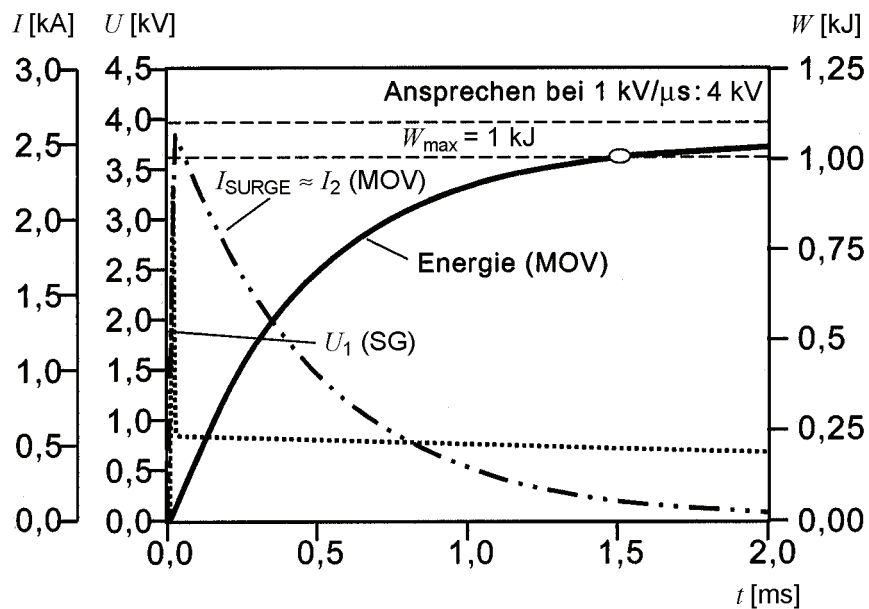


Bild I.7b – Spannungs-Strom-Energie-Kennlinien für  $L_{DE} = 8 \mu\text{H}$ : Die energetische Koordination für den 10/350-Impulsstrom ist nicht erreicht (SG hat nicht gezündet)

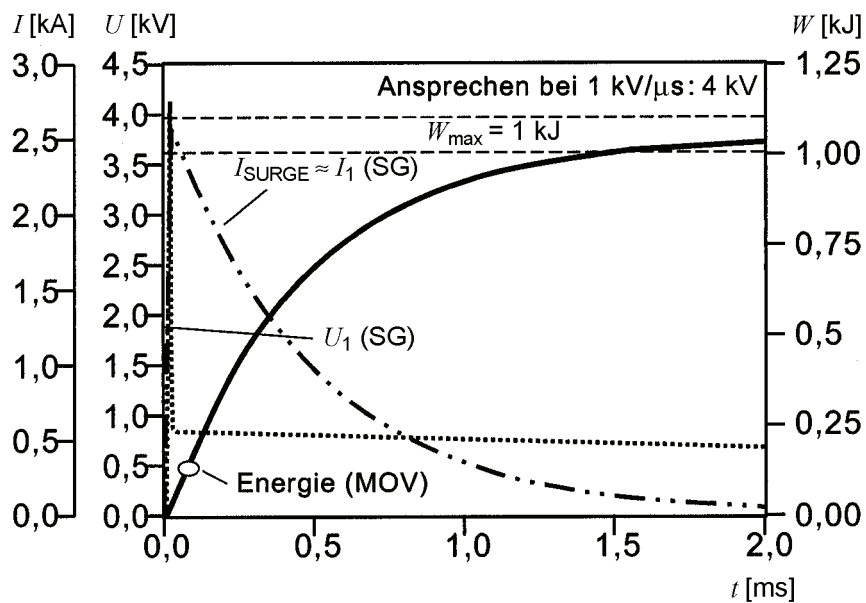


Bild I.7c – Spannungs-Strom-Energie-Kennlinien für  $L_{DE} = 10 \mu\text{H}$ : Die energetische Koordination für den 10/350-Impulsstrom ist erreicht (SG hat gezündet)

Bild I.7 – Beispiel für die energetische Koordination zwischen Schaltertyp-SPD 1 und Spannungsbegrenzertyp-SPD 2 für den 10/350-Impulsstrom

I.1.3 Beispiel für einen  $0,1 \text{ kA}/\mu\text{s}$  Impulsstrom

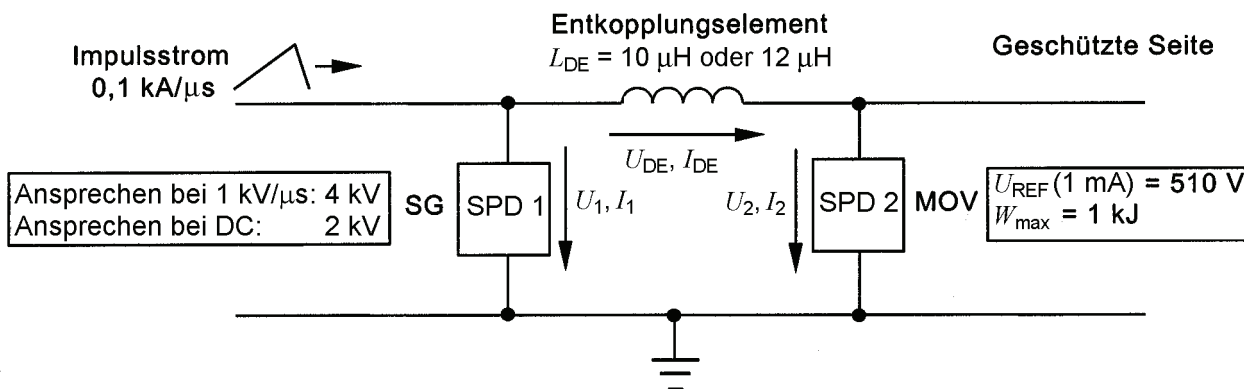


Bild I.8a – Schaltbild für die Koordination bei einem  $0,1\text{-kA}/\mu\text{s}$ -Impulsstrom



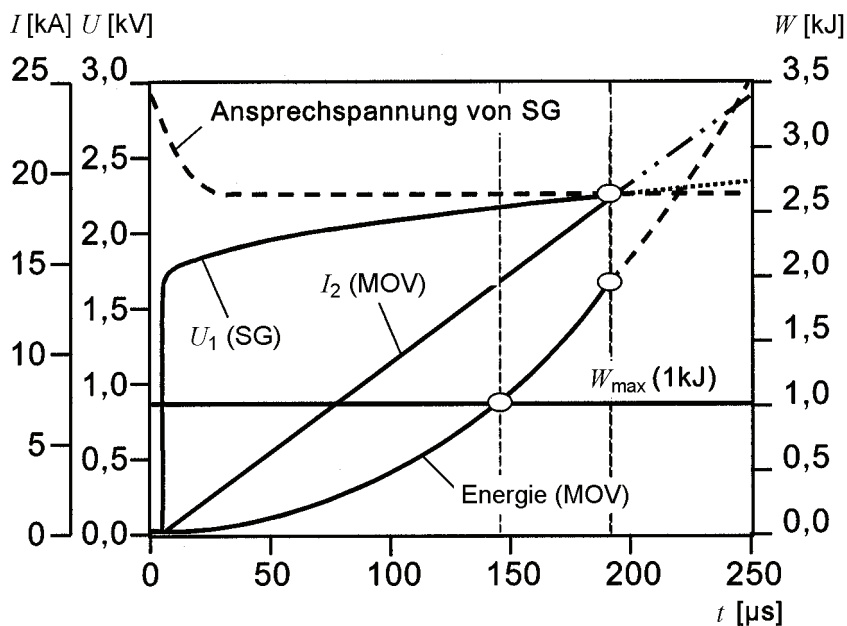


Bild I.8b – Spannungs-Strom-Energie-Kennlinien für  $L_{DE} = 10 \mu\text{H}$ : Die energetische Koordination für den  $0,1\text{-kA}/\mu\text{s}$ -Impulsstrom ist nicht erreicht

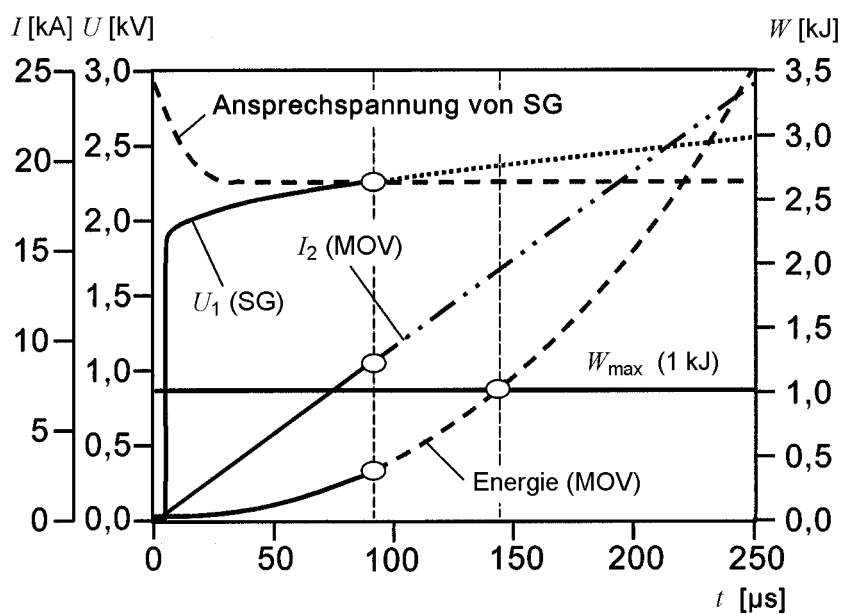


Bild I.8c – Spannungs-Strom-Energie-Kennlinien für  $L_{DE} = 12 \mu\text{H}$ : Die energetische Koordination für den  $0,1\text{-kA}/\mu\text{s}$ -Impulsstrom ist erreicht

Bld I.8 – Energetische Koordination für einen  $0,1\text{-kA}/\mu\text{s}$ -Impulsstrom

## Anhang J (informativ)

### Einflussfaktoren für die Verteilung des Blitzstroms

Ausgehend von der ursprünglichen Blitzbedrohung entsprechend dem gewählten Gefährdungspegel (siehe Tabellen 1 bis 3), zeigen die folgenden Abschnitte die grundsätzlichen Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Einflussfaktoren auf die Verteilung des Blitzstroms in einem zu schützenden System. Bild J.1 zeigt ein grundsätzliches Beispiel für die Wirkung der Einflussfaktoren. Bild J.2 zeigt das für die Berechnung verwendete Schaltbild.

**ANMERKUNG** Die Berechnungen wurden mit einer Netzwerkanalyse-Software (z. B. PSPICE oder EMTP) durchgeführt.

Die Modellierung von Kabeln, Erdern, Transformatoren usw. entspricht dem aktuellen Stand der Technik. Die gewählte Modellierung ist hinreichend genau für die Koordination von Überspannungsschutzgeräten. Für die Nachbildung wurden überall typische Impedanzwerte eingesetzt. Die Einspeisekabel haben Längen von 50 m, 500 m und 1000 m. Die Simulationsrechnungen geben ein Beispiel für den Überspannungsschutz in einem komplexen System.

In allen Berechnungen wurden die Kapazitäten vernachlässigt. Wenn die Kapazitäten berücksichtigt würden, ergäben sich einige zusätzliche Schwingungen in den Oszillogrammen. Diese Schwingungen sind jedoch von geringer praktischer Bedeutung, weil die Hauptaufgabe die Bestimmung der Stromaufteilung auf die einzelnen Leiter ist.

#### J.1 Einfluss der Kabellänge auf die Stromverteilung und die Zeitkennwerte

Bild J.3 zeigt den Einfluss von langen Übertragungsleitungen auf die Blitzstromverteilung und auf die Steilheit von anteiligen Blitzströme in Energieleitungen. In allen Fällen wird der Impulsstrom als eingepprägter Blitzstrom von 200 kA mit einer Wellenform von 10/350 (entsprechend Gefährdungspegel I in Tabelle 1) angenommen.

**ANMERKUNG** Eine Erhöhung der Werte für  $R_{ET}$  und  $R_{ES}$  ( $\geq 20 \Omega$ ) führt zu einer mehr symmetrischen Stromverteilung zwischen der Erdungsanlage und dem Energieverteilungssystem.

In diesem vereinfachten Schaltbild sind die Erdungswiderstände von Wasserleitungen und Telekommunikationsleitungen vernachlässigt.

Die Stirnzeit des Blitzstroms in den Energieleitungen  $T_{1/LV}$  vergrößert sich durch lange Kabel abhängig vom Verhältnis  $L/R$  im System:

$$T_{1/LV} \sim (L_{LV}/R_{LV}) / (L_{ES}/R_{ES}) \quad (\text{J.1})$$

**ANMERKUNG** Die Stirnzeit  $T_1$  ändert sich nur mit dem Verhältnis  $L/R$ , während die Stromsteilheit sich zusätzlich auch mit der Amplitude des Impulsstroms ändert.

In der ersten Phase des Impulsstroms ist die Stromverteilung durch das Verhältnis der Induktivitäten des Systems  $L_{LV}/L_{ES}$  bestimmt. Wegen der geringen Stromsteilheit im Rücken des Impulsstroms teilt sich der Strom dann nach dem Verhältnis der Widerstände im System  $R_{LV}/R_{ES}$  auf.

#### J.1.2 Einfluss von verschiedenen Impedanzen von Neutral- und Phasen-Leiter

Wenn alle Leiter N und L1, L2, L3 die selbe Impedanz haben, ist die Stromverteilung zwischen ihnen symmetrisch: jeder Leiter führt etwa 25 % des gesamten Impulsstroms  $I_{LV}$ , der in das Niederspannungssystem fließt. Wenn aber der N-Leiter eine deutlich niedrigere Impedanz hat als die Phasenleiter L1, L2, L3, ist die Stromverteilung nicht symmetrisch: der N-Leiter führt deutlich mehr als 25 % des gesamten Impulsstroms, wodurch jeder Phasenleiter auf Werten unter 25 % entlastet wird. Beispiele für diesen Effekt sind:

Für lange Kabel zwischen Transformator und dem eingespeisten System kann der Einfluss von unterschiedlichen Transformator-Impedanzen im Vergleich zu den Kabel-Impedanzen vernachlässigt werden. Wie in Bild A.4 für 500 m Kabellänge gezeigt, ist die Stromverteilung auf die Leiter N und L1, L2, L3 nahezu symmetrisch: jeder Leiter führt etwa 25 % von  $I_{LV}$ .

Für kurze Kabel zwischen Transformator und dem eingespeisten System dominiert der Einfluss der unterschiedlichen Transformator-Impedanzen im Vergleich zu den Kabel-Impedanzen. Wie in Bild A.5 für 50 m Kabellänge gezeigt, ist die Stromverteilung auf die Leiter N und L1, L2, L3 unsymmetrisch: der N-Leiter führt etwa 50 %, während jeder Phasenleiter nur etwa  $50\%/3 \approx 17\%$  von  $I_{LV}$  führt.

Wenn der N-Leiter vielfach geerdet ist (wie in TN-Systemen nach IEC oder nach USA-Praxis), ist die Impedanz von N ebenfalls deutlich niedriger als die von L1, L2, L3. In diesem Fall ist die Stromverteilung wie vorher unsymmetrisch.

### J.1.3 Einfluss des Transformators

Wie in J.2 erklärt, hängt der Einfluss von unterschiedlichen Transformator-Impedanzen auf die Stromverteilung von der Kabellänge ab. Weiterhin muss beachtet werden, dass Impulsströme in den Transformatorwicklungen Überspannungen verursachen. Um Zerstörungen zu vermeiden müssen diese Überspannungen durch am Transformator eingebaute SPDs begrenzt werden. Wenn diese SPDs ansprechen, ist der Einfluss der Transformator-Impedanz vernachlässigbar.

### J.1.4 Einfluss der Erdungsanlage

Wie in Bild J.6 gezeigt, hängt die Blitzstromverteilung vom Verhältnis der Widerstände der Erdungsanlage des Transformators  $R_{ET}$  und des Verbrauchers  $R_{ES} = 3 \Omega$  ab.

Eine Verringerung des Erdungswiderstands am Transformator von  $R_{ET} = 3 \Omega$  auf  $R_{ET} = 0,3 \Omega$  bewirkt ein Ansteigen des Stroms im Niederspannungssystem.

### J.1.5 Einfluss von parallelen Verbrauchern

Der dominierende Fall in der Installationspraxis ist die Existenz von parallelen Verbrauchersystemen, die vom selben Transformator gespeist werden. Bild J.7 zeigt das grundlegende Schaltbild. Die Parallelschaltung der Verbrauchersysteme vermindert die wirksame Impedanz des Niederspannungssystems, wodurch der dort fließende, anteilige Blitzstrom ansteigt. Im Fall von nur einem Gebäude fließen 50 % des Blitzstroms in das Niederspannungssystem. Bild J.8 zeigt, dass für zwei oder mehr parallele Verbrauchersysteme dieser Wert auf 65 % und darüber ansteigen kann.

### J.1.6 Vereinfachte Berechnung für die Auslegung von SPDs

Für die Abschätzung des Stroms, der durch das Niederspannungssystem und dadurch auch durch die dort eingebauten SPDs fließt, genügt es, nur den ohmschen Erdungswiderstand zu berücksichtigen. Weil der für die energetische Koordination maßgebliche Frequenzbereich sogar für einen 8/20-Impuls unterhalb von 25 kHz liegt (siehe 11.1), kann die Impedanz  $\omega L$  der Induktivitäten im Vergleich zum ohmschen Widerstand  $R$  vernachlässigt werden.

Bild J.9 zeigt ein Beispiel, in dem ein vom Blitz getroffenes Gebäude nur über das Niederspannungssystem mit einem Transformator und mehreren benachbarten Gebäuden verbunden ist. In diesem Fall wird der resultierende Erdungswiderstand  $R$  des Niederspannungssystems klein im Vergleich zum Erdungswiderstand  $R_{ES}$  des getroffenen Gebäudes. Deshalb fließt der Großteil des Stroms durch das Niederspannungssystem, damit auch durch die dort eingebauten SPDs und durch den N-Leiter, wenn dieser direkt mit der Erdungsanlage verbunden ist.

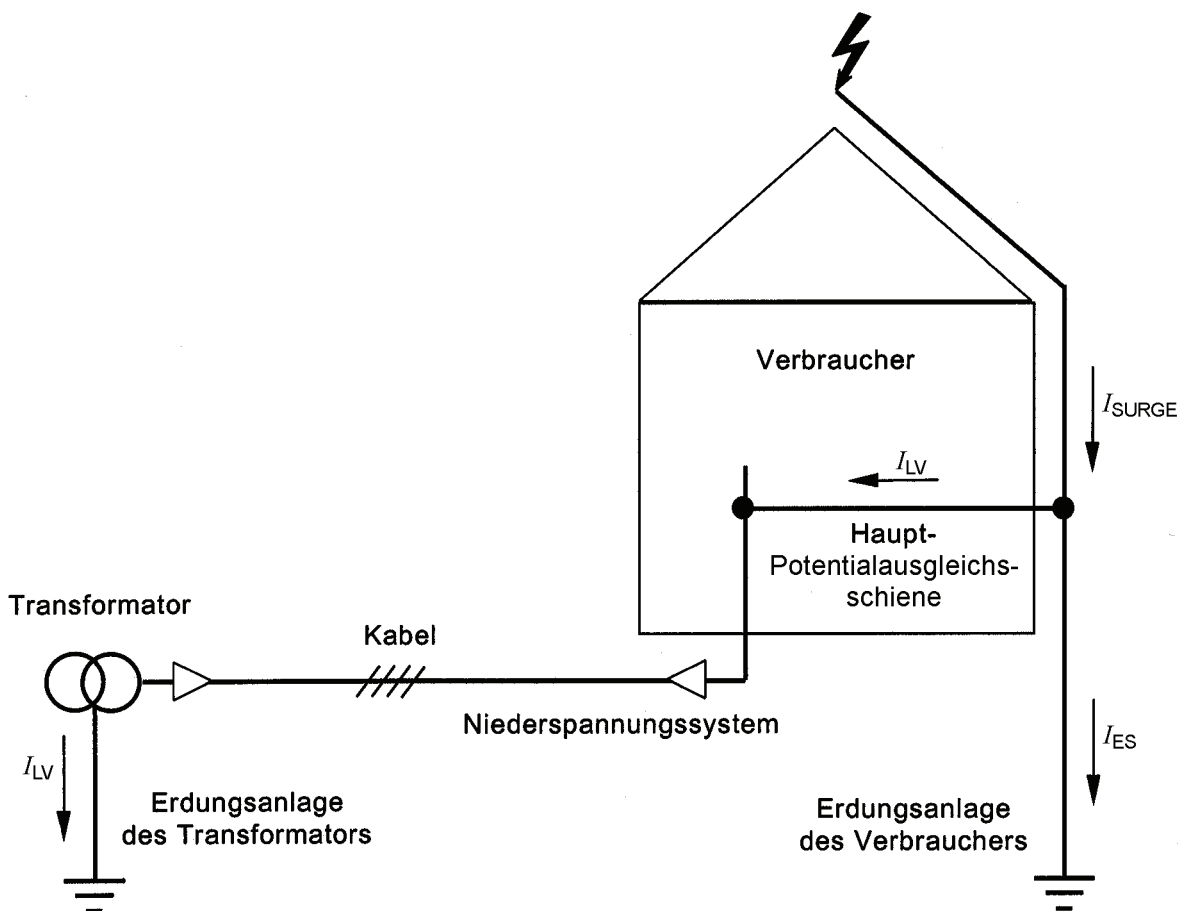
Bild J.10 zeigt ein detailliertes Ersatzschaltbild, wenn ein vom Blitz getroffenes Gebäude über das Niederspannungssystem mit einem Transformator verbunden ist, mit dem Nachbargebäude aber über andere leitfähige Teile oder Versorgungsleitungen (z. B. Verbindungsleiter zwischen den Erdungsanlagen, metallene Rohre oder, wie in diesem Beispiel, über Telekommunikationsleitungen). Bild J.11 zeigt das vereinfachte Ersatzschaltbild mit den Werten der konzentrierten Elemente. An diesen Werten kann man sehen, dass die

**DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11**

Induktivitäten, wie zuvor erklärt, vernachlässigt werden können und dass die resultierenden Widerstände von den Widerständen  $R_{ET}$ ,  $R_{ES}$  und  $R_{EC}$  der Erdungsanlage dominiert werden. In diesem Fall reduziert die Verbindung zwischen den Erdungsanlagen des vom Blitz getroffenen Gebäudes und des Nachbargebäudes die resultierende Impedanz  $Z^*$ . Je kleiner  $Z^*$  im Vergleich zu  $Z_{LV}$  ist, desto kleiner wird der Strom, der durch das Niederspannungssystem und die dort eingebauten SPDs fließt:

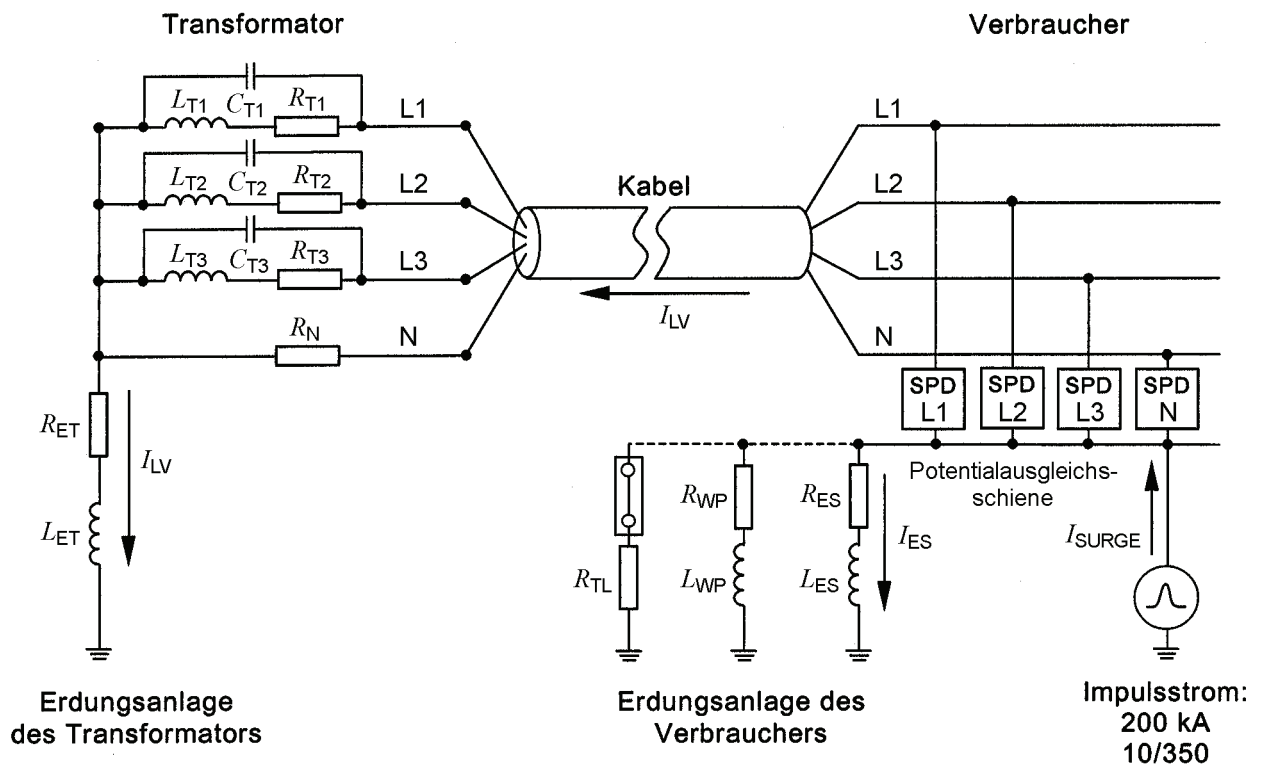
$$I_{LV} \approx I_{SURGE} / (1 + Z_{LV}/Z^*) \quad (J.2)$$

Wenn ein gesamter Blitzstrom von 100 kA mit einer Wellenform von 10/350 (entsprechend Gefährdungspegel III in Tabelle 1) angenommen wird (wie in Bild J.11), fließt ein Anteil von 60 kA in das Niederspannungssystem, wodurch jedes der vier SPDs mit 15 kA belastet wird.



**Bild J.1 – Grundsätzliches Modell für die Blitzstromverteilung**

ANMERKUNG Alle Parameter in den folgenden Diagrammen wurden zu Demonstrationszwecken gewählt. Die Ergebnisse sind als Beispiele zu betrachten, die grundsätzliche Verfahren für den Überspannungsschutz in komplexen Systemen zeigen sollen.



Transformator:

$R_{T1-3} = 5 \text{ m}\Omega$      $L_{T1-3} = 50 \text{ }\mu\text{H}$      $C_{T1-3} = 2 \text{ nF}$      $S_n = 400 \text{ kVA}$      $R_N = 2 \text{ m}\Omega$   
 $R_{ET} = 30 \text{ }\Omega$      $L_{ET} = 5 \text{ }\mu\text{H}$     Erdungsanlage

Verbraucher:

$R_{ES} = 30 \text{ }\Omega$      $L_{ES} = 5 \text{ }\mu\text{H}$     Erdungsanlage  
 $R_{WP}$      $L_{WP}$     Erdung durch Wasserrohre (oder andere leitfähige Versorgungsleitungen), soweit vorhanden  
 $R_{TL}$     Erdung durch Telekommunikationsleitungen, soweit vorhanden

**Bild J.2 – Schaltbild des grundsätzlichen Modells für die Blitzstromverteilung**

ANMERKUNG Alle Parameter in den folgenden Diagrammen wurden zu Demonstrationszwecken gewählt. Die Ergebnisse sind als Beispiele zu betrachten, die grundsätzliche Verfahren für den Überspannungsschutz in komplexen Systemen zeigen sollen.

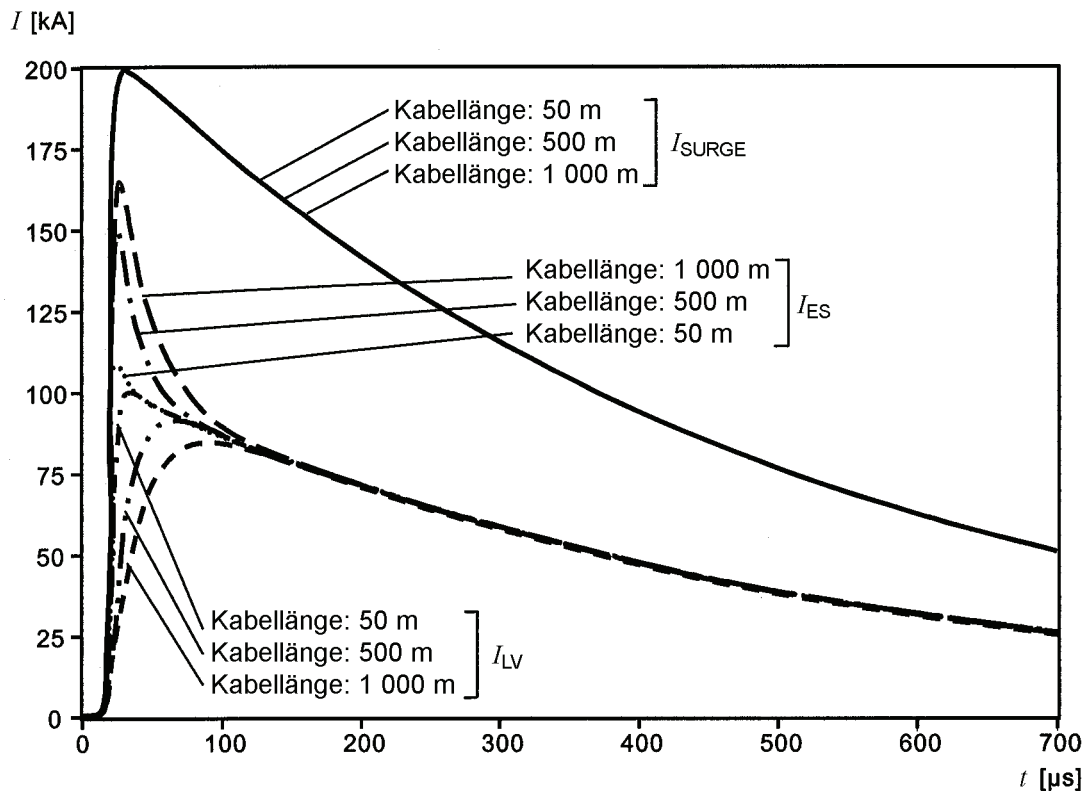


Bild J.3 – Stromverteilung abhängig von der Kabellänge (siehe Bild J.2)

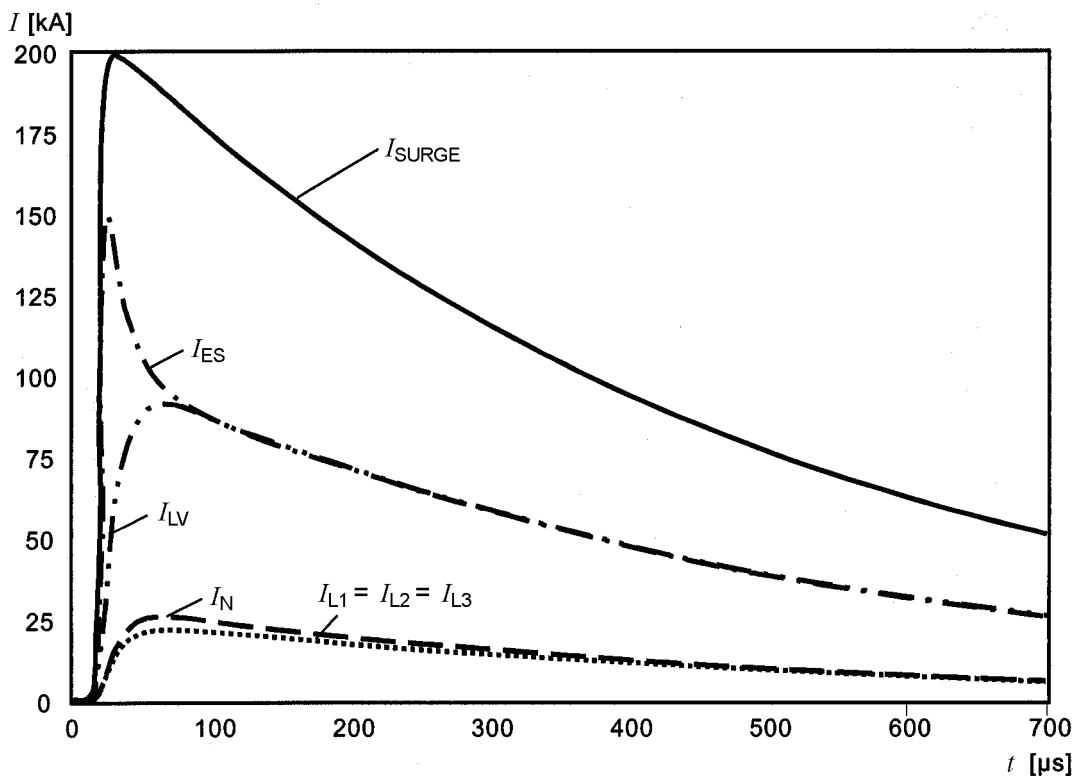


Bild J.4 – Stromverteilung für eine Kabellänge von 500 m (siehe Bild J.2)

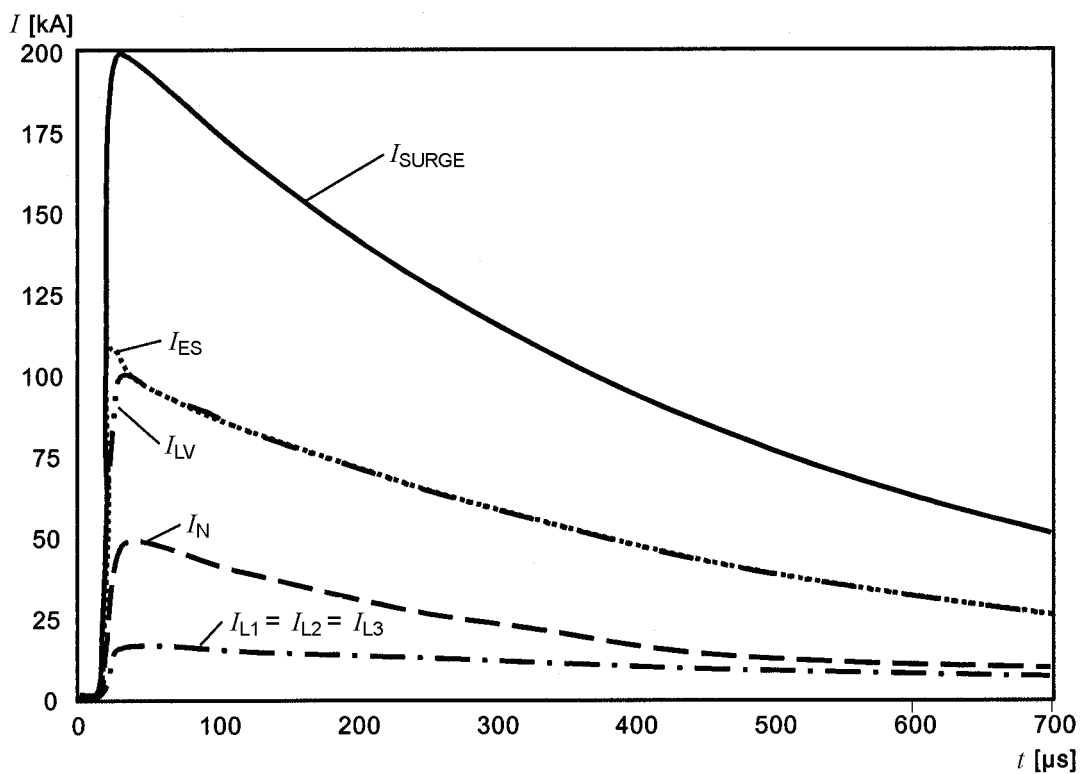
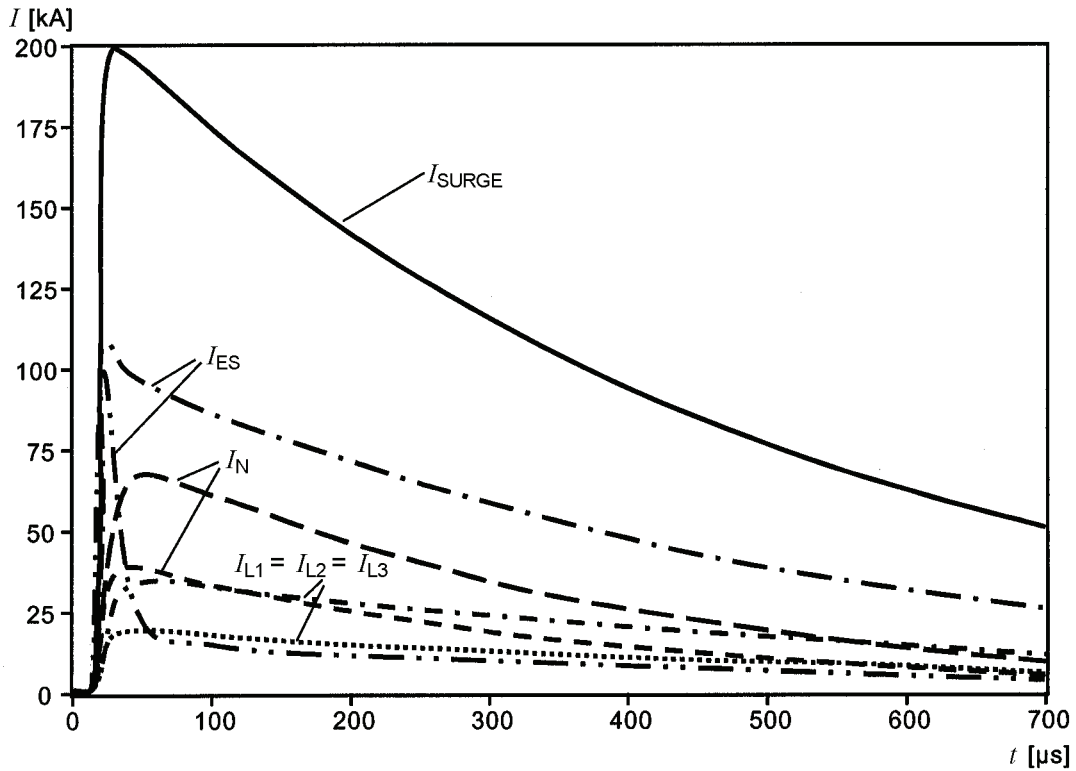


Bild J.5 – Stromverteilung für eine Kabellänge von 50 m (siehe Bild J.2)



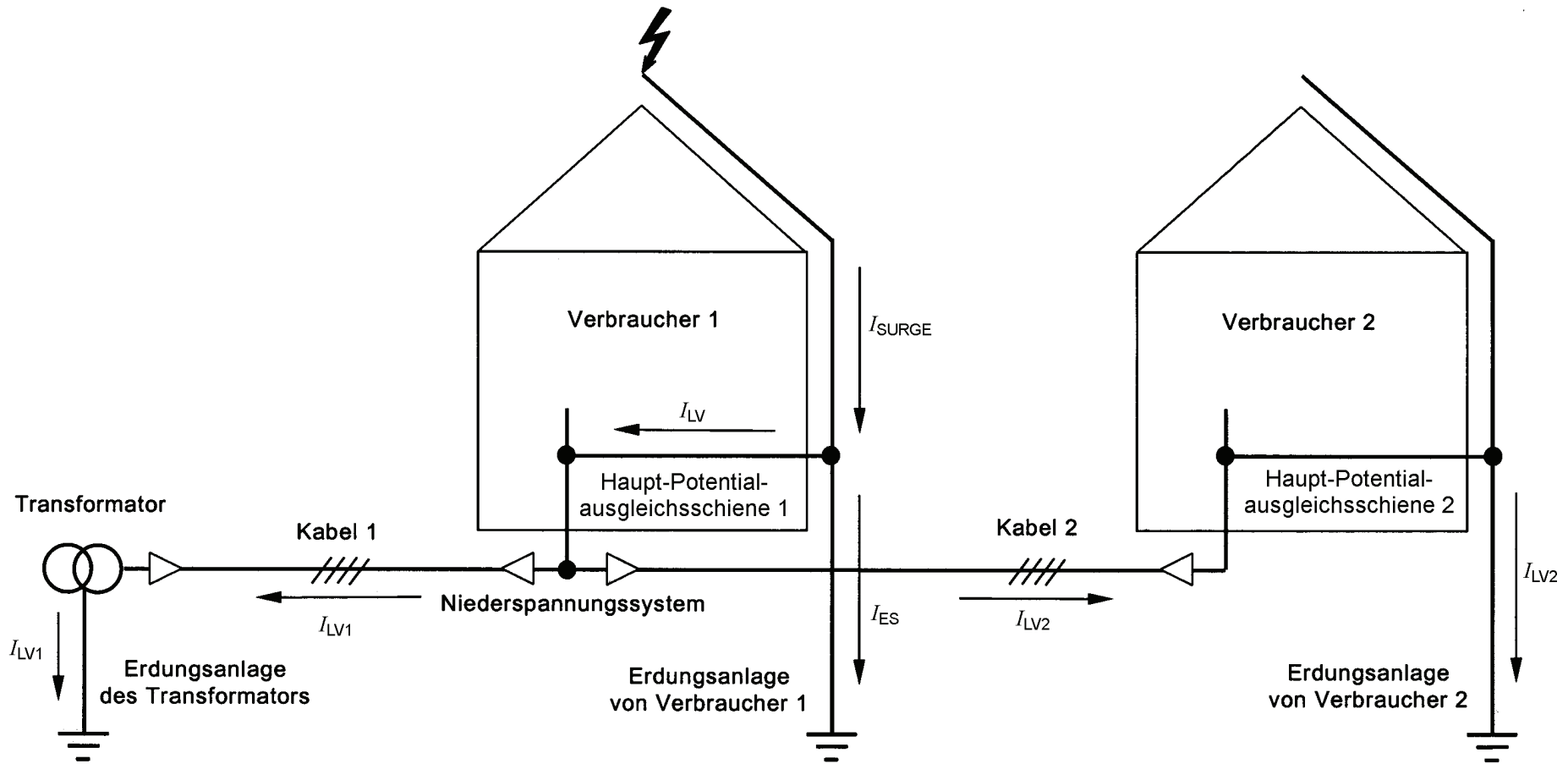
**Erläuterung**

$R_{\text{ET}} = 3,0 \Omega$ : hoher Wert für  $I_{\text{ES}}$   
niedrige Werte für  $I_{\text{N}}, I_{\text{L1}} = I_{\text{L2}} = I_{\text{L3}}$

$R_{\text{ET}} = 0,3 \Omega$ : niedriger Wert für  $I_{\text{ES}}$   
hohe Werte für  $I_{\text{N}}, I_{\text{L1}} = I_{\text{L2}} = I_{\text{L3}}$

**Bild J.6 – Stromverteilung abhängig vom Erdungswiderstand des Transformators,  
Kabellänge: 100 m (siehe Bild J.2)**





ANMERKUNG Alle Parameter in den folgenden Diagrammen wurden zu Demonstrationszwecken gewählt. Die Ergebnisse sind als Beispiele zu betrachten, die grundsätzliche Verfahren für den Überspannungsschutz in komplexen Systemen zeigen sollen.

Bild J.7 – Modell für die Blitzstromverteilung, wenn Verbraucher über das Niederspannungssystem parallelgeschaltet sind

— Vornorm —

DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11

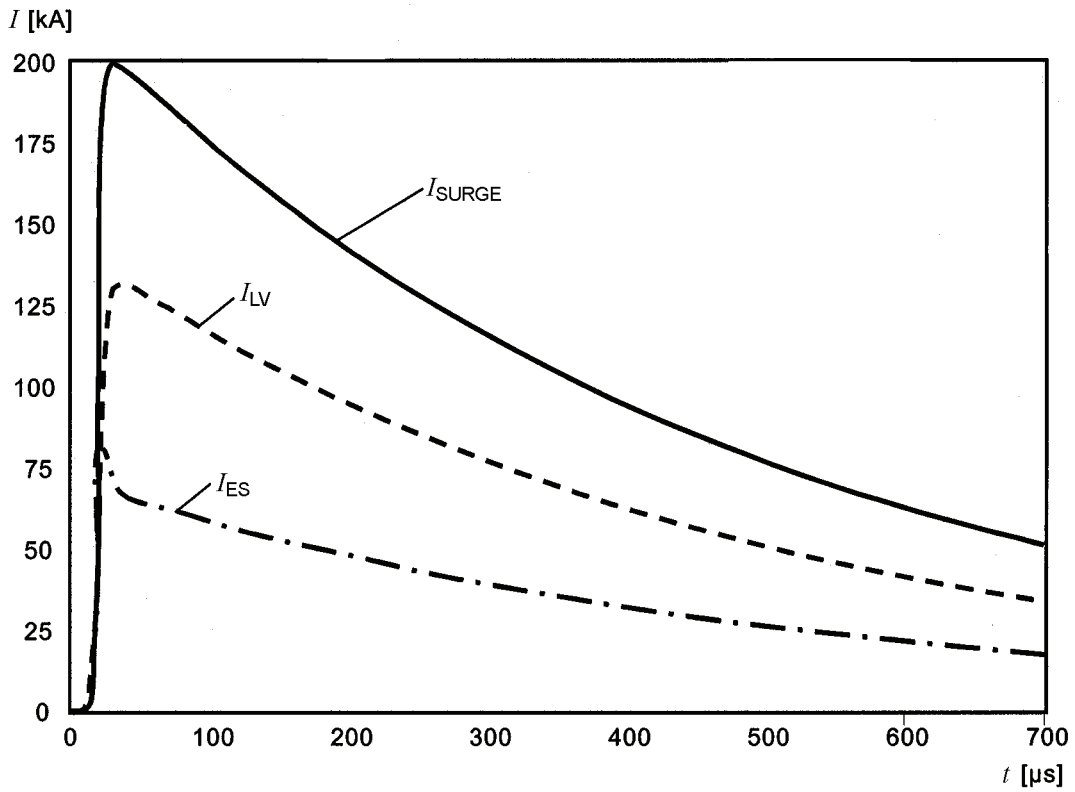
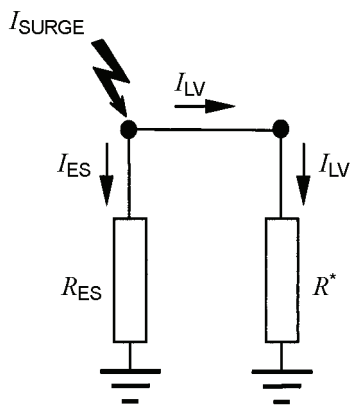
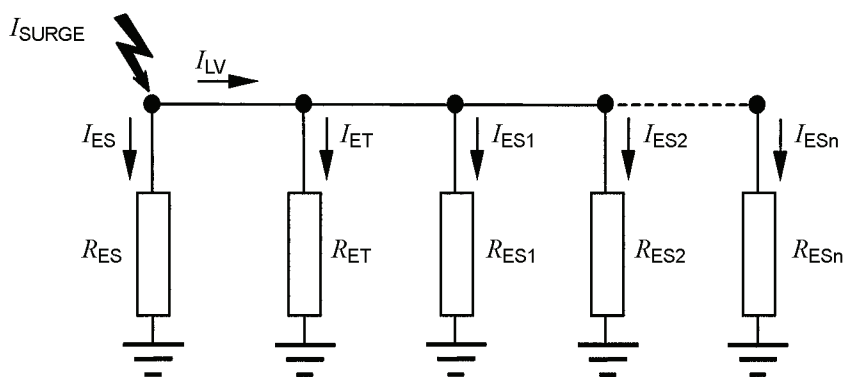
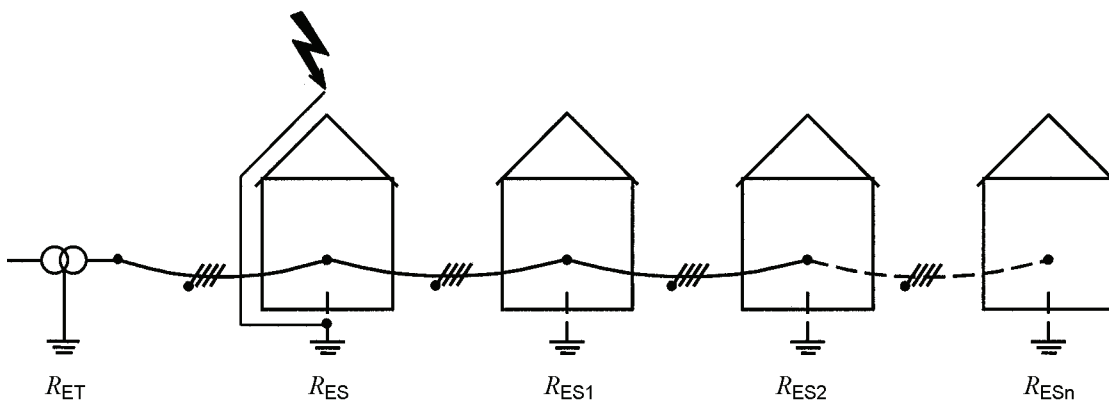


Bild J.8 – Stromverteilung, wenn Verbraucher über das Niederspannungssystem parallelgeschaltet sind



$$\frac{1}{R^*} = \frac{1}{R_{ET}} + \sum_{m=1}^n \frac{1}{R_{ESm}}$$

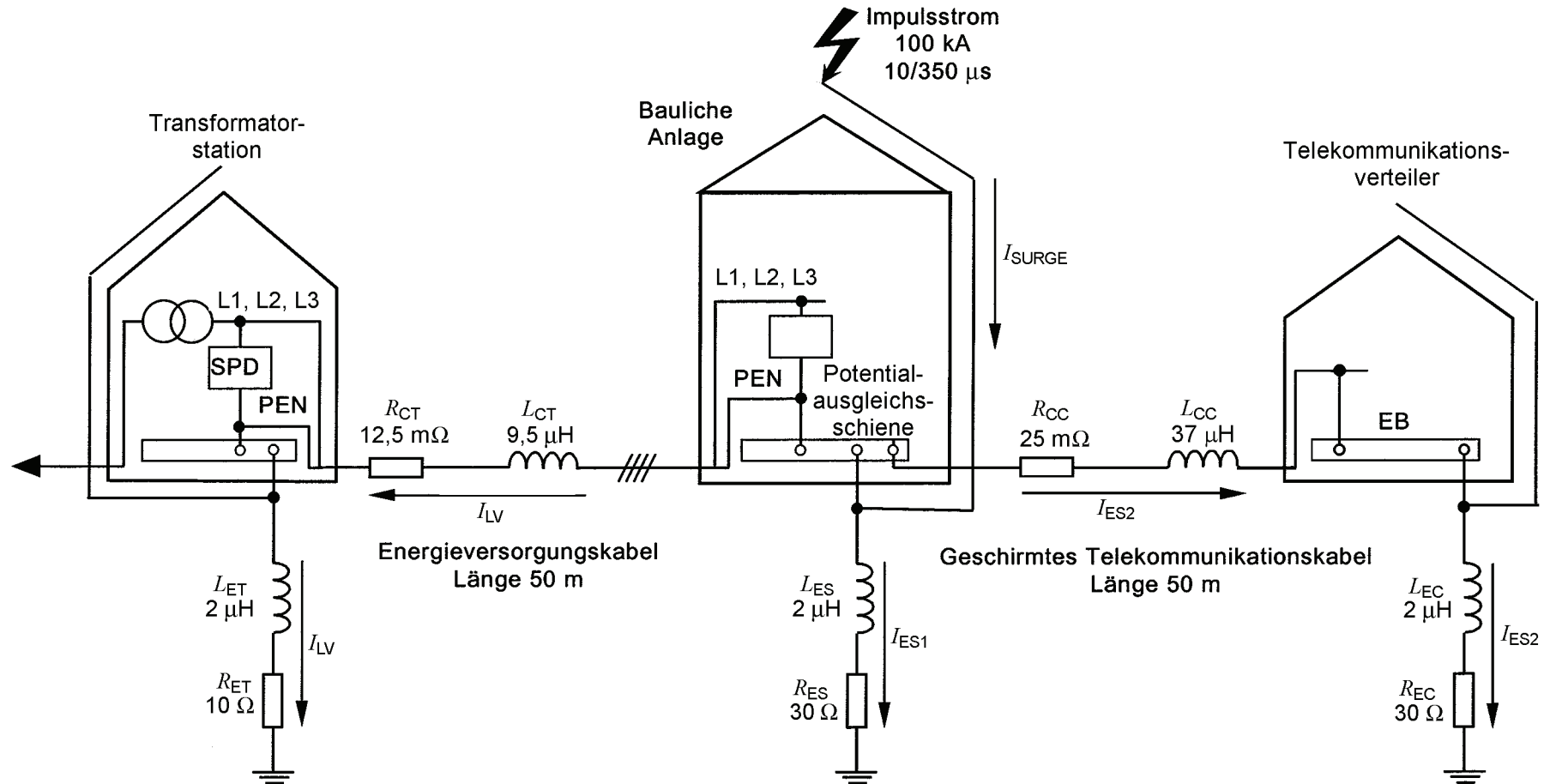
$$I_{LV} = I_{SURGE} / (1 + R^* / R_{ES})$$

ANMERKUNG Bei dieser Berechnung ist der Widerstand  $R^*$  (resultierend aus der Erdungsanlage von Transformator und Nachbargebäude) gleich oder kleiner als der Widerstand  $R_{ES}$  der Erdungsanlage der vom Blitz getroffenen baulichen Anlage.

**Bild J.9 – Vereinfachte Berechnung, wenn Verbraucher über das Niederspannungssystem parallelgeschaltet sind**

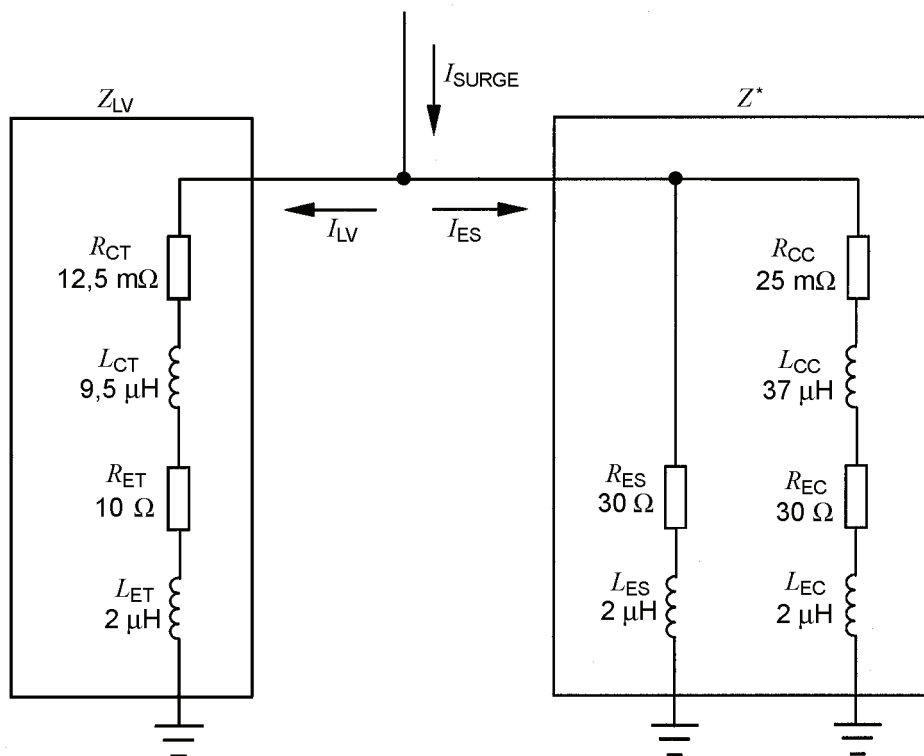
— Vornorm —

DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11



ANMERKUNG Alle Parameter in den folgenden Diagrammen wurden zu Demonstrationszwecken gewählt. Die Ergebnisse sind als Beispiele zu betrachten, die grundsätzliche Verfahren für den Überspannungsschutz in komplexen Systemen zeigen sollen.

**Bild J.10 – Modell für die Stromverteilung, wenn Verbraucher über andere leitfähige Versorgungsleitungen parallelgeschaltet sind**



Die vereinfachte Berechnung des Stromverteilung ergibt:

$$I_{LV} = I_{SURGE} / (1 + Z_{LV} / Z^*)$$

Wenn die Näherung nur für die energetische Koordination von SPDs verwendet wird, können die Induktivitäten vernachlässigt werden:

$$Z_{LV} \approx R_{CT} + R_{ET} \approx 12,5 \text{ m}\Omega + 10 \text{ }\Omega \approx 10 \text{ }\Omega$$

$$1/Z^* \approx 1/R_{ES} + 1/(R_{CC} + R_{EC}) \approx 1/30 \text{ }\Omega + 1/(25 \text{ m}\Omega + 30 \text{ }\Omega) \approx 1/30 \text{ }\Omega + 1/30 \text{ }\Omega$$

$$Z^* \approx 15 \text{ }\Omega$$

Bei einem angenommenen Impulsstrom von  $I_{SURGE} = 100 \text{ kA}$  ergibt sich ein Strom  $I_{LV} \approx 60 \text{ kA}$ , der sich gleichmäßig auf die Leiter PEN, L1, L2, L3 aufteilt. Das heißt, durch jedes SPD im Niederspannungssystem fließt ein Strom von näherungsweise 15 kA.

**Bild J.11 – Näherungslösung für die Stromverteilung, wenn Verbraucher über andere leitfähige Versorgungsleitungen parallelgeschaltet sind (abgeleitet aus Bild J.10)**

# — Vornorm —

DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11

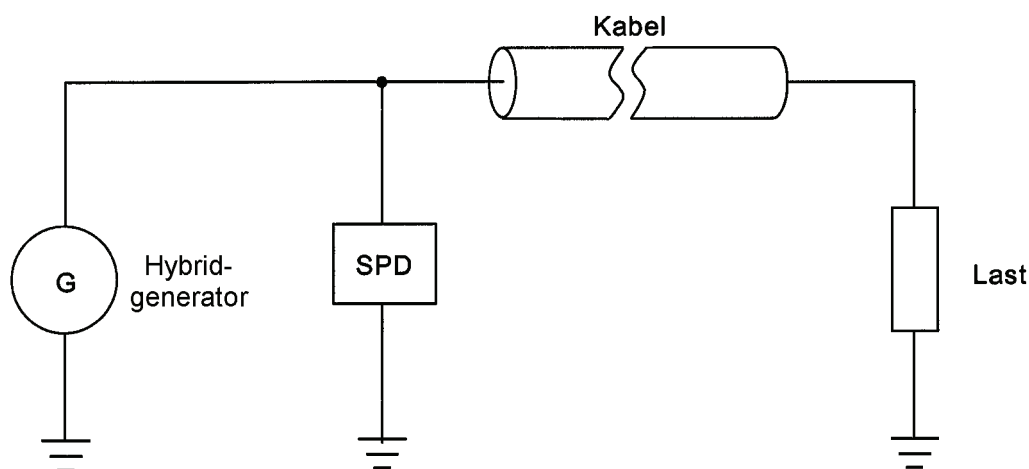
## Anhang K (informativ)

### Platzierung von SPD

Wenn SPDs ohne Rücksicht auf das Blitzschutz-zonen-Konzept eingebaut werden, kann es vorkommen, dass zu schützende Geräte trotz richtiger energetischer Koordination beschädigt werden. Der Grund sind Reflexionserscheinungen auf den Leitungen zwischen einem externen SPD und dem zu schützenden Gerät.

Diese Reflexionserscheinungen hängen ab von den Ausgangskenndaten des externen SPDs, des Geräteeingangs und der Leitungen dazwischen. Bild K.1 gibt ein Beispiel für einen vereinfachten Schaltkreis, mit dem die Wirkungen von verschiedenen Kabellängen und von verschiedenen Lasten (die den Geräteeingang nachbilden) gezeigt werden können. Die Bilder K.2 bis K.4 zeigen die oszillierenden Spannungen am SPD und an der Last. Insbesondere bei kritischen Kabellängen oder kritischen Kombinationen von Induktivitäten und Kapazitäten, kann die vom Impulsstrom hervorgerufene Spannung am Gerät deutlich höher sein (bis zum doppelten Wert) als die Begrenzungsspannung am SPD.

ANMERKUNG Für die Simulation solcher Effekte mit einer Netzwerkanalyse-Software ist ein detailliertes Modell der Verbindungsleitung nötig (z. B. Wanderwellenmodell, R-L-C-Modell mit hinreichend vielen diskreten Leitungsabschnitten). Die Simulation von frequenzabhängigen Effekten, wie Skineffekten oder dielektrischen Verlusten, ist dabei nicht notwendig.



ANMERKUNG Alle Parameter in den folgenden Diagrammen wurden zu Demonstrationszwecken gewählt. Die Ergebnisse sind als Beispiele zu betrachten, die grundsätzliche Verfahren für den Überspannungsschutz in komplexen Systemen zeigen sollen.

**Bild K.1 – Schaltkreis für ein SPD, das über Leitungen unterschiedlicher Länge mit unterschiedlichen Lasten verbunden ist**

— Vornorm —

DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11

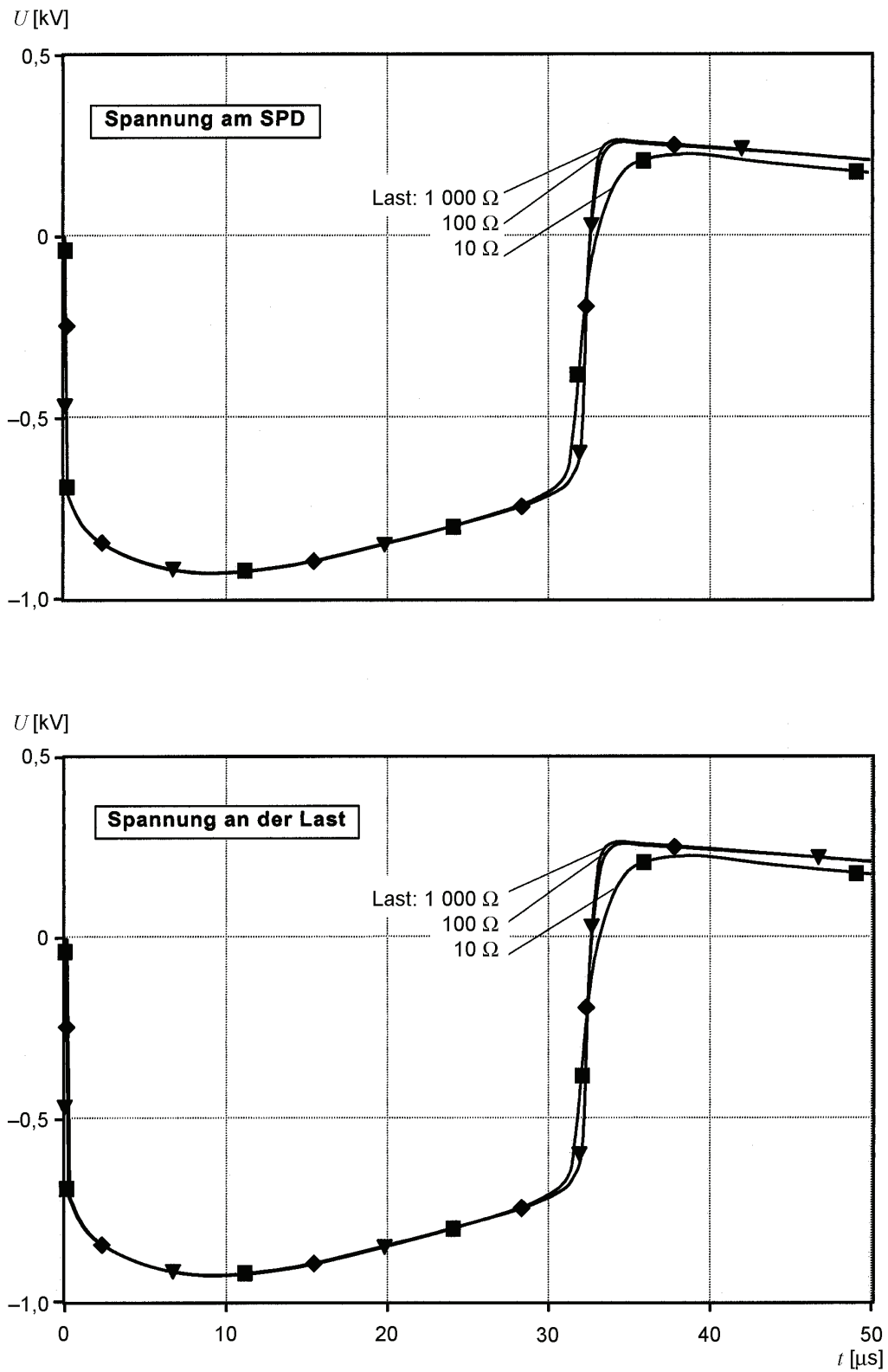


Bild K.2 – Spannung am SPD und an der Last für Kabellänge 1 m (siehe Bild K.1)

— Vornorm —

DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11

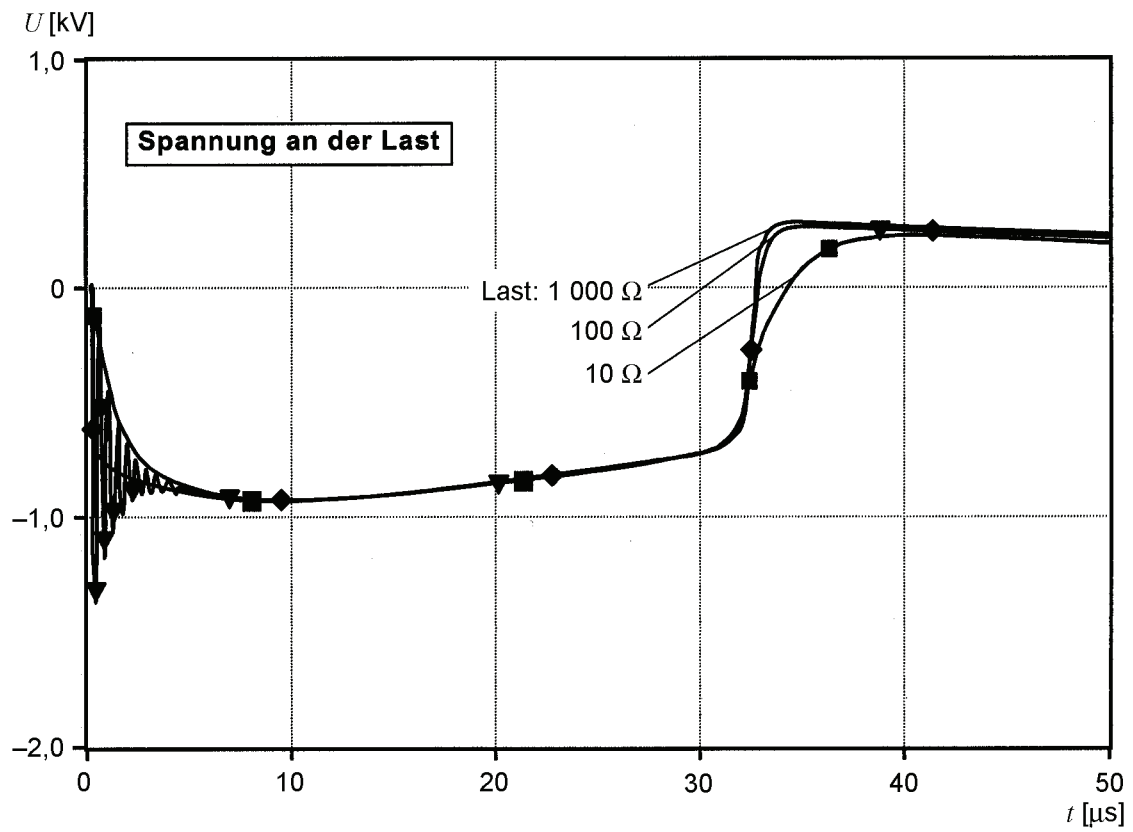
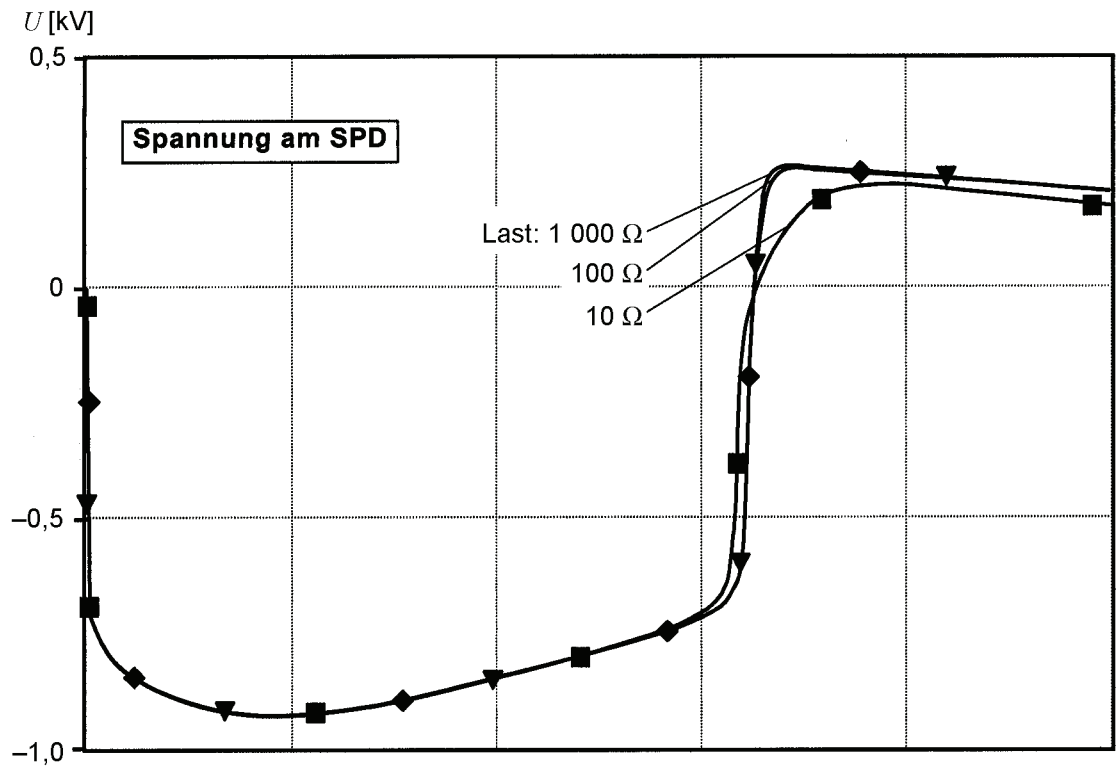


Bild K.3 – Spannung am SPD und an der Last für Kabellänge 10 m (siehe Bild K.1)



— Vornorm —

DIN V VDE V 0185-4 (VDE V 0185 Teil 4):2002-11

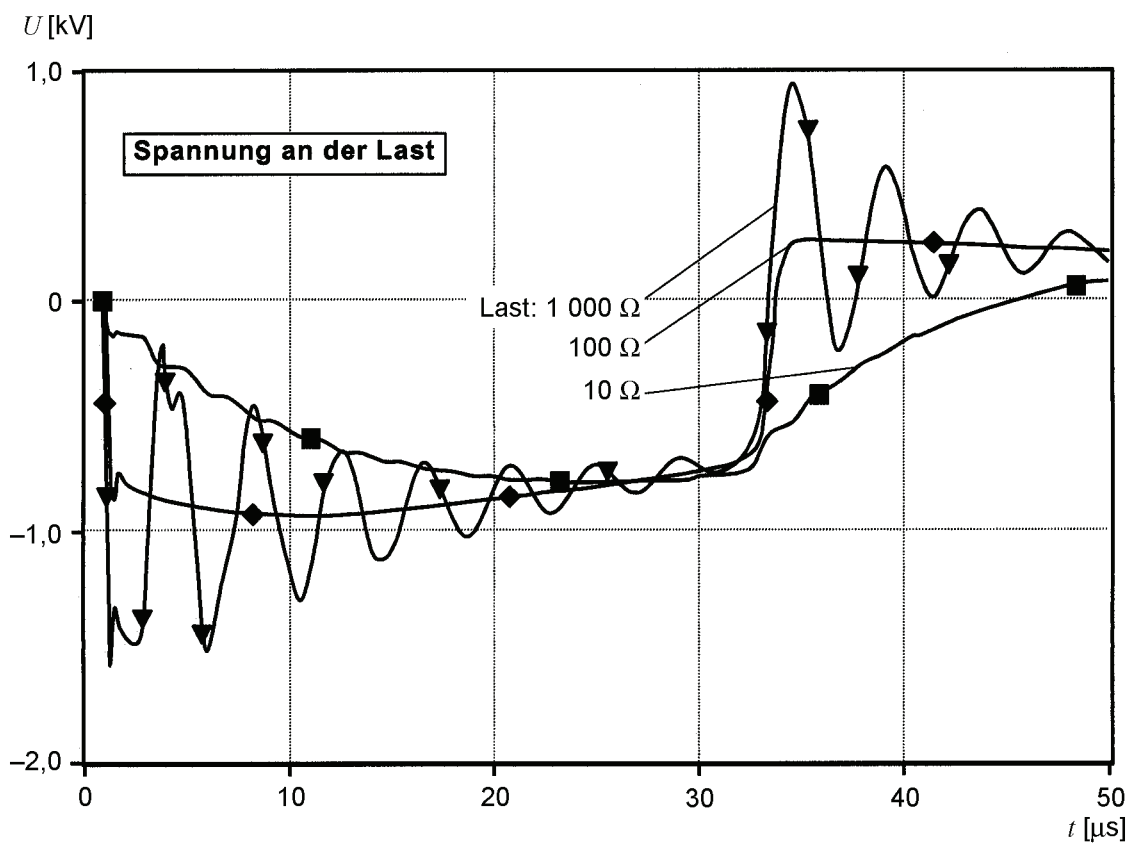
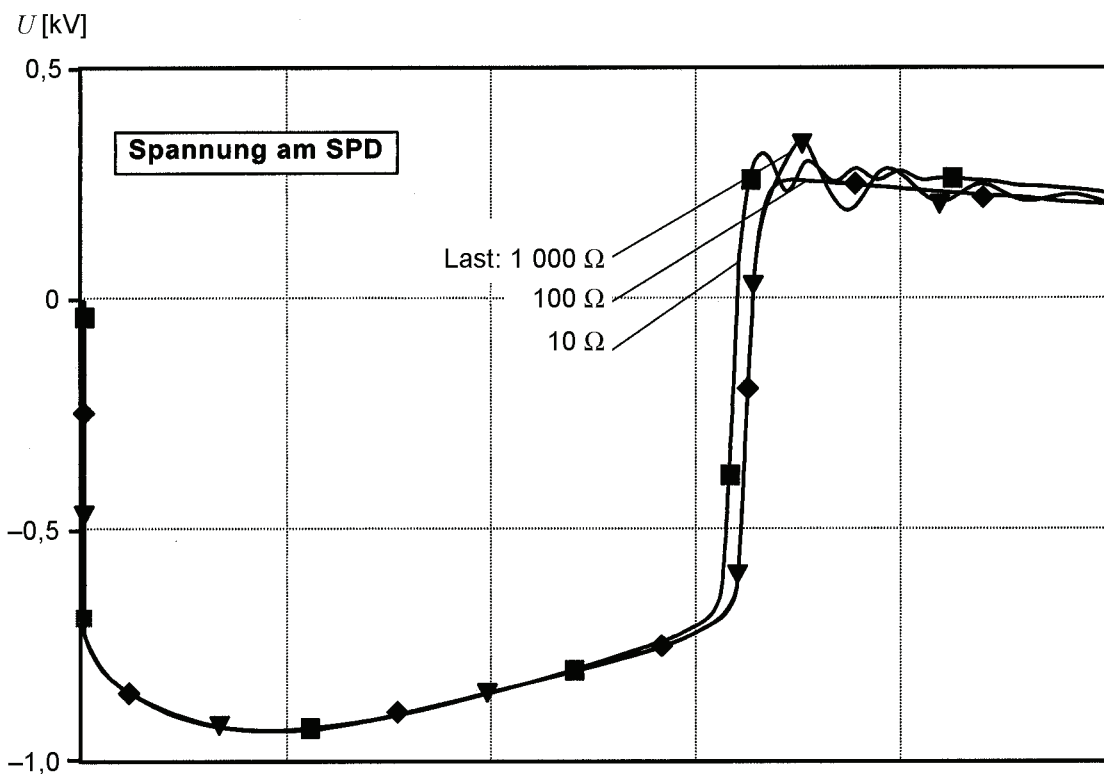


Bild K.4 – Spannung am SPD und an der Last für Kabellänge 100 m (siehe Bild K.1)