BLITZPLANER®

3. aktualisierte Auflage

BLITZPLANER®

3. aktualisierte Auflage

DEHN + SÖHNE – BLITZPLANER®
3. aktualisierte Auflage
Redaktioneller Stand: Juli 2013

ISBN 978-3-9813770-0-2

Überspannungsschutz
Blitzschutz / Erdung
Arbeitsschutz

DEHN schützt.

DEHN + SÖHNE GmbH + Co.KG.
Hans-Dehn-Str. 1
Postfach 1640
92306 Neumarkt
Germany

Tel. +49 9181 906-0
Fax +49 9181 906-1100
info@dehn.de
www.dehn.de

actiVsense, BLITZDUCTOR, Blitzfibel, BLITZPLANER, CUI, DEHN, das „DEHN-Logo", DEHNARRESTER, DEHNbloc, DEHNbridge, DEHNfix, DEHNgrip, DEHNguard, DEHNport, DEHNQUICK, DEHNrapid, DEHN schützt, DEHNshield, DEHNsnap, DEHNventil, HVI, LifeCheck, Red/Line, „... mit Sicherheit DEHN" und die konturlose Farbmarke „Rot" sind in Deutschland oder in anderen Ländern eingetragene Marken („registered trade marks").

Diejenigen Bezeichnungen von im BLITZPLANER genannten Erzeugnissen, die zugleich eingetragene Marken sind, wurden nicht besonders kenntlich gemacht. Es kann also aus dem Fehlen der Markierung ™ oder ® nicht geschlossen werden, dass die Bezeichnung ein freier Warenname ist. Ebenso wenig ist zu entnehmen, ob Patente, Gebrauchsmuster oder sonstige intellektuelle und gewerbliche Schutzrechte vorliegen.

Änderungen in Form und Technik, bei Maßen, Gewichten und Werkstoffen behalten wir uns im Sinne des Fortschrittes der Technik vor. Die Abbildungen sind unverbindlich. Druckfehler, Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit unserer Genehmigung.

Druckschrift Nr. DS702/2013
© Copyright 2013 DEHN + SÖHNE

Inhalt

Vorwort 6

1 Stand der Technik für die Errichtung von Blitzschutzanlagen 8

1.1 Errichternormen 9
1.2 Werkverträge. 11
1.3 Produktnormen 11

2 Kennwerte des Blitzstromes 14

2.1 Blitzentladung und Blitzstromverläufe 15
2.2 Scheitelwert des Blitzstromes 17
2.3 Steilheit des Blitzstromanstieges. 20
2.4 Ladung des Blitzstromes 20
2.5 Spezifische Energie. 21
2.6 Blitzstrom-Komponenten. 23
2.7 Zuordnung von Blitzstromparametern zu Gefährdungspegeln 23
2.8 Blitzstrom-Messungen von Aufwärts- und Abwärtsblitzen 24

3 Planung einer Blitzschutzanlage 26

3.1 Notwendigkeit einer Blitzschutzanlage – rechtliche Bestimmungen 27
3.2 Erläuterungen zur DIN EN 62305-2: Risiko-management. 33
3.2.1 Schadensquellen, Schadensursachen und Schadensarten 33
3.2.2 Grundlagen der Risikoabschätzung 34
3.2.3 Häufigkeiten von gefährlichen Ereignissen. . . . 35
3.2.4 Schadenswahrscheinlichkeiten. 38
3.2.5 Verluste 43
3.2.6 Relevante Risiko-Komponenten bei unterschiedlichen Blitzeinschlägen. 47
3.2.7 Akzeptierbares Schadensrisiko von Blitzschäden 49
3.2.8 Auswahl von Blitzschutzmaßnahmen 49
3.2.9 Wirtschaftliche Verluste/Wirtschaftlichkeit von Schutzmaßnahmen. 49
3.2.10 Berechnungshilfen 52
3.3 Planungshilfe DEHNsupport Toolbox 52
3.3.1 DEHN Risk Tool; Risikoanalyse nach DIN EN 62305-2 52
3.3.2 DEHN Distance Tool; Trennungsabstands-berechnung nach DIN EN 62305-3. 55
3.3.2.1 Knotenpunkt-Potential-Verfahren 56
3.3.2.2. Information zu DEHN Distance Tool 57
3.3.3 DEHN Earthing Tool; Berechnung der Erderlänge nach DIN EN 62305-3 58
3.3.4 DEHN Air-Termination Tool – Berechnung der Fangstangenlänge nach DIN EN 62305-3 58
3.4 Prüfung und Wartung 58
3.4.1 Arten der Prüfung und Qualifikation der Prüfer . 58
3.4.2 Prüfungsmaßnahmen 60
3.4.3 Dokumentation 60
3.4.4 Wartung 61

4 Blitzschutzsystem 62

5 Äußerer Blitzschutz 64

5.1 Fangeinrichtungen 65
5.1.1 Arten und Verfahren zur Auslegung von Fang-einrichtungen 65
5.1.2 Fangeinrichtungen für Gebäude mit Satteldach . 75
5.1.3 Fangeinrichtungen für Gebäude mit Flachdach . 77
5.1.4 Fangeinrichtungen auf Metalldächern 78
5.1.5 Prinzip Fangeinrichtung für Gebäude mit weicher Bedachung 80
5.1.6 Begehbare und befahrbare Dächer. 84
5.1.7 Fangeinrichtung für begrünte Dächer und Flachdächer 84
5.1.8 Getrennte Fangeinrichtungen 85
5.1.9 Fangeinrichtung für Kirchtürme und Kirchen. . . 89
5.1.10 Fangeinrichtungen für Windenergieanlagen (WEA) 90
5.1.11 Windlastbeanspruchungen von Blitzschutz-Fangstangen 91
5.1.12 Sicherungssysteme und Blitzschutz 95
5.2 Ableitungen 97
5.2.1 Ermittlung der Anzahl der Ableitungen 97
5.2.2 Ableitungen im Falle eines nicht getrennten Blitzschutzsystems 98
5.2.2.1 Errichten von Ableitungen 99
5.2.2.2 Natürliche Bestandteile der Ableitung 100
5.2.2.3 Messstellen 101
5.2.2.4 Innere Ableitungen. 101
5.2.2.5 Innenhöfe 102
5.2.3 Ableitungen eines getrennten äußeren Blitz-schutzes 102
5.2.4 Hochspannungsfeste, isolierte Ableitung – HVI-Leitung 103

5.3 Werkstoffe und Mindestmaße für Fang- und Ableitungen . . . 112
5.4 Montagemaße für Fangeinrichtungen und Ableitungen . . . 113
5.4.1 Längenänderung von Metalldrähten . . . 115
5.4.2 Äußerer Blitzschutz für ein Industriegebäude und Wohnhaus . . . 118
5.4.3 Arbeitshinweise für die Montage von Dachleitungshaltern . . . 118
5.5 Erdungsanlagen . . . 121
5.5.1 Erdungsanlagen nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) . . . 131
5.5.2 Erdungsanlagen, Fundamenterder und Fundamenterder bei besonderen baulichen Maßnahmen . . . 132
5.5.3 Ringerder – Erder Typ B . . . 143
5.5.4 Tiefenerder – Erder Typ A . . . 144
5.5.5 Erder bei felsigem Boden . . . 145
5.5.6 Vermaschung von Erdungsanlagen . . . 145
5.5.7 Erderkorrosion . . . 146
5.5.7.1 Erdungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung der Korrosion . . . 146
5.5.7.2 Bildung galvanischer Elemente, Korrosion . . . 147
5.5.7.3 Auswahl der Erderwerkstoffe . . . 151
5.5.7.4 Zusammenschluss von Erdern aus verschiedenen Werkstoffen . . . 151
5.5.7.5 Sonstige Korrosionsschutzmaßnahmen . . . 152
5.5.8 Werkstoffe und Mindestmaße für Erder . . . 153
5.6 Elektrische Isolierung des äußeren Blitzschutzes – Trennungsabstand . . . 153
5.7 Schritt- und Berührungsspannung . . . 159
5.7.1 Beherrschung der Berührungsspannung bei Ableitungen von Blitzschutzanlagen . . . 162
5.7.2 Optimierung der Blitzschutzerdung unter Schrittspannungsaspekten . . . 164
5.8 Herstellerprüfung von Blitzschutzbauteilen . . . 168
5.9 Dimensionierung von Erdungsanlagen an Transformtatorstationen . . . 173

6 Innerer Blitzschutz . . . 180
6.1 Potentialausgleich für metallene Installationen 181
6.1.1 Mindestquerschnitt für Potentialausgleichsleiter nach EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) . . . 184
6.2 Potentialausgleich für Energieversorgungsanlagen . . . 185
6.3 Potentialausgleich für Anlagen der Informationstechnik . . . 185

7 Schutz von elektrischen und elektronischen Systemen gegen LEMP . . . 190
7.1 Blitzschutzzonen-Konzept . . . 191
7.2 Management der SPM (Surge Protection Measures) . . . 194
7.3 Berechnung der magnetischen Schirmdämpfung von Gebäude- / Raumschirmen . . . 195
7.3.1 Kabelschirmung . . . 201
7.4 Potentialausgleichsnetzwerk . . . 203
7.5 Potentialausgleich an der Grenze von LPZ 0_A und LPZ 1 . . . 205
7.5.1 Potentialausgleich für metallene Installationen 205
7.5.2 Potentialausgleich für Energieversorgungsanlagen . . . 206
7.5.3 Potentialausgleich für Anlagen der Informationstechnik . . . 210
7.6 Potentialausgleich an der Grenze von LPZ 0_A und LPZ 2 . . . 210
7.6.1 Potentialausgleich für metallene Installationen 210
7.6.2 Potentialausgleich für Energieversorgungsanlagen . . . 210
7.6.3 Potentialausgleich für Anlagen der Informationstechnik . . . 211
7.7 Potentialausgleich an der Grenze von LPZ 1 und LPZ 2 und höher . . . 212
7.7.1 Potentialausgleich für metallene Installationen 212
7.7.2 Potentialausgleich für Energieversorgungsanlagen . . . 212
7.7.3 Potentialausgleich für Anlagen der Informationstechnik . . . 214
7.8 Koordination der Schutzmaßnahmen an unterschiedlichen LPZ-Grenzen . . . 214
7.8.1 Energieversorgungsanlagen . . . 214
7.8.2 Anlagen der Informationstechnik . . . 217
7.9 Prüfung und Wartung des LEMP-Schutzes . . . 219

8 Auswahl, Installation und Montage von Überspannungsschutzgeräten (SPDs) . . . 220
8.1 Energieversorgungsanlagen (im Rahmen des Blitzschutzzonen-Konzeptes nach DIN EN 62305-4) . . . 221
8.1.1 Charakteristische Merkmale für SPDs . . . 221

8.1.2 Einsatz von SPDs in verschiedenen Systemen . . . 223
8.1.3 Einsatz von SPDs im TN-System . . . 225
8.1.4 Einsatz von SPDs im TT-System . . . 231
8.1.5 Einsatz von SPDs im IT-System . . . 236
8.1.6 Bemessung der Anschlussleitungslängen für SPDs . . . 238
8.1.7 Bemessung der Anschlussquerschnitte und des Backup-Schutzes von Überspannungsschutzgeräten . . . 243
8.1.8 Überspannungs-Ableiter mit integrierter Vorsicherung . . . 247
8.2 Anlagen der Informationstechnik . . . 248
8.2.1 Mess-Steuer-Regelanlagen . . . 256
8.2.2 Gebäudemanagementtechnik . . . 257
8.2.3 Anwendungsneutrale Systemverkabelung (EDV-Netzwerke, TK-Anlagen) . . . 258
8.2.4 Eigensichere Messkreise . . . 260
8.2.5 Besonderheiten bei der Installation von SPDs . 264
8.2.6 Schutz und Verfügbarkeit durch Strategien zur Anlageninstandhaltung . . . 267

9 Schutzvorschläge . . . 270

9.1 Überspannungsschutz für Frequenzumrichter . 270
9.2 Blitz- und Überspannungsschutz bei Außenleuchten . . . 274
9.3 Blitz- und Überspannungsschutz für Biogasanlagen . . . 278
9.4 Nachrüsten von Blitz- und Überspannungsschutzmaßnahmen für Kläranlagen . . . 288
9.5 Sicherheitsanforderungen bei Kabelnetzen für Fernsignale, Tonsignale und interaktive Dienste 294
9.6 Überspannungsschutz für die Landwirtschaft . 300
9.7 Überspannungsschutz für Videoüberwachungsanlagen . . . 304
9.8 Überspannungsschutz für elektroakustische Anlagen . . . 308
9.9 Überspannungsschutz für Gefahrenmeldeanlagen . . . 312
9.10 Überspannungsschutz für KNX . . . 316
9.11 Überspannungsschutz für ETHERNET- und Fast Ethernet-Netzwerke . . . 322
9.12 Überspannungsschutz für den M-Bus . . . 328
9.13 Überspannungsschutz für PROFIBUS FMS, DP und PA . . . 334
9.14 Überspannungsschutz für den Telekommunikationsanschluss . . . 338
9.15 Überspannungsschutz für LED-Mastleuchten . 342
9.16 Blitz- und Überspannungsschutz für Windenergieanlagen . . . 346
9.17 Schutz von Mobilfunksystemen (4G / LTE) . . . 358
9.18 Blitz- und Überspannungsschutz für Photovoltaik-Dachanlagen . . . 366
9.19 Blitz- und Überspannungsschutz für Photovoltaik-Freiland-Kraftwerke . . . 378
9.20 Überspannungsschutz für Local Operating Network (LON) . . . 388
9.21 Überspannungsschutz für Tankstellen . . . 392
9.22 Berührungs- und Schrittspannungsschutz für Sportanlagen . . . 396
9.23 Blitz- und Überspannungsschutz für Golfanlagen . . . 400
9.24 Überspannungsschutz für Kirchen . . . 406
9.25 Überspannungsschutz für Lichtbänder . . . 408
9.26 Überspannungsschutz für Aufzüge . . . 412
9.27 Überspannungsschutz für Rauch- und Wärmeabzuganlagen . . . 414
9.28 Allgemeine Hinweise zum Blitzschutz für Schutzhütten . . . 420
9.29 Überspannungsschutz für Dachrinnenheizungen 426
9.30 Einsatz von anwendungsoptimierten Typ 1 Kombi-Ableitern in Niederspannungsanlagen . 430
9.31 Überspannungsschutz für Sicherheitsbeleuchtungsanlagen . . . 436
9.32 Blitz- und Überspannungsschutz für explosionsgefährdete Bereiche . . . 440
9.33 Blitzschutzsysteme für Gas-Druckregel- und Messanlagen (GDRM-Anlagen) . . . 448
9.34 Blitz- und Überspannungsschutz für Yachten . 454

Anhang . . . 460

A. Literaturverzeichnis . . . 461
B. Bilder und Tabellen . . . 466
C. Abkürzungen . . . 477
D. Technische Symbole . . . 479
E. Index . . . 481

Vorwort

Seit seiner Gründung im Jahr 1980 hat das Technische Komitee IEC TC81 „Blitzschutz" der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) vielfältige Normen zum Blitzschutz von Gebäuden, zum Schutz elektronischer Systeme, zur Risikoanalyse und zur Simulation von Blitzeinwirkungen erstellt. Die im Dezember 2002 entsprechend der neuen Strukturierung in Kraft gesetzte Vornormen-Reihe zum Blitzschutz wurde zu Beginn des Jahres 2006 durch die Normenreihe IEC 62305 Teil 1 – 4 abgelöst. Damit wurde eine grundlegende Basis für die Blitzschutznormung sowie deren Anwendungen gelegt. Diese Normenreihe wurde fast zeitgleich auch als europäische Blitzschutznorm EN 62305 Teil 1 – 4 veröffentlicht. Danach erfolgte eine Übernahme in die länderspezifische Nomenklatur DIN EN 62305. Zwischen 2006 und 2010 wurde die gesamte Normenreihe auf IEC-Ebene weiterentwickelt und im Dezember 2010 als IEC 62305 Teil 1 – 4:2010-12 (Edition 2) veröffentlicht. Während die Anpassungen international akzeptiert wurden, erfolgte auf europäischer Ebene zunächst lediglich die Annahme der Teile 1, 3 und 4, die dann im Oktober 2011 als EN-Dokument publiziert wurden. Der Teil 2 dagegen wurde noch an die europäischen Gegebenheiten angepasst, verbessert und schließlich im März 2012 als europäischer und im Februar 2013 als deutscher Standard veröffentlicht.
Für die Planung und Errichtung von Blitzschutzsystemen wird sich der Auftragnehmer an den Normen der Reihe DIN EN 62305 (VDE 0185-305) orientieren müssen, um nach dem Stand der Technik zu arbeiten. Dazu ist es notwendig, dass sich Auftragnehmer mit dem Inhalt der neuen Blitzschutznormen vertraut machen.
Aufgrund europäischer Verträge sind die Länder verpflichtet, auf nationaler Ebene europäische Normen vollständig zu übernehmen. Dies gilt generell nicht nur für den Bereich Blitzschutz. Deshalb gibt es auf nationaler Ebene in Deutschland zusätzliche Informationen in Form von Beiblättern zur Norm. Damit besteht die Möglichkeit, Hinweise und Erläuterungen zu geben, welche die Anwendung der Norm vereinfachen oder auch zusätzliche Informationen zu geben, für die im europäischen Bereich kein Interesse bestand. Diese Ergänzungen stehen nicht im Widerspruch zur eigentlichen Norm. Sie haben rechtlich nur informativen Charakter. Jedoch wurden die Beiblätter von unterschiedlichen Fachleuten erarbeitet und es konnten dadurch viele Aspekte aus Wissenschaft, Planung, Errichtung sowie Prüfung von Blitzschutzanlagen berücksichtigt werden. Die Beiblätter entsprechen daher dem anerkannten Stand der Technik und sind zu beachten.

Mit dem vorliegenden, überarbeiteten und wesentlich erweiterten BLITZPLANER möchten wir Ihnen als Fachleute auf diesem Gebiet, unabhängig davon ob planend oder ausführend tätig, Hilfestellung beim Vertrautmachen mit der neuen Normenreihe DIN EN 62305 und ihren Beiblättern geben. Dazu beinhaltet unser Standardwerk ausführliche Schutzlösungen für unterschiedlichste Anwendungen. Ebenso bietet das Fachbuch für alle Interessierte eine allgemeine Einführung in das breitgefächerte Gebiet des Blitz- und Überspannungsschutzes, dem sich das Unternehmen DEHN nun schon in der vierten Generation widmet.

An dieser Stelle geht deshalb auch ein herzliches Dankeschön an Herrn Thomas Dehn, geschäftsführender Gesellschafter der dritten Generation bei DEHN, für sein jahrzehntelanges Engagement für Wissenschaft, Forschung und Bildung. Nicht zuletzt war er es, der sich für die Erstellung dieses Fachbuches aus dem Hause DEHN einsetzte.

Jetzt liegt der BLITZPLANER in der 3. Ausgabe vor und wir hoffen, Sie damit wieder bei Ihrer Tätigkeit unterstützen zu können. Wir möchten Sie deshalb auch bitten, an der weiteren Verbesserung des BLITZPLANERs mitzuwirken. Senden Sie Ihre Korrekturen und Vorschläge an petra.raab@dehn.de. Wir freuen uns auf Ihre Anregungen und werden uns bemühen diese in der nächsten Auflage zu berücksichtigen.

DEHN + SÖHNE, August 2013

DEHN + SÖHNE, Neumarkt

Stand der Technik für die Errichtung von Blitzschutzanlagen

1.1 Errichternormen

Mit den neuen Normen der Reihe DIN EN 62305 wird der Stand der Technik im Bereich Blitzschutz auf einer einheitlichen und aktuellen europäischen Basis wiedergegeben. Den eigentlichen Schutznormen (DIN EN 62305-3 und -4) sind zwei allgemein gültige Normenteile (DIN EN 62305-1 und -2) vorangestellt (**Tabelle 1.1.1**). Wichtige nationale Informationen sind nicht gestrichen, sondern werden in den der Norm folgenden Beiblättern (**Tabelle 1.1.2**) angegeben.

DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1): Allgemeine Grundsätze

Dieser Teil enthält Informationen über die Gefährdung durch den Blitz, über Blitzkenndaten und über die daraus abgeleiteten Parameter zur Simulation von Blitzwirkungen. Weiterhin wird ein Gesamtüberblick über die Normenreihe DIN EN 62305 gegeben. Vorgehensweise und Schutzprinzipien, die den nachfolgenden Teilen zugrunde liegen, werden erläutert.

DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2): Risiko-Management

Das Risikomanagement nach DIN EN 62305-2 verwendet eine Risikoanalyse, um zuerst die Notwendigkeit des Blitzschutzes zu ermitteln. Danach wird die technisch und wirtschaftlich optimale Schutzmaßnahme festgelegt. Abschließend wird das verbleibende Restrisiko bestimmt. Ausgehend vom ungeschützten Zustand des Objektes wird das verbleibende Risiko so lange vermindert, bis es das akzeptierbare Risiko unterschreitet. Das Verfahren kann sowohl zur einfachen Bestimmung der Schutzklasse eines Blitzschutzsystems nach DIN EN 62305-3 als auch zur Festlegung eines komplexen Schutzsystems gegen den elektromagnetischen Blitzimpuls (LEMP) nach DIN EN 62305-4 verwendet werden.

DIN EN 62305-2 Beiblatt 1 (VDE 0185-305-2 Beiblatt 1): Blitzgefährdung in Deutschland

In diesem Beiblatt 1 zur DIN EN 62305-2 wird die Erdblitzdichte N_g für Deutschland anhand einer Karte dargestellt. Der Wert N_g wird zur Risikoanalyse nach DIN EN 62305-2 benötigt.

DIN EN 62305-2 Beiblatt 2 (VDE 0185-305-2 Beiblatt 2): Berechnungshilfe zur Abschätzung des Schadensrisikos für bauliche Anlagen

Dieses Beiblatt beinhaltet eine Berechnungshilfe für die Abschätzung des Schadensrisikos nach DIN EN 62305-2 sowohl für den Schutz von baulichen Anlagen und Personen entsprechend dem Teil 3 dieser Norm als auch für elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen nach DIN EN 62305-4.

Klassifizierung	Titel
DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305 Teil 1):2011-10	Blitzschutz Teil 1: Allgemeine Grundsätze
DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305 Teil 2):2013-02	Blitzschutz Teil 2: Risiko-Management
DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305 Teil 3):2011-10	Blitzschutz Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen
DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305 Teil 4):2011-10	Blitzschutz Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen

Tabelle 1.1.1 Blitzschutznormen gültig seit 01.10.2011

Norm	Beiblatt	Titel
DIN EN 62305-2	1	Blitzgefährdung in Deutschland
	2	Berechnungshilfe zur Abschätzung des Schadensrisikos für bauliche Anlagen
	3	Zusätzliche Informationen zur Anwendung der EN 62305-2
DIN EN 62305-3	1	Zusätzliche Informationen zur Anwendung der EN 62305-3
	2	Zusätzliche Informationen für besondere bauliche Anlagen
	3	Zusätzliche Informationen für die Prüfung und Wartung von Blitzschutzsystemen
	4	Verwendung von Metalldächern in Blitzschutzsystemen
	5	Blitz und Überspannungsschutz für PV-Stromversorgungssysteme
DIN EN 62305-4	1	Verteilung des Blitzstromes

Tabelle 1.1.2 Beiblätter zur DIN EN 62305

DIN EN 62305-2 Beiblatt 3 (VDE 0185-305-2 Beiblatt 3): Zusätzliche Informationen zur Anwendung der EN 62305-2

Dieses Beiblatt enthält Informationen und Bilddarstellungen zur Norm, die Anwendung und Verständnis verbessern sollen und auch neue Erkenntnisse berücksichtigen.

DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3): Schutz von baulichen Anlagen und Personen

Dieser Teil behandelt den Schutz von baulichen Anlagen und Personen vor materiellen Schäden und vor Lebensgefahren, die durch die Wirkung des Blitzstromes oder durch gefährliche Funkenbildung, insbesondere bei direkten Blitzeinschlägen, entstehen. Als Schutzmaßnahme dient ein Blitzschutzsystem, bestehend aus dem äußeren Blitzschutz (Fangeinrichtung, Ableitungseinrichtung und Erdungsanlage) und dem inneren Blitzschutz (Blitzschutz-Potentialausgleich und Trennungsabstand). Das Blitzschutzsystem wird über seine Schutzklasse definiert, wobei die Wirksamkeit von Schutzklasse I zu Schutzklasse IV abnimmt. Die benötigte Schutzklasse wird mit Hilfe der Risikoanalyse nach DIN EN 62305-2 ermittelt, soweit sie nicht durch Vorschriften (z. B. Bauordnungen) festgelegt ist.

DIN EN 62305-3 Beiblatt 1 (VDE 0185-305-3 Beiblatt 1): Zusätzliche Informationen zur Anwendung der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3)

Ein großer Teil des Beiblattes 1 gibt Erläuterungen zum Anhang E „Leitfaden für Entwurf, Ausführung, Wartung und Prüfung von Blitzschutzsystemen" der Norm. Dabei wird verstärkt auf die Dimensionierung der Fangeinrichtung, die Nutzung metallener Komponenten, die Anordnung von Fangleitungen und Fangstangen, die Nutzung der Schutzbereiche usw. eingegangen. Weiterhin werden Informationen zum Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen gegeben. Zur Abgrenzung des Zuständigkeitsbereiches der Norm werden die Bereiche, für die es spezielle Vorschriften gibt, aufgezählt (z. B. Bahnanlagen, elektrische Übertragungs-, Verteilungs- und Erzeugungsanlagen außerhalb einer baulichen Anlage, Rohrfernleitungen, Kraftfahrzeuge, Schiffe, Flugzeuge und Offshore-Anlagen).
Darüber hinaus befinden sich im Beiblatt 1 zur DIN EN 62305-3 textliche Erweiterungen zu diversen Begriffsdefinitionen (z. B. Ableitungseinrichtung, Erder, Blitzschutz-Potentialausgleich). Auch Hinweise auf die richtige Handhabung von Leitungen aus Aluminium auf, im oder unter Putz, Mörtel und Beton werden gegeben. Wichtig ist der Hinweis, dass die Verwendung von Aluminium im Erdreich **grundsätzlich** verboten ist.
An mehreren Beispielbildern wird der Einsatz von Verbindungsleitungen bei Einzelerdern erläutert.

Die Behandlung von Schutzmaßnahmen gegen Berührungs- und Schrittspannungen sowie die Verwendung von Regenrinnen, Fallrohren und Stahlstützen, natürlichen Erdern, Bauteilen aus handwerklicher oder industrieller Produktion und Korrosionsschutzmaßnahmen werden ebenfalls ergänzt oder auch durch erläuternde Bilder gezeigt.

DIN EN 62305-3 Beiblatt 2 (VDE 0185-305-3 Beiblatt 2): Zusätzliche Informationen für besondere bauliche Anlagen

Das Beiblatt beinhaltet Informationen für besondere bauliche Anlagen (wie z. B. Krankenhäuser, Sportanlagen, Schwimmbäder, Siloobjekte mit explosionsgefährdeten Bereichen, Hochregallager, Kläranlagen, Biogasanlagen) und berücksichtigt damit die technologische Entwicklung der letzten Jahre.

DIN EN 62305-3 Beiblatt 3 (VDE 0185-305-3 Beiblatt 3): Zusätzliche Informationen für die Prüfung und Wartung von Blitzschutzsystemen

Dem Anwender wird mit diesem Beiblatt ein in sich geschlossenes Papier über die Prüfung von Blitzschutzsystemen inklusive eines Ablaufplans an die Hand gegeben. Begriffe und deren Bedeutung (z. B. Blitzschutz-Fachkraft) wurden festgelegt. Erläuternde Bilder zu den verschiedenen Messverfahren bei der Prüfung von Blitzschutzsystemen (Durchgangswiderstand, Erdausbreitungswiderstand) und Vorgaben für die Dokumentation sind enthalten

DIN EN 62305-3 Beiblatt 4 (VDE 0185-305-3 Beiblatt 4): Verwendung von Metalldächern in Blitzschutzsystemen

Metalldächer können als natürlicher Bestandteil eines Blitzschutzsystems verwendet werden. Ziel dieses Beiblattes ist es, zusätzliche Informationen für eine Nutzung nach DIN EN 62305 zur Verfügung zu stellen.

DIN EN 62305-3 Beiblatt 5 (VDE 0185-305-3 Beiblatt 5): Blitz und Überspannungsschutz für PV-Stromversorgungssysteme

Dieses Beiblatt beschreibt den Schutz von PV-Stromversorgungssystemen bei Blitzeinwirkungen und Überspannungen atmosphärischen Ursprungs. Anforderungen und Maßnahmen, um die Sicherheit, Funktion und Verfügbarkeit der PV-Stromversorgungssysteme zu erhalten, werden vorgestellt.

DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4): Schutz elektrischer und elektronischer Systeme in baulichen Anlagen

Dieser Teil behandelt den Schutz von baulichen Anlagen mit elektrischen und elektronischen Systemen gegen die Wirkungen des elektromagnetischen Blitzimpulses. Aufbauend auf den Schutzmaßnahmen entsprechend der DIN EN 62305-3 werden durch diese Norm auch die Wirkungen von elektrischen und magnetischen Feldern sowie von induzierten Spannungen

und Strömen berücksichtigt, die durch direkte und indirekte Blitzeinschläge hervorgerufen werden.
Bedeutung und Notwendigkeit dieser Norm ergeben sich aus der zunehmenden Verwendung vielfältiger elektrischer und elektronischer Systeme, die unter dem Begriff „Informationssysteme" zusammengefasst werden. Zum Schutz der Informationssysteme wird die bauliche Anlage in Blitzschutzzonen (LPZ) unterteilt. Somit können örtliche Unterschiede nach Anzahl, Art und Empfindlichkeit der elektrischen und elektronischen Geräte bei der Auswahl der Schutzmaßnahmen beachtet werden. Für jede Blitzschutzzone werden mit Hilfe der Risikoanalyse nach DIN EN 62305-2 diejenigen Schutzmaßnahmen ausgewählt, die einen optimalen Schutz bei minimalen Kosten bieten.

Die VDE-Normen VDE 0185-305 Teile 1 bis 4 sind anwendbar für das Planen, Errichten, Prüfen und Warten von Blitzschutzsystemen für bauliche Anlagen, deren Installationen, ihre Inhalte und die sich darin befindlichen Personen.

1.2 Werkverträge

Grundsätzlich haftet ein Werkunternehmer dafür, dass seine Werkleistung frei von Mängeln ist. Entscheidender Ansatzpunkt für die Mangelfreiheit einer Werkleistung ist die Einhaltung der anerkannten Regeln der Technik. Einschlägige VDE- und DIN-Normen werden dabei herangezogen, um das Tatbestandsmerkmal der „anerkannten Regeln der Technik" mit Leben zu füllen. Werden die einschlägigen Normen eingehalten, gilt die Vermutung, dass die Werkleistung mangelfrei ist. Die praktische Bedeutung eines solchen Anscheinsbeweises liegt darin, dass die Erfolgsaussichten der Klage eines Auftraggebers, der eine mangelhafte Leistung durch den Werkunternehmer (beispielsweise bei der Errichtung einer Blitzschutzanlage) geltend macht, grundsätzlich nicht hoch sind, wenn der Werkunternehmer darstellen kann, dass er die einschlägigen technischen Normen eingehalten hat. Hinsichtlich dieser Wirkung sind Normen und Vornormen gleichwertig. Die Vermutungswirkung technischer Normen wird allerdings dadurch beseitigt, wenn die Normen entweder zurückgezogen werden oder bewiesen wird, dass die konkreten Normen nicht mehr den Stand der Technik darstellen. VDE- oder DIN-Normen können nicht statisch den Stand der anerkannten Regeln der Technik festschreiben, da sich die technischen Voraussetzungen und Möglichkeiten fortlaufend ändern. Werden also Normen zurückgezogen und durch neue Normen oder Vornormen ersetzt, so sind es in erster Linie die neuen Normen, die dann dem Stand der Technik entsprechen. Nationale Beiblätter zu den Normen stellen den anerkannten Stand der Technik dar.
Der Unternehmer und der Besteller eines Werkes vereinbaren regelmäßig ohne besondere Erwähnung, dass das Werk dem allgemeinen Stand der Technik entsprechen muss. Weicht das Werk von diesem allgemeinen Stand der Technik negativ ab, ist es mangelhaft. Dies kann zur Folge haben, dass der Unternehmer nach den Regeln der Sachmängelhaftung in Anspruch genommen wird. Die Sachmängelhaftung wird jedoch nur ausgelöst, wenn das Werk schon zum Zeitpunkt der Abnahme mit einem Mangel behaftet war! Nachträglich eintretende Umstände – wie etwa eine Weiterentwicklung des Standes der Technik – machen das bereits abgenommene, mangelfreie Werk nicht nachträglich mangelhaft!
Für die Frage der Mangelhaftigkeit einer Werksleistung ist einzig der Stand der anerkannten Regeln der Technik zum Zeitpunkt der Abnahme entscheidend.
Da zum Zeitpunkt der Fertigstellung und Abnahme von Blitzschutzanlagen zukünftig einzig die neuen Blitzschutz-Normen maßgebend sind, sind die Blitzschutzanlagen nach diesen Normen zu errichten. Es ist nicht ausreichend, dass die Leistung zum Zeitpunkt ihrer Erbringung den Regeln der Technik entsprochen hat, wenn sich zwischen Vertragsabschluss, Leistungserbringung und Abnahme der Bauleistung die technischen Erkenntnisse und somit die Regeln der Technik geändert haben.
Werke, die vorher nach den alten Normen erstellt und bereits abgenommen sind, werden also nicht dadurch mangelhaft, dass durch die Normenaktualisierung ein „höherer technischer Standard" verlangt wird.
Blitzschutzanlagen, mit Ausnahme von Blitzschutzanlagen für kerntechnische Anlagen, unterliegen dem Bestandsschutz; d. h., sie müssen nicht dem aktuellen Stand der Technik angepasst werden. Bestehende Anlagen werden im Rahmen von Wiederholungsprüfungen nach der Norm geprüft, nach der sie errichtet worden sind.

1.3 Produktnormen

Materialien, Komponenten und Bauteile für Blitzschutzsysteme müssen für die während der Anwendung zu erwartenden elektrischen, mechanischen und chemischen Beanspruchungen (z. B. Korrosion) ausgelegt und geprüft sein. Dies betrifft sowohl die Komponenten des äußeren Blitzschutzes als auch Bauteile des inneren Blitzschutzes.

DIN EN 50164-1 (VDE 0185-201): Blitzschutzbauteile – Anforderungen für Verbindungsbauteile

Diese Norm beschreibt Prüfverfahren für metallene Verbindungsbauteile. Bauteile, die in den Geltungsbereich dieser Norm fallen, sind:

- Klemmen
- Verbinder

- Anschlussbauteile
- Überbrückungsbauteile
- Ausdehnungsstücke
- Messstellen.

Klemmen und Verbinder von DEHN erfüllen die Anforderungen dieser Prüfnorm.

DIN EN 50164-2 (VDE 0185-202):
Blitzschutzbauteile – Anforderungen an Leitungen und Erder
Diese Norm spezifiziert die Anforderungen an Leitungen, Fangstangen, Erdeinführungen und Erder.

DIN EN 50164-3 (VDE 0185-203):
Blitzschutzbauteile – Anforderungen an Trennfunkenstrecken

DIN EN 50164-4 (VDE 0185-204):
Blitzschutzbauteile – Anforderungen an Halter

DIN EN 50164-5 (VDE 0185-205):
Blitzschutzbauteile – Anforderungen an Revisionskästen und Erderdurchführungen

DIN EN 50164-6 (VDE 0185-206):
Blitzschutzbauteile – Anforderungen an Blitzzähler

DIN EN 50164-7 (VDE 0185-207):
Blitzschutzbauteile – Anforderungen an Mittel zur Verbesserung der Erdung

DIN EN 61643-11 (VDE 0675-6-11):
Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Niederspannungsanlagen – Anforderungen und Prüfungen
Hier werden Anforderungen und Prüfungen für Überspannungsschutzgeräte (Surge Protective Devices: SPDs) zum Schutz vor den Wirkungen indirekter und direkter Blitzeinschläge oder anderer transienter Überspannungen beschrieben.

DIN CLC/TS 61643-12 (VDE V 0675-6-12):
Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Niederspannungsanlagen – Auswahl und Anwendungsgrundsätze
Diese Technische Spezifikation ist zusammen mit der EN 61643-11 anzuwenden. Sie enthält Informationen zu Kennwerten, die für die korrekte Auswahl von SPDs wichtig sind. Sie enthält ferner Informationen zur Auswahl und Koordination von SPDs, wobei die gesamte Betriebsumgebung der eingesetzten SPDs zu berücksichtigen ist. Beispiele hierzu sind die zu schützenden Betriebsmittel, die Systemeigenschaften, die Isolationspegel, die Art der Überspannungen, die Installationsverfahren, der Einbauort der SPDs, die Koordination der SPDs, die Fehlerarten der SPDs und die Folgen beim Ausfall der zu schützenden Betriebsmittel. Die Technische Spezifikation beschreibt die Grundsätze für die Auswahl, den Betrieb, den Einbauort und die Koordination von SPDs, die an 50/60-Hz-Wechselstromnetze und Betriebsmittel mit Nennspannungen bis 1000 V (Effektivwert) angeschlossen sind. In dieser Technischen Spezifikation werden nur SPDs in elektrischen Anlagen von Gebäuden behandelt. In Geräte eingebaute Überspannungsschutzgeräte werden nicht berücksichtigt.

DIN EN 61643-21 (VDE 0845-3-1):
Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Telekommunikations- und signalverarbeitenden Netzwerken
Diese Norm beschreibt die Leistungsanforderungen und Prüfverfahren für Überspannungsschutzgeräte, die zum Schutz von Telekommunikations- und signalverarbeitenden Netzwerken wie z. B.

- Datennetzen,
- Sprachübertragungsnetzen,
- Gefahrenmeldeanlagen und
- Automatisierungssystemen

verwendet werden.

DIN CLC/TS 61643-22 (VDE V 0845-3-2):
Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung – Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Telekommunikations- und signalverarbeitenden Netzwerken – Auswahl- und Anwendungsprinzipien
Diese Vornorm enthält die deutsche Fassung der Europäischen Technischen Spezifikation TS 61644-22:2006. Sie ist identisch mit der Internationalen Norm IEC 61643-22:2004 und beschreibt Prinzipien zur richtigen Auswahl und Anwendung von Überspannungsschutzgeräten (ÜSG), die zum Schutz in Telekommunikations- und signalverarbeitenden Netzwerken eingesetzt werden.

DIN EN 61663-1 (VDE 0845-4-1):
Blitzschutz – Telekommunikationsleitungen – Lichtwellenleiteranlagen

DIN EN 61663-2 (VDE 0845-4-2):
Blitzschutz – Telekommunikationsleitungen – Leitungen mit metallischen Leitern

DIN VDE 0845 Beiblatt 1 (VDE 0845 Beiblatt 1): Überspannungsschutz von Einrichtungen der Informationstechnik (IT-Anlagen)

Dieses Beiblatt vermittelt ergänzende und weiterführende Informationen zum Überspannungsschutz bei IT-Anlagen. Normative Festlegungen dazu sind in der DIN EN 61663-1 (VDE 0845-4-1), der DIN EN 61663-2 (VDE 0845-4-2) sowie der DIN EN 61643-21 (VDE 0845-3-1) enthalten.

Kennwerte des Blitzstromes

2.1 Blitzentladung und Blitzstromverläufe

Jährlich entladen sich über dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland durchschnittlich etwa 1,5 Millionen Blitze. Bei einer Fläche von 357.042 km^2 entspricht dies einer mittleren Blitzdichte von 4,2 Blitzentladungen pro Quadratkilometer und Jahr. Die tatsächliche Blitzdichte ist jedoch weitgehend von geographischen Gegebenheiten abhängig und kann zur ersten Orientierung der Blitzdichtekarte in **Bild 3.2.3.1** entnommen werden. Je feiner die Rasterung der Blitzdichtekarten vorgenommen wird, desto genauer kann sie Aufschluss über die tatsächliche Blitzhäufigkeit im betrachteten Gebiet geben.
Eine Blitzortung bis zu 200 m Messgenauigkeit ist heute in der Bundesrepublik Deutschland mit dem Blitzortungssystem BLIDS möglich. Dazu sind 145 Messstationen über Europa verteilt. Sie werden über das hochgenaue Zeitsignal des Global-Positioning-Systems (GPS) miteinander synchronisiert. Die Messstationen registrieren den Zeitpunkt des Eintreffens der elektromagnetischen Welle der Blitzentladung am Empfänger. Aus der Differenz der in den verschiedenen Empfängern aufgezeichneten Zeiten des Eintreffens der elektromagnetischen Welle und den damit verbundenen Laufzeitunterschieden der elektromagnetischen Welle vom Ort der Blitzentladung zu den Empfängern wird der Einschlagsort berechnet. Die so ermittelten Daten werden zentral archiviert und dem Anwender in verschiedenen Leistungspaketen zur Verfügung gestellt. Weitere Informationen zu dieser Dienstleistung sind im Internet unter www.siemens.de/blids abrufbar.
Voraussetzung für die Entstehung von Gewittern ist der Transport warmer Luftmassen mit genügend hoher Feuchtigkeit in große Höhen. Dieser Transport kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Bei Wärmegewittern wird der Erdboden lokal durch intensive Sonneneinstrahlung erhitzt. Die bodennahen Luftschichten erwärmen sich und steigen auf. Bei Frontgewittern schiebt sich als Folge eines Kaltfronteinbruchs kühlere Luft unter die warme und zwingt diese zum Aufstieg. Bei orographischen Gewittern wird warme bodennahe Luft durch Überströmen ansteigenden Geländes angehoben. Durch weitere physikalische Effekte wird der vertikale Auftrieb der Luftmassen noch verstärkt. Es bilden sich Aufwindschläuche mit Vertikalgeschwindigkeiten bis zu 100 km/h, die mächtig aufgetürmte Quellwolken von typisch 5 – 12 km Höhe und 5 – 10 km Durchmesser erzeugen. Durch elektrostatische Ladungstrennungsprozesse, z. B. Reibung und Zersprühen, werden Wassertröpfchen und Eispartikel in der Wolke aufgeladen.
Im oberen Teil der Gewitterwolke werden Partikel mit positiver Ladung und im unteren Teil mit negativer Ladung angehäuft. Zusätzlich befindet sich am Fuß der Wolke nochmals ein kleines, positives Ladungszentrum. Dieses hat seinen Ursprung in der Koronaentladung, die von Spitzen unter der Gewitterwolke am Boden (z. B. Pflanzen) abgesprüht und durch den Wind hochtransportiert wird.
Werden in einer Gewitterzelle aufgrund der zufällig vorhandenen Raumladungsdichten lokale Feldstärken von mehreren 100 kV/m erreicht, entstehen Leader-Entladungen (Leitblitze), die eine Blitzentladung einleiten. Wolke-Wolke-Blitze führen einen Ladungsausgleich zwischen positiven und negativen Wolkenladungszentren herbei und treffen dabei keine Objekte auf der Erdoberfläche direkt. Für die Gefährdung elektrischer und elektronischer Systeme sind sie aufgrund ihrer abgestrahlten elektromagnetischen Impulsfelder (LEMP) dennoch zu berücksichtigen.
Erdblitze führen einen Ladungsausgleich zwischen den Wolkenladungen und den auf der Erdoberfläche influenzierten Ladungen durch. Dabei lassen sich zwei Arten von Erdblitzen unterscheiden:

- Abwärtsblitze (Wolke-Erde-Blitze),
- Aufwärtsblitze (Erde-Wolke-Blitze).

Bei Abwärtsblitzen wird die Blitzentladung durch abwärtsgerichtete Leader-Entladungen von der Wolke zur Erde eingeleitet. Sie treten meist im flachen Gelände und bei niedrigen baulichen Anlagen auf. Erkennbar sind Wolke-Erde-Blitze durch die zur Erde gerichteten Verästelungen (**Bild 2.1.1**). Am häufigsten treten negative Abwärtsblitze auf, bei denen sich von der Gewitterwolke ein mit negativer Wolkenladung gefüllter

Bild 2.1.1 Abwärtsblitz (Wolke-Erde-Blitz)

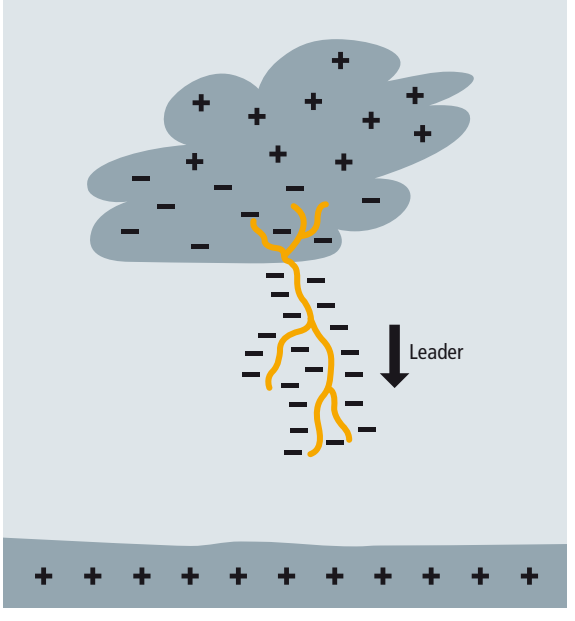


Bild 2.1.2 Entladungsmechanismus eines negativen Abwärtsblitzes (Wolke-Erde-Blitz)

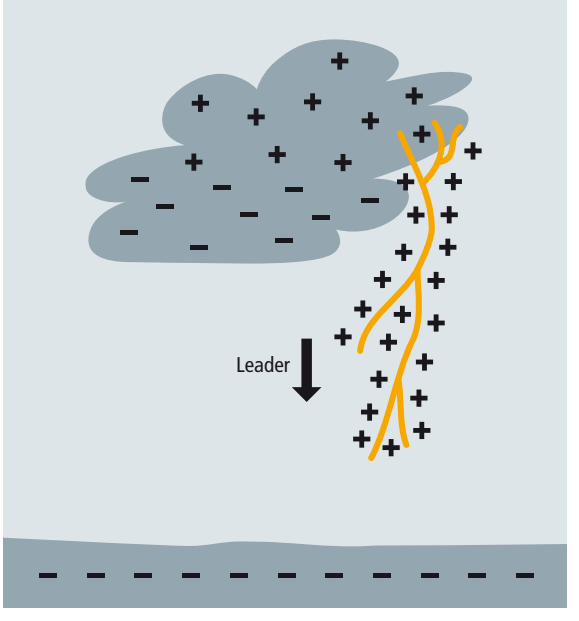


Bild 2.1.3 Entladungsmechanismus eines positiven Abwärtsblitzes (Wolke-Erde-Blitz)

Ladungsschlauch (Leader) zur Erde vorschiebt (**Bild 2.1.2**). Dieser Leader wächst mit einer Geschwindigkeit von etwa 300 km/h in Abschnitten von einigen 10 m ruckweise vor. Die Pause zwischen den Ruckstufen beträgt einige 10 µs. Hat sich der Leader der Erde genähert (einige 100 m bis einige 10 m), so erhöht sich an nahe dem Leader gelegenen Teilen auf der Erdoberfläche (z. B. an Bäumen oder Gebäudegiebeln) die elektrische Feldstärke. Sie ist so stark, dass die elektrische Festigkeit der Luft überschritten wird und dem Leader von dort aus eine Fangentladung entgegenwächst, die dann mit ihm zusammentrifft und die Hauptentladung einleitet.

Positive Abwärtsblitze können aus dem unteren positiven Ladungsbereich einer Gewitterwolke entstehen (**Bild 2.1.3**). Der Anteil der Polaritäten beträgt etwa 90 % negative Blitze zu 10 % positiven Blitzen. Diese Aufteilung ist abhängig von der geographischen Lage.

An sehr hohen, exponierten Objekten (z. B. Windkraftanlagen, Funkmasten, Fernmeldetürmen, Kirchtürmen) oder auf Bergspitzen können Aufwärtsblitze (Erde-Wolke-Blitze) entstehen. Sie sind an den aufwärts gerichteten Verästelungen der Blitzentladung zu erkennen (**Bild 2.1.4**). Bei einem Aufwärtsblitz wird die zur Auslösung eines Leaders notwendige hohe elektrische Feldstärke nicht in der Wolke, sondern durch die Verzerrung des elektrischen Feldes am exponierten Objekt und die damit verbundene hohe elektrische Feldstärke erreicht. Ausgehend von diesem Ort schiebt sich der Leader mit seiner Ladungshülle zur Wolke vor. Aufwärtsblitze treten sowohl mit negativer Polarität (**Bild 2.1.5**) als auch mit positiver Polarität (**Bild 2.1.6**) auf. Da bei Aufwärtsblitzen die Leader vom exponierten Objekt an der Erdoberfläche zur Wolke vorwachsen, können hohe Objekte während eines Gewitters mehrere Male von einer Blitzentladung getroffen werden.

In Abhängigkeit vom Blitztyp besteht jede Blitzentladung aus einem oder mehreren Teilblitzen. Dabei werden Stoßströme mit weniger als 2 ms Dauer und Langzeitströme mit mehr als 2 ms Dauer unterschieden. Weitere Unterscheidungsmerkmale der Teilblitze sind deren Polarität (negativ oder positiv) sowie deren zeitliche Lage in der Blitzentladung (erster, folgender

Bild 2.1.4 Aufwärtsblitze (Erde-Wolke-Blitz)

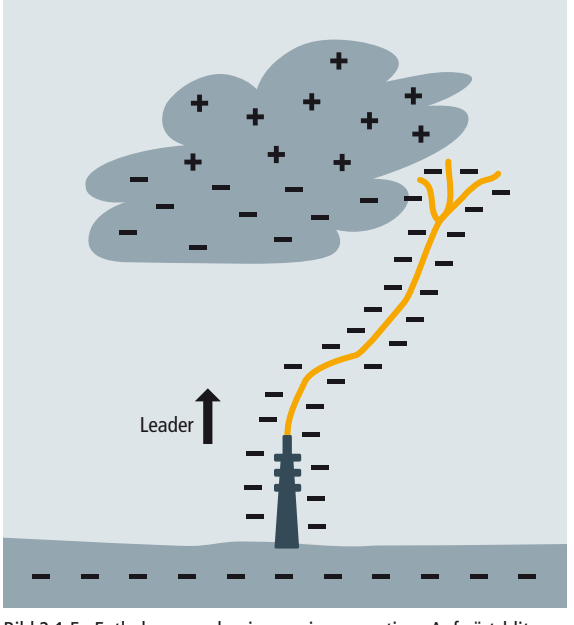


Bild 2.1.5 Entladungsmechanismus eines negativen Aufwärtsblitzes (Erde-Wolke-Blitz)

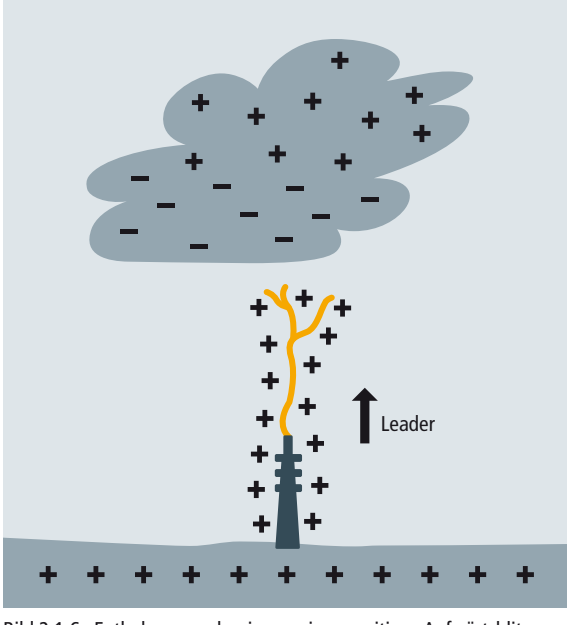


Bild 2.1.6 Entladungsmechanismus eines positiven Aufwärtsblitzes (Erde-Wolke-Blitz)

oder überlagerter Teilblitz). Die möglichen Kombinationen der Teilblitze zeigt das **Bild 2.1.7** für Abwärtsblitze und das **Bild 2.1.8** für Aufwärtsblitze.
Die aus Stoßströmen und auch aus Langzeitströmen bestehenden Blitzströme sind eingeprägte Ströme, d. h., die getroffenen Objekte üben keine Rückwirkung auf die Blitzströme aus. Anhand der in den **Bildern 2.1.7 und 2.1.8** gezeigten Blitzstromverläufe lassen sich vier für die Blitzschutztechnik bedeutsame Wirkungsparameter entnehmen:

- Der Scheitelwert des Blitzstromes I
- Die Ladung des Blitzstromes Q_{Blitz}, bestehend aus der Ladung des Stoßstromes $Q_{Stoß}$ und der Ladung des Langzeitstromes Q_{lang}
- Die spezifische Energie W/R des Blitzstromes
- Die Steilheit di/dt des Blitzstromanstieges.

In den nachfolgenden Kapiteln wird aufgezeigt, für welche Wirkungen die einzelnen Wirkungsparameter verantwortlich sind und wie sie die Dimensionierung von Blitzschutzanlagen beeinflussen.

2.2 Scheitelwert des Blitzstromes

Blitzströme sind eingeprägte Ströme, d. h., eine Blitzentladung kann als eine nahezu ideale Stromquelle aufgefasst werden. Durchfließt ein eingeprägter elektrischer Strom leitfähige Teile, so stellt sich anhand der Amplitude des Stromes und der Impedanz des durchflossenen leitfähigen Teiles der Spannungsfall über dem durchflossenen Teil ein. Im einfachsten Fall lässt sich dieser Zusammenhang mit dem Ohmschen Gesetz

$$U = I \cdot R$$

I Scheitelwert des Blitzstoßstroms

R Erdungswiderstand

beschreiben. Tritt ein Strom an einem einzigen Punkt in eine homogen leitende Fläche ein, so entsteht der bekannte Potentialtrichter. Dieser Effekt tritt auch bei einem Blitzeinschlag in homogenes Erdreich auf (**Bild 2.2.1**). Befinden sich Lebewesen (Personen oder Tiere) innerhalb dieses Potentialtrichters, so kommt es zu einer Schrittspannung, die eine gefährliche Körperdurchströmung zur Folge haben kann (**Bild 2.2.2**). Je höher die Leitfähigkeit des Erdreiches ist, umso flacher fällt der Potentialtrichter aus. Das Risiko gefährlicher Schrittspannungen wird damit ebenso verringert.
Trifft ein Blitzschlag ein Gebäude, das bereits mit einer Blitzschutzanlage versehen ist, so bewirkt der über die Erdungsanlage des Gebäudes abfließende Blitzstrom einen Spannungsfall am Erdungswiderstand R_E der Erdungsanlage des Gebäudes (**Bild 2.2.3**). Solange alle berührbaren, leitfähigen Teile inner-

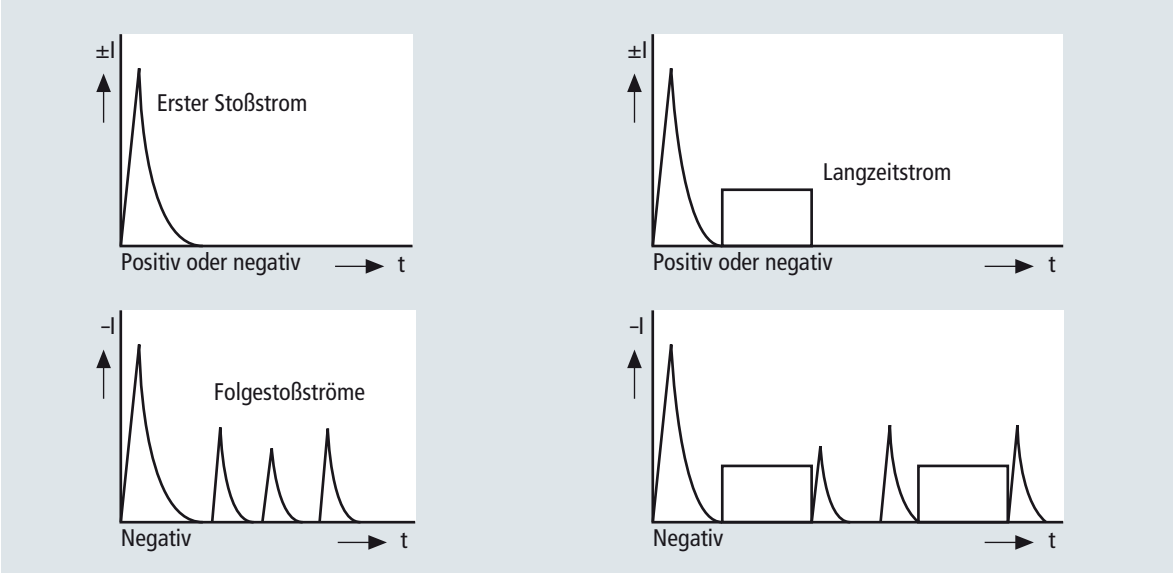


Bild 2.1.7 Mögliche Komponenten eines Abwärtsblitzes

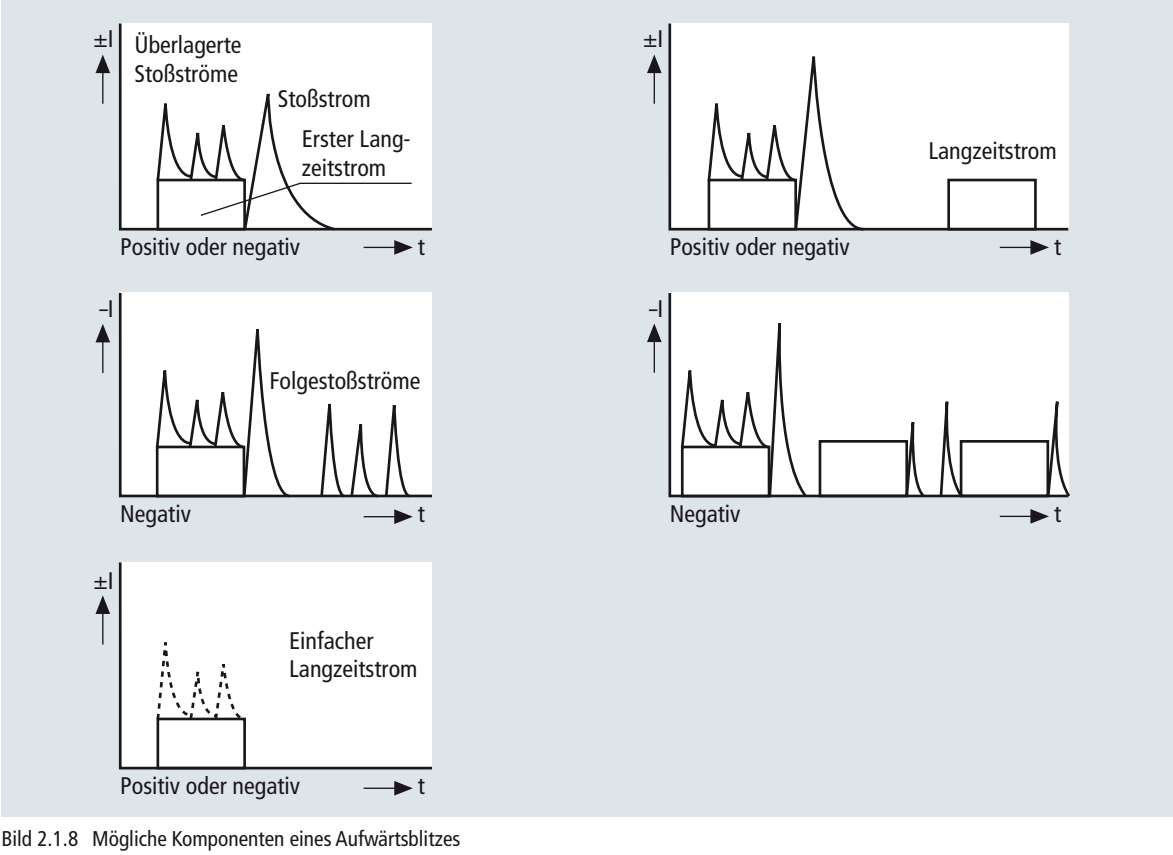


Bild 2.1.8 Mögliche Komponenten eines Aufwärtsblitzes

halb des Gebäudes auf das gleiche hohe Potential angehoben werden, besteht keine Gefährdungsmöglichkeit für Personen innerhalb des Gebäudes. Deshalb ergibt sich die Notwendigkeit des Potentialausgleichs für alle berührbaren, leitfähigen Teile innerhalb des Gebäudes und für alle in das Gebäude eingeführten, fremden leitfähigen Teile. Wird dies vernachlässigt, so entsteht die Gefahr kritischer Berührungsspannungen bei einem Blitzeinschlag.

Die Potentialanhebung der Erdungsanlage durch den Blitzstrom bewirkt auch die Gefährdung elektrischer Anlagen (**Bild 2.2.4**). In dem gezeigten Beispiel befindet sich die Betriebserde des Niederspannungsversorgungsnetzes außerhalb des durch den Blitzstrom verursachten Potentialtrichters. Damit ist das Potential der Betriebserde R_B im Falle des Blitzeinschlages in das Gebäude nicht identisch mit dem Erdpotential der Verbraucheranlage innerhalb des Gebäudes. Im vorliegenden Beispiel beträgt der Unterschied 1000 kV. Damit tritt eine Isolationsgefährdung der elektrischen Anlage und der an ihr angeschlossenen Geräte auf.

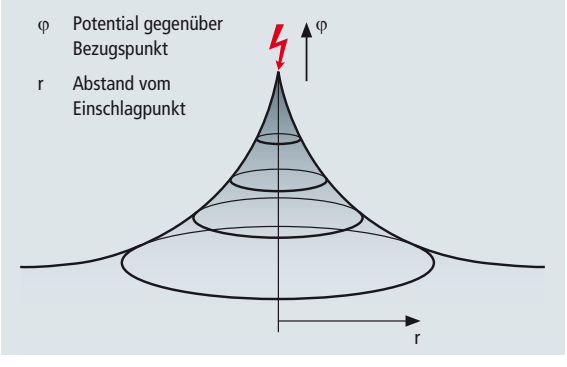


Bild 2.2.1 Potentialverteilung bei einem Blitzeinschlag in homogenes Erdreich

Bild 2.2.2 Tod von Tieren infolge gefährlicher Durchströmung durch Schrittspannung

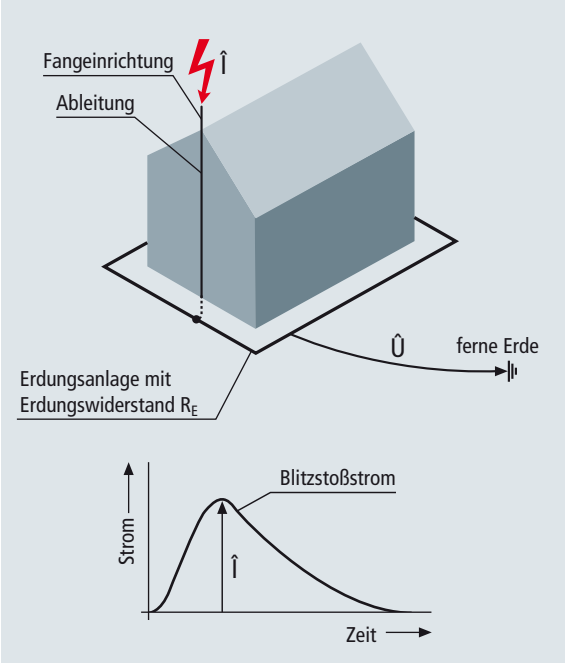


Bild 2.2.3 Potentialanhebung der Erdungsanlage eines Gebäudes gegenüber der fernen Erde durch den Scheitelwert des Blitzstromes

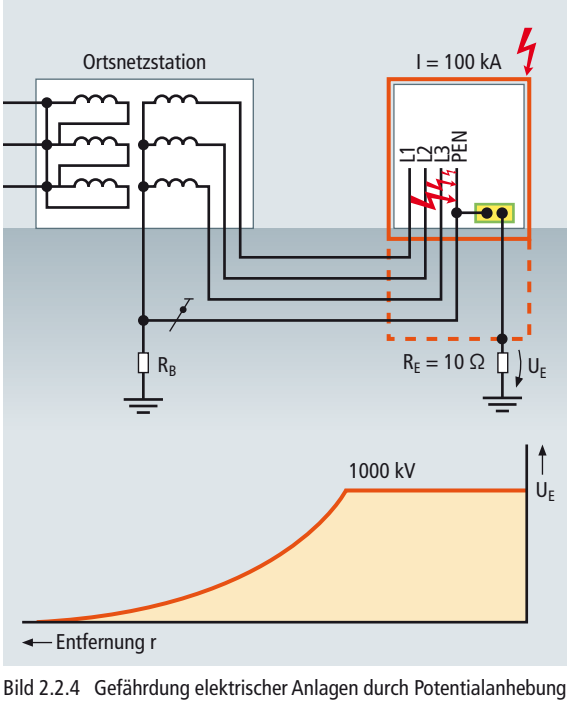


Bild 2.2.4 Gefährdung elektrischer Anlagen durch Potentialanhebung der Erdungsanlage

2.3 Steilheit des Blitzstromanstieges

Die Steilheit des Blitzstromanstieges Δi/Δt, die während des Intervalls Δt wirksam ist, bestimmt die Höhe der elektromagnetisch induzierten Spannungen. Diese Spannungen werden in alle offenen oder geschlossenen Leiterschleifen induziert, die sich in der Umgebung von blitzstromdurchflossenen Leitern befinden. **Bild 2.3.1** zeigt mögliche Konfigurationen von Leiterschleifen, in die Spannungen durch Blitzströme induziert werden können. Die während des Intervalls αt induzierte Rechteckspannung U in einer Leiterschleife ist:

$$U = M \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

M Gegeninduktivität der Schleife

Δi/Δt Steilheit des Blitzstromanstiegs

Wie bereits beschrieben, setzen sich Blitzentladungen aus einer Anzahl von Teilblitzen zusammen. Hinsichtlich der zeitlichen Lage wird zwischen Erst- und Folgestoßströmen innerhalb einer Blitzentladung unterschieden. Der Hauptunterschied zwischen beiden Arten von Stoßströmen besteht darin, dass aufgrund des notwendigen Aufbaus des Blitzkanals beim Erstblitz eine geringere Steilheit des Blitzstromanstiegs zu verzeichnen ist als beim Folgeblitz, der einen bereits vollständig leitfähigen Blitzkanal vorfindet. Zur Abschätzung der höchsten induzierte Spannung in Leiterschleifen wird deshalb die Steilheit des Blitzstromanstieges des Folgeblitzes verwendet. Ein Beispiel zur Abschätzung der induzierten Spannung in eine Leiterschleife ist in **Bild 2.3.2** dargestellt.

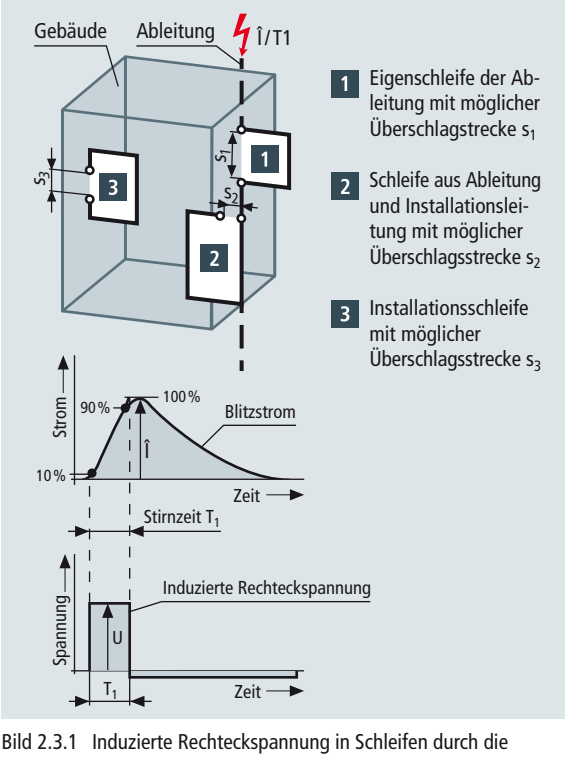


Bild 2.3.1 Induzierte Rechteckspannung in Schleifen durch die Stromsteilheit Δi/Δt des Blitzstromes

2.4 Ladung des Blitzstromes

Die Ladung Q_{Blitz} des Blitzstromes setzt sich zusammen aus der Stoßladung $Q_{Stoß}$ des Stoßstromes und der Langzeitladung Q_{lang} des Langzeitstromes. Die Ladung

$$Q = \int i dt$$

des Blitzstromes ist bestimmend für den Energieumsatz unmittelbar am Einschlagpunkt des Blitzes und an allen Stellen, an

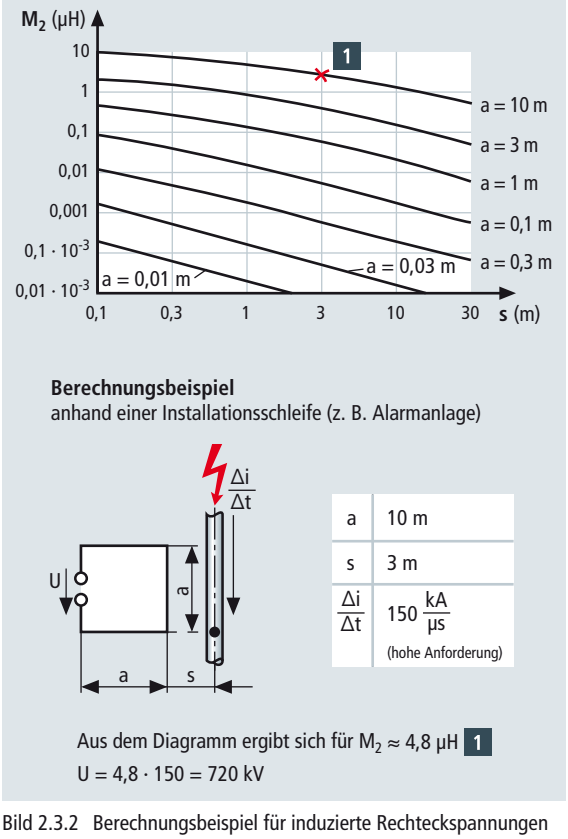


Bild 2.3.2 Berechnungsbeispiel für induzierte Rechteckspannungen in quadratischen Schleifen

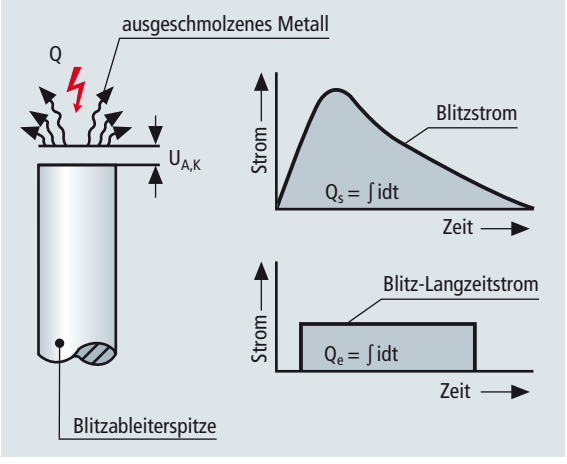


Bild 2.4.1 Energieumsatz am Einschlagpunkt durch die Ladung des Blitzstromes

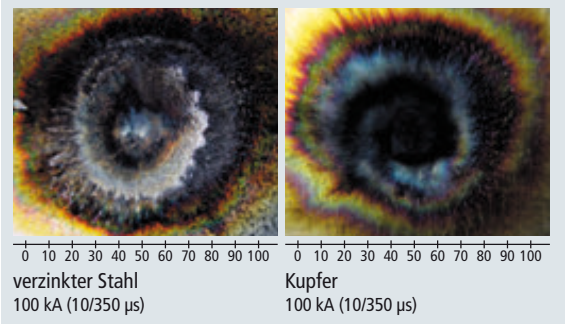


Bild 2.4.2 Wirkung eines Stoßstrom-Lichtbogens auf eine metallene Oberfläche

denen sich der Blitzstrom in Form eines Lichtbogens über eine Isolierstrecke hinweg fortsetzt. Die am Lichtbogenfußpunkt umgesetzte Energie W ergibt sich als das Produkt aus der Ladung Q und der im Mikrometerbereich auftretenden Anoden-/Kathodenfallspannung $U_{A,K}$ (**Bild 2.4.1**).
Der Wert von $U_{A,K}$ beträgt im Mittel einige 10 V und ist von Einflüssen wie Stromhöhe und Stromform abhängig:

$$W = Q \cdot U_{A,K}$$

Q Ladung des Blitzstromes

$U_{A,K}$ Anoden-/Kathodenfallspannung.

Damit bewirkt die Ladung des Blitzstromes Ausschmelzungen an Komponenten des Blitzschutzsystems, die direkt vom Blitz getroffen werden. Aber auch für die Beanspruchung von

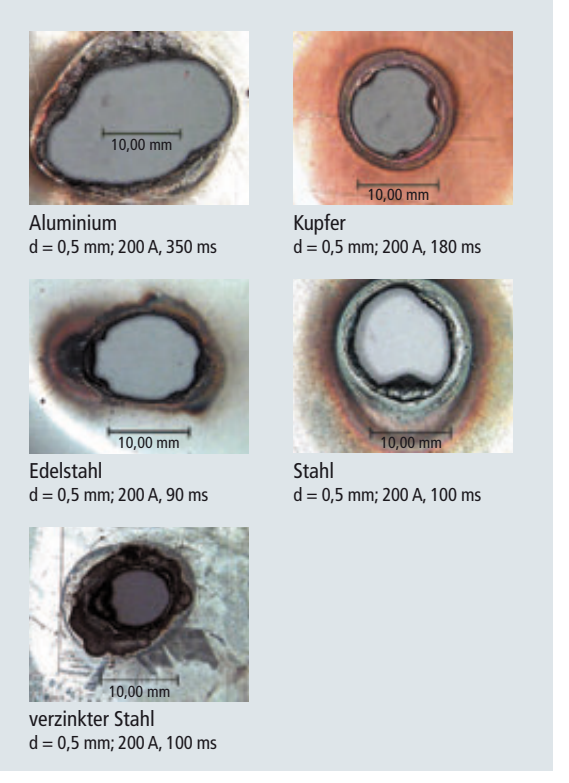


Bild 2.4.3 Perforation von Blechen durch die Einwirkung von Langzeitstrom-Lichtbögen

Trenn- und Schutzfunkenstrecken sowie von Überspannungsschutzgeräten auf Funkenstreckenbasis ist die Ladung maßgebend. Neuere Untersuchungen haben gezeigt, dass vor allem die Langzeitladung Q_{lang} des Langzeitstromes aufgrund der längeren Einwirkdauer des Lichtbogens in der Lage ist, große Materialvolumina zu schmelzen oder zu verdampfen. Einen Vergleich der Wirkungen der Stoßladung $Q_{Stoß}$ und der Langzeitladung Q_{lang} zeigen die **Bilder 2.4.2 und 2.4.3**.

2.5 Spezifische Energie

Die spezifische Energie W/R eines Stoßstromes ist die Energie, die der Stoßstrom in einem Widerstand von 1 Ω umsetzt. Dieser Energieumsatz ist das Integral des Quadrates des Stoßstromes über der Zeit für die Dauer des Stoßstromes:

$$\frac{W}{R} = \int i^2 dt$$

Die spezifische Energie wird deshalb oftmals als Stromquadrat-Impuls bezeichnet. Sie ist maßgebend für die Erwärmung

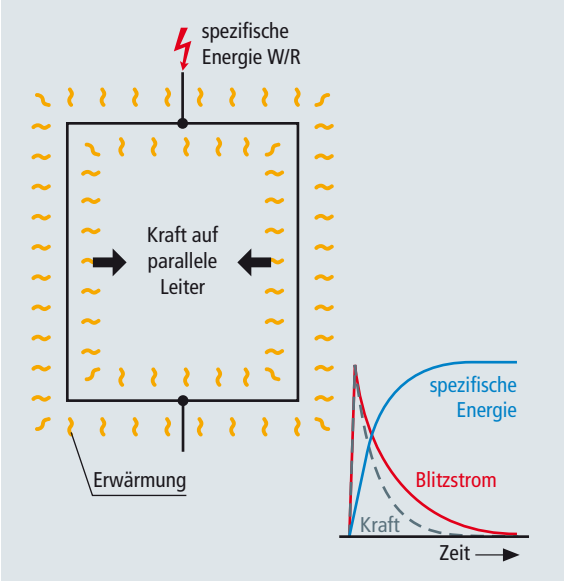


Bild 2.5.1 Erwärmung und Kraftwirkung durch die spezifische Energie des Blitzstromes

Querschnitt [mm²]			4	10	16	25	50	100
Werkstoff	Aluminium W/R [MJ/Ω]	2,5	–	564	146	52	12	3
		5,6	–	–	454	132	28	7
		10	–	–	–	283	52	12
	Eisen W/R [MJ/Ω]	2,5	–	–	1120	211	37	9
		5,6	–	–	–	913	96	20
		10	–	–	–	–	211	37
	Kupfer W/R [MJ/Ω]	2,5	–	169	56	22	5	1
		5,6	–	542	143	51	12	3
		10	–	–	309	98	22	5
	nicht-rostender Stahl W/R [MJ/Ω]	2,5	–	–	–	940	190	45
		5,6	–	–	–	–	460	100
		10	–	–	–	–	940	190

Tabelle 2.5.1 Temperaturerhöhung ΔT in K verschiedener Leitermaterialien

vom Blitzstoßstrom durchflossener Leiter sowie für die Kraftwirkung auf vom Blitzstoßstrom durchflossene Leiter untereinander (**Bild 2.5.1**).

Für die in einem Leiter mit dem Widerstand R umgesetzte Energie W gilt:

$$W = R \cdot \int i^2 dt = R \cdot \frac{W}{R}$$

R (temperaturabhängiger) Gleichstromwiderstand des Leiters

W/R spezifische Energie.

Die Berechnung der Erwärmung von Blitzstoßstrom-durchflossenen Leitern kann notwendig werden, wenn bei Planung und Errichtung von Blitzschutzsystemen Risiken hinsichtlich Personenschutz, Feuer- und Explosionsgefahr zu beachten sind. Bei der Berechnung wird davon ausgegangen, dass die gesamte thermische Energie durch den ohmschen Widerstand der Komponenten des Blitzschutzsystems erzeugt wird. Ferner wird davon ausgegangen, dass aufgrund der Kürze des Vorganges kein merklicher Wärmeaustausch mit der Umgebung stattfindet. In **Tabelle 2.5.1** sind die Temperaturanstiege unterschiedlicher im Blitzschutz verwendeter Materialien und deren Querschnitte in Abhängigkeit von der spezifischen Energie zusammengestellt.

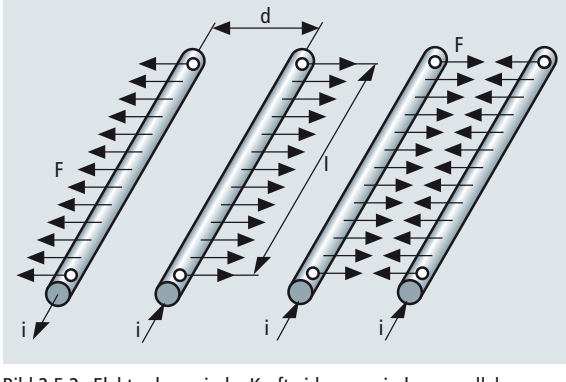


Bild 2.5.2 Elektrodynamische Kraftwirkung zwischen parallelen Leitern

Die durch einen Strom i verursachten elektrodynamischen Kräfte F in einer Leitung mit einem langen, parallelen Abschnitt der Länge l und einem Abstand d (**Bild 2.5.2**) lassen sich näherungsweise mit folgender Gleichung berechnen:

$$F(t) = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot i^2(t) \cdot \frac{l}{d}$$

F(t) Elektrodynamische Kraft

i Strom

μ_0 Magnetische Feldkonstante in Luft ($4 \pi \cdot 10^{-7}$ H/m)

l Leitungslänge

d Abstand zwischen den parallel verlaufenden Leitungen.

Die Kraftwirkung auf die beiden Leiter ist bei gleicher Stromrichtung anziehend und bei entgegengesetzter Stromrichtung abstoßend. Sie ist proportional dem Produkt der Ströme in den Leitungen und umgekehrt proportional zum Abstand der Leitungen untereinander. Aber auch im Falle einer einzigen, gebogenen Leitung tritt eine Kraftwirkung auf die Leitung auf. Dabei ist die Kraft proportional dem Quadrat des Stromes in der gebogenen Leitung.
Die spezifische Energie des Stoßstromes bestimmt damit die Belastung, die eine reversible oder irreversible Verformung von Komponenten und Anordnungen eines Blitzschutzsystems verursacht. Diese Wirkungen sind in den Prüfaufbauten der Produktnormen über die Anforderungen an Verbindungsbauteile für Blitzschutzsysteme berücksichtigt.

2.6 Blitzstrom-Komponenten

Die grundsätzlichen Blitzstromverläufe und die möglichen Komponenten von Aufwärts- und Abwärtsblitzen sind in **Bild 2.1.7 und 2.1.8** beschrieben.
Der gesamte Blitzstrom kann in einzelne Blitzstrom-Komponenten unterteilt werden:

- Erster positiver Stoßstrom
- Erster negativer Stoßstrom
- Folgestoßstrom
- Langzeitstrom.

Den einzelnen Blitzstrom-Komponenten sind entsprechend dem Gefährdungspegel Maximalwerte zugeordnet. Für die meisten in den vorangegangen Abschnitten vorgestellten Blitzwirkungen spielt der zeitliche Verlauf des Blitzstromes eine wichtige Rolle. Deshalb werden in den Blitzschutznormen für die einzelnen Blitzstrom-Komponenten auch Zeitparameter definiert. Diese Wellenformen werden zudem für Analysezwecke und als Prüfparameter für die Nachbildung von Blitzwirkungen auf LPS-Komponenten herangezogen. In der aktuellen Ausgabe der Blitzschutznorm DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2): 2011-10 wurde der erste negative Stoßstrom als neue Blitzstrom-Komponente eingeführt. Der erste negative Stoßstrom wird zur Zeit nur für Berechnungen verwendet und stellt für manche Induktionswirkungen die höchste Bedrohung dar. **Tabelle 2.6.1** fasst die maximalen Parameter entsprechend dem Gefährdungspegel und die Wellenform für die einzelnen normativ definierten Blitzstrom-Komponenten zusammen.

Erster positiver Stoßstrom	Gefährdungspegel			
Parameter	I	II	III	IV
Scheitelwert I [kA]	200	150	100	
Ladung des Stoßstromes Q_{short} [C]	100	75	50	
Spezifische Energie W/R [MJ/Ω]	10	5,6	2,5	
Wellenform T_1/T_2 [µs/µs]	10/350			

Erster negativer Stoßstrom	Gefährdungspegel			
Parameter	I	II	III	IV
Scheitelwert I [kA]	100	75	50	
Mittlere Steilheit d_i/d_t [kA/µs]	100	75	50	
Wellenform T_1/T_2 [µs/µs]	1/200			

Folgestoßstrom	Gefährdungspegel			
Parameter	I	II	III	IV
Scheitelwert I [kA]	50	37,5	25	
Mittlere Steilheit d_i/d_t [kA/µs]	200	150	100	
Wellenform T_1/T_2 [µs/µs]	0,25/100			

Langzeitstrom	Gefährdungspegel			
Parameter	I	II	III	IV
Ladung des Langzeitstromes Q_{long} [C]	200	150	100	
Zeit T_{long} [s]	0,5			

Blitz	Gefährdungspegel			
Parameter	I	II	III	IV
Ladung des Blitzes Q_{flash} [C]	300	225	150	

Tabelle 2.6.1 Maximale Blitzstromparameter und Wellenform für unterschiedliche Blitzstrom-Komponenten

2.7 Zuordnung von Blitzstromparametern zu Gefährdungspegeln

Um den Blitz als Störgröße zu definieren, werden Gefährdungspegel von I bis IV festgelegt. Für jeden Gefährdungspegel wird ein Satz von

- Maximalwerten (Dimensionierungskriterien, die verwendet werden, um Blitzschutzkomponenten so auszulegen, dass sie den zu erwartenden Ansprüchen gewachsen sind) und
- Minimalwerten (Auffangkriterien, die notwendig sind, um die Bereiche bestimmen zu können, die mit hinreichender

Gefährdungspegel	Maximalwerte (Dimensionierungskriterien)	
	Maximaler Scheitelwert des Blitzstromes	Wahrscheinlichkeit, dass der tatsächlich auftretende Blitzstrom **kleiner** ist als der maximale Scheitelwert des Blitzstromes
I	200 kA	99 %
II	150 kA	98 %
III	100 kA	95 %
IV	100 kA	95 %

Tabelle 2.7.1 Maximalwerte von Blitzstromparametern und ihre Wahrscheinlichkeit

Gefährdungspegel	Minimalwerte (Auffangkriterien)		
	Kleinster Scheitelwert des Blitzstromes	Wahrscheinlichkeit, dass der tatsächlich auftretende Blitzstrom **größer** ist als der kleinste Scheitelwert des Blitzstromes	Radius der Blitzkugel
I	3 kA	99 %	20 m
II	5 kA	97 %	30 m
III	10 kA	91 %	45 m
IV	16 kA	84 %	60 m

Tabelle 2.7.2 Minimalwerte von Blitzstromparametern und ihre Wahrscheinlichkeit

Sicherheit vor direkten Blitzeinschlägen geschützt sind (Blitzkugelradius))

benötigt. Die **Tabellen 2.7.1 und 2.7.2** zeigen die Zuordnung der Gefährdungspegel zu den Maximal- und Minimalwerten der Blitzstromparameter.

2.8 Blitzstrom-Messungen von Aufwärts- und Abwärtsblitzen

Im Allgemeinen geht man davon aus, dass für die vom Blitz getroffenen Objekte Abwärtsblitze (Wolke-Erde-Blitze) eine härtere Beanspruchung als Aufwärtsblitze (Erde-Wolke-Blitze) darstellen. Dies gilt besonders für die Stoßstrombelastung. Im flachen Gelände und bei baulichen Anlagen mit niedriger Bauhöhe ist meistens mit Abwärtsblitzen zu rechnen. Befinden sich hingegen Anlagen in einer exponierten Lage und/oder besitzen sie eine größere Bauhöhe, dann treten überwiegend Aufwärtsblitze auf. Die in den Blitzschutznormen festgelegten Parameter gelten im Allgemeinen für Abwärts- und Aufwärtsblitze. Bei Aufwärtsblitzen ist besonders der erste Langzeitstrom ohne überlagerte Pulsströme oder mit solchen zu beachten.

Ein exaktere Ermittlung der Blitzstromparameter und ihrer Abhängigkeit ist für Aufwärts- und Abwärtsblitze noch in Bearbeitung. Weltweit werden deshalb Blitzstrommessungen zur wissenschaftlichen Grundlagenforschung an verschiedenen Blitzmess-Stationen durchgeführt. **Bild 2.8.1** zeigt die von der österreichischen Blitzforschungsgruppe ALDIS betriebene Blitzmess-Station am Gaisberg bei Salzburg. An dieser Messstation führt DEHN seit 2007 Blitzstrom-Messungen mit einer mobilen Blitzstromerfassungseinheit durch.

Bild 2.8.1 Vergleichenden Blitzstrommessungen der Blitzforschungsgruppe ALDIS/Österreich und DEHN am ORS Sender Gaisberg bei Salzburg.

Die Ergebnisse dieser Vergleichsmessungen bestätigen im Wesentlichen die Blitzstromparameter, wie sie in der aktuellen Blitzschutznorm IEC 62305-1 beschrieben sind. Auffallend bei den aufgezeichneten Aufwärtsblitzen ist die hohe Anzahl von überlagerten Impulsströmen. Mit durchschnittlich 8 Stoßströmen (entweder dem Langzeitstrom überlagert oder dem Langzeitstrom nachfolgend) werden bei den aufgezeichneten Blitzereignissen deutlich mehr Impulsströme beobachtet als die 3-4 Folgeblitze, die typischerweise bei Abwärtsblitzen auftreten. Die in den Blitzschutznormen angegebenen 3-4 Impulsentladungen pro Blitz gelten also nur für Abwärtsblitze.
Von ALDIS wurden in 10 Jahren (2000-2009) bei insgesamt 10 Blitzen Gesamtladungen aufgezeichnet, die den maximalen Ladungswert von 300 As nach Gefährdungsklasse LPL I überschreiten. Diese hohen Ladungswerte sind ausnahmslos während Wintergewittern aufgezeichnet worden. Langzeitströme bei Wintergewittern mit größeren Ladungen als die für die Blitzschutzklasse LPL I angegebenen konnten auch mit dem mobilen System während der ersten Messperiode korrekt aufgezeichnet werden. **Bild 2.8.2** zeigt einen Langzeitstrom mit einer Ladung von 405 As vom Januar 2007. Bei Blitzschutzmaßnahmen für hohe Anlagen und exponierte Lagen, wie zum Beispiel Windkraftanlagen und Sendeanlagen, sind auch diese extremen Beanspruchungen, die den Ladungswert von 300 As der Blitzschutzklasse I übersteigen, gegebenenfalls zu berücksichtigen.

Negativer Abwärtsblitz und zugehöriger Teilblitzstrom

Bei den vergleichenden Blitzstrommessungen konnte ein negativer Wolke-Erde-Blitz aufgezeichnet werden. Dieser Abwärtsblitz ist im Vergleich zu den vorher beschriebenen Aufwärtsblitzen durch einen deutlich höheren Stoßstromwert gekennzeichnet. Der detektierte negative Abwärtsblitz hat ein Strommaximum von ungefähr 29 kA und eine Ladung von etwa 4,4 As. **Bild 2.8.3** zeigt den Vergleich der aufgezeichneten Stromkurven des wissenschaftlichen ALDIS-Messsystems und der mobilen Blitzstromerfassung. Beide Stromverläufe stimmen gut überein. Dem abfallenden Stoßstrom ist ein weiterer langsam ansteigender negativer Blitzstrom von etwa 5 kA überlagert. Diese charakteristische Blitzstromkomponente bezeichnet man in der Blitzforschung auch als M-Komponente. Bedingt durch die erhöhte Anzahl von Messkanälen war es in der zweiten Messperiode zudem möglich, mit der mobilen Blitzstromerfassung den Teilstrom in einem der Niederspannungskabel aufzuzeichnen, die zwischen der Plattform auf 80 m Höhe und dem Betriebsgebäude am Mastfuß verlegt sind. Zwischen diesen beiden Installationspunkten bieten sich dem Blitzstrom eine Vielzahl paralleler Ableitpfade. Der Blitzstrom teilt sich zwischen der metallenen Mastkonstruktion sowie den zahlreichen Energie-, Daten- und Antennenleitungen auf.

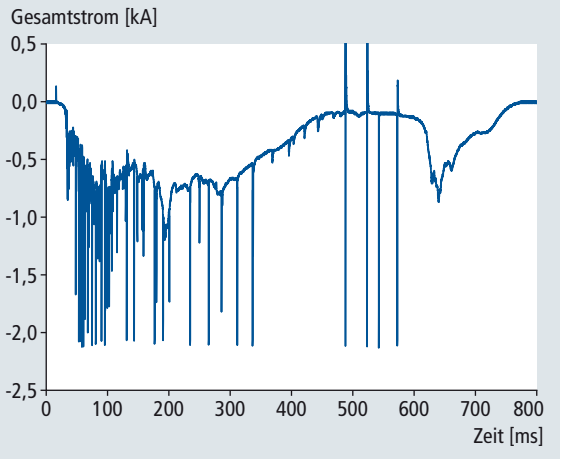


Bild 2.8.2 Langzeitstrom mit überlagerten Pulsströmen eines Aufwärtsblitzes mit Gesamtladung ~ 405 As – aufgezeichnet während eines Wintergewitters am Sender Gaisberg

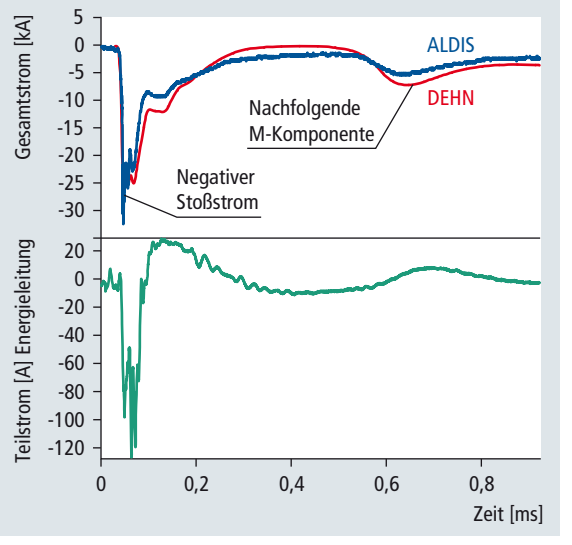


Bild 2.8.3 Negativer Abwärtsblitz mit M-Komponente (oben) und Teilblitzstrom in der Energieversorgungsleitung (unten) – aufgezeichnet am Sender Gaisberg

Somit ist der gemessene Absolutwert des Blitzteilstroms in einem einzelnen Niederspannungskabel nicht aussagekräftig. Es konnte jedoch nachgewiesen werden, dass der Blitzteilstrom in dem betrachteten Niederspannungskabel die gleiche Polarität und eine dem primären Blitzstrom an der Turmspitze vergleichbare Wellenform und Stromflussdauer aufweist. Ein zum Schutz dieser Leitung eingebautes Überspannungsschutzgerät muss also in der Lage sein, Blitzteilströme ableiten zu können.

Planung einer Blitzschutzanlage

3.1 Notwendigkeit einer Blitzschutzanlage – rechtliche Bestimmungen

Eine Blitzschutzanlage hat die Aufgabe, Gebäude vor direkten Blitzeinschlägen und eventuellem Brand oder vor den Auswirkungen des eingeprägten Blitzstromes (nicht zündender Blitz) zu schützen.
Wenn nationale Vorschriften, wie z. B. die Landesbauordnungen (LBO) der jeweiligen Bundesländer, Sonderverordnungen oder Sonderrichtlinien Blitzschutzmaßnahmen fordern, müssen diese beachtet werden.
Soweit diese Vorschriften keine Blitzschutzklasse spezifizieren, wird mindestens ein Blitzschutzsystem der Schutzklasse III der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) empfohlen. Prinzipiell sollte eine Risikoanalyse zur Gesamtbeurteilung erfolgen, welche in DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2) beschrieben wird (s. Kapitel 3.2.1).

Zur Festlegung der Schutzklasse kann auch die

- VdS-Richtlinie 2010 „Risikoorientierter Blitz- und Überspannungsschutz, unverbindliche Richtlinien zur Schadenverhütung"

herangezogen werden.

Die Landesbauordnung von Bayern (BayBO) gebietet unter Art. 44 „Blitzschutzanlagen", dass bauliche Anlagen, bei denen nach:

- Lage,
- Bauart oder
- Nutzung

ein Blitzschlag leicht eintreten oder zu schweren Folgen führen kann, mit dauernd wirksamen Blitzschutzanlagen zu versehen sind. Das bedeutet: **„Eine Blitzschutzanlage ist herzustellen, wenn auch nur eine der Voraussetzungen gegeben ist."**
Die Lage, Bauart oder Nutzung von baulichen Anlagen kann dazu führen, dass ein Blitzschlag besonders **schwere Folgen** hat.
So gehört beispielsweise ein Kindergarten zu den Anlagen, bei denen ein Blitzschlag wegen ihrer Nutzung schwere Auswirkungen haben kann.
Wie diese Aussage zu interpretieren ist, wird bei dem nachfolgenden Gerichtsurteil verdeutlicht:
Auszug: Bayerischer Verwaltungsgerichtshof (VGH), Beschluss vom 4. Juli 1984 – Nr. 2 B 84 A.624.

1. Ein Kindergarten unterliegt der Anforderung, wirksame Blitzschutzanlagen zu errichten.
2. Die bauordnungsrechtlichen Anforderungen von mindestens feuerhemmenden Türen bei der Ausbildung von Treppenräumen und Ausgängen gelten auch für ein Wohngebäude, in dem ein Kindergarten untergebracht ist.

Aus den Gründen: Nach Art. 15 Abs. 7 BayBO (gültiger Artikel zum Zeitpunkt des Urteils) sind bauliche Anlagen, bei denen nach Lage, Bauart oder Nutzung Blitzeinschlag leicht eintreten oder zu schweren Folgen führen kann, mit dauernd wirksamen Blitzschutzanlagen zu versehen. Damit werden für zwei Arten von Fällen wirksame Schutzeinrichtungen vorgeschrieben. Bei der einen Fallgruppe sind die baulichen Anlagen einem Blitzschlag besonders ausgesetzt (z. B. wegen ihrer Höhe oder Lage); bei der anderen kann ein etwaiger Blitzeinschlag (z. B. wegen der Bauart oder der Nutzung) zu besonders schweren Folgen führen. Das Gebäude des Klägers gehört wegen seiner nunmehrigen Nutzung als Kindergarten zur letzteren Fallgruppe. Ein Kindergarten gehört zu den Anlagen, bei denen wegen ihrer Nutzung ein Blitzeinschlag zu schweren Folgen führen kann. Dass Kindergärten in der beispielhaften Aufzählung besonders gefährdeter baulicher Anlagen in den Kommentaren zur BayBO neben den Versammlungsstätten nicht ausdrücklich angeführt sind, ändert daran nichts. Bei Kindergärten ergibt sich die Gefahr schwerer Folgen bei einem Blitzeinschlag daraus, dass tagsüber gleichzeitig eine größere Zahl noch nicht schulpflichtiger Kinder anwesend ist.
Dabei kann es – entgegen dem Vorbringen des Klägers – nicht entscheidend darauf ankommen, dass sich die Aufenthaltsräume für die Kinder im Erdgeschoss befinden und die Kinder durch mehrere Fenster ins Freie gelangen könnten. Bei Kindern diesen Alters erscheint es nicht gewährleistet, dass sie in einem Brandfall vernünftig reagieren und das Gebäude erforderlichenfalls durch die Fenster verlassen können. Die Errichtung ausreichender Blitzschutzeinrichtungen ist für den Betreiber eines Kindergartens auch nicht unzumutbar. Art. 36 Abs. 6 BayBO (gültiger Artikel zum Zeitpunkt des Urteils) verlangt, dass in Treppenräumen u. a. Öffnungen zum Kellergeschoss selbstschließende und mindestens feuerhemmende Türen erhalten müssen. Die Anforderung gilt nicht für Wohngebäude mit bis zu zwei Wohnungen (Art. 36 Abs. 10 BayBO; gültiger Artikel zum Zeitpunkt des Urteils). Sie wurde daher von der Beklagten erst gestellt, als der Kläger das bisherige Wohngebäude durch die genehmigte Nutzungsänderung auch zu einem Kindergarten machte. Die Ausnahmevorschrift des Art. 36 Abs. 10 BayBO (gültiger Artikel zum Zeitpunkt des Urteils) kann nicht auf Gebäude angewendet werden, die zwar als Wohngebäude mit bis zu zwei Wohnungen errichtet worden sind, nunmehr aber (auch) einem darüber hinausgehenden Zweck dienen, der die Anwendung der Sicherheitsanforderungen in Art. 36 Abs. 1 bis 9 BayBO (gültiger Artikel zum Zeitpunkt des Urteils) rechtfertigt. Das ist hier der Fall (VGH, B.4.7.84, 597 = BRS 42, 290; Aus Kommentar zur BayBO, Stand August 1997, zu Art. 15: Brandschutz).

Schwere Folgen (Panik) können zudem bei einem Blitzeinschlag in Versammlungsstätten, Schulen, Krankenhäusern entstehen. Aus diesen Gründen ist es erforderlich, alle derart gefährdeten Bauanlagen mit dauernd wirksamen Blitzschutzanlagen zu versehen (Niedersächsische Bauordnung, Kommentar zu F. Blitzschutzanlagen (Abs. 3)).

Blitzschutzanlagen erforderlich

Bauliche Anlagen, bei denen üblicherweise eine Blitzschutzanlage vorzusehen ist – da bei ihnen von Gesetzes wegen die Notwendigkeit vorliegt – sind beispielsweise:

1. Versammlungsstätten mit Bühnen oder überdachten Szenenflächen und Versammlungsstätten für Filmvorführungen, wenn die zugehörigen Versammlungsräume jeweils einzeln oder zusammen mehr als 200 Besucher fassen;
2. Versammlungsstätten mit Versammlungsräumen, die einzeln oder zusammen mehr als 200 Besucher fassen; wobei für Schulen, Museen und ähnliche Gebäude diese Verordnung nur für die Prüfung haustechnischer Anlagen in Versammlungsräumen, die einzeln mehr als 200 Besucher fassen, und ihre Rettungswege gilt;
3. Verkaufsstätten, deren Verkaufsräume eine Nutzfläche von mehr als 2000 m^2 haben;
4. Ladenstraßenbereiche mit mehreren Verkaufsstätten, die unmittelbar oder über Rettungswege miteinander in Verbindung stehen und deren Verkaufsräume einzeln eine Nutzfläche von weniger als 2000 m^2, jedoch zusammen eine Nutzfläche von mehr als 2000 m^2 haben;
5. Ausstellungsstätten, deren Ausstellungsräume einzeln oder zusammen eine Nutzfläche von mehr als 2000 m^2 haben;
6. Gaststätten mit mehr als 400 Gastplätzen oder mit mehr als 60 Gastbetten;
7. Hochhäuser (je nach Bundesland);
8. Krankenhäuser und andere baulichen Anlagen mit entsprechender Zweckbestimmung;
9. Mittel- und Großgaragen (je nach Bundesland);
10. Bauliche Anlagen

10.1 mit Explosivstoffen, wie Munitionsfabriken, Munitions- und Sprengstofflager,

10.2 mit explosionsgefährdeten Betriebsstätten, wie Lack- und Farbenfabriken, chemische Betriebe, größere Lager brennbarer Flüssigkeiten und größere Gasbehälter,

10.3 mit besonderer Brandgefährdung, wie
- größere Holzbearbeitungsbetriebe,
- Gebäude mit weicher Bedachung,
- Lager- und Fabrikationsstätten mit großer Brandlast,

10.4 für eine größere Anzahl von Personen, wie
- Schulen,
- Alters- und Kinderheime,
- Kasernen,
- Justizvollzugsanstalten
- Bahnhöfe,

10.5 mit Kulturgütern, wie
- historisch bedeutsame Gebäude,
- Museen und Archive,

10.6 welche die Umgebung wesentlich überragen, wie
- hohe Schornsteine,
- Türme
- hohe Gebäude.

In den **Tabellen 3.1.1a und b** sind die Quellen der jeweiligen Formulierungen in den Landesbauordnungen der Länder enthalten.

Nachfolgende Aufstellung gibt einen Überblick über die einschlägigen „Allgemeinen Bestimmungen" in der Bundesrepublik Deutschland, die sich mit den Fragen der Notwendigkeit, der Ausführung und der Prüfung von Blitzschutzanlagen befassen.

Allgemeine Bestimmungen

DIN 18384:2012-09
VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Blitzschutzanlagen

Blitzschutzanlagen

Standardleistungsbuch für das Bauwesen (StLB)
Leistungsbereich 050, Blitzschutz- und Erdungsanlagen
Zweck dieses Standardleistungsbuches ist es, dass in den Leistungsbeschreibungen einheitliche und eindeutige Leistungsmerkmale genannt werden.
Diese Texte werden von allen Baubehörden, von Bund, Ländern und Gemeinden bei öffentlichen Ausschreibungen angewandt.

DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1):2011-10
Allgemeine Grundsätze – mit Berichtigung 1 (2012-03)

DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2):2013-02
Risiko-Management

Beiblatt 1 zu DIN EN 62305-2:2013-02
Blitzgefährdung in Deutschland

Beiblatt 2 zu DIN EN 62305-2:2013-02
Berechnungshilfe zur Abschätzung des Schadensrisikos für bauliche Anlagen

Bundesland		Baurechtliche Vorgaben zum Blitzschutz						Prüf-verord-nung PV [1)]
		Bau-ordnung	Sonderbauverordnungen und -richtlinien					
			Hochhaus	Kranken-haus	Schule	Versamm-lungsstätte	Verkaufs-stätte	
Alle Bundes-länder (Muster-vorschriften)	Ausgabe	(11/02)	(04/08)		(04/09)	(06/05)	(09/95)	
	Fundstelle	§ 46	6.6.2		7	§ 14 Abs. 4	§ 19	
	Prüfung							
Baden-Württemberg BW	Ausgabe	(04/07)		(04/07)		(04/04)	(02/97)	
	Fundstelle	§ 15 Abs. 2		4.4		§ 14 Abs. 4	§ 19	
	Prüfung			VI Abs. 3 3 bzw. 5 Jahre		§ 37 Abs. 3 u. 4 3 Jahre		
Bayern BY	Ausgabe	(07/09)				(07/09)	(11/07)	(11/07)
	Fundstelle	Art. 44				§ 14 Abs. 4	§ 19	§ 2 (4)
	Prüfung							
Berlin BE	Ausgabe	(06/07)						
	Fundstelle	§ 47						
	Prüfung							
Brandenburg BB	Ausgabe	(07/09)	(06/08)	(12/06)	(09/99)	(12/05)	(03/05)	
	Fundstelle	§ 12 Abs. 3	6.6.2	§ 10 Abs. 3	6	§ 14 Abs. 4	§ 19	
	Prüfung			§ 19 Abs. 1 2 Jahre				
Bremen HB	Ausgabe	(04/09)						
	Fundstelle	§ 17 Abs. 5						
	Prüfung							
Hamburg HH	Ausgabe	(02/09)				(09/07)	(08/03)	
	Fundstelle	§ 43a Abs. 2				§ 14 Abs. 4	§ 19	
	Prüfung							
Hessen HE	Ausgabe	(09/07)	(05/08)		(07/98)	(06/05)	(05/08)	
	Fundstelle	§ 13 Abs. 4	6.6.2		6	§ 14 Abs. 4	§ 19	
	Prüfung							
Mecklenburg-Vorpommern MV	Ausgabe	(05/06)	(03/09)		(03/09)	(04/03)	(05/01)	
	Fundstelle	§ 46	6.6.2		6	§ 14 Abs. 4	§ 19	
	Prüfung							
Niedersachsen NI	Ausgabe	(10/09)			(08/00)	(04/05)	(01/97)	
	Fundstelle	§ 20 Abs. 3			9	§ 14 Abs. 4	§ 19	
	Prüfung					§ 48 Abs. 1 3 Jahre		

Tabelle 3.1.1a Baurechtliche Vorgaben der Bundesländer zum Blitzschutz (Teil 1) (Quelle: VdS 2010: 2010-09 (04)

Bundesland		Baurechtliche Vorgaben zum Blitzschutz						Prüfverordnung PV [1]
		Bauordnung	Sonderbauverordnungen und -richtlinien					
			Hochhaus	Krankenhaus	Schule	Versammlungsstätte	Verkaufsstätte	
Nordrhein-Westfalen NW	Ausgabe	(10/08)	(04/05)	(04/05)	(11/05)	(11/06)	(04/05)	
	Fundstelle	§ 17 Abs. 4	§ 13 Abs. 6	§ 26	6	§ 14 Abs. 4	§ 17	
	Prüfung							
Rheinland-Pfalz RP	Ausgabe	(10/09)			(03/04)		(12/02)	(12/02)
	Fundstelle	§ 15 Abs. 5			11		§ 19	§ 2
	Prüfung		PV	PV	PV	PV	PV	Anlage 2.8 5 Jahre
Saarland SL	Ausgabe	(11/07)		(07/08)	(01/00)	(08/08)	(02/04)	
	Fundstelle	§ 44		2.20	6	§ 14 Abs. 4	§ 19	
	Prüfung							
Sachsen SN	Ausgabe	(08/09)			(03/05)	(05/08)	(04/05)	(02/08)
	Fundstelle	§ 46			2.4	§ 14 Abs. 4	2.17	§ 2
	Prüfung		PV	PV	PV	PV	PV	§ 2 Abs. 3 5 Jahre
Sachsen-Anhalt ST	Ausgabe	(12/05)				(05/08)		(07/06)
	Fundstelle	§ 45				§ 14 Abs. 4		§ 2 Abs. 2 Nr. 1
	Prüfung		PV	PV	PV	PV	PV	§ 2 Abs. 3 5 Jahre
Schleswig-Holstein SH	Ausgabe	(02/09)	(05/03)		(09/99)	(09/09)	(10/09)	
	Fundstelle	§ 47	4.9.5		6	§ 14 Abs. 4	§ 19	
	Prüfung							
Thüringen TH	Ausgabe	(07/09)			(08/99)		(06/97)	
	Fundstelle	§ 44			6		§ 19	
	Prüfung							

Stand 11/2009 – Kein Anspruch auf Vollständigkeit.

[1] In einzelnen Bundesländern sind Prüffristen in speziellen Prüverordnungen (PV) angegeben.

PV in ST = Technische Anlagenverordnung

PV in RP = Landesverordnung über die Prüfung „Haustechnische Anlagen und Einrichtungen…"

PV in NW, SN = Technische Prüfverordnung

PV in BY = Verordnung über Prüfungen von sicherheitstechnischen Anlagen und Einrichtungen (Sicherheitsanlagen-Prüfverordnung – SPrüfV)

Anmerkung 1: VDI 3819 Blatt 1 „Brandschutz in der Gebäudetechnik" enthält alle Verordnungstitel mit Ausgabedatum

Anmerkung 2: Werden in der Tabelle keine Angaben gemacht, existieren entweder keine baurechtlichen Vorgaben oder es werden keine konkreten Angaben zum Blitzschutz und zu dessen Prüfung gemacht.

Tabelle 3.1.1b Baurechtliche Vorgaben der Bundesländer zum Blitzschutz (Teil 2) (Quelle: VdS 2010: 2010-09 (04))

Beiblatt 3 zu DIN EN 62305-2:2014-xx
Zusätzliche Informationen zur Anwendung der DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2) (Erscheinungstermin voraussichtlich 2014)

DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3):2011-10
Schutz von baulichen Anlagen und Personen

Beiblatt 1 zu DIN EN 62305-3:2012-10
Zusätzliche Informationen zur Anwendung

Beiblatt 2 zu DIN EN 62305-3:2012-10
Zusätzliche Informationen für besondere bauliche Anlagen

Beiblatt 3 zu DIN EN 62305-3:2012-10
Zusätzliche Informationen für die Prüfung und Wartung von Blitzschutzsystemen

Beiblatt 4 zu DIN EN 62305-3:2008-01
Verwendung von Metalldächern in Blitzschutzsystemen

Beiblatt 5 zu DIN EN 62305-3:2014-xx
Blitz- und Überspannungsschutz für PV-Stromversorgungssysteme (Erscheinungstermin voraussichtlich Anfang 2014)

DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4):2011-10
Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen

DIN EN 50164-1 (VDE 0185-201):2009-03
Anforderungen an Verbindungsbauteile (ÜF bis 16.03.2015)
Darin werden Anforderungen an metallene Verbindungsbauteile, wie Verbinder, Anschluss- und Überbrückungsbauteile, Ausdehnungsstücke sowie Messstellen für Blitzschutzsysteme festgelegt.

DIN EN 50164-2 (VDE 0185-202):2009-03
Anforderungen an Leitungen und Erder (ÜF bis 16.03.2015)
Beschrieben werden in dieser Norm z. B. Abmessungen und Toleranzen für metallene Leiter und Erder sowie Prüfanforderungen an elektrische und mechanische Werte der Materialien.

DIN EN 50164-3 (VDE 0185-203):2009-09
Anforderungen an Trennfunkenstrecken (ÜF bis 16.03.2015)

DIN EN 50164-4 (VDE 0185-204):2009-03
Anforderungen an Leitungshalter (ÜF bis 21.02.2014)

DIN EN 50164-5 (VDE 0185-205):2009-09
Anforderungen an Revisionskästen und Erderdurchführungen (ÜF bis 28.07.2014)

DIN EN 50164-6 (VDE 0185-206):2009-09
Anforderungen an Blitzzähler (ÜF bis 28.07.2014)

DIN EN 50164-7 (VDE 0185-207):2009-03
Anforderungen an Mittel zur Verbesserung der Erdung (ÜF bis 02.01.2015)

DIN V VDE V 0185-600:2008-01
Prüfung der Eignung von beschichteten Metalldächern als natürlicher Bestandteil des Blitzschutzsystems

Spezielle Normen für Erdungsanlagen

DIN 18014:2007-09
Fundamenterder – allgemeine Planungsgrundlagen

DIN VDE 0151:1986-06
Werkstoffe und Mindestmaße von Erdern bezüglich der Korrosion

DIN EN 61936-1 (VDE 0101-1):2011-11
Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV

DIN EN 50522 (VDE 0101-2):2011-11
Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV

DIN VDE 0141:2000-01
Erdungen für spezielle Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV

DIN EN 50341-1 (VDE 0210-1):2002-03
Freileitungen mit Nennspannung über AC 45 kV

DIN EN 50162 (DIN VDE 0150):2005-05
Schutz gegen Korrosion durch Streuströme aus Gleichstromanlagen

Spezielle Normen für den inneren Blitz- und Überspannungsschutz, Potentialausgleich

In der Normenreihe VDE 0100 sind zu berücksichtigen:

DIN VDE 0100-410 (HD 60364-4-41):2007-06
Errichten von Niederspannungsanlagen, Teil 4-41 Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag

DIN VDE 0100-534 (IEC 60364-5-53):2009-02
Errichten von Niederspannungsanlagen: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Trennen, Schalten und Steuern – Abschnitt 534: Überspannungs-Schutzeinrichtungen (ÜSE)
In dieser Norm wird der Einsatz von Überspannungsschutzgeräten vom Typ I, II und III in Niederspannungsverbraucheranlagen im Einvernehmen mit dem Schutz bei indirektem Berühren behandelt.

DIN VDE 0100-540 (IEC 60364-5-54):2012-06
Errichten von Niederspannungsanlagen
Teil 5-54: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel
Erdung, Schutzleiter, Schutzpotentialausgleichsleiter
Darin sind die Bestimmungen für die Errichtung von Erdungsanlagen sowie die Maßnahmen für den Potentialausgleich enthalten.

DIN VDE 0100-443:2007-06
Errichten von Niederspannungsanlagen
Teil 4-44 – Abschnitt 443: Schutzmaßnahmen – Schutz bei Überspannungen infolge atmosphärischer Einflüsse oder von Schaltvorgängen, Störspannungen und elektromagnetischen Störgrößen

DIN VDE 0100-444:2010-10
Schutz gegen elektromagnetische Störungen (EMI) in Anlagen von Gebäuden

DIN EN 60664-1 (DIN VDE 0110-1):2008-01
Isolationskoordination für elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen – Teil 1: Grundsätze, Anforderungen und Prüfungen
In dieser Norm werden die Mindestisolationsstrecken, deren Auswahl sowie die Bemessungs-Stoßspannungen für die Überspannungskategorien I bis IV festgelegt. Im Beiblatt 1 sind Bemessungsbeispiele und Isolationsprüfungen enthalten.

VDN Richtlinie:2004-08
Überspannungs-Schutzeinrichtungen Typ 1 – Richtlinie für den Einsatz von Überspannungs-Schutzeinrichtungen (ÜSE) Typ 1 (bisher Anforderungsklasse B) in Hauptstromversorgungssystemen.
Darin werden der Einsatz und die Installation von Überspannungsschutzgeräten vom Typ 1 im Vorzählerbereich beschrieben.

Spezielle Normen für PV-Anlagen

DIN VDE 0100-712:2006-06
Solar-Photovoltaik – (PV) – Stromversorgungssysteme

DIN CLC/TS 50539-12 (VDE V 0675-39-12):2010-09
Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Photovoltaik-Installationen – mit Berichtigung 1 (2011-01)

Spezielle Normen für elektronische Systeme wie Fernsehen, Rundfunk, Datentechnik (Fernmeldeanlagen)

DIN VDE 0800-1:1989-05
Allgemeine Begriffe, Anforderungen und Prüfungen für die Sicherheit der Anlagen und Geräte

DIN V VDE V 0800-2:2011-06
Informationstechnik – Teil 2: Potentialausgleich und Erdung
Im Teil 2 werden alle Anforderungen an die Funktion einer Fernmeldeanlage hinsichtlich Erdung und Potentialausgleich zusammengefasst.

DIN VDE 0800-10:1991-03
Übergangsfestlegungen für Errichtung und Betrieb der Anlagen sowie ihre Stromversorgung
Der Teil 10 beinhaltet Anforderungen für das Errichten, Erweitern, Ändern und Betreiben von Fernmeldeanlagen. In Abschnitt 6.3 werden Überspannungsschutzmaßnahmen gefordert.

DIN EN 50310 (DIN VDE 0800-2-310):2011-05
Anwendung von Maßnahmen für Erdung und Potentialausgleich in Gebäuden mit Einrichtungen der Informationstechnik

DIN EN 61643-21 (VDE 0845-3-1):2013-07
Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung – Teil 21: Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Telekommunikations- und signalverarbeitenden Netzwerken – Leistungsanforderungen und Prüfverfahren

DIN CLC/TS 61643-22 (VDE V 0845-3-2):2007-09
Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Telekommunikations- und signalverarbeitenden Netzwerken – Auswahl- und Anwendungsprinzipien

DIN EN 60728-11 (DIN VDE 0855-1):2011-06
Kabelnetze für Fernsehsignale, Tonsignale und interaktive Dienste – Teil 11: Sicherheitsanforderungen
Im Abschnitt 11 von Teil 1 werden Maßnahmen zum Schutz gegen atmosphärische Entladungen (Erdung des Antennenträgers, Potentialausgleich) gefordert.

DIN VDE 0855-300 (VDE 0855-300):2008-08
Kleine Sende-/Empfangs-Antennenanlagen, Sicherheitsanforderungen
Im Abschnitt 12 von Teil 300 werden der Blitz-/Überspannungsschutz und die Erdung von Antennenanlagen beschrieben.

DIN EN 61663-1 (VDE 0845-4-1):2000-07
Telekommunikationsleitungen, Teil 1: Lichtwellenleiteranlagen
Die Norm beschreibt hierzu ein Verfahren zur Berechnung der möglichen Schadensanzahl sowie zur Auswahl der anwendbaren Schutzmaßnahmen und gibt die zulässige Schadenshäufigkeit an. Es werden jedoch nur Primärfehler (Betriebsunterbrechung) und keine Sekundärfehler (Beschädigung des Kabelmantels (Lochbildung)) betrachtet.

DIN EN 61663-2 (VDE 0845-4-2):2002-07
Telekommunikationsleitungen, Teil 2: Telekommunikationsleitungen mit metallischen Leitern.

Die Anwendung dieser Norm gilt nur für den Blitzschutz von Telekommunikations- und Signalleitungen mit metallischen Leitern, die sich außerhalb von Gebäuden befinden (z. B. Zugangsnetze der Festnetzanbieter, Leitungen zwischen Gebäuden).

Besondere Anlagen

DIN EN 1127-1:2011-10
Explosionsschutz Teil 1: Grundlagen und Methodik
Diese Norm ist ein Leitfaden für das Verhüten von Explosionen und für den Schutz von Explosionsauswirkungen durch Maßnahmen beim Entwurf und bei der Ausführung von Geräten, Schutzsystemen und Komponenten.
Im Abschnitt 5.7 und 6.4.8 wird grundsätzlich ein Schutz gegen die Auswirkungen durch einen Blitzeinschlag gefordert, wenn die Anlagen gefährdet sind.

DIN EN 60079-14 (VDE 0165-1):2009-05
Projektierung, Auswahl und Einrichtung elektrischer Anlagen
Im Abschnitt 6.5 wird darauf hingewiesen, dass die Auswirkungen von Blitzeinschlägen berücksichtigt werden müssen. Ein sehr umfassender Potentialausgleich ist in allen Ex-Zonen gefordert.

VDE Schriftenreihe 65
„Elektrischer Explosionsschutz nach DIN VDE 0165"; VDE Verlag Berlin, Anhang 9: „PTB-Merkblatt für den Blitzschutz an eigensicheren Stromkreisen, die in Behälter mit brennbaren Flüssigkeiten eingeführt sind"

Normen können über folgende Adressen bezogen werden:

VDE VERLAG GMBH
Bismarckstr. 33
10625 Berlin
Telefon: (030) 34 80 01-0
Fax: (030) 341 70 93
eMail: vertrieb@vde-verlag.de
Internet: www.vde-verlag.de

oder: Beuth-Verlag GmbH
Burggrafenstraße 6
10787 Berlin
Telefon: (030) 2601-0
Fax: (030) 2601-1260
Internet: www.beuth.de

3.2 Erläuterungen zur DIN EN 62305-2: Risikomanagement

Ein vorausschauendes Risikomanagement beinhaltet, Risiken für das Unternehmen zu kalkulieren. Es liefert Entscheidungsgrundlagen, um diese Risiken zu begrenzen, und es macht transparent, welche Risiken sinnvollerweise über Versicherungen abgedeckt werden sollten. Beim Versicherungsmanagement ist jedoch zu bedenken, dass zur Erreichung bestimmter Ziele Versicherungen nicht immer geeignet sind, z. B. für die Erhaltung der Lieferfähigkeit. Eintrittswahrscheinlichkeiten bestimmter Risiken lassen sich durch Versicherungen nicht verändern.
Bei Unternehmen, die mit umfangreichen elektronischen Einrichtungen produzieren oder Dienstleistungen erbringen – und das sind heutzutage wohl die meisten –, muss auch das Risiko durch Blitzeinwirkungen eine besondere Berücksichtigung finden. Dabei ist zu beachten, dass der Schaden aufgrund der Nicht-Verfügbarkeit der elektronischen Einrichtungen und damit der Produktion bzw. der Dienstleistung sowie ggf. der Verlust von Daten den physikalischen Hardware-Schaden an der betroffenen Anlage oft bei Weitem übersteigt.
Blitzschutz-Risikoanalysen haben die Objektivierung und Quantifizierung der Gefährdung von baulichen Anlagen und ihrer Inhalte durch direkte und indirekte Blitzeinschläge zum Ziel. In Deutschland hatte dieses neue Denken seinen Niederschlag zuerst 2002 in der Vornorm DIN V 0185-2/VDE V 0185 Teil 2 gefunden. Diese Vornorm wurde 2006 durch die Norm DIN EN 62305-2 abgelöst, die nun in der zweiten Ausgabe vorliegt.
Die in der DIN EN 62305-2 (internationaler Basis-Standard: IEC 62305-2) vorgegebene Risikoanalyse gewährleistet, dass ein für alle Beteiligten nachvollziehbares Blitzschutz-Konzept erstellt werden kann, das technisch und wirtschaftlich optimiert ist, d. h. bei möglichst geringem Aufwand den notwendigen Schutz sicherstellen kann. Die sich aus der Risikoanalyse ergebenden Schutzmaßnahmen sind dann in den weiteren Normenteilen 3 und 4 der Reihe DIN EN 62305 (internationale Basis-Standards: IEC 62305-3 und IEC 62305-4) detailliert beschrieben.

3.2.1 Schadensquellen, Schadensursachen und Schadensarten

Die eigentlichen **Schadensquellen** sind Blitzeinschläge, die abhängig von der Einschlagstelle in vier Gruppen unterteilt sind (**Tabelle 3.2.1.1**):

S1 direkter Blitzeinschlag in die bauliche Anlage;

S2 Blitzeinschlag neben der baulichen Anlage;

S3 direkter Blitzeinschlag in die eingeführte Versorgungsleitung;

S4 Blitzeinschlag neben der eingeführten Versorgungsleitung.

Diese Schadensquellen können unterschiedliche **Schadensursachen** hervorrufen, die letztlich die Verluste bewirken. Die Norm kennt drei Schadensursachen:

D1 Verletzung von Lebewesen durch elektrischen Schlag, verursacht durch Berührungs- und Schrittspannungen;

D2 Feuer, Explosion, mechanische und chemische Wirkungen durch physikalische Auswirkungen der Blitzentladung;

D3 Ausfälle von elektrischen und elektronischen Systemen durch Überspannungen.

Je nach Bauart, Nutzung und Wesen der baulichen Anlage können die relevanten Verluste sehr unterschiedlich sein. Die DIN EN 62305-2 gruppiert sie in folgende vier **Schadensarten**:

L1 Verlust von Menschenleben (Verletzung oder Tod von Personen);

L2 Verlust von Dienstleistungen für die Öffentlichkeit;

L3 Verlust von unersetzlichem Kulturgut;

L4 Wirtschaftliche Verluste.

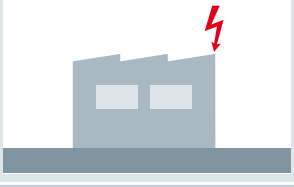
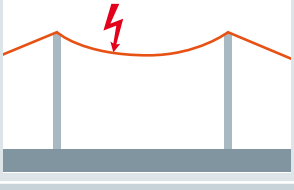
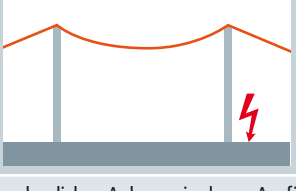
Die genannten Schadensarten können durch unterschiedliche Schadensursachen hervorgerufen werden. Die Schadensursachen stellen damit in einer Kausalbeziehung die „Ursache" im eigentlichen Sinne dar, die Schadensarten die „Wirkung" (**Tabelle 3.2.1.1**). Die möglichen Schadensursachen für eine Schadensart können sehr vielfältig sein. Daher müssen zunächst die relevanten Schadensarten für eine bauliche Anlage definiert werden. Daran anschließend lassen sich die zu bestimmenden Schadensursachen festlegen.

3.2.2 Grundlagen der Risikoabschätzung

Das Gesamtrisiko R für einen Blitzschaden ist nach DIN EN 62305-2 die Summe über alle für die jeweilige Schadensart relevanten Risiko-Komponenten R_X. Die einzelne Risikokomponente R_X ergibt sich aus der Beziehung:

$$R_x = N_x \cdot P_x \cdot L_x$$

N_X Anzahl der gefährlichen Ereignisse, d. h., die Häufigkeit eines Blitzeinschlags mit Schadensfolge in die jeweils zu betrachtende Fläche: „Wie viele gefährliche Ereignisse treten pro Jahr auf?";

Einschlagstelle	Beispiel	Schadensursache	Schadensart
Bauliche Anlage S1		D1 D2 D3	L1, L4[b] L1, L2, L3, L4 L1[a], L2, L4
Neben baulicher Anlage S2		D3	L1[a], L2, L4
Eingeführte Versorgungsleitung S3		D1 D2 D3	L1, L4[b] L1, L2, L3, L4 L1[a], L2, L4
Neben eingeführter Versorgungsleitung S4		D3	L1[a], L2, L4

a Im Falle von Krankenhäusern und anderen baulichen Anlagen, in denen Ausfälle von inneren Systemen unmittelbar Menschenleben bedrohen, und explosionsgefährdeten Anlagen

b Im Falle von landwirtschaftlichen Anwesen (Verlust von Tieren)

Tabelle 3.2.1.1 Schadensquellen, Schadensursachen und Schadensarten in Abhängigkeit von der Einschlagstelle

P_X Schadenswahrscheinlichkeit: „Mit welcher Wahrscheinlichkeit richtet ein gefährliches Ereignis einen bestimmten Schaden an?";

L_X Verlustfaktor, d. h., die quantitative Bewertung der Schäden: „Welche Auswirkungen, Schadenshöhen, Ausmaße, Konsequenzen hat ein bestimmter Schaden?".

Die Aufgabe der Risikoabschätzung umfasst also die Bestimmung der drei Parameter N_X, P_X, L_X für alle relevanten Risiko-Komponenten R_X. Durch Vergleich des Gesamtrisikos R mit einem akzeptierbaren Risiko R_T können dann Aussagen über die Erfordernisse und die Dimensionierung von Blitzschutzmaßnahmen getroffen werden.

Eine Ausnahme bildet die Betrachtung der wirtschaftlichen Verluste. Für diese Schadensart müssen sich die Schutzmaßnahmen aus einer rein wirtschaftlichen Betrachtungsweise begründen lassen. Hier gibt es also kein akzeptierbares Risiko R_T; stattdessen ist eine Kosten-Nutzen-Analyse angebracht.

3.2.3 Häufigkeiten von gefährlichen Ereignissen

Unterschieden werden folgende Häufigkeiten von gefährlichen Ereignissen, die relevant für eine bauliche Anlage sein können:

N_D verursacht durch direkte Blitzeinschläge in die bauliche Anlage;

N_M verursacht durch nahe Blitzeinschläge mit magnetischen Wirkungen;

N_L verursacht durch direkte Blitzeinschläge in eingeführte Versorgungsleitungen;

N_I verursacht durch Blitzeinschläge neben eingeführten Versorgungsleitungen.

Die detaillierte Berechnung ist im Anhang A der DIN EN 62305-2 dargestellt.

Die jährliche Erdblitzdichte N_G für das betreffende Gebiet kann für einfache Fälle dem Beiblatt 1 zur DIN EN 62305-2 entnommen werden (**Bild 3.2.3.1**). Die lokalen Werte der Erdblitzdichte können bei feinerem Raster noch deutlich von diesen Werten abweichen. Für große öffentliche oder industrielle Projekte werden diese genaueren Daten empfohlen, die kommerziell erhältlich sind (www.vds.de).

Es wird weiter empfohlen, für Risikoabschätzungen nach DIN EN 62305-2 die Werte aus **Bild 3.2.3.1** zu verdoppeln. Damit wird konservativ berücksichtigt, dass ein Erdblitz mehrere, räumlich voneinander getrennte Fußpunkte auf der Erdoberfläche und mehrere Folgeblitze mit jeweils hohen Stromsteilheiten haben kann.

Direkte Blitzeinschläge

Für direkte Blitzeinschläge in die bauliche Anlage gilt:

$$N_D = N_G \cdot A_D \cdot C_D \cdot 10^{-6}$$

A_D ist die äquivalente Fangfläche der freistehenden baulichen Anlage in m^2 (**Bild 3.2.3.2**), C_D ein Standortfaktor, mit dem der Einfluss der näheren Umgebung des Standortes (Bebauung, Gelände, Bäume etc.) berücksichtigt werden kann (**Tabelle 3.2.3.1**).

Für eine freistehende, rechteckförmige bauliche Anlage mit der Länge L, der Breite W und der Höhe H auf einer ebenen Fläche ergibt sich die Einfangfläche beispielsweise zu:

$$A_D = L \cdot W + 2 \cdot (3 \cdot H) \cdot (L + W) + \pi \cdot (3 \cdot H)^2$$

Nahe Blitzeinschläge

Für nahe Blitzeinschläge mit magnetischen Wirkungen gilt:

$$N_M = N_G \cdot A_M \cdot 10^{-6}$$

A_M ergibt sich, wenn im Abstand von 500 m um die bauliche Anlage herum eine Linie gezogen wird (**Bild 3.2.3.3**). Blitzeinschläge in die Fläche A_M führen zu magnetisch induzierten Überspannungen in Installationsschleifen im Inneren der baulichen Anlage.

Blitzeinschläge in Versorgungsleitungen

Für direkte Blitzeinschläge in eine eingeführte Versorgungsleitung gilt:

$$N_L = N_G \cdot A_L \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6}$$

Dabei wird N_L verstanden als die jährliche Anzahl von Überspannungen auf dem Leitungsabschnitt, deren Maximalwert mindestens 1 kV beträgt.

C_I ist der Installationsfaktor der Versorgungsleitung (**Tabelle 3.2.3.2**), mit dem berücksichtigt wird, ob es sich um eine Freileitung oder ein erdverlegtes Kabel handelt. Befindet sich innerhalb der Fläche A_L keine Nieder-, sondern eine Mittelspannungsleitung, so wird durch den dann erforderlichen Transformator die Höhe der Überspannungen am Eintritt in die bauliche Anlage reduziert. Dies wird über den Transformatorfaktor C_T berücksichtigt (**Tabelle 3.2.3.3**). C_E schließlich ist der Umgebungsfaktor (**Tabelle 3.2.3.4**), der die Dichte der Bebauung im Bereich der Versorgungsleitung und damit die Wahrscheinlichkeit eines Einschlags angibt.

Die Einfangfläche für direkte Blitzeinschläge in die Versorgungsleitung (**Bild 3.2.3.3**) ergibt sich zu:

$$A_L = 40 \cdot L_L$$

wobei L_L die Länge des Abschnitts der Versorgungsleitung ist. Ist die Länge des Abschnitts der Versorgungsleitung nicht be-

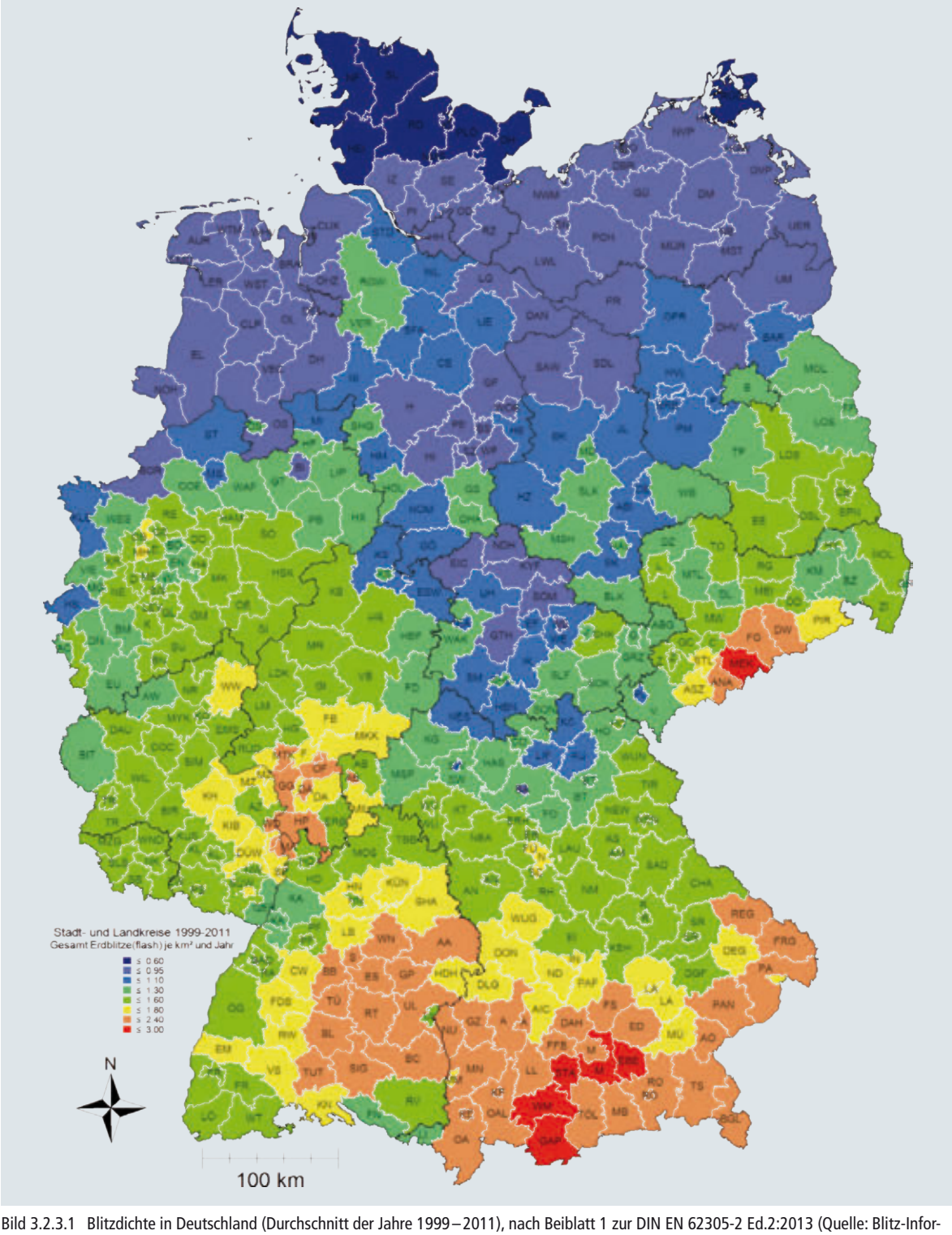


Bild 3.2.3.1 Blitzdichte in Deutschland (Durchschnitt der Jahre 1999 – 2011), nach Beiblatt 1 zur DIN EN 62305-2 Ed.2:2013 (Quelle: Blitz-Informations-Dienst von Siemens)

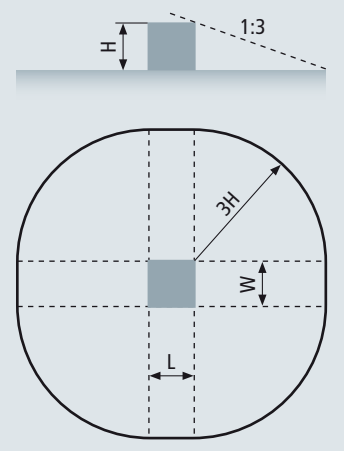


Bild 3.2.3.2 Äquivalente Einfangfläche A_D für direkte Blitzeinschläge in eine freistehende bauliche Anlage

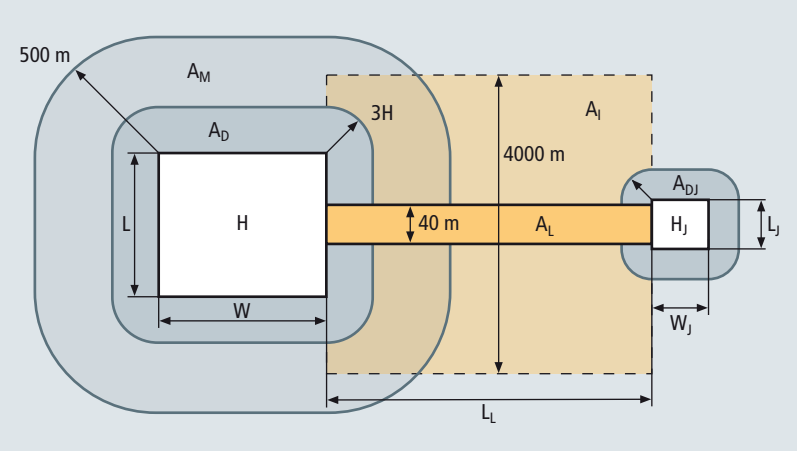


Bild 3.2.3.3 Äquivalente Einfangflächen A_M, A_L, A_I für indirekte Blitzeinschläge bezüglich der baulichen Anlage

Relative Lage der baulichen Anlage	C_D
Objekt ist umgeben von höheren Objekten	0,25
Objekt ist umgeben von Objekten mit gleicher oder niedrigerer Höhe	0,5
Freistehendes Objekt: keine weiteren Objekte in der Nähe (innerhalb einer Entfernung von 3H)	1
Freistehendes Objekt auf einer Bergspitze oder einer Kuppe	2

Tabelle 3.2.3.1 Standortfaktor C_D

Art der Leitungsverlegung	C_I
Freileitung	1
Erdverlegt	0,5
Erdverlegte Kabel, die vollständig innerhalb einer engmaschig vernetzten Erdungsanlage verlegt sind (s. Abschnitt 5.2 von EN 62305-4)	0,01

Tabelle 3.2.3.2 Installationsfaktor C_I

Transformator	C_T
LV-Stromversorgungsleitung, Telekommunikations- oder Datenleitung	1
HV-Stromversorgungsleitung (mit HV-/LV-Transformator)	0,2

Tabelle 3.2.3.3 Transformatorfaktor C_T

Umgebung	C_E
Ländlich	1
Vorstädtisch	0,5
Städtisch	0,1
Städtisch mit hohen Gebäuden (größer als 20 m)	0,01

Tabelle 3.2.3.4 Umgebungsfaktor C_E

kannt, soll als ein Worst-Case-Wert von L_L = 1000 m angenommen werden.
Blitzeinschläge innerhalb der Fläche A_L führen in der betrachteten baulichen Anlage zu einer in der Regel energiereichen Entladung, die ein Feuer, eine Explosion, eine mechanische oder eine chemische Wirkung erzeugen kann. Die Häufigkeit N_L beinhaltet also nicht nur Überspannungen mit der Folge von Fehlern oder Schäden an den elektrischen und elektronischen Systemen, sondern ebenso mechanische und thermische Effekte bei der Blitzeinwirkung.

Für Blitzeinschläge neben einer eingeführten Versorgungsleitung, die Überspannungen auf dieser Leitung verursachen, deren Maximalwert mindestens 1 kV beträgt, gilt:

$$N_I = N_G \cdot A_I \cdot C_I \cdot C_E \cdot C_T \cdot 10^{-6}$$

Dabei sind die gleichen Randbedingungen und Korrekturfaktoren (**Tabellen 3.2.3.2 bis 3.2.3.4**) wie im Falle direkter Einschläge gültig.
Die Einfangfläche für Blitzeinschläge neben die Versorgungsleitung (**Bild 3.2.3.3**) ergibt sich zu:

$$A_I = 4000 \cdot L_L$$

wobei L_L wieder die Länge des Abschnitts der Versorgungsleitung wiedergibt. Ist die Länge des Abschnitts der Versorgungsleitung nicht bekannt, soll ein Worst-Case-Wert von L_L = 1 000 m angenommen werden.

Wenn die Versorgungsleitung mehr als einen Abschnitt hat, müssen die Werte für N_L und N_I für jeden betroffenen Leitungsabschnitt berechnet werden. Zu berücksichtigen sind die Abschnitte zwischen der baulichen Anlage und dem ersten Knotenpunkt, maximal aber bis zu einer Entfernung von 1000 m von der baulichen Anlage.
Wenn in die bauliche Anlage mehr als eine Versorgungsleitung auf unterschiedlichen Wegen eingeführt wird, müssen die Berechnungen für jede Versorgungsleitung einzeln durchgeführt werden. Für den Fall dagegen, dass in die bauliche Anlage mehr als eine Versorgungsleitung auf gleichem Weg eingeführt wird, müssen die Berechnungen nur für die Versorgungsleitung mit den ungünstigsten Eigenschaften durchgeführt werden, d. h., für die Versorgungsleitung mit den höchsten Werten für N_L und N_I, die an die inneren Systeme mit dem geringsten Wert der Isolationsfestigkeit angeschlossen ist (Telekommunikationsleitung gegenüber Stromversorgungsleitung, ungeschirmte Leitung gegenüber geschirmter Leitung, LV-Stromversorgungsleitung gegenüber HV-Stromversorgungsleitung mit HV-/LV-Transformator etc.). Für den Fall von Versorgungsleitungen, deren Einfangflächen sich überlagern, soll die überlagerte Fläche nur einfach berücksichtigt werden.

3.2.4 Schadenswahrscheinlichkeiten

Der Parameter „Schadenswahrscheinlichkeit" gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein gefährliches Ereignis einen ganz bestimmten Schaden verursacht. Der Wert der Schadenswahrscheinlichkeit kann maximal 1 betragen (d. h. der Schaden tritt bei jedem gefährlichen Ereignis ein). Unterschieden werden die folgenden acht Schadenswahrscheinlichkeiten:

Bei einem direkten Blitzeinschlag in die bauliche Anlage (S1):

P_A Elektrischer Schlag bei Lebewesen

P_B Physikalische Auswirkungen, d. h. Feuer, Explosion, mechanische und chemische Wirkung

P_C Ausfall von elektrischen / elektronischen Systemen.

Bei einem Blitzeinschlag in den Erdboden neben der baulichen Anlage (S2):

P_M Ausfall von elektrischen / elektronischen Systemen.

Bei einem direkten Blitzeinschlag in eine eingeführte Versorgungsleitung (S3):

P_U Elektrischer Schlag bei Lebewesen

P_V Physikalische Auswirkungen, d. h. Feuer, Explosion, mechanische und chemische Wirkung

P_W Ausfall von elektrischen / elektronischen Systemen.

Bei einem Blitzeinschlag in den Erdboden neben einer eingeführten Versorgungsleitung (S4):

P_Z Ausfall von elektrischen / elektronischen Systemen.

Diese Schadenswahrscheinlichkeiten sind detailliert im Anhang B der DIN EN 62305-2 dargestellt. Sie können entweder direkt aus Tabellen abgelesen werden oder sie ergeben sich als Funktion einer Kombination verschiedener Einflussfaktoren. Dabei sei noch darauf hingewiesen, dass grundsätzlich auch andere, abweichende Werte möglich sind, wenn sie auf detaillierten Untersuchungen bzw. Abschätzungen beruhen. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick zu den einzelnen Schadenswahrscheinlichkeiten gegeben; weitere ausführlichere Angaben sind der DIN EN 62305-2 direkt zu entnehmen.

Schadenswahrscheinlichkeiten bei direkten Blitzeinschlägen

Die Werte der Wahrscheinlichkeit P_A für den elektrischen Schlag bei Lebewesen durch Berührungs- und Schrittspannungen aufgrund eines direkten Blitzeinschlags in die bauliche Anlage hängen vom angewendeten Blitzschutzsystem und von weiteren Schutzmaßnahmen ab:

$$P_A = P_{TA} \cdot P_B$$

P_{TA} beschreibt dabei die typischen Schutzmaßnahmen gegen Berührungs- und Schrittspannungen (**Tabelle 3.2.4.1**). P_B hängt ab von der Schutzklasse des Blitzschutzsystems nach DIN EN 62305-3 (**Tabelle 3.2.4.2).**
Wenn mehr als eine Vorkehrung angewendet wird, ist der Wert für P_{TA} das Produkt der entsprechenden Werte. Ferner ist zu beachten, dass die Schutzmaßnahmen zur Verringerung von P_A nur in baulichen Anlagen wirksam sind, die durch ein Blitzschutzsystem (LPS) geschützt sind oder die eine durchgehende Gebäudekonstruktion aus Metall oder aus Stahlbetonbewehrung aufweisen, die als natürliches LPS wirkt, sofern die Anforderungen an den Potentialausgleich und die Erdung nach DIN EN 62305-3 erfüllt sind. Weitere Angaben zu den Schutzmaßnahmen sind im Abschnitt 5 enthalten.
Die Schadenswahrscheinlichkeit P_B zur Beschreibung eines physikalischen Schadens, d. h. Feuer, Explosion, mechanische oder chemische Auswirkung in oder an einer baulichen Anlage durch direkten Blitzeinschlag, ergibt sich direkt aus **Tabelle 3.2.4.2**.
Die Wahrscheinlichkeit P_C dass ein direkter Blitzeinschlag in eine bauliche Anlage einen Ausfall innerer Systeme verursacht, ist vom installierten koordinierten SPD-Schutz abhängig:

$$P_C = P_{SPD} \cdot C_{LD}$$

Zusätzliche Schutzmaßnahme	P_{TA}
Keine Schutzmaßnahmen	1
Warnhinweise	10^{-1}
Elektrische Isolierung (z. B. mit mindestens 3 mm vernetztem Polyethylen) von exponierten Teilen (z. B. Ableitungen)	10^{-2}
Wirksame Potentialsteuerung im Erdboden	10^{-2}
Physikalische Einschränkungen oder Verwendung der Gebäudekonstruktion als Ableitungseinrichtung	0

Tabelle 3.2.4.1 Werte der Wahrscheinlichkeit P_{TA}, dass ein Blitzeinschlag in eine bauliche Anlage einen elektrischen Schlag für Lebewesen durch gefährliche Berührungs- und Schrittspannungen verursacht

Eigenschaften der baulichen Anlage	Klasse des Blitzschutzsystems (LPS)	P_B
Bauliche Anlage ist nicht durch ein LPS geschützt	–	1
Bauliche Anlage ist durch ein LPS geschützt	IV	0,2
	III	0,1
	II	0,05
	I	0,02
Bauliche Anlage mit einer Fangeinrichtungsanlage für Blitzschutzklasse I und einer durchgehenden metallenen Gebäudekonstruktion (auch Bewehrung), die als natürliche Ableitungseinrichtung dient		0,01
Bauliche Anlage mit einem metallenen Dach oder einer Fangeinrichtungsanlage (die auch natürliche Komponenten beinhalten kann), sodass ein vollständiger Schutz aller Dachaufbauten gegen direkte Blitzschläge besteht, und einer durchgehenden metallenen Gebäudekonstruktion (auch Bewehrung), die als natürliche Ableitungseinrichtung dient.		0,001

Tabelle 3.2.4.2 Schadenswahrscheinlichkeit P_B zur Beschreibung der Schutzmaßnahmen gegen physikalische Schäden

LPL	P_{SPD}
Kein koordinierter Überspannungsschutz	1
III-IV	0,05
II	0,02
I	0,01
Überspannungsschutzgeräte mit einer Schutzcharakteristik besser als für LPL I (höhere Blitzstromtragfähigkeit, geringerer Schutzpegel etc.)	0,005 – 0,001

Tabelle 3.2.4.3 Schadenswahrscheinlichkeit P_{SPD} zur Beschreibung der Schutzmaßnahme koordinierter Überspannungsschutz, in Abhängigkeit vom Gefährdungspegel LPL

P_{SPD} hängt ab vom koordinierten SPD-System nach DIN EN 62305-4 und vom Gefährdungspegel (LPL), für den die SPDs ausgelegt sind. Werte für P_{SPD} sind in **Tabelle 3.2.4.3** angegeben. Ein koordiniertes SPD-System trägt nur dann zur Verringerung von P_C bei, wenn die bauliche Anlage durch ein LPS geschützt ist oder wenn in baulichen Anlagen durchgehende metallene oder bewehrte Beton-Konstruktionen bestehen, die als natürliches LPS ausgebildet sind, wobei die Anforderungen an den Potentialausgleich und die Erdung nach DIN EN 62305-3 eingehalten werden. Die Werte für P_{SPD} dürfen verringert werden, wenn die ausgewählten SPDs bessere Schutzeigenschaften (höhere Stromtragfähigkeit I_N, niedrigerer Schutzpegel U_P etc.) aufweisen als für den Gefährdungspegel I an den betreffenden Installationsstellen gefordert wird (vgl. DIN EN 62305-1, Tabelle A.3 für Informationen zu Stromtragfähigkeiten sowie DIN EN 62305-1, Anhang E und DIN EN 62305-4, Anhang D für Blitzstromaufteilungen). Die gleichen Anhänge können auch für SPDs mit höheren Wahrscheinlichkeiten von P_{SPD} genutzt werden.

C_{LD} ist ein Faktor zur Berücksichtigung von Schirmung, Erdung und Isolationseigenschaften der Versorgungsleitung, an die das innere System angeschlossen ist. Werte für C_{LD} sind in **Tabelle 3.2.4.4** angegeben.

Schadenswahrscheinlichkeit bei nahen Blitzeinschlägen

Die Wahrscheinlichkeit P_M, dass ein Blitzeinschlag neben einer baulichen Anlage den Ausfall innerer Systeme in der baulichen Anlage verursacht, hängt von den angewendeten Schutzmaßnahmen bezüglich der elektrischen und elektronischen Einrichtungen (SPM) ab. Ein gitterartiges Blitzschutzsystem, eine Schirmung, Verlegegrundsätze für die Verkabelung, eine erhöhte Bemessungs-Stehstoßspannung, isolierende Trennschichten und koordinierte SPD-Systeme sind als Schutzmaßnahme geeignet, um P_M zu reduzieren. Die Wahrscheinlichkeit P_M folgt aus:

$$P_M = P_{SPD} \cdot P_{MS}$$

P_{SPD} ergibt sich nach **Tabelle 3.2.4.3**, sofern ein koordiniertes SPD-System vorliegt, das die Anforderungen nach EN 62305-4 erfüllt. Die Werte des Faktors P_{MS} sind aus dem nachfolgenden Produkt zu erhalten:

$$P_{MS} = (K_{S1} \cdot K_{S2} \cdot K_{S3} \cdot K_{S4})^2$$

K_{S1} die Schirmungswirksamkeit der baulichen Anlage, LPS oder anderer Schirmungen an den Grenzen LPZ 0/1;

K_{S2} die Schirmungswirksamkeit von inneren Schirmungen der baulichen Anlage an den Grenzen LPZ X/Y (X > 0, Y > 1);

K_{S3} die Eigenschaften der inneren Verkabelung (**Tabelle 3.2.4.5**);

K_{S4} die Bemessungs-Stehstoßspannung des zu schützenden Systems.

Art der externen Versorgungsleitung	Anbindung am Eintritt	C_{LD}	C_{LI}
Ungeschirmte Freileitung	Beliebig	1	1
Ungeschirmte erdverlegte Leitung	Beliebig	1	1
Stromversorgungsleitung mit mehrfach geerdetem Neutralleiter	Keine	1	0,2
Geschirmte erdverlegte Leitung (Stromversorgungs- oder Telekommunikationsleitung)	Schirme nicht mit der PA-Schiene verbunden, an der die Einrichtungen geerdet sind	1	0,3
Geschirmte Freileitung (Stromversorgungs- oder Telekommunikationsleitung)	Schirme nicht mit der PA-Schiene verbunden, an der die Einrichtungen geerdet sind	1	0,1
Geschirmte erdverlegte Leitung (Stromversorgungs- oder Telekommunikationsleitung)	Schirme mit der PA-Schiene verbunden, an der die Einrichtungen geerdet sind	1	0
Geschirmte Freileitung (Stromversorgungs- oder Telekommunikationsleitung)	Schirme mit der PA-Schiene verbunden, an der die Einrichtungen geerdet sind	1	0
Blitzschutzkabel oder Verlegung im Blitzschutzkabelkanal, in metallenen Schirmungen oder metallenen Rohren	Schirme mit der PA-Schiene verbunden, an der die Einrichtungen geerdet sind	0	0
(Keine externe Versorgungsleitung)	Keine Verbindung zu externen Versorgungsleitungen (autarke Einrichtungen)	0	0
Beliebige Art	Isolierende Trennschichten nach DIN EN 62305-4	0	0

Tabelle 3.2.4.4 Werte der Faktoren C_{LD} und C_{LI} in Abhängigkeit von Schirmung, Erdung und Isolationseigenschaften

Art der inneren Verkabelung	K_{S3}
Ungeschirmtes Kabel – keine Vorkehrungen zur Vermeidung von Installationsschleifen (Schleifen aus Leitungen mit verschiedenen Installationswegen in großen Gebäuden; d. h. eine Schleifenfläche in der Größenordnung von 50 m^2)	1
Ungeschirmtes Kabel – mit Vorkehrungen zur Vermeidung großer Installationsschleifen (Schleifen aus Leitungen, die im selben Installationsrohr verlaufen, oder Schleifen aus Leitungen mit verschiedenen Installationswegen in kleinen Gebäuden; d. h. eine Schleifenfläche in der Größenordnung von 10 m^2)	0,2
Ungeschirmtes Kabel – mit Vorkehrungen zur Vermeidung von Installationsschleifen (Schleifen aus Leitungen, die im selben Kabel verlaufen; d. h. eine Schleifenfläche in der Größenordnung von 0,5 m^2)	0,01
Geschirmte Kabel und Kabel, die in durchgehenden metallischen Schirmungen verlaufen (die Kabelschirme und metallischen Schirmungen sind an beiden Enden an eine Potentialausgleichschiene angeschlossen, an der auch die Einrichtungen geerdet sind)	0,0001

Tabelle 3.2.4.5 Werte des Faktors K_{S3} in Abhängigkeit von der inneren Verkabelung

Sofern Einrichtungen mit isolierenden Trennschichten verwendet werden, die aus Isoliertransformatoren mit geerdeter Schirmung zwischen den Wicklungen, Lichtwellenweitern oder Optokopplern bestehen, kann $P_{MS} = 0$ angenommen werden.

Die Faktoren K_{S1} und K_{S2} für LPS oder räumliche gitterartige Schirme können wie folgt abgeschätzt werden:

$$K_{S1} = 0{,}12 \cdot w_{m1}$$

$$K_{S2} = 0{,}12 \cdot w_{m2}$$

Dabei sind w_{m1} (m) und w_{m2} (m) die Maschenweiten der gitterartigen räumlichen Schirme oder der maschenartigen Ableitungen des LPS oder der Abstand zwischen Metallstäben der baulichen Anlage oder der Abstand zwischen der bewehrten Beton-Konstruktion, die als natürliches LPS wirkt.

Der Faktor K_{S4} ist zu berechnen mit:

$$K_{S4} = \frac{1}{U_W}$$

Dabei ist U_W die Bemessungs-Stehstoßspannung des zu schützenden Systems in kV. Der Höchstwert von K_{S4} ist auf 1 begrenzt. Wenn in einem inneren System Einrichtungen mit unterschiedlichen Werten der Stehstoßspannungsfestigkeit vorhanden sind, muss der Faktor K_{S4} entsprechend dem kleinsten Wert der Stehstoßspannung ausgewählt werden.

Schadenswahrscheinlichkeiten bei direkten Blitzeinschlägen in Versorgungsleitungen

Die Werte der Wahrscheinlichkeit P_U für Verletzungen von Lebewesen innerhalb der baulichen Anlage durch Berührungsspannungen aufgrund eines direkten Blitzeinschlags in eine Versorgungsleitung, die in die bauliche Anlage eingeführt ist, hängen von den Eigenschaften der Schirmung der Versorgungsleitung, der Stehstoßspannungsfestigkeit der an die Versorgungsleitung angeschlossenen inneren Systeme, den Schutzmaßnahmen (physikalische Einschränkungen oder Warnhinweise) und von den vorgesehenen isolierenden Trennschichten oder SPDs an der Einführungsstelle in die bauliche Anlage nach DIN EN 62305-3 ab:

$$P_U = P_{TU} \cdot P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD}$$

Schutzmaßnahme	P_{TU}
Keine Schutzmaßnahme	1
Warnhinweise	10^{-1}
Elektrische Isolierung	10^{-2}
Physikalische Einschränkungen	0

Tabelle 3.2.4.6 Werte der Wahrscheinlichkeit P_{TU}, dass ein Blitzeinschlag in eine Versorgungsleitung einen elektrischen Schlag für Lebewesen durch gefährliche Berührungsspannungen verursacht

LPL	P_{EB}
Kein SPD	1
III – IV	0,05
II	0,02
I	0,01
Überspannungsschutzgeräte mit einer Schutzcharakteristik besser als für LPL I (höhere Blitzstromtragfähigkeit, geringerer Schutzpegel etc.)	0,005 – 0,001

Tabelle 3.2.4.7 Schadenswahrscheinlichkeit P_{EB} zur Beschreibung der Schutzmaßnahme Blitzschutz-Potentialausgleich, in Abhängigkeit vom Gefährdungspegel LPL

Art der Versorgungsleitung	Verlegeart, Schirmung und Potentialausgleich		Stehstoßspannung U_w in kV				
			1	1,5	2,5	4	6
Stromversorgungs- oder Telekommunikationsleitungen	Freileitung oder erdverlegte Leitung, ungeschirmt oder geschirmt, sofern der Schirm nicht mit der PA-Schiene verbunden ist, an der die Einrichtungen geerdet sind		1	1	1	1	1
	Geschirmte Freileitung oder erdverlegte Leitung, deren Schirm mit der PA-Schiene verbunden ist, an der die Einrichtungen geerdet sind	5 Ω/km < RS ≤ 20 Ω/km	1	1	0,95	0,9	0,8
		1 Ω/km < RS ≤ 5 Ω/km	0,9	0,8	0,6	0,3	0,1
		RS ≤ 1 Ω/km	0,6	0,4	0,2	0,04	0,02

Tabelle 3.2.4.8 Werte der Wahrscheinlichkeit P_{LD} in Abhängigkeit vom Widerstand des Kabelschirms R_S und der Stehstoßspannung U_W der Einrichtungen

P_{TU} beschreibt Schutzmaßnahmen gegen Berührungsspannungen, wie physikalische Einschränkungen und Warnhinweise (**Tabelle 3.2.4.6**). Sofern mehr als eine Vorkehrung angewendet wird, ist der Wert für P_{TU} das Produkt der entsprechenden Werte.

P_{EB} ist die Wahrscheinlichkeit, die vom Blitzschutz-Potentialausgleich (EB) gemäß DIN EN 62305-3 und vom Gefährdungspegel (LPL), für den die SPDs ausgelegt sind, abhängt (**Tabelle 3.2.4.7**). Die Werte für P_{EB} dürfen ebenfalls verringert werden, wenn die ausgewählten SPDs bessere Schutzeigenschaften (höhere Stromtragfähigkeit I_N, niedrigerer Schutzpegel U_P etc.) aufweisen als für den Gefährdungspegel I an den betreffenden Installationsstellen gefordert ist. Für die Verringerung von P_U ist kein koordiniertes SPD-System nach DIN EN 62305-4 notwendig; SPDs nach DIN EN 62305-3 sind hier ausreichend.

P_{LD} ist die Wahrscheinlichkeit hinsichtlich der Ausfälle innerer Systeme durch Blitzeinschlag in eine angeschlossene Versorgungsleitung, abhängig von den Eigenschaften der Versorgungsleitung (**Tabelle 3.2.4.8**). Der Faktor C_{LD} zur Berücksichtigung von Schirmung, Erdung und Isolationseigenschaften der Versorgungsleitung ergibt sich wiederum aus **Tabelle 3.2.4.4**.

Die Werte der Wahrscheinlichkeit P_V eines **physikalischen Schadens** aufgrund eines Blitzeinschlags in eine Versorgungsleitung, die in eine bauliche Anlage eingeführt ist, hängen ebenfalls von den Eigenschaften der Schirmung der Versorgungsleitung, der Stehstoßspannungsfestigkeit der an die Versorgungsleitung angeschlossenen inneren Systeme und den vorgesehenen isolierenden Trennschichten oder SPDs an der Einführungsstelle in die bauliche Anlage nach DIN EN 62305-3 ab (auch hier ist also kein koordiniertes SPD-System nach DIN EN 62305-4 notwendig):

$$P_V = P_{EB} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD}$$

Die Werte der Wahrscheinlichkeit P_W, dass ein Blitzeinschlag in eine Versorgungsleitung, die in eine bauliche Anlage eingeführt ist, einen **Ausfall innerer Systeme** verursacht, hängen von den Eigenschaften der Schirmung der Versorgungsleitung, der Stehstoßspannungsfestigkeit der an die Versorgungsleitung angeschlossenen inneren Systeme und den vorgesehenen isolierenden Trennschichten oder SPDs nach DIN EN 62305-4 ab (hier ist also ein koordiniertes SPD-System erforderlich):

$$P_W = P_{SPD} \cdot P_{LD} \cdot C_{LD}$$

Die Werte für P_{EB}, P_{SPD}, P_{LD} und C_{LD} ergeben sich aus den **Tabellen 3.2.4.3, 3.2.4.4, 3.2.4.7 und 3.2.4.8**.

Schadenswahrscheinlichkeiten bei indirekten Blitzeinschlägen in Versorgungsleitungen

Die Versorgungsleitung wird nicht direkt getroffen; die Blitzeinschlagstelle liegt nun nahe der Leitung. Dabei sind energiereiche Einkopplungen eines Blitzteilstroms auf die Versorgungsleitung auszuschließen. Es verbleibt allerdings die Möglichkeit von magnetisch induzierten Spannungen auf der Leitung.

Die Werte der Wahrscheinlichkeit P_Z, dass ein Blitzeinschlag neben einer Versorgungsleitung, die in eine bauliche Anlage eingeführt ist, einen Ausfall innerer Systeme verursacht, hängen von den Eigenschaften der Schirmung der Versorgungsleitung, der Stehstoßspannungsfestigkeit der an die Versorgungsleitung angeschlossenen inneren Systeme und den vorgesehenen isolierenden Trennschichten oder SPDs nach DIN EN 62305-4 ab:

Art der Versorgungsleitung	Stehstoßspannung U_w in kV				
	1	1,5	2,5	4	6
Stromversorgungsleitungen	1	0,6	0,3	0,16	0,1
Telekommunikationsleitungen	1	0,5	0,2	0,08	0,04

Tabelle 3.2.4.9 Werte der Wahrscheinlichkeit P_{LI} in Abhängigkeit von der Art der Versorgungsleitung und der Stehstoßspannung U_W der Einrichtungen

$$P_Z = P_{SPD} \cdot P_{LI} \cdot C_{LI}$$

P_{SPD} ergibt sich wiederum aus **Tabelle 3.2.4.3**. P_{LI} ist die Wahrscheinlichkeit von Ausfällen innerer Systeme durch Blitzeinschlag neben eine angeschlossene Versorgungsleitung und ist abhängig von den Eigenschaften der Versorgungsleitung (**Tabelle 3.2.4.9**). C_{LI} ist ein Faktor zur Berücksichtigung von Schirmung, Erdung und Isolationseigenschaften der Versorgungsleitung, der bereits in **Tabelle 3.2.4.4** dargestellt ist.

3.2.5 Verluste

Ist ein bestimmter Schaden in einer baulichen Anlage eingetreten, ist die Auswirkung dieses Schadens zu bewerten. So kann z. B. ein Fehler oder Schaden an einer informationstechnischen Anlage sehr unterschiedliche Konsequenzen nach sich ziehen. Sofern keine geschäftsrelevanten Daten verloren gehen, ist ggf. lediglich der Hardware-Schaden in Höhe von wenigen Tausend Euro zu beklagen. Hängt allerdings das gesamte Geschäft einer Unternehmung von einer ständigen Verfügbarkeit der IT-Anlage ab (Call-Center, Bank, Automatisierungstechnik), so addiert sich zum Hardware-Schaden ein ungleich höherer Folgeschaden (z. B. Kundenunzufriedenheit, Kundenabwanderung, Entgehen von Geschäftsvorgängen, Produktionsausfall). Zur Bewertung der Schadensauswirkung dient der Verlust L (diese Terminologie ist in DIN EN 62305-2 nicht wirklich glücklich gewählt; Schadensfaktor oder Verlustwert wäre hier wohl treffender). Dabei erfolgt grundsätzlich eine Aufteilung nach den Schadensursachen D1 bis D3 in:

L_t Verluste aufgrund Verletzungen durch elektrischen Schlag, als Folge von Berührungs- und Schrittspannungen (D1);

L_f Verluste aufgrund physikalischer Schäden (D2);

L_o Verluste aufgrund des Ausfalls elektrischer und elektronischer Systeme (D3).

Je nach relevanter Schadensart L1 … L4 werden damit das Ausmaß eines Schadens, die Schadenshöhe oder die Konsequenzen bewertet. In Anhang C der DIN EN 62305-2 sind die Berechnungsgrundlagen für die Verluste der vier Schadensarten angegeben. Diese werden im folgenden Abschnitt ebenfalls wieder etwas verkürzt dargestellt. Vorangestellt wird noch die Behandlung von Reduktions- und Erhöhungsfaktoren.

In den nachstehenden Abschnitten werden stets Parameterwerte und Gleichungen für verschiedene Zonen einer baulichen Anlage definiert. Es ist aber auch für jede bauliche Anlage möglich, sie nur durch eine einzige Zone zu beschreiben, d. h., die Zone umfasst die bauliche Anlage vollständig.

Reduktions- und Erhöhungsfaktoren

Zusätzlich zu den eigentlichen Verlustfaktoren behandelt Anhang C auch noch drei Reduktionsfaktoren und einen Erhöhungsfaktor:

r_t Reduktionsfaktor für die Auswirkungen von Schritt- und Berührungsspannungen, abhängig von der Art des Erdbodens außerhalb der baulichen Anlage oder des Fußbodens innerhalb (**Tabelle 3.2.5.1**);

r_p Reduktionsfaktor für Maßnahmen zur Verringerung der Folgen eines Brandes (**Tabelle 3.2.5.2**);

r_f Reduktionsfaktor zur Beschreibung des Brand- und Explosionsrisikos einer baulichen Anlage (**Tabelle 3.2.5.3**);

h_z Faktor, der den relativen Wert bei Verlusten von Menschenleben (L1) durch die Panik-Gefahr erhöht (**Tabelle 3.2.5.4**).

Verlust von Menschenleben (L1)

Der Verlust muss für jede relevante Risikokomponente bezüglich der baulichen Anlage ermittelt werden. Des Weiteren kann die bauliche Anlage in mehrere Zonen untergliedert sein,

Art der Oberfläche	Kontaktwiderstand in kΩ[a]	r_t
Landwirtschaftlich genutzte Fläche, Beton	≤ 1	10^{-2}
Marmor, Keramik	1 – 10	10^{-3}
Kies, Plüsch, Teppiche	10 – 100	10^{-4}
Asphalt, Linoleum, Holz	≥ 100	10^{-5}

[a] Werte gemessen zwischen einer 400-cm²-Elektrode, aufgepresst mit einer Kraft von 500 N, und einer unendlich weit entfernten Referenzstelle

Tabelle 3.2.5.1 Werte des Reduktionsfaktors r_t in Abhängigkeit von der Art der Oberfläche des Erdbodens oder Fußbodens

Maßnahmen	r_p
Keine Maßnahmen	1
Eine der folgenden Maßnahmen: Feuerlöscher, festinstallierte handbetätigte Feuerlöschanlagen, handbetätigte Alarmanlagen, Hydranten, brandsichere Abschnitte, geschützte Fluchtwege	0,5
Eine der folgenden Maßnahmen: festinstallierte automatische Feuerlöschanlagen, automatische Alarmanlagen	0,2

Tabelle 3.2.5.2 Werte des Reduktionsfaktors r_p in Abhängigkeit von vorgesehenen Maßnahmen zur Verringerung der Folgen eines Brandes

Risiko	Umfang des Risikos	r_f
Explosion	Zone 0, 20 und feste Explosivstoffe	1
	Zone 1, 21	10^{-1}
	Zone 2, 22	10^{-3}
Brand	Hoch	10^{-1}
	Normal	10^{-2}
	Gering	10^{-3}
Explosion oder Brand	Keines	0

Tabelle 3.2.5.3 Werte des Reduktionsfaktors r_f in Abhängigkeit vom Brandrisiko einer baulichen Anlage

Art der besonderen Gefährdung	h_z
Keine besondere Gefährdung	1
Geringe Panikgefahr (z. B. bei baulichen Anlagen mit höchstens zwei Etagen und einer Personenanzahl bis 100)	2
Durchschnittliche Panikgefahr (z. B. bei baulichen Anlagen für kulturelle oder sportliche Veranstaltungen mit 100 bis 1000 Besuchern)	5
Schwierigkeiten bei der Evakuierung (z. B. von baulichen Anlagen mit hilfsbedürftigen Personen, Krankenhäusern)	5
Große Panikgefahr (z. B. bei baulichen Anlagen für kulturelle oder sportliche Veranstaltungen mit mehr als 1000 Besuchern)	10

Tabelle 3.2.5.4 Werte des Faktors h_z, der den relativen Wert eines Verlustes für die Schadensart L1: „Verlust von Menschenleben bei Vorhandensein einer besonderen Gefährdung" erhöht

sodass die Verluste zudem auf die einzelnen Zonen aufgeteilt werden müssen.

Der Wert des Verlustes hängt damit ab von den Eigenschaften der Zone, die durch Erhöhungsfaktoren (h_z) und Reduktionsfaktoren (r_t, r_p, r_f) bestimmt sind, nämlich von dem Verhältnis zwischen der Anzahl der Personen in der Zone (n_z) zu der Anzahl der Personen in der gesamten baulichen Anlage (n_t) und von der Zeit in Stunden pro Jahr, während sich Personen in der Zone aufhalten (t_z), zu den 8760 Stunden pro Jahr. Es ergeben sich damit bis zu acht Verlustwerte:

$$L_A = L_U = \frac{r_t \cdot L_T \cdot n_Z}{n_t} \cdot \frac{t_z}{8760}$$

$$L_B = L_V = \frac{r_p \cdot r_f \cdot h_Z \cdot L_F \cdot n_Z}{n_t} \cdot \frac{t_z}{8760}$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = \frac{L_O \cdot n_Z}{n_t} \cdot \frac{t_z}{8760}$$

L_T typischer, mittlerer Prozentsatz von Personen, die durch elektrischen Schlag (D1) bei einem gefährlichen Ereignis verletzt werden;

L_F typischer, mittlerer Prozentsatz von Personen, die durch physikalische Schäden (D2) bei einem gefährlichen Ereignis verletzt werden;

L_O typischer, mittlerer Prozentsatz von Personen, die durch den Ausfall innerer Systeme (D3) bei einem gefährlichen Ereignis verletzt werden;

r_t Faktor, der den Verlust von Menschenleben in Abhängigkeit von der Art des Erdbodens oder Fußbodens verringert;

Schadensursache	Typischer Verlustwert		Art der baulichen Anlage
D1: Verletzungen	L_T	10^{-2}	Alle Arten
D2: Physikalische Schäden	L_F	10^{-1}	Explosionsrisiko
		10^{-1}	Krankenhaus, Hotel, Schule, Öffentliches Gebäude
		$5 \cdot 10^{-2}$	Gebäude mit Unterhaltungseinrichtung, Kirche, Museum
		$2 \cdot 10^{-2}$	Industrieanlage, wirtschaftlich genutzte Anlage
		10^{-2}	Sonstige
D3: Ausfälle von inneren Systemen	L_O	10^{-1}	Explosionsrisiko
		10^{-2}	Intensivstation und Operationstrakt eines Krankenhauses
		10^{-3}	Andere Bereiche eines Krankenhauses

Tabelle 3.2.5.5 Schadensart L1: Typische Mittelwerte für L_T, L_F und L_O

r_p Faktor, der den Verlust aufgrund physikalischer Schäden in Abhängigkeit von den Maßnahmen zur Verringerung der Folgen eines Brandes reduziert;

r_f Faktor, der den Verlust aufgrund physikalischer Schäden in Abhängigkeit vom Brand- oder Explosionsrisiko der baulichen Anlage verringert

h_z Faktor, der den Verlust aufgrund eines physikalischen Schadens bei Vorhandensein einer speziellen Gefährdung erhöht;

n_z Anzahl der Personen in der Zone;

n_t Gesamtanzahl von Personen in der baulichen Anlage;

t_z Zeit in Stunden je Jahr, zu der sich Personen in der Zone aufhalten.

Für L_T, L_F und L_O werden in der DIN EN 62305-2 typische Mittelwerte gemäß einer sehr groben Einteilung von baulichen Anlagen angegeben (**Tabelle 3.2.5.5**). Diese Werte können für konkrete bauliche Anlagen unter Berücksichtigung der Anzahl möglicherweise betroffener Personen, deren eigenständiger Mobilität und deren Exponiertheit gegenüber Blitzeinwirkungen modifiziert und angepasst werden. Die Werte der **Tabelle 3.2.5.5** setzen eine dauerhafte Anwesenheit von Personen in der baulichen Anlage voraus.

Im Fall einer baulichen Anlage mit Explosionsrisiko kann eine detailliertere Abschätzung von L_f und L_O erforderlich sein, wobei die Art der baulichen Anlage, das Explosionsrisiko, die Einteilung in Explosionsschutzzonen und die Maßnahmen zur Risikoverringerung beachtet werden.

Wenn die Gefährdung für Personen durch direkten Blitzeinschlag in eine bauliche Anlage sich auch auf benachbarte bauliche Anlagen oder die Umgebung erstrecken kann (z. B. bei chemischen oder radioaktiven Emissionen), sollten die zusätzlichen Verluste von Menschenleben durch physikalische Schäden (L_{BE} und L_{VE}) bei der Abschätzung der gesamten Verluste (L_{BT} und L_{VT}) mit berücksichtigt werden:

$$L_{BT} = L_B + L_{BE}$$

$$L_{VT} = L_V + L_{VE}$$

$$L_{BE} = L_{VE} = \frac{L_{FE} \cdot t_e}{8760}$$

L_{FE} Verlust aufgrund physikalischer Schäden außerhalb der baulichen Anlage;

t_e Zeit, in der sich Personen an gefährdeten Stellen außerhalb der baulichen Anlage aufhalten.

Wenn die Zeit t_e unbekannt ist, soll dabei $t_e/8760 = 1$ angenommen werden. L_{FE} soll von der Stelle vorgelegt werden, welche die Explosionsschutzdokumente erarbeitet.

Unannehmbarer Verlust einer Dienstleistung für die Öffentlichkeit

Der Verlust von Dienstleistungen für die Öffentlichkeit wird von den Eigenschaften der baulichen Anlage bzw. ihren Zonen bestimmt. Diese werden wieder durch Reduktionsfaktoren (r_p, r_f) berücksichtigt. Daneben wird das Verhältnis zwischen der Anzahl von versorgten Nutzern in der Zone (n_z) zu der Anzahl von versorgten Nutzern in der gesamten baulichen Anlage (n_t) benötigt. Es ergeben sich damit bis zu sechs Verlustwerte:

$$L_B = L_V = \frac{r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot n_Z}{n_t}$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = \frac{L_O \cdot n_Z}{n_t}$$

L_F typischer, mittlerer Prozentsatz von nicht versorgten Nutzern durch physikalische Schäden (D2) bei einem gefährlichen Ereignis;

L_O typischer, mittlerer Prozentsatz von nicht versorgten Nutzern durch den Ausfall innerer Systeme (D3) bei einem gefährlichen Ereignis;

r_p Faktor, der den Verlust aufgrund physikalischer Schäden in Abhängigkeit von den Maßnahmen zur Verringerung der Folgen eines Brandes reduziert;

r_f Faktor, der den Verlust aufgrund physikalischer Schäden in Abhängigkeit vom Brand- oder Explosionsrisiko der baulichen Anlage verringert;

n_z Anzahl der versorgten Nutzer in der Zone;

n_t Gesamtanzahl der versorgten Nutzer in der baulichen Anlage.

Für L_F und L_O werden in der DIN EN 62305-2 typische Mittelwerte gemäß einer Einteilung in Versorgungsdienstleistungen angegeben (**Tabelle 3.2.5.6**). Diese Werte beinhalten auch eine Wertigkeit der Versorgungsdienstleistungen für die Gesellschaft. Sie können ggf. für konkrete bauliche Anlagen unter Berücksichtigung der Exponiertheit gegenüber Blitzeinwirkungen und auch einer abweichenden Wertigkeit modifiziert und angepasst werden.

Verlust von unersetzlichem Kulturgut (L3)

Der Verlust von unersetzlichem Kulturgut wird von den Eigenschaften der baulichen Anlage bzw. ihren Zonen bestimmt. Diese werden durch Reduktionsfaktoren (r_p, r_f) berücksichtigt. Daneben ist hier das Verhältnis zwischen dem Wert der Zone (c_z) und dem Gesamtwert (Gebäude und Inhalt) der ganzen baulichen Anlage (c_t) von Bedeutung. Es ergeben sich damit die beiden, hier relevanten Verlustwerte:

$$L_B = L_V = \frac{r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot c_Z}{c_t}$$

L_F typischer, mittlerer Prozentsatz für den Wert aller beschädigten Güter durch physikalische Schäden (D2) bei einem gefährlichen Ereignis;

r_p Faktor, der den Verlust aufgrund physikalischer Schäden in Abhängigkeit von den Maßnahmen zur Verringerung der Folgen eines Brandes reduziert;

r_f Faktor, der den Verlust aufgrund physikalischer Schäden in Abhängigkeit vom Brand- oder Explosionsrisiko der baulichen Anlage verringert;

c_z der Wert des Kulturgutes in der Zone;

c_t der Gesamtwert von Gebäude und Inhalt der baulichen Anlage (Summe aller Zonen).

Für L_F wird in der DIN EN 62305-2 ein typischer Mittelwert angegeben (**Tabelle 3.2.5.7**). Für konkrete bauliche Anlagen kann dieser Wert natürlich unter Beachtung der Exponiertheit gegenüber Blitzeinwirkungen modifiziert und angepasst werden.

Wirtschaftliche Verluste

Auch der wirtschaftliche Verlust wird zunächst von den Eigenschaften der Zone bestimmt. Diese werden durch Reduktionsfaktoren (r_t, r_p, r_f) berücksichtigt. Des Weiteren muss zur Abschätzung der Beschädigungen in einer Zone das Verhältnis zwischen dem maßgeblichen Wert in der Zone zum Gesamtwert (c_t) der kompletten baulichen Anlage gegeben sein.

Der Gesamtwert einer baulichen Anlage kann Tiere, Gebäude, Inhalt und innere Systeme einschließlich ihrer Aktivitäten umfassen. Der maßgebliche Wert hängt von der Schadensursache ab (**Tabelle 3.2.5.8**).

Es ergeben sich damit bis zu acht Verlustwerte:

$$L_A = L_U = \frac{r_t \cdot L_T \cdot c_a}{c_t}$$

$$L_B = L_V = \frac{r_p \cdot r_f \cdot L_F \cdot (c_a + c_b + c_c + c_s)}{c_t}$$

$$L_C = L_M = L_W = L_Z = \frac{L_O \cdot c_s}{c_t}$$

L_T typischer, mittlerer Prozentsatz für den wirtschaftlichen Wert aller beschädigten Güter durch elektrischen Schlag (D1) bei einem gefährlichen Ereignis;

L_F typischer, mittlerer Prozentsatz für den wirtschaftlichen Wert aller beschädigten Güter durch physikalische Schäden (D2) bei einem gefährlichen Ereignis;

L_O typischer, mittlerer Prozentsatz für den wirtschaftlichen Wert aller beschädigten Güter durch den Ausfall innerer Systeme (D3) bei einem gefährlichen Ereignis;

r_t Faktor, der den Verlust von Tieren in Abhängigkeit von der Art des Erdbodens oder Fußbodens verringert;

r_p Faktor, der den Verlust aufgrund physikalischer Schäden in Abhängigkeit von den Maßnahmen zur Verringerung der Folgen eines Brandes reduziert;

r_f Faktor, der den Verlust aufgrund physikalischer Schäden in Abhängigkeit vom Brand- oder Explosionsrisiko der baulichen Anlage verringert;

c_a Wert der Tiere in der Zone;

c_b Wert des Gebäudes, maßgeblich für die Zone;

c_c Wert des Inhalts in der Zone;

c_s Wert der inneren Systeme in der Zone, einschließlich ihrer Aktivitäten;

c_t Gesamtwert der baulichen Anlage (Summe aller Zonen für Tiere, Gebäude, Inhalt und innere Systeme, einschließlich ihrer Aktivitäten).

Schadensursache	Typischer Verlustwert		Art der Dienstleistung
D2: Physikalische Schäden	L_F	10^{-1}	Gas, Wasser, Stromversorgung
		10^{-2}	TV, Telekommunikation
D3: Ausfälle innerer Systeme	L_O	10^{-2}	Gas, Wasser, Stromversorgung
		10^{-3}	TV, Telekommunikation

Tabelle 3.2.5.6 Schadensart L2: Typische Mittelwerte für L_F und L_O

Schadensursache	Typischer Verlustwert		Art der Dienstleistung
D2: Physikalische Schäden	L_F	10^{-1}	Museum, Galerie

Tabelle 3.2.5.7 Schadensart L3: Typischer Mittelwert für L_F

Für L_T, L_F und L_O werden in der DIN EN 62305-2 typische Mittelwerte gemäß einer sehr groben Einteilung von baulichen Anlagen angegeben (**Tabelle 3.2.5.9**). Diese Werte können für konkrete bauliche Anlagen unter Berücksichtigung der Exponiertheit gegenüber Blitzeinwirkungen und der Schadensgeneigtheit modifiziert und angepasst werden.
Abschnitt 3.2.5 behandelt lediglich die Festlegung der Verlustwerte. Das weitere Vorgehen zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von Schutzmaßnahmen ist in Abschnitt 3.2.9 diskutiert.
Wenn der wirtschaftliche Schaden an einer baulichen Anlage durch Blitzeinschlag sich auch auf benachbarte bauliche Anlagen oder die Umgebung erstrecken kann (z. B. bei chemischen oder radioaktiven Emissionen), sollten die zusätzlichen Verluste durch physikalische Schäden (L_{BE} und L_{VE}) bei der Abschätzung der gesamten Verluste (L_{BT} und L_{VT}) mit berücksichtigt werden:

$$L_{BT} = L_B + L_{BE}$$

$$L_{VT} = L_V + L_{VE}$$

$$L_{BE} = L_{VE} = \frac{L_{FE} \cdot c_e}{c_t}$$

L_{FE} Verlust aufgrund physikalischer Schäden außerhalb der baulichen Anlage;

c_e Gesamtwert der Güter an gefährdeten Stellen außerhalb der baulichen Anlage;

L_{FE} soll von der Stelle vorgelegt werden, welche die Explosionsschutzdokumente erarbeitet.

3.2.6 Relevante Risiko-Komponenten bei unterschiedlichen Blitzeinschlägen

Zwischen Schadensursache, Schadensart und den sich daraus ergebenden relevanten Risiko-Komponenten besteht ein enger Zusammenhang. In Abhängigkeit von den Schadensquellen S1 bis S4 (bzw. von der Einschlagstelle der Blitzentladung) ergeben sich folgende Risiko-Komponenten (**Tabelle 3.2.6.1**):

Bei einem direkten Blitzeinschlag in die bauliche Anlage (S1):

R_A Risiko für elektrischen Schock bei Lebewesen

R_B Risiko für physikalische Schäden

R_C Risiko für Ausfälle von elektrischen und elektronischen Systemen.

Schadensursache	Bedeutung	Wert	Bedeutung
D1	Verletzungen von Tieren durch elektrischen Schlag	c_a	Wert der Tiere
D2	Physikalische Schäden	$c_a + c_b + c_c + c_s$	Wert aller Güter
D3	Ausfälle innerer Systeme	c_s	Wert der inneren Systeme und ihrer Aktivitäten

Tabelle 3.2.5.8 Schadensart L4: Relevante Werte in Abhängigkeit von der Schadensursache

Schadensursache	Typischer Verlustwert		Art der baulichen Anlage
D1: Verletzungen durch elektrischen Schlag	L_T	10^{-2}	Alle Arten
D2: Physikalische Schäden	L_F	1	Explosionsrisiko
		0,5	Krankenhaus, Industrieanlage, Museum, landwirtschaftlich genutzte Anlage
		0,2	Hotel, Schule, Bürogebäude, Kirche, Gebäude mit Unterhaltungseinrichtung, wirtschaftlich genutzte Anlage
		0,1	Sonstige
D3: Ausfälle von inneren Systemen	L_O	10^{-1}	Explosionsrisiko
		10^{-2}	Krankenhaus, Industrieanlage, Bürogebäude, Hotel, wirtschaftlich genutzte Anlage
		10^{-3}	Museum, landwirtschaftlich genutzte Anlage, Schule, Kirche, Gebäude mit Unterhaltungseinrichtung
		10^{-4}	Sonstige

Tabelle 3.2.5.9 Schadensart L4: Typische Mittelwerte für L_T, L_F and L_O

Schadensquelle / Schadensursache	S1 Blitzeinschlag in eine bauliche Anlage	S2 Blitzeinschlag neben einer baulichen Anlage	S3 Blitzeinschlag in eine eingeführte Versorgungsleitung	S4 Blitzeinschlag neben einer Versorgungsleitung
D1: Verletzung von Lebewesen durch elektrischen Schlag	$R_A = N_D \cdot P_A \cdot L_A$		$R_U = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_U \cdot L_U$	
D2: Physikalischer Schaden	$R_B = N_D \cdot P_B \cdot L_B$		$R_V = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_V \cdot L_V$	
D3: Ausfall elektrischer und elektronischer Systeme	$R_C = N_D \cdot P_C \cdot L_C$	$R_M = N_M \cdot P_M \cdot L_C$	$R_W = (N_L + N_{DJ}) \cdot P_W \cdot L_W$	$R_Z = N_I \cdot P_Z \cdot L_Z$
	$R_d = R_A + R_B + R_C$	$R_i = R_M + R_U + R_V + R_W + R_Z$		

Anmerkung: Bei den Risikokomponenten R_U, R_V und R_W kommt neben der Häufigkeit von direkten Blitzeinschlägen in die Versorgungsleitung N_L noch die Häufigkeit von direkten Blitzeinschlägen in die verbundene bauliche Anlage N_{DJ} hinzu (vgl. **Bild 3.2.3.3**).

Tabelle 3.2.6.1 Risiko-Komponenten für verschiedene Einschlagstellen (Schadensquellen) und Schadensursachen

Schadensart	R_T (1/Jahr)
L1: Verlust von Menschenleben oder dauerhafte Verletzung	10^{-5}
L2: Verlust von Dienstleistungen für die Öffentlichkeit	10^{-3}
L3: Verlust von unersetzlichem Kulturgut	10^{-4}

Tabelle 3.2.7.1 Typische Werte für das akzeptierbare Risiko R_T

Bei einem Blitzeinschlag in den Erdboden neben der baulichen Anlage (S2):

R_M Risiko für Ausfälle von elektrischen und elektronischen Systemen.

Bei einem direkten Blitzeinschlag in eine eingeführte Versorgungsleitung (S3):

R_U Risiko für elektrischen Schock bei Lebewesen

R_V Risiko für physikalische Schäden

R_W Risiko für Ausfälle von elektrischen und elektronischen Systemen.

Bei einem Blitzeinschlag in den Erdboden neben einer eingeführten Versorgungsleitung (S4):

R_Z Risiko für Ausfälle von elektrischen und elektronischen Systemen.

Die insgesamt acht Risiko-Komponenten lassen sich auch hinsichtlich der Blitzeinschlagstelle zusammenfassen:

R_d Risiko durch einen direkten Blitzeinschlag in die bauliche Anlage (S1)

R_i Risiko durch alle in Bezug auf die bauliche Anlage indirekten Blitzeinschläge (S2 bis S4).

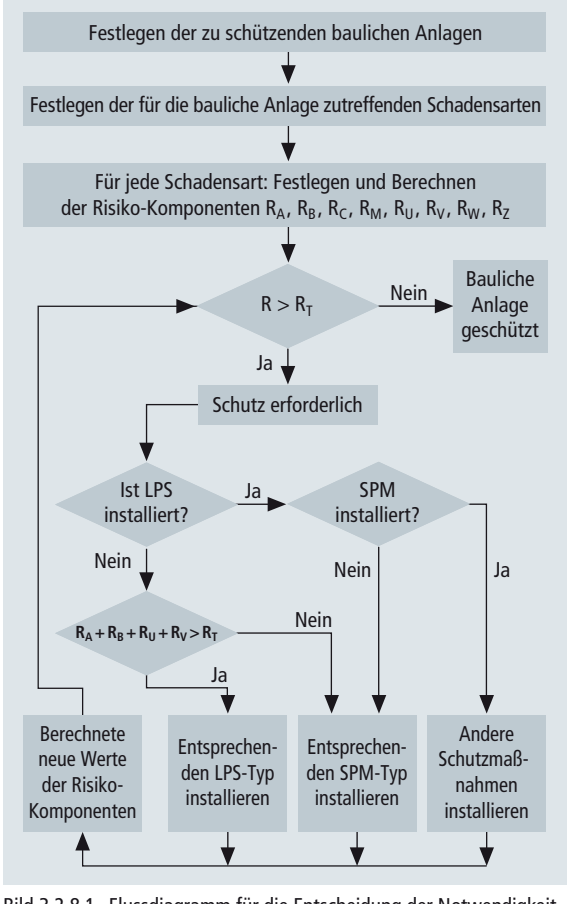


Bild 3.2.8.1 Flussdiagramm für die Entscheidung der Notwendigkeit eines Schutzes und für die Auswahl von Schutzmaßnahmen im Falle der Schadensarten L1 bis L3

3.2.7 Akzeptierbares Schadensrisiko von Blitzschäden

Bei der Entscheidung über die Auswahl von Blitzschutzmaßnahmen ist zu prüfen, ob das für die jeweils relevanten Schadensarten ermittelte Schadensrisiko R einen akzeptierbaren (also noch tolerierbaren) Wert R_T überschreitet oder nicht. Dies gilt allerdings nur für die drei Schadensarten L1 bis L3, die von einem sogenannten öffentlichen Interesse sind. Hier muss für eine gegen Blitzeinwirkungen ausreichend geschützte bauliche Anlage gelten:

$$R \leq R_T$$

Tabelle 3.2.7.1 zeigt die in der DIN EN 62305-2 angegebenen Werte für R_T für diese drei Schadensarten.

3.2.8 Auswahl von Blitzschutzmaßnahmen

Die Maßnahmen des Blitzschutzes sollen das Schadensrisiko R auf Werte unter dem akzeptierbaren Schadensrisiko R_T begrenzen. Durch die detaillierte Berechnung der Schadensrisiken für die jeweils relevanten Schadensarten und durch die Aufteilung in die einzelnen Risiko-Komponenten, R_A, R_B, R_C, R_M, R_U, R_V, R_W und R_Z, kann die Auswahl von Blitzschutzmaßnahmen für eine konkrete bauliche Anlage äußerst gezielt vorgenommen werden. Das Vorgehen zeigt das Flussdiagramm aus der DIN EN 62305-2 (**Bild 3.2.8.1**). Geht man davon aus, dass das errechnete Schadensrisiko R größer ist als das akzeptierbare Schadensrisiko R_T, so wird zunächst weiter untersucht, ob das Risiko für elektrischen Schlag und für physikalische Schäden durch direkten Blitzeinschlag in die bauliche Anlage und in die eingeführten Versorgungsleitungen ($R_A + R_B + R_U + R_V$) das akzeptierbare Schadensrisiko R_T überschreitet. Ist dies der Fall, muss ein geeignetes Blitzschutzsystem (äußerer und/oder innerer Blitzschutz) errichtet werden. Wenn $R_A + R_B + R_U + R_V$ ausreichend klein ist, wird in einem zweiten Schritt überprüft, ob das Risiko durch den elektromagnetischen Blitzimpuls (LEMP) mittels weiterer Schutzmaßnahmen (= SPM) ausreichend reduziert werden kann.

Mit einem Vorgehen nach dem Flussdiagramm können also jene Schutzmaßnahmen ausgewählt werden, die zu einer Verringerung solcher Risiko-Komponenten führen, die jeweils relativ hohe Werte aufweisen, d. h., Schutzmaßnahmen, deren Wirksamkeiten im untersuchten Fall vergleichsweise hoch sind. **Tabelle 3.2.8.1** zeigt eine Zusammenstellung solcher Schutzmaßnahmen, die typischerweise im Rahmen des Blitz- und Überspannungsschutzes realisiert werden können, und ihren jeweiligen Einfluss auf die Risiko-Komponenten.

3.2.9 Wirtschaftliche Verluste / Wirtschaftlichkeit von Schutzmaßnahmen

Für viele bauliche Anlagen ist neben den Schadensarten von öffentlichem Interesse L1 … L3 auch die Schadensart L4: Wirtschaftliche Verluste, relevant. Hier kann allerdings nicht mehr mit einem akzeptierbaren Schadensrisiko R_T gearbeitet werden, da von externer Seite einem Verantwortlichen für eine bauliche Anlage nicht vorgeschrieben werden kann, was wirtschaftlich akzeptierbar sein soll. Vielmehr ist zu vergleichen, ob

Eigenschaften der baulichen Anlage oder der inneren Systeme – Schutzmaßnahmen	R_A	R_B	R_C	R_M	R_U	R_V	R_W	R_Z
Absperrungen, Isolation, Warnhinweis, Potentialsteuerung am Boden	•				•			
Blitzschutzsystem (LPS)	•	•	•	• [a]	• [b]	• [b]		
Überspannungsschutzgerät zum Blitzschutz-Potentialausgleich	•	•			•	•		
Isolierende Trennschichten			• [c]	• [c]	•	•	•	•
Koordiniertes SPD-System			•	•			•	•
Räumliche Schirmung			•	•				
Schirmung äußerer Leitungen					•	•	•	•
Schirmung innerer Leitungen			•	•				
Vorkehrungen für Leitungsverlegung			•	•				
Potentialausgleichsnetzwerk			•					

[a] nur für gitterartige äußere Blitzschutzsysteme
[b] aufgrund des Potentialausgleichs
[c] nur wenn sie Bestandteile der zu schützenden Einrichtungen sind

Tabelle 3.2.8.1 Maßnahmen des Blitz- und Überspannungsschutzes und ihre Auswirkungen auf einzelne Risiko-Komponenten

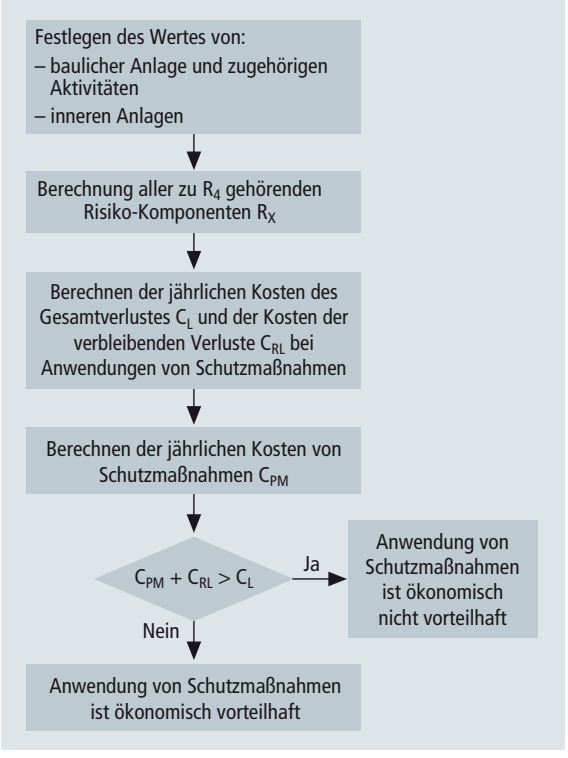


Bild 3.2.9.1 Flussdiagramm für die Auswahl von Schutzmaßnahmen bei wirtschaftlichen Verlusten

sich die Schutzmaßnahmen aus ökonomischer Sicht begründen lassen, sich also wirtschaftlich rentieren.
Der Vergleichsmaßstab ist also keine absolute Größe, wie ein vorgegebenes akzeptierbares Schadensrisiko R_T, sondern eine relative: Verschiedene „Schutz-Zustände" der baulichen Anlage werden miteinander verglichen, und der optimale, d. h. der mit den geringsten verbleibenden Kosten der Gefährdung durch Blitzeinschläge, wird realisiert. Es können und sollen hier also mehrere Varianten untersucht werden. Das grundsätzliche Vorgehen ist im **Bild 3.2.9.1** als Flussdiagramm gemäß DIN EN 62305-2 dargestellt.

Die Kosten des Gesamtverlustes C_L in der baulichen Anlage ergeben sich aus der Summe der Verluste in den einzelnen Zonen C_{LZ}:

$$C_{LZ} = R_{4Z} \cdot c_t$$

R_{4Z} Risiko bezogen auf den Wertverlust in der Zone, ohne die Anwendung von Schutzmaßnahmen;

c_t Gesamtwert der baulichen Anlage, d. h. Tiere, Gebäude, Inhalt und innere Systeme, einschließlich ihrer Funktion in Geldeinheiten (s. Abschnitt 3.2.5).

Wird ein Schutz realisiert, verringern sich zwar die Verluste, aber sie gehen nie gänzlich auf Null, da ein Restrisiko verbleibt. Die Kosten der gesamten verbleibenden Verluste C_{RL} in der baulichen Anlage, trotz angewendeter Schutzmaßnahmen, ergeben sich aus der Summe der verbleibenden Verluste in den einzelnen Zonen C_{RLZ}:

$$C_{RLZ} = R'_{4Z} \cdot c_t$$

R'_{4Z} Risiko bezogen auf den Wertverlust in der Zone, mit der Anwendung von Schutzmaßnahmen.

Im Falle nur einer einzigen Zone ergibt sich naturgemäß:

$$C_L = C_{LZ} \quad \text{bzw.} \quad C_{RL} = C_{RLZ}$$

Die jährlichen Kosten C_{PM} für die Schutzmaßnahmen werden berechnet mit:

$$C_{PM} = C_P \cdot (i + a + m)$$

C_P Kosten für die Schutzmaßnahmen;

i Zinsrate (zur Finanzierung der Schutzmaßnahmen);

a Amortisationsrate (ergibt sich aus der Lebensdauer der Schutzmaßnahmen);

m Instandhaltungsrate (beinhaltet auch Kosten für Prüfung und Wartung).

Das Vorgehen setzt also voraus, dass schon vor der eigentlichen Planung von Blitz- und Überspannungsschutzmaßnahmen eine (grobe) Abschätzung der Kosten vorgenommen werden kann. Gleichermaßen muss auch eine (grobe) Information zu den Zinssätzen, zur Amortisation der Schutzmaßnahmen und zum Aufwand für Prüfung, Wartung und Instandhaltung vorhanden sein. Der Schutz ist gerechtfertigt, also wirtschaftlich, wenn die jährliche Geldeinsparung S_M positiv ist:

$$S_M = C_L - (C_{PM} + C_{RL})$$

Abhängig von Größe, Aufbau, Komplexität und Nutzung der baulichen Anlage und der inneren Systeme sind sehr unterschiedliche Schutzmaßnahmen anwendbar. Damit sind auch mehrere Varianten des Schutzes möglich. Die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von Schutzmaßnahmen kann daher grundsätzlich fortgeführt werden, selbst wenn bereits eine ökonomisch sinnvolle Lösung gefunden wurde. Eventuell gibt es noch eine wirtschaftlich bessere Lösung. Man kann und sollte also versuchen, ein wirtschaftliches Optimum zu erreichen.
Bei der hier dargestellten Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von Schutzmaßnahmen ist es erforderlich, die möglichen Schäden, also die Verluste bei Blitzeinwirkungen abzuschätzen. Dazu sind die Werte des Schadensrisikos R_4 notwendig, die nach Abschnitt 3.2.5 ermittelt werden. Dafür wiederum

müssen die Werte der baulichen Anlage c_b, des Inhalts c_c, der inneren Systeme (einschließlich ihres Ausfalls) c_s und ggf. der Tiere c_a bekannt und ggf. auch nach Zonen aufgeteilt sein. Diese Werte werden üblicherweise vom Planer des Schutzes und/oder vom Eigentümer der Anlage zur Verfügung gestellt.
In vielen Fällen sind diese Werte aber nicht oder nur sehr schwer zu erhalten (z. B. der Eigentümer möchte die Werte nicht herausgeben). Im Falle von Industrieanlagen oder von Verwaltungsgebäuden, in denen sensible Produktions- oder Arbeitsprozesse stattfinden, steht häufig der für das sinnvolle Durchführung des Risikomanagement erforderlichen Transparenz die Notwendigkeit der Geheimhaltung sensibler wirtschaftlicher Daten gegenüber. In anderen Fällen ist die Erhebung der Daten schlicht zu aufwendig.
Um nun auch in diesen Fällen, bei denen mögliche Schadenssummen bei Blitzeinwirkungen nur schwer ermittelt werden können, die Anwendung des Risikomanagements hinsichtlich der Schadensart L4 zu ermöglichen, ist in der DIN EN 62305-2 ein vereinfachtes Verfahren implementiert.
Basierend auf dem Volumen der baulichen Anlage (im Falle nichtindustrieller Anlagen) und der Anzahl von Vollzeit-Arbeitsplätzen (im Falle industrieller Anlagen) wird der Gesamtwert c_t der baulichen Anlage nach **Tabelle 3.2.9.1** bestimmt. Bei der Aufteilung dieses Gesamtwerts auf die einzelnen Kategorien (Tiere: c_a, Gebäude: c_b, Inhalte: c_c, innere Systeme: c_s) werden dann die prozentualen Aufteilungen aus **Tabelle 3.2.9.2** verwendet. Bei den Tabellenwerten muss ggf. berücksichtigt werden, dass der mögliche Funktionsausfall von elektrischen und elektronischen Systemen (innere Systeme) und die daraus entstehenden Folgekosten nur in den Werten für industrielle Anlagen, nicht aber in den Werten für nichtindustrielle Anlagen enthalten sind.

Ist die bauliche Anlage in mehrere Zonen gegliedert, können die entsprechenden Werte c_a, c_b, c_c und c_s nach dem Anteil des Volumens der jeweiligen Zone am Gesamtvolumen (bei nichtindustriellen Anlagen) oder dem Anteil der Arbeitsplätze in der jeweiligen Zone an der Gesamtzahl der Arbeitsplätze (bei industriellen Anlagen) aufgeteilt werden.
Das vereinfachte Verfahren nach DIN EN 62305-2 entspricht damit vollständig der einzig sinnvollen Vorgehensweise für die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von Schutzmaßnahmen, also einem Vergleich, der auf rein ökonomischen Daten beruht. Lediglich die Werte für die bauliche Anlage in der Gesamtheit (c_t) und für die Aufteilung (c_a, c_b, c_c, c_s) werden nach einer stark vereinfachten Methode erstellt. Natürlich gilt auch hier: Wenn exakte Daten zu den genannten Werten vorhanden sind, sollten diese herangezogen werden.
Üblicherweise sind bei einer baulichen Anlage neben der Schadensart L4 auch eine oder mehrere der anderen Schadensarten L1 bis L3 relevant. In diesen Fällen ist zunächst die in Abschnitt 3.2.8 dargestellte Vorgehensweise anzuwenden, d. h., die Notwendigkeit eines Schutzes ist zu untersuchen und das Schadensrisiko R muss für die Schadensarten L1 bis L3 jeweils kleiner sein als das akzeptierbare Schadensrisiko R_T. Ist dies der Fall, wird dann in einem zweiten Schritt die Wirtschaftlichkeit der geplanten Schutzmaßnahmen nach **Bild 3.2.9.1** überprüft. Auch hierbei sind wieder mehrere Schutz-Varianten möglich, wobei die wirtschaftlich günstigste schließlich realisiert werden sollte, jedoch immer unter der Voraussetzung, dass stets für alle relevanten Schadensarten von öffentlichem Interesse L1 bis L3 gilt:

$$R < R_T$$

Art der baulichen Anlage	Referenzwerte		Gesamtwert für c_t	
nichtindustrielle Anlage	Gesamte Wiederherstellungskosten (schließt mögliche Funktionsausfälle nicht ein)	Niedrig	c_t je Volumen (€/m³)	300
		Normal		400
		Hoch		500
industrielle Anlage	Gesamtwert der Anlage, einschließlich Gebäude, Installationen und Inhalt (schließt mögliche Funktionsausfälle ein)	Niedrig	c_t je Beschäftigtem (k€/AP)	100
		Normal		300
		Hoch		500

Tabelle 3.2.9.1 Werte zur Abschätzung des Gesamtwertes c_t

Bedingung	Anteil für Tiere c_a/c_t	Anteil für Gebäude c_b/c_t	Anteil für Inhalt c_c/c_t	Anteil für innere Systeme c_s/c_t	Gesamt für alle Werte $(c_a+c_b+c_c+c_s)/c_t$
ohne Tiere	0	75 %	10 %	15 %	100 %
mit Tiere	10 %	70 %	5 %	15 %	100 %

Tabelle 3.2.9.2 Anteile zur Abschätzung der Werte c_a, c_b, c_c, c_s

Häufig ist die Situation anzutreffen, dass durch ein Blitzschutzsystem nach DIN EN 62305-3 der Schutz von Personen in der baulichen Anlage ausreichend sichergestellt ist (Schadensart L1). Handelt es sich um ein Büro- und Verwaltungsgebäude oder eine Industrieanlage, dann sind die Schadensarten L2 und L3 nicht relevant. Somit können weitere Schutzmaßnahmen (z. B. Überspannungsschutz) nur noch über die Untersuchung ihrer Wirtschaftlichkeit begründet werden. Es zeigt sich in diesen Fällen jeweils schnell, dass sich durch den Einsatz von koordinierten SPD-Systemen die wirtschaftlichen Verluste noch signifikant reduzieren lassen.

3.2.10 Berechnungshilfen

Die DIN EN 62305-2 enthält Verfahren und Daten zur Berechnung des Schadensrisikos bei Blitzeinschlägen in bauliche Anlagen und zur Auswahl von Blitzschutzmaßnahmen.
Die Anwendung der angegebenen Verfahren und Daten in der Praxis ist aufwendig und nicht immer einfach. Dies sollte und darf allerdings die Experten auf dem Gebiete des Blitzschutzes, und dabei insbesondere die Planer, nicht davon abhalten, sich mit dieser Materie eingehend zu befassen. Die quantitative Bewertung des Blitzschaden-Risikos für eine bauliche Anlage ist eine wesentliche Verbesserung gegenüber dem früher häufig anzutreffenden Zustand, bei dem Entscheidungen für oder gegen Blitzschutzmaßnahmen häufig allein aufgrund subjektiver und nicht immer für alle Beteiligten nachvollziehbaren Überlegungen getroffen wurden.
Eine solche quantitative Bewertung ist also eine wesentliche Voraussetzung für die Entscheidung, ob, in welchem Umfang und welche Blitzschutzmaßnahmen für eine bauliche Anlage vorzusehen sind. Damit wird langfristig auch ein Beitrag zur Akzeptanz des Blitzschutzes und zur Schadensverhütung geleistet.
Eine Anwendung der Verfahren der Norm ohne Hilfsmittel, also ohne Software-Tool, ist praktisch nicht möglich. Die DIN EN 62305-2 ist in Aufbau und Inhalt so komplex, dass Hilfsmittel unerlässlich sind, wenn sich die Norm am Markt breit durchsetzen soll. Ein solches Software-Tool ist z. B. das Beiblatt 2 zur DIN EN 62305-2, das eine Berechnungshilfe auf der Basis einer EXCEL-Liste mit Druckfunktion beinhaltet. Daneben sind kommerzielle Programme auf der Basis von Datenbanken verfügbar, die ebenfalls die volle Funktionalität der Norm widerspiegeln und darüber hinaus auch noch die Bearbeitung und Speicherung zusätzlicher Projektdaten sowie ggf. weitere Berechnungen zulassen.

Autor von Kapitel 3.2:
Prof. Dr.-Ing. Alexander Kern
Fachhochschule Aachen, Campus Jülich
Heinrich-Mußmann-Str. 1
D-52428 Jülich
Tel. 0241/6009-53042
Fax 0241/6009-53262
a.kern@fh-aachen.de

3.3 Planungshilfe DEHNsupport Toolbox

Die Planung eines Blitzschutzsystems für bauliche Anlagen kann in der Praxis durch eine PC-gestützte Lösung vereinfacht werden.
Die Software DEHNsupport bietet als Toolbox eine Vielzahl von Berechnungsmöglichkeiten im Bereich der Blitzschutzthematik. Die Anforderungen aus der Normenreihe EN 62305-x bilden die Grundlage. Neben internationalen Anforderungen gibt es länderspezifische Anpassungen, welche in die Software integriert wurden und ständig erweitert werden. Diese Software, mehrsprachig und passend zur internationalen Norm, ist ein Werkzeug zur gezielten Ermittlung und Umsetzung von Blitz- und Überspannungsschutzmaßnahmen (**Bild 3.3.1**).
Folgende Planungshilfen stehen zur Verfügung:

- DEHN Risk Tool; Risikoanalyse nach DIN EN 62305-2
- DEHN Distance Tool; Trennungsabstandsberechnung nach DIN EN 62305-3
- DEHN Earthing Tool; Berechnung der Erderlänge nach DIN EN 62305-3
- DEHN Air-Termination Tool; Berechnung der Fangstangenlänge nach DIN EN 62305-3.

3.3.1 DEHN Risk Tool; Risikoanalyse nach DIN EN 62305-2

Die aufwendige und nicht immer einfache Anwendung des Verfahrens zur Abschätzung des Schadensrisikos für bauliche Anlagen wird durch DEHN Risk Tool deutlich vereinfacht. In der integrierten Kunden- / Projektverwaltung kann die Erdblitzdichte N_G in dem Gebiet, in dem sich das zu schützende Objekt befindet, bestimmt werden. Dies erfolgt mit Hilfe der Postleitzahl, der Ortsangabe oder des Kfz-Kennzeichens. Bei den

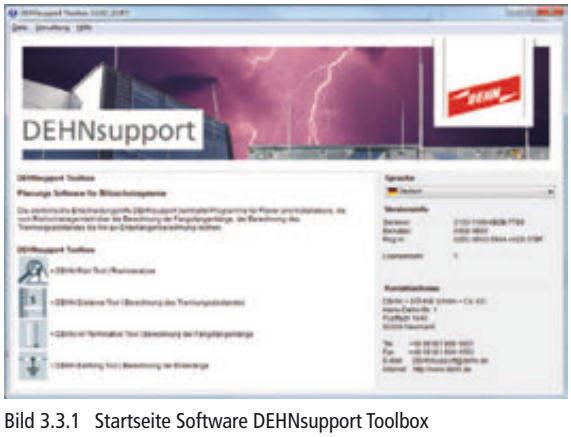


Bild 3.3.1 Startseite Software DEHNsupport Toolbox

integrierten N_G-Werten handelt es sich um gemittelte Werte aus dem Zeitraum von 1999 bis 2011. Aufgrund der Tatsache, dass ein Blitz mehrere, voneinander getrennte Fußpunkte auf der Erdoberfläche haben kann, wird für Risikoabschätzungen eine Verdoppelung der N_G-Werte empfohlen. Dadurch wird ggf. berücksichtigt, dass ein Erdblitz auch mehrere Folgeblitze mit jeweils hohen Stromsteilheiten haben kann. Diese Empfehlung und die Daten der Erdblitzdichte sind Bestandteile des Beiblatts 1 der DIN EN 62305-2. Die Verdoppelung der N_G-Werte erfolgt automatisch in der Berechnung.

In der Kunden-/Projektverwaltung von DEHNsupport ist neben der Erdblitzdichte auch die Berechnungsgrundlage auszuwählen. Neben der länderspezifischen Normenbezeichnung für Deutschland (DIN EN 62305) stehen noch weitere Länder sowie deren länderspezifische Normenbezeichnung zur Auswahl. Durch diese Auswahl wird nicht nur die normative Bezeichnung für den Ausdruck der Berechnungen ausgewählt, sondern es werden außerdem länderspezifische Berechnungsparameter aktiviert. Nach dem erstmaligen Öffnen einer Berechnung kann die festgelegte Berechnungsgrundlage nicht mehr verändert werden.

Nachdem der User den Kunden/das Projekt angelegt hat, erfolgt die Auswahl der zu betrachtenden Risiken. Bei der Risikoanalyse wird zwischen vier Risiken unterschieden:

- Risiko R_1, Risiko für Verluste von Menschenleben
- Risiko R_2, Risiko für Verluste von Dienstleistungen für die Öffentlichkeit
- Risiko R_3, Risiko für Verluste von unersetzlichem Kulturgut
- Risiko R_4, Risiko für wirtschaftliche Verluste.

Für die Risiken R_1, R_2 sowie R_3 ist jeweils ein akzeptierbares Risiko R_T normativ bestimmt. Die Festlegung der Werte für die akzeptierbaren Risiken liegt in der Verantwortung der Stelle mit dem entsprechenden Kompetenzbereich. Es empfiehlt sich, die normativen Werte unverändert zu übernehmen. Bei der wirtschaftlichen Betrachtung, Risiko R_4, ist kein akzeptierbares Risiko festgelegt. Hier wird die wirtschaftliche Sinnhaftigkeit der Schutzmaßnahmen bezogen auf den Wert der baulichen Anlage betrachtet.

Bei der Durchführung einer Risikoanalyse mit Hilfe des Risk Tools ist immer darauf zu achten, dass im ersten Schritt eine Istzustand-Betrachtung ohne Auswahl von Schutzmaßnahmen erfolgt. Im zweiten Schritt wird durch die Kopierfunktion, welche sich im Reiter „Gebäude" befindet, ein Sollzustand erzeugt, in dem durch gezieltes Anwenden von Schutzmaßnahmen das vorherrschende Risiko so minimiert wird, dass es kleiner als das normativ vorgegebene akzeptierbare Risiko ist. Diese Vorgehensweise sollte immer eingehalten werden.

Neben der Erdblitzdichte und der Umgebung des Gebäudes müssen auch die Einfangflächen für direkte/indirekten Blitzeinschläge im Reiter „Gebäude" berechnet werden. Für die Berechnung stehen drei Varianten zur Verfügung:

- Einfaches Gebäude
- Gebäude mit hohem Punkt
- Komplexe Gebäudeform (**Bild 3.3.1.1**).

Bei der Berechnung „Gebäude mit hohem Punkt" ist für das Maß „Höchster Punkt" die Distanz zwischen +/- 0,00 m Erdniveau sowie Oberkante (Höchster Punkt) festzulegen. Die Position ist hierbei nicht relevant. Mittels der Variante „Komplexe Gebäudeform" kann möglichst genau eine zusammenhängende Gebäudestruktur nachgebildet und somit deren Einfangfläche berechnet werden.

Bei der Berechnung der Einfangflächen und auch generell bei Risikoanalysen ist darauf zu achten, dass nur zusammenhängende Gebäudeteile bewertet werden. Wird bei einer bereits bestehenden Anlage ein Neubau angegliedert, so kann dieser als einzelnes Objekt bei der Risikoanalyse betrachtet werden. Folgende normative Forderungen müssen hierfür jedoch baulicherseits erfüllt werden:

- Beide Gebäudeteile sind durch eine vertikale Brandwand mit einer Feuerwiderstandsdauer von 120 min (REI 120) oder durch gleichwertige Schutzmaßnahmen voneinander getrennt.
- In der baulichen Anlage besteht kein Explosionsrisiko.
- Die Ausbreitung von Überspannungen entlang gemeinsamer Versorgungsleitungen, sofern vorhanden, wird durch SPD an den Einführungsstellen derartiger Leitungen in die bauliche Anlage oder mit gleichwertigen Schutzmaßnahmen verhindert.

Werden diese Anforderungen nicht erfüllt, sind die Maße und somit auch die notwendigen Schutzmaßnahmen für den kompletten Gebäudekomplex (Alt- und Neubau) zu ermitteln. Der Bestandsschutz wäre somit aufgehoben. Dies kann in der Fol-

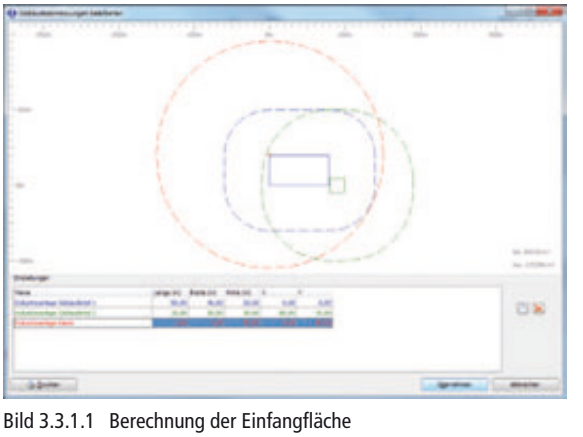


Bild 3.3.1.1 Berechnung der Einfangfläche

ge dazu führen, dass ein bestehendes Blitzschutzsystem auf einem Bestandsgebäude im Zuge der ganzheitlichen Betrachtung zu ertüchtigen ist.
Mit dem Reiter „Zonen" (**Bild 3.3.1.2**) besteht die Möglichkeit, ein Gebäude in Blitzschutzzonen und diese wiederum in einzelne Zonen zu unterteilen. Sie können unter anderem nach folgenden Gesichtspunkten angelegt werden:

- Art des Erdbodens oder Fußbodens
- brandsichere Abschnitte
- räumliche Schirmungen
- Anordnung der inneren Systeme
- bestehende oder vorzusehende Schutzmaßnahmen
- Werte der Verluste.

Die Aufteilung der baulichen Anlage in Zonen gestattet es dem Betrachter, die besonderen Eigenschaften jedes Teils der baulichen Anlage bei der Abschätzung des Risikos zu berücksichtigen und so die geeigneten Schutzmaßnahmen „maßgeschneidert" auszuwählen. Die Gesamtkosten der Schutzmaßnahmen können so reduziert werden.
Im Reiter „Zuleitungen" müssen alle ein- und ausgehenden Versorgungsleitungen der zu betrachtenden baulichen Anlage definiert werden. Rohre sind nicht mit zu bewerten, wenn diese mit der Haupterdungsschiene der baulichen Anlage verbunden sind. Erfolgt diese Anbindung nicht, so ist auch die Bedrohung durch eingeführte Rohre in der Risikoanalyse zu berücksichtigen. Für jede definierte Versorgungsleitung müssen Parameter wie z. B.

- Art der Leitung (Freileitung / erdverlegt),
- Länge der Leitung (außerhalb des Gebäudes),
- Umgebung,
- verbundene bauliche Anlage,
- Art der inneren Verkabelung und
- kleinste Bemessungs-Stehstoßspannung

festgelegt werden. Sie fließen in die leitungsbezogenen Risiken für die bauliche Anlage mit ein. Sollte bei der Festlegung der Leitungslänge diese nicht bekannt sein, so wird normativ empfohlen, mit einer Leitungslänge von 1000 m zu rechnen. Die Leitungslänge ist definiert vom Eintrittspunkt in das zu schützendes Objekt bis zur verbundenen baulichen Anlage oder einem Knotenpunkt. Ein Knotenpunkt ist z. B. ein Verteilungspunkt einer Stromversorgungsleitung an einem HV- / LV-Transformator oder in einer Umspannstation, eine Telekommunikations-Vermittlungsstelle oder eine Einrichtung (wie Multiplexer oder xDSL-Gerät) in einer Telekommunikationsleitung.
Neben den leitungsgebundenen Parametern sind auch die Gebäudeeigenschaften zu definieren. Wesentliche Faktoren sind u. a.

- äußere räumliche Schirmung,
- Raumschirmung im Gebäude,
- Bodeneigenschaften außerhalb / innerhalb,
- Brandschutzmaßnahmen und
- das Brandrisiko.

Das Brandrisiko ist ein wichtiges Entscheidungskriterium und bestimmt im Wesentlichen, ob und in welcher Wertigkeit ein Blitzschutzsystem installiert werden muss. Die Einschätzung des Risikos erfolgt entsprechend der spezifischen Brandlast in MJ/m². Folgende Definitionen sind normativ festgelegt:

- Brandrisiko gering: Spezifische Brandlast $\leq$ 400 MJ/m²
- Brandrisiko normal: Spezifische Brandlast > 400 MJ/m²
- Brandrisiko hoch: Spezifische Brandlast $\geq$ 800 MJ/m²
- Explosion Zone 2, 22
- Explosion Zone 1, 21
- Explosion Zone 0, 20 und feste Explosivstoffe.

Zur Vervollständigung der Risikoanalyse müssen noch mögliche Verluste festgelegt werden. Die Verluste werden nach der Schadensart wie folgt unterschieden:

Bild 3.3.1.2 DEHN Risk Tool, Zoneneinteilung

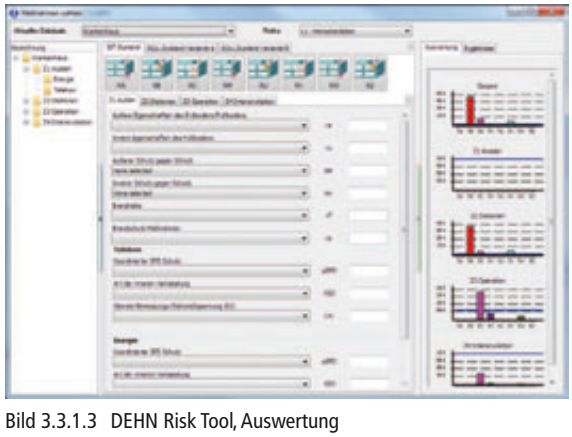


Bild 3.3.1.3 DEHN Risk Tool, Auswertung

Eigenschaften der baulichen Anlage oder der inneren Systeme Schutzmaßnahmen	R_A	R_B	R_V
Absperrung, Isolation, Warnhinweis, Potentialsteuerung am Boden	•		
Blitzschutzsystem (LPS)	•	•	•[b]
Überspannungsschutzgerät zum Blitzschutz-Potentialausgleich	•	•	•
[b] aufgrund des Potentialausgleichs			

Tabelle 3.3.1.1 DEHN Risk Tool, Auszug Maßnahmentabelle

- L1; Verlust von Menschenleben
- L2; Verlust einer Dienstleistung für die Öffentlichkeit
- L3; Verlust eines unersetzlichen Kulturgutes
- L4; Wirtschaftliche Verluste.

Es ist darauf zu achten, das bei der Festlegung der Verluste diese sich immer auf die jeweilige Schadensart beziehen. Beispiel: Ein wirtschaftlicher Verlust (Risiko R_4) durch Berührungs- und Schrittspannung ist nur zutreffend für den Verlust von Tieren, nicht von Menschen.
Das Ergebnis der Risikoanalyse wird im DEHN Risk Tool in graphischer Form dargestellt (**Bild 3.3.1.3**). Somit ist sofort und ständig ersichtlich, wie ausgeprägt die jeweiligen Risiken sind. Blau steht für das akzeptierbare Risiko, rot oder grün für das berechnete Risiko der zu schützenden baulichen Anlage. Um das Gefahrenpotential einer baulichen Anlage richtig bewerten zu können, müssen die Risikokomponenten des jeweiligen Risikos detailliert betrachtet werden. Jede Komponente beschreibt ein Gefahrenpotential. Ziel der Risikoanalyse ist es, mit sinnvoll ausgewählten Maßnahmen Gefahrenschwerpunkte gezielt zu reduzieren.

Jede Risikokomponente kann durch unterschiedliche Parameter beeinflusst (reduziert oder erhöht) werden. Durch die Maßnahmen in **Tabelle 3.3.1.1** wird die Auswahl von Schutzmaßnahmen erleichtert. Diese Auswahl sowie die Aktivierung der Schutzmaßnahmen erfolgt durch den Anwender in der Software.
Für die Berechnung des Risikos R_4 „Wirtschaftliche Verluste" muss entsprechend der DIN EN 62305-2 eine Kostenrechnung durchgeführt werden. Die Basis dieser Betrachtung bilden eine Istzustand-Betrachtung (ohne Schutzmaßnahmen) sowie eine Sollzustand-Betrachtung (mit Schutzmaßnahmen). Um die Berechnung durchführen zu können, müssen folgende Kostenarten in € festgelegt werden:

- Wert der Tiere c_a
- Wert des Gebäudes c_b
- Wert der inneren Systeme, einschließlich Ihrer Aktivitäten c_S
- Wert des Inhalts c_c
- Gesamtwert der baulichen Anlage $(c_a + c_b + c_c + c_s)$ c_t.

Es ist darauf zu achten, dass in den aufgeführten Kosten auch Wiederherstellungskosten, Ausfallkosten sowie Folgekosten mit berücksichtigt werden. Diese sind gleichmäßig auf die Kostenarten aufzuteilen.

Sollten die Werteangaben nicht bekannt sein, so bietet die DIN EN 62305-2 die Möglichkeit, diese mittels Tabellen festzulegen. Hierbei ist folgende Vorgehensweise zu berücksichtigen:

- Abschätzung des Gesamtwertes c_t der baulichen Anlage (**Tabelle 3.2.9.1**).
- Anteilige Abschätzung der Werte von c_a, c_b, c_c sowie c_s basierend auf c_t (**Tabelle 3.2.9.2**).

Neben c_a, c_b, c_c sowie c_s müssen ebenfalls die Kosten für Schutzmaßnahmen c_p festgelegt werden. Hierfür sind zusätzlich

- die Zinsrate i,
- die Instandhaltungsrate m und
- die Amortisationsrate a

festzusetzen.

Als Ergebnis der wirtschaftlichen Betrachtung erhält man

- die Kosten eines Gesamtverlustes C_L ohne Schutzmaßnahmen,
- die verbleibenden Verlustkosten C_{RL} trotz angewandter Schutzmaßnahmen,
- die jährlichen Kosten C_{PM} für den Schutz
- sowie die Einsparung.

Die Einheit der berechneten Werte ist €/Jahr.

Ergibt sich bei der Abschätzung eine positive Einsparung S_M, so sind die Schutzmaßnahmen als wirtschaftlich sinnvoll, bei einem negativen Ergebnis als unwirtschaftlich anzusehen. Nach einer durchgeführten Risikoanalyse kann ein Ausdruck in langer oder kurzer Version in Form eines rtf-Dokuments ausgegeben werden.

3.3.2 DEHN Distance Tool; Trennungsabstandsberechnung nach DIN EN 62305-3

Das Tool DEHN Distance Tool ist ein Modul der Software DEHNsupport Toolbox. Neben den herkömmlichen Berechnungsformeln zur Bestimmung des Trennungsabstands und somit auch des Stromaufteilungskoeffizienten k_C dürfen normativ genauere Berechnungen durchgeführt werden. Die Berechnung des Trennungsabstands basiert auf dem Knotenpunkt-Potential-Verfahren.

3.3.2.1 Knotenpunkt-Potential-Verfahren

In der 1. Kirchhoff´schen Regel ist definiert: An jedem Knoten ist die Summe der zufließenden Ströme gleich der Summe der abfließenden Ströme (Knotenpunktregel) (**Bild 3.3.2.1.1**).
Diese Regel kann auch bei einem Gebäude mit äußerem Blitzschutzsystem (LPS) angewendet werden. Hat man ein einfaches Gebäude mit einer Fangstange (**Bild 3.3.2.1.2**), so teilt sich bei einem Einschlag in diese der Blitzstrom am Fußpunkt auf. Die Blitzstromaufteilung hängt ab von der Anzahl der Ausleitungen, auch „Strompfade" genannt. Wie im **Bild 3.3.2.1.2** dargestellt, haben wir einen Knotenpunkt mit vier abgehenden Leitungen (Strompfade).
Bei einem äußeren Blitzschutzsystem mit ausgebildeter Masche und den dazugehörigen Ableitungen erfolgt in jedem Kreuzungspunkt sowie an der Verbindungsstelle der Fangeinrichtung eine Blitzstromaufteilung. Voraussetzung hierfür bildet eine Klemmverbindung entsprechend DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3).
Je enger die Masche ist oder je höher die Anzahl der Knotenpunkte sind, umso besser ist die Blitzstromaufteilung. Das Gleiche gilt auch im weiteren Leitungsverlauf (**Bild 3.3.2.1.3**).

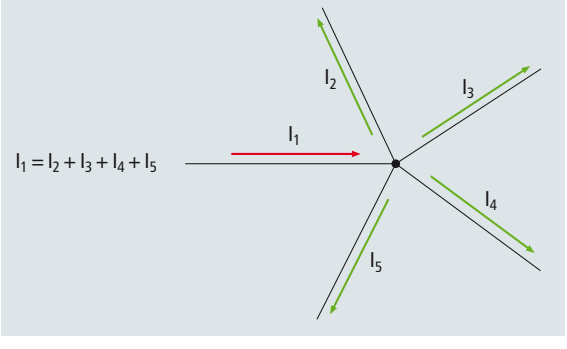


Bild 3.3.2.1.1 Kirchhoff´sche Regel mit Knotenpunktdarstellung

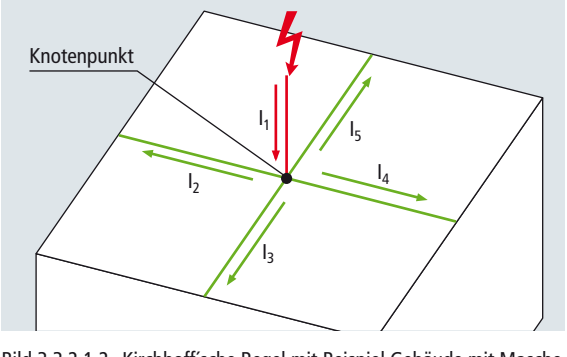


Bild 3.3.2.1.2 Kirchhoff´sche Regel mit Beispiel Gebäude mit Masche am Dach

Um eine exakte Blitzstromaufteilung und die daraus resultierenden Trennungsabstände berechnen zu können, wird das Knotenpunkt-Potential-Verfahren verwendet. Dieses Verfahren (auch: Knotenspannungsanalyse) dient zur Netzwerkanalyse in der Elektrotechnik und entspricht einem leitungstheoretischen Verfahren. Wendet man die Knotenspannungsanalyse bei einem Gebäude mit äußerem Blitzschutzsystem an, so wird jede Leitung (Strompfad) in Form eines Widerstandes dargestellt. Die Vielzahl von Maschen sowie Ableitungen in einem Blitzschutzsystem bilden somit die Grundlage. Die Leitungen eines LPS-Systems, wie zum Beispiel einer Masche, werden in der Regel durch Knotenpunkte (Kreuzungspunkte) nochmals in viele einzelne Leitungsabschnitte unterteilt. Jeder Leitungsabschnitt stellt somit einen elektrischen Widerstand R dar (**Bild 3.3.2.1.4**).
Bei dem Knotenpunkt-Potential-Verfahren wird jedoch mit dem Kehrwert des Widerstandes, dem sogenannten Leitwert G, gerechnet.

$$R = \frac{1}{G} \quad \Rightarrow \quad G = \frac{1}{R}$$

Der Leitwert G ist ein Wert, der aus einem Strom- und Spannungswert oder einem Widerstandswert R errechnet werden kann. Die Leitfähigkeit bezieht sich auf den Leitwert G eines Materials mit bestimmten Abmessungen, z. B.:

- Länge = 1 m
- Querschnitt = 1 mm^2
- Werkstoff.

Aus diesen Werten kann der Leitwert eines Leiters ohne Strom- und Spannungswerte errechnet werden. Bei einer Anordnung des Blitzschutzsystems nach **Bild 3.3.2.1.4** wird beim Leitwert zwischen Eigenleitwert und Koppelleitwert unterschieden.

Eigenleitwert: Leitwert aller in einem Punkt I angeschlossenen Leitwerte (Beispiel: Ecke eines Flachdaches: Eigenleitwert bestehend aus der Summe der Leitwerte von Eckableitung und Leitwert der zwei abgehenden Fangleitungen der Masche).

Koppelleitwert: Leitwert zwischen zwei Punkten (Beispiel: Leitwert zwischen zwei gegenüberliegenden Punkten (Klemmstellen) einer Masche eines Flachdaches (ohne Abzweige)).
Zur Berechnung der Trennungsabstände bei einem Gebäude mit äußerem Blitzschutzsystem sind folgende Schritte notwendig (s. hierzu auch **Bild 3.3.2.1.5**):

1. 0 V-Potentiale festlegen (φ_0 in P_0)
2. Potentiale festlegen (φ_1 in P_1, ...)

3.1 Eigenleitwerte definieren (G_{11}, G_{22}, G_{nn})

3.2 Koppelleitwerte definieren (G_{12}, G_{23}, G_{nm})

4. Einschlagspunkt bestimmen
5. Erstellen der Knotenpunktgleichungen (Matrix).

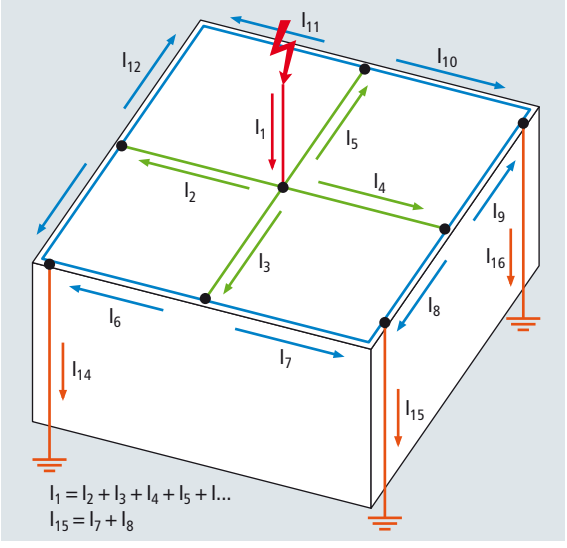


Bild 3.3.2.1.3 Kirchhoff´sche Regel mit Beispiel Gebäude mit Fangeinrichtung

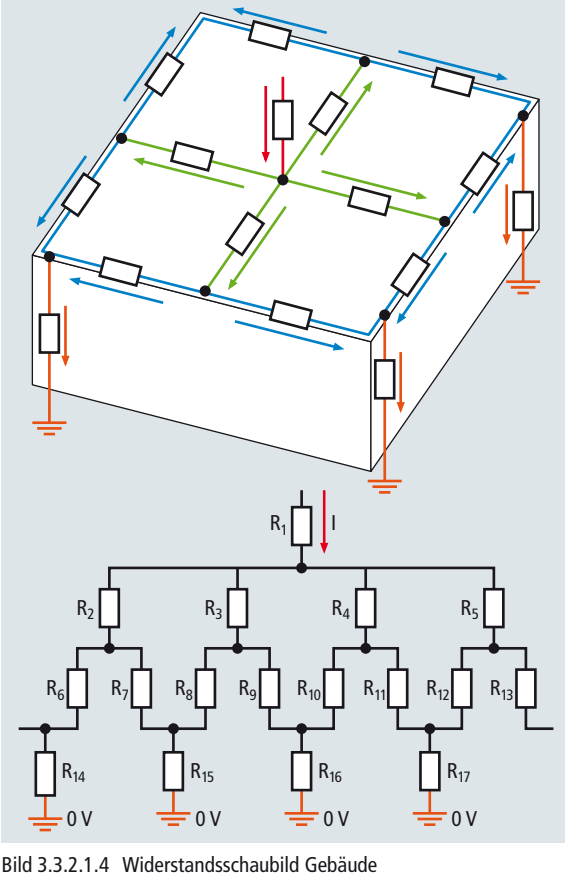


Bild 3.3.2.1.4 Widerstandsschaubild Gebäude

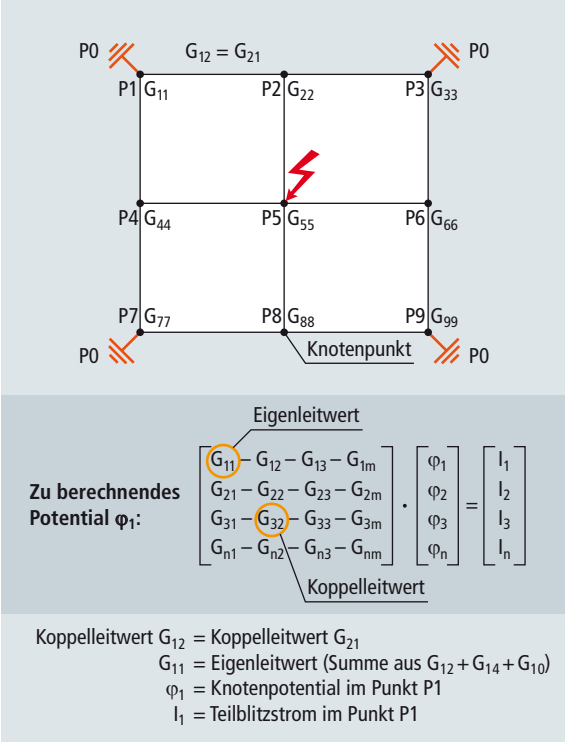


Bild 3.3.2.1.5 Erstellen Knotenpunktgleichung

Nach dem Erstellen der Knotenpunktgleichung kann mit der Berechnung des Potentials in einem bestimmten Punkt, wie zum Beispiel φ_1, begonnen werden. Da in der Matrix sehr viele unbekannte Variable beinhaltet sind, gilt es die Gleichung dementsprechend aufzulösen. Sind alle Potentiale des leitungsgebundenen Netzwerkes bestimmt, so werden daraus die Blitzstromaufteilung und somit die k_c-Werte abgeleitet. Darauf basierend werden die Trennungsabstände mit der normativ bekannten Grundgleichung ermittelt.
Annähernd gleiche Erdungswiderstände (Erdungsanlage Typ B) bilden die Grundlage für diese Art der Berechnung von Trennungsabständen für ein Blitzschutzsystem.

3.3.2.2. Information zu DEHN Distance Tool

Da der Berechnungsweg mit Hilfe des Knotenpunkt-Potential-Verfahrens sehr aufwändig und umfangreich ist, steht mit der Software DEHN Distance Tool ein sehr einfach anzuwendendes und zeitsparendes Berechnungsmodul zur Verfügung. Mit Hilfe einer Simulation wird der Stromfluss in einem leitungsgebundenen Netzwerk nachgebildet und auf dieser Basis die Trennungsabstände berechnet.

3.3.3 DEHN Earthing Tool; Berechnung der Erderlänge nach DIN EN 62305-3

Ein weiteres Tool der Software DEHNsupport dient der Ermittlung der Erderlänge nach DIN EN 62305-3. Hierbei wird zwischen der Art des Erders (Fundamenterder, Ringerder und Tiefenerder) unterschieden.
Neben der Schutzklasse muss bei Einzelerdern (Erderanordnung Typ A) zusätzlich der spezifische Erdwiderstand mit definiert werden. Aus diesen Angaben ergibt sich die Erderlänge in Metern (**Bild 3.3.3.1**).
Zur Ermittlung der Erderlänge für einen Ringerder oder Fundamenterder müssen die Schutzklasse, die eingeschlossene Fläche des Erders sowie der spezifische Bodenwiderstand definiert werden. Das Ergebnis sagt aus, ob die Erdungsanlage ausreichend dimensioniert ist oder ob zusätzliche Erdungsmaßnahmen getroffen werden müssen.
Genauere Informationen dazu sind im Kapitel 5.5 „Erdungsanlagen" zu finden.

3.3.4 DEHN Air-Termination Tool – Berechnung der Fangstangenlänge nach DIN EN 62305-3

Fangstangen bieten die Möglichkeit, große Flächen in den Schutzbereich Blitzschutzzone 0_B zu integrieren. Zur Ermittlung der Fangstangenhöhe sind z. T. zeichnerische Darstellungen notwendig, welche in Abhängigkeit der Schutzklasse des LPS-Systems zu erstellen sind. Um den Fachmann eine Vereinfachung zu bieten, wurden in dem Tool DEHN Air-Termination Tool der Software DEHNsupport Toolbox verschiedene Konstellationen in rechnerischer Form nachgebildet. In der Berechnung muss der Anwender neben Schutzklasse, Länge, Breite sowie Höhe des Gebäudes auch den Trennungsabstand definieren. Je nach Art der Betrachtung – Schutzwinkel- oder Blitzkugelmethode – errechnet sich daraus die Länge der zu installierenden Fangstangen. Eine Besonderheit bei Berechnungen mit mehreren Fangstangen ist, dass der seitliche Durchhang der Blitzkugel ebenfalls rechnerisch berücksichtigt wird (**Bild 3.3.4.1**).
Ziel ist ein technisch korrekt ausgelegtes äußeres Blitzschutzsystem.

3.4 Prüfung und Wartung

3.4.1 Arten der Prüfung und Qualifikation der Prüfer

Zur Sicherstellung eines dauerhaften Schutzes der baulichen Anlage, der darin befindlichen Personen sowie der elektrischen und elektronischen Systeme müssen die mechanischen und elektrischen Kennwerte eines Blitzschutzsystems über dessen Lebensdauer vollständig erhalten bleiben. Dazu dient ein abgestimmtes Programm von Prüfung und Wartung des Blitzschutzsystems, das von einer Behörde, dem Planer des Blitzschutzsystems oder dem Errichter des Blitzschutzsystems mit dem Eigentümer der baulichen Anlage festgelegt werden soll. Werden bei der Prüfung eines Blitzschutzsystems Mängel festgestellt, so trägt der Betreiber / Eigentümer der baulichen Anlage die Verantwortung für die umgehende Beseitigung der Mängel. Die Prüfung des Blitzschutzsystems muss von einer Blitzschutz-Fachkraft durchgeführt werden. Eine Blitzschutz-Fachkraft (entsprechend DIN EN 62305-3 Beiblatt 3) ist, wer aufgrund seiner fachlichen Ausbildung, Kenntnisse und Erfah-

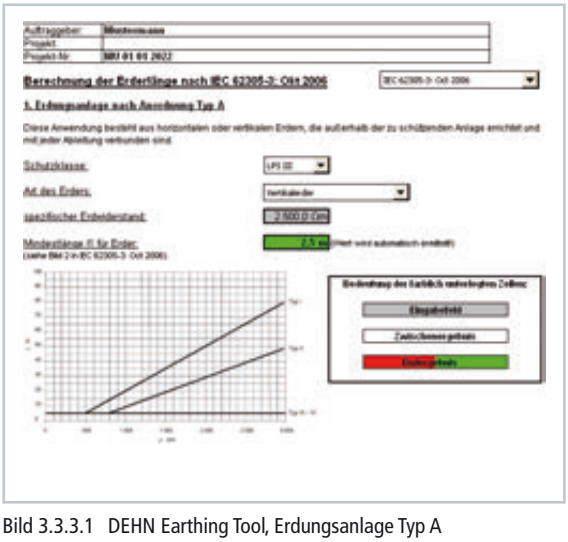


Bild 3.3.3.1 DEHN Earthing Tool, Erdungsanlage Typ A

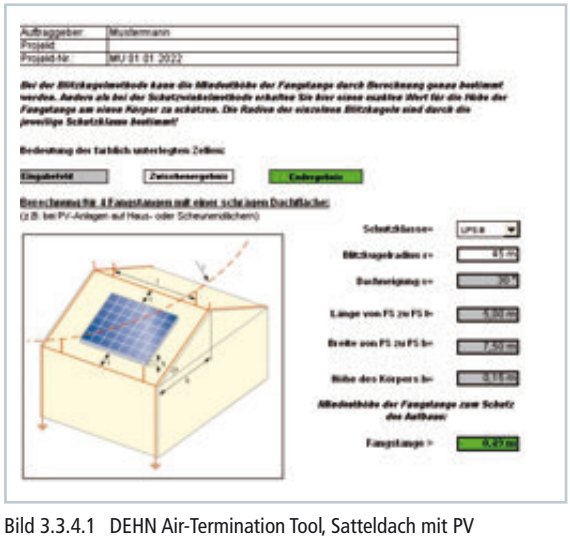


Bild 3.3.4.1 DEHN Air-Termination Tool, Satteldach mit PV

rungen sowie Kenntnis der einschlägigen Normen Blitzschutzsysteme planen, errichten und prüfen kann. Der Nachweis kann durch die regelmäßige Teilnahme an nationalen Weiterbildungsmaßnahmen geführt werden.
Die Kriterien „fachliche Ausbildung, Kenntnisse und Erfahrungen" gelten in der Regel als erfüllt, wenn eine mehrjährige Berufserfahrung und eine zeitnahe berufliche Tätigkeit im Bereich des Blitzschutzes vorliegt. Die Bereiche Planung, Errichtung und Prüfung stellen unterschiedliche Anforderungen an die Blitzschutz-Fachkraft. Die Ansprüche an die einzelnen Bereiche werden im Beiblatt 3 der DIN EN 62305-3 qualifiziert aufgeführt.
Eine Blitzschutz-Fachkraft ist ein Sachkundiger. Er ist mit den einschlägigen Arbeitsschutzvorschriften, Richtlinien und Normen so vertraut, dass er den arbeitssicheren Zustand von technischen Arbeitsmitteln beurteilen kann. Eine Weiterbildungsmaßnahme mit der Anerkennung als Blitzschutz-Fachkraft (Sachkundiger für Blitz- und Überspannungsschutz sowie EMV-gerechte elektrische Anlagen (EMV-Sachkundiger)) bietet der VdS Schadenverhütung im Rahmen des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) in Zusammenarbeit mit dem Ausschuss für Blitzschutz und Blitzforschung des VDE (ABB) an.

Achtung: Ein *Sachkundiger* ist kein *Sachverständiger*!

Ein *Sachverständiger* besitzt aufgrund seiner Ausbildung und Erfahrung besondere Kenntnisse auf dem Gebiet von prüfbedürftigen technischen Arbeitsmitteln. Er ist mit den Arbeitsschutzvorschriften, Richtlinien und Normen so vertraut, dass er den arbeitssicheren Zustand von komplexen technischen Arbeitsmitteln beurteilen kann. Er soll technische Arbeitsmittel prüfen und gutachterlich beurteilen können. Als Sachverständige können z. B. Ingenieure der Technischen Überwachungsvereine oder andere Fachingenieure tätig werden. Überwachungspflichtige Anlagen erfordern generell die Prüfung durch *Sachverständige* oder eine befähigte Person.
Unabhängig von der erforderlichen Qualifikation des Prüfers soll durch die Prüfungen die Schutzfunktion des Blitzschutzsystems gegenüber direkten und indirekten Blitzeinwirkungen für Leben, Inventar, technische Ausrüstung der baulichen Anlage, Betriebstechnik, Sicherheitstechnik und der baulichen Anlage in Verbindung mit eventuell erforderlichen Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen sichergestellt werden. Dem Prüfer soll deshalb ein Bericht des Blitzschutzsystems zur Verfügung stehen, der Entwurfskriterien, Entwurfsbeschreibung und technische Zeichnungen enthält. Durchzuführende Prüfungen werden wie folgt unterschieden:

Prüfung der Planung

Die Prüfung der Planung soll sicherstellen, dass das Blitzschutzsystem mit seinen Komponenten in jeder Hinsicht den zum Zeitpunkt der Planung gültigen Stand der Technik entspricht. Sie ist vor der Ausführung der Leistungen durchzuführen.

Baubegleitende Prüfung

Teile des Blitzschutzsystems, die nach Beendigung von Bauleistungen nicht mehr zugänglich sind, müssen geprüft werden, solange dies möglich ist. Dazu zählen z. B.: Fundamenterder, Erdungsanlagen, Bewehrungsanschlüsse, Betonbewehrungen, die als Raumschirmung verwendet werden, Ableitungen und deren Verbindungen, die im Beton verlegt werden. Die Prüfung umfasst die Kontrolle der technischen Unterlagen sowie das Besichtigen mit der Beurteilung der handwerklichen Ausführung entsprechend DIN EN 62305-3 Beiblatt 3.

Abnahmeprüfung

Die Abnahmeprüfung erfolgt nach der Fertigstellung des Blitzschutzsystems. Vollständig zu prüfen sind dabei die Einhaltung der normgerechten Schutzkonzeption (Planung), die handwerkliche Ausführung (fachtechnische Richtigkeit unter Berücksichtigung der Nutzungsart, der technischen Ausrüstung der baulichen Anlage und der Standortbedingungen.

Wiederholungsprüfung

Regelmäßige Wiederholungsprüfungen sind die Voraussetzung für die dauernde Wirksamkeit eines Blitzschutzsystems. Sie sollen alle 1 bis 4 Jahre durchgeführt werden. **Tabelle 3.4.1.1** enthält Empfehlungen für die Intervalle zwischen den vollständigen Prüfungen eines Blitzschutzsystems unter durchschnittlichen Umgebungsbedingungen. Bestehen behördliche Auflagen oder Verordnungen mit Prüffristen, so gelten deren Fristen als Mindestanforderungen. Sind durch behördliche Auflagen regelmäßige Prüfungen der elektrischen Anlage der baulichen Anlage vorgeschrieben, so soll im Rahmen dieser Prüfung die Funktionsfähigkeit der Maßnahmen des inneren Blitzschutzes mitgeprüft werden.

Sichtprüfung

Blitzschutzsysteme von baulichen Anlagen sowie kritische Bereiche von Blitzschutzsystemen (z. B. bei wesentlicher Beeinflussung durch aggressive Umgebungsbedingungen) müssen zwischen Wiederholungsprüfungen einer Sichtprüfung unterzogen werden (**Tabelle 3.4.1.1**).

Zusatzprüfung

Zusätzlich zu den Wiederholungsprüfungen ist ein Blitzschutzsystem zu prüfen, wenn wesentliche Nutzungsänderungen, Änderungen der baulichen Anlage, Ergänzungen, Erweiterungen oder Reparaturen an einer geschützten baulichen Anlage durchgeführt wurden. Diese Prüfungen sind auch durchzuführen, wenn ein Blitzeinschlag in das Blitzschutzsystem bekannt geworden ist.

Schutzklasse	Sichtprüfung (Jahr)	Umfassende Prüfung (Jahr)	Umfassende Prüfung kritischer Systeme [a) b)] (Jahr)
I und II	1	2	1
III und IV	2	4	1

[a)] Blitzschutzanlagen für explosionsgefährdete bauliche Anlagen sollten alle 6 Monate einer Sichtprüfung unterzogen werden. Der elektrische Test der Installationen sollte einmal im Jahr ausgeführt werden. Eine akzeptable Abweichung von diesem jährlichen Prüfplan wäre es, die Tests alle 14 bis 15 Monate dort durchzuführen, wo es sinnvoll erscheint, die Messung des Erdwiderstandes zu unterschiedlichen Zeiten des Jahres durchzuführen, um so einen Hinweis auf jahreszeitbedingte Veränderungen zu bekommen.

[b)] Kritische Situationen könnten sich auf bauliche Anlagen beziehen, die sensible Systeme beinhalten oder auf Bürogebäude, Geschäftshäuser oder Plätze, wo sich eine größere Anzahl von Personen aufhalten kann.

Tabelle 3.4.1.1 Größter Abstand zwischen Prüfungen des LPS entsprechend DIN EN 62305-3, Tabelle E.2

3.4.2 Prüfungsmaßnahmen

Die Prüfung umfasst die Kontrolle der technischen Unterlagen, das Besichtigen und das Messen.

Kontrolle der technischen Unterlagen

Die technischen Unterlagen sind auf Vollständigkeit und Übereinstimmung mit den Normen zu prüfen.

Besichtigen

Durch Besichtigen ist zu prüfen, ob

- das Gesamtsystem mit den technischen Unterlagen übereinstimmt,
- sich das Gesamtsystem des äußeren und inneren Blitzschutzes in einem ordnungsgemäßen Zustand befindet,
- lose Verbindungen und Unterbrechungen der Leitungen des Blitzschutzsystems vorhanden sind,
- alle Erdungsanschlüsse (soweit sichtbar) in Ordnung sind,
- alle Leitungen und Systembauteile ordnungsgemäß befestigt sind und Teile, die eine mechanische Schutzfunktion haben, funktionstüchtig sind,
- Änderungen an der geschützten baulichen Anlage vorgenommen wurden, die zusätzliche Schutzmaßnahmen erfordern,
- die in Starkstromanlagen und Informationssystemen eingebauten Überspannungsschutzgeräte richtig eingebaut sind,
- Beschädigungen oder Auslösungen von Überspannungsschutzgeräten vorliegen,
- vorgeschaltete Überstromschutzeinrichtungen von Überspannungsschutzgeräten ausgelöst haben
- für neue Versorgungsanschlüsse oder Ergänzungen, die im Inneren der baulichen Anlage seit der letzten Prüfung eingebaut wurden, der Blitzschutz-Potentialausgleich ausgeführt wurde,
- Potentialausgleichsverbindungen innerhalb der baulichen Anlage vorhanden und intakt sind,
- die erforderlichen Maßnahmen bei Näherungen des Blitzschutzsystems zu Installationen durchgeführt wurden.

Messen

Durch Messen sind die Durchgängigkeit der Verbindungen und der Zustand der Erdungsanlage zu prüfen.
Es ist zu messen, ob alle Verbindungen und Anschlüsse von Fangeinrichtungen, Ableitungen, Potentialausgleichsleitungen, Schirmungsmaßnahmen usw., einen niederohmigen Durchgang haben. Der Richtwert ist $< 1\ \Omega$.
Der Übergangswiderstand zur Erdungsanlage an allen Messstellen ist zur Feststellung der Durchgängigkeit der Leitungen und Verbindungen zu messen (Richtwert $< 1\ \Omega$). Des Weiteren sind der Durchgang zu den metallenen Installationen (z. B. Gas, Wasser, Lüftung, Heizung), der Gesamterdungswiderstand des Blitzschutzsystems und der Erdungswiderstand von Einzelerdern und Teilringerdern zu messen. Die Messergebnisse müssen mit den Ergebnissen aus früheren Messungen verglichen werden. Ergibt sich eine wesentliche Abweichung von den früheren Messwerten, so sind zusätzliche Untersuchungen durchzuführen.
Hinweis: Bei bestehenden Erdungsanlagen, die älter als 10 Jahre sind, können Zustand und Beschaffenheit der Erdleitung und deren Verbindungen nur durch punktuelle Freilegung optisch beurteilt werden.

3.4.3 Dokumentation

Über jede Prüfung ist ein Bericht zu erstellen. Dieser soll zusammen mit den technischen Unterlagen und Berichten vorhergehender Prüfungen beim Betreiber der Anlage / System oder bei der zuständigen Verwaltungsstelle aufbewahrt werden.
Dem Prüfer müssen für die Beurteilung des Blitzschutzsystems z. B. folgende technische Unterlagen zur Verfügung stehen:

Entwurfskriterien, Planungsbeschreibungen, technische Zeichnungen zum äußeren und inneren Blitzschutz sowie Berichte vorausgegangener Wartungen und Prüfungen.

Ein Prüfbericht sollte folgende Angaben enthalten:

- **Allgemeines:** Eigentümer mit Anschrift, Hersteller des Blitzschutzsystems mit Anschrift, Baujahr
- **Angaben zur baulichen Anlage**: Standort, Nutzung, Bauart, Art der Dacheindeckung, Gefährdungspegel (LPL)
- **Angaben zum Blitzschutzsystem**
  - Werkstoff und Querschnitt der Leitungen
  - Anzahl der Ableitungen, z. B. Trennstellen (Bezeichnung entsprechend den Angaben in der Zeichnung); berechneter Trennungsabstand
  - Art der Erdungsanlage (z. B. Ringerder, Tiefenerder, Fundamenterder), Werkstoff und Querschnitt der Verbindungsleitungen zwischen den Einzelerdern
  - Ausführung des Blitzschutz-Potentialausgleichs zu metallenen Installationen, zu elektrischen Anlagen und zu vorhandenen Potentialausgleichsschienen
- **Grundlagen der Prüfung**
  - Beschreibung und Zeichnungen des Blitzschutzsystems
  - Blitzschutznormen und -bestimmungen zum Zeitpunkt der Errichtung
  - weitere Prüfgrundlagen (z. B. Verordnungen, Auflagen) zum Zeitpunkt der Errichtung
  - Ex-Zonenplan
- **Art der Prüfung**

  Prüfung der Planung, baubegleitende Prüfung, Abnahmeprüfung, Wiederholungsprüfung, Zusatzprüfung, Sichtprüfung
- **Prüfergebnis**
  - festgestellte Änderungen der baulichen Anlage und/oder des Blitzschutzsystems
  - Abweichungen von den zutreffenden Normen, Verordnungen, Auflagen und Anwendungsrichtlinien zum Zeitpunkt der Errichtung
  - festgestellte Mängel
  - Erdungswiderstand oder Schleifenwiderstand an den einzelnen Trennstellen mit Angabe des Messverfahrens und des Messgerätetyps
  - Gesamt-Erdungswiderstand (Messung ohne oder mit Schutzleiter und metallener Gebäudeinstallation)
- **Prüfer**: Name des Prüfers, Firma / Organisation des Prüfers, Name der Begleitperson, Anzahl der Seiten des Prüfberichtes, Datum der Prüfung, Unterschrift der Firma / Organisation des Prüfers

Musterprüfberichte entsprechend den Forderungen der DIN EN 62305-3 Beiblatt 3 finden Sie unter www.dehn.de

- für allgemeine Anlagen: Prüfbericht Nr. 2110
- für Ex-Anlagen: Prüfbericht Nr. 2117

3.4.4 Wartung

Die Wartung und Prüfung von Blitzschutzsystemen ist aufeinander abzustimmen. So sollten für alle Blitzschutzsysteme neben den Prüfungen auch regelmäßige Wartungsroutinen festgelegt werden. Die Häufigkeit der Durchführung von Wartungsarbeiten ist von folgenden Faktoren abhängig:

- Witterungs- und umgebungsbezogenem Qualitätsverlust
- Einwirkung von direkten Blitzeinschlägen und daraus entstandene mögliche Schäden
- Schutzklasse der betrachteten baulichen Anlage

Die Maßnahmen der Wartung sollten differenziert für jedes Blitzschutzsystem festgelegt und fester Bestandteil des Gesamtwartungsprogrammes der baulichen Anlage werden.
Es sollte eine Wartungsroutine erstellt werden. Diese ermöglicht dann einen Vergleich von momentan aufgenommenen Ergebnissen mit denen einer früheren Wartung. Auch können diese Werte zum Vergleich für eine spätere Prüfung herangezogen werden.

Nachstehende Maßnahmen sollte eine Wartungsroutine enthalten:

- Prüfen aller Leiter und Bauteile des Blitzschutzsystems
- Messen des elektrischen Durchganges von Installationen des Blitzschutzsystems
- Messen des Erdungswiderstandes der Erdungsanlage
- Sichtprüfung aller Überspannungsschutzgeräte (bezieht sich auf Überspannungsschutzgeräte an den eingeführten Leitungen der Starkstromanlage und des Informationssystems) ob Beschädigungen oder Auslösungen vorliegen
- Wiederbefestigung von Bauteilen und Leitern
- Prüfung der unveränderten Wirksamkeit des Blitzschutzsystems nach zusätzlichen Einbauten oder Änderungen an der baulichen Anlage

Von allen Wartungsarbeiten sollten vollständige Aufzeichnungen erstellt werden. Sie sollten durchgeführte oder vorzunehmende Änderungsmaßnahmen enthalten.
Diese Aufzeichnungen sind Hilfsmittel für die Bewertung der Bauteile und Installationen des Blitzschutzsystems. Anhand dessen kann eine Wartungsroutine überprüft und aktualisiert werden. Die Wartungsprotokolle sollten zusammen mit dem Entwurf und den Prüfberichten des Blitzschutzsystems aufbewahrt werden.

Blitzschutzsystem

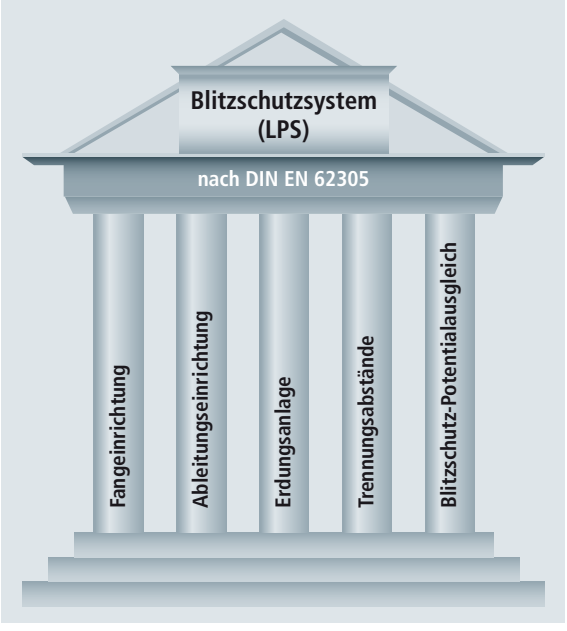


Bild 4.1 Bestandteile eines Blitzschutzsystems

Blitzschutzsysteme (englisch: Lightning Protection Systems – LPS) sollen bauliche Anlagen vor Brand oder mechanischer Zerstörung schützen und Personen in den Gebäuden vor Verletzung oder gar Tod bewahren.
Ein Blitzschutzsystem besteht aus dem äußeren und dem inneren Blitzschutz (**Bild 4.1**).

Die Funktionen des äußeren Blitzschutzes sind:

- Auffangen von Direkteinschlägen mit einer Fangeinrichtung
- Sicheres Ableiten des Blitzstromes zur Erde mit einer Ableitungseinrichtung
- Verteilen des Blitzstromes in der Erde über eine Erdungsanlage.

Die Funktion des inneren Blitzschutzes ist

- das Verhindern gefährlicher Funkenbildung innerhalb der baulichen Anlage. Dies wird durch den Potentialausgleich oder durch eine Trennstrecke zwischen den Bauteilen des Blitzschutzsystems und anderen elektrisch leitenden Elementen innerhalb der baulichen Anlage erreicht.

Der Blitzschutz-Potentialausgleich reduziert die durch den Blitzstrom verursachten Potentialunterschiede. Dies wird durch die Verbindung aller getrennten leitenden Anlagenteile direkt durch Leitungen oder durch Überspannungsschutzgeräte (SPDs) bewirkt (**Bild 4.2**).

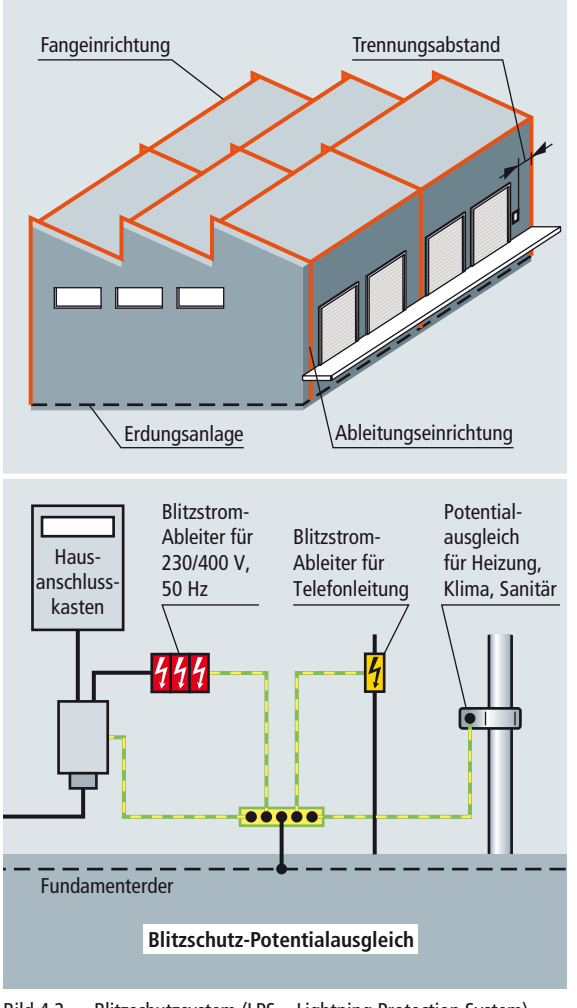


Bild 4.2 Blitzschutzsystem (LPS – Lightning Protection System)

Die vier Schutzklassen I, II, III und IV von Blitzschutzsystemen (LPS) sind durch einen Satz von Konstruktionsregeln mit Vorgaben für die Dimensionierung festgelegt, die auf dem entsprechenden Gefährdungspegel beruhen. Jeder Satz umfasst klassenabhängige (z. B. Radius der Blitzkugel, Maschenweite) und klassenunabhängige (z. B. Querschnitte, Werkstoffe) Vorgaben.

Zum Sicherstellen kontinuierlicher Verfügbarkeit komplexer informationstechnischer Systeme auch im Falle direkter Blitzeinwirkung sind, aufbauend auf einem Blitzschutzsystem, weiterführende Maßnahmen zum Überspannungsschutz elektronischer Systeme notwendig. Dieser umfassende Maßnahmenkatalog ist als Blitzschutzzonen-Konzept in Kapitel 7 beschrieben.

Äußerer Blitzschutz

5.1 Fangeinrichtungen

Die Fangeinrichtungen eines Blitzschutzsystems haben die Aufgabe, das zu schützende Volumen vor direkten Einschlägen zu bewahren. Sie sind so auszulegen, dass unkontrollierte Einschläge in das zu schützende Gebäude bzw. die zu schützende bauliche Anlage vermieden werden.
Durch richtig dimensionierte Fangeinrichtungen werden die Auswirkungen eines Blitzschlages in eine bauliche Anlage kontrolliert verringert.

Fangeinrichtungen können aus folgenden Bestandteilen zusammengefügt und beliebig untereinander kombiniert werden:

- Stangen
- gespannte Drähte und Seile
- vermaschte Leiter.

Bei der Bestimmung der Lage der Fangeinrichtungen des Blitzschutzsystems muss besondere Sorgfalt auf den Schutz von Ecken und Kanten der zu schützenden baulichen Anlage gelegt werden. Dies gilt in höchstem Maße bei Fangeinrichtungen auf Dachflächen und den oberen Teilen von Fassaden. Fangeinrichtungen sind vor allem an Ecken und Kanten anzubringen.
Bei der Festlegung der Anordnung und der Lage von Fangeinrichtungen können drei Verfahren genutzt werden (**Bild 5.1.1**):

- Blitzkugelverfahren
- Maschenverfahren
- Schutzwinkelverfahren

Dabei ist das Blitzkugelverfahren die universelle Planungsmethode, die insbesondere für geometrisch komplizierte Anwendungsfälle empfohlen wird.

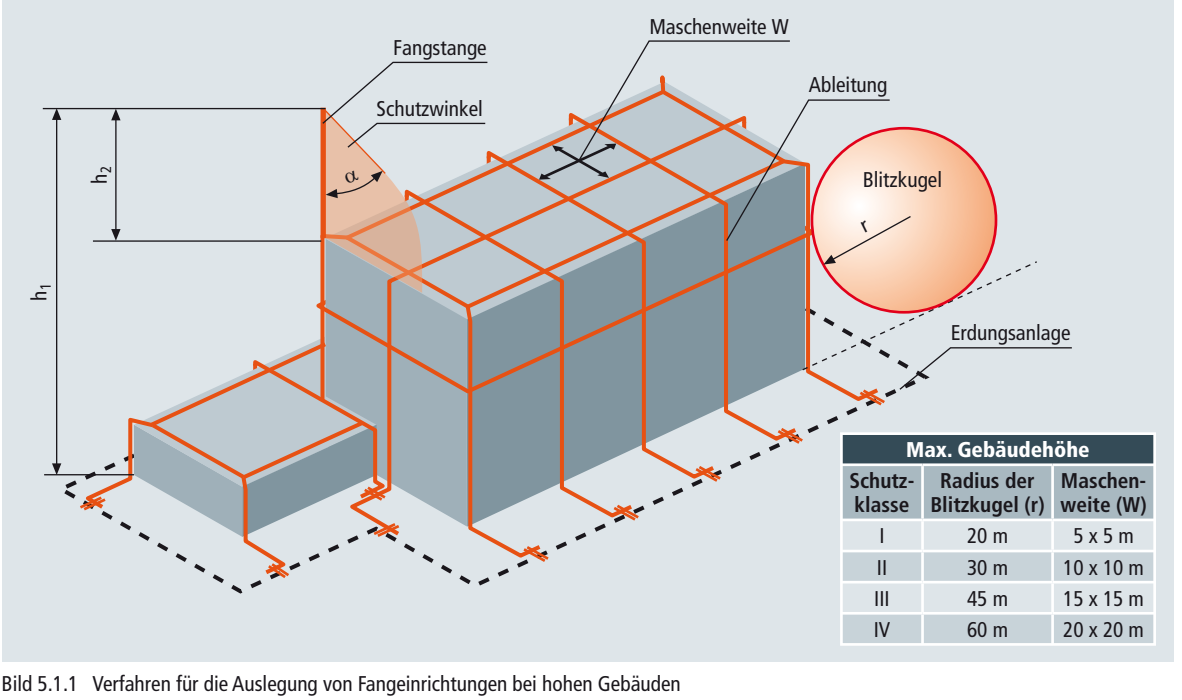
Nachfolgend sind die drei verschiedenen Verfahren dargestellt.

5.1.1 Arten von Fangeinrichtungen und Verfahren zur Auslegung

Das Blitzkugelverfahren – elektro-geometrisches Modell

Bei Wolke-Erde-Blitzen wächst ein Leitblitz schrittweise in Rückstufen von der Wolke in Richtung Erde. Hat sich der Leitblitz auf einige 100 bis einige 10 Meter der Erde genähert, wird die elektrische Isolationsfähigkeit der bodennahen Luft überschritten. Es beginnt von der Erde eine weitere, dem Leitblitz ähnliche „Leader"-Entladung in Richtung Leitblitzkopf zu wachsen: die Fangentladung. Damit wird die Einschlagstelle des Blitzes festgelegt (**Bild 5.1.1.1**).

Den Startpunkt der Fangentladung und damit die spätere Einschlagstelle bestimmt vor allem der Leitblitzkopf. Der Leit-



Max. Gebäudehöhe		
Schutzklasse	Radius der Blitzkugel (r)	Maschenweite (W)
I	20 m	5 x 5 m
II	30 m	10 x 10 m
III	45 m	15 x 15 m
IV	60 m	20 x 20 m

Bild 5.1.1 Verfahren für die Auslegung von Fangeinrichtungen bei hohen Gebäuden

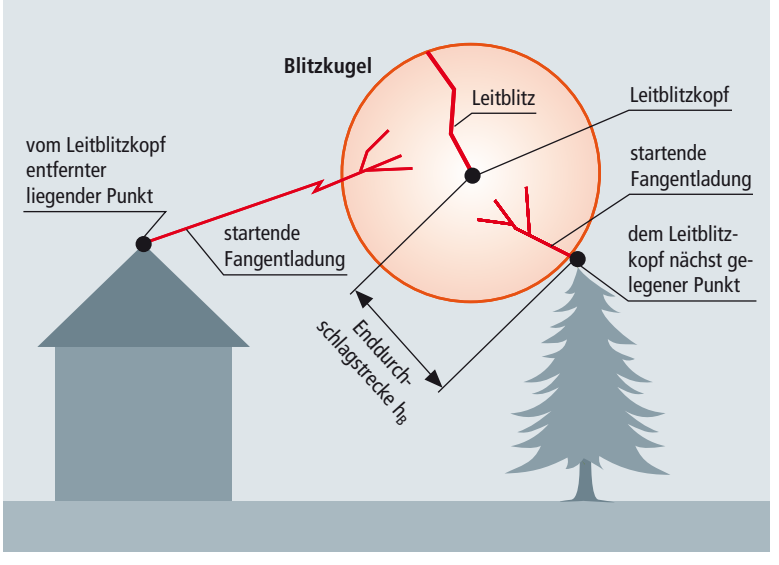


Bild 5.1.1.1 Startende Fangentladung, die den Einschlagpunkt festlegt

Eine Blitzkugel kann, wie in dieser Modelluntersuchung gezeigt, nicht nur die Turmspitze, sondern auch das Kirchenschiff an mehreren Stellen berühren. An allen Berührungsstellen sind Einschläge möglich.

Bild 5.1.1.2 Modell einer Blitzkugel; Quelle: Prof. Dr. A. Kern, Aachen

blitzkopf kann sich nur bis zu einem bestimmten Abstand der Erde nähern. Dieser wird durch die ständig mit anwachsende elektrische Bodenfeldstärke während der Annäherung des Leitblitzkopfs festgelegt. Der kleinste Abstand zwischen dem Leitblitzkopf und dem Startpunkt der Fangentladung wird Enddurchschlagstrecke h_B genannt (entspricht dem Radius der Blitzkugel).
Unmittelbar nach dem Überschreiten der elektrischen Isolationsfähigkeit an einer Stelle entsteht die Fangentladung, die zum Enddurchschlag führt und die Enddurchschlagstrecke überwindet. Basierend auf der Beobachtung der Schutzwirkung von Erdseilen und Hochspannungsmasten wurde das sog. **elektro-geometrische Modell** erstellt.

Dieses gründet auf der Hypothese, dass sich der Leitblitzkopf den Objekten auf der Erde unbeeinflusst bis auf die Enddurchschlagstrecke annähert.
Die Einschlagstelle wird dann von dem Objekt festgelegt, das die kürzeste Entfernung zum Leitblitzkopf aufweist. Die von dort startende Fangentladung „setzt sich durch" (**Bild 5.1.1.2**).

Schutzklasseneinteilung und Blitzkugelradius

In erster Näherung besteht eine Proportionalität zwischen dem Scheitelwert des Blitzstroms und der im Leitblitz gespeicherten elektrischen Ladung. Zudem ist die elektrische Bodenfeldstärke bei heranwachsendem Leitblitz in erster Näherung von der im Leitblitz gespeicherten Ladung linear abhängig.

Somit existiert eine Proportionalität zwischen dem Scheitelwert I des Blitzstroms und der Enddurchschlagstrecke h_B (= Radius der Blitzkugel):

$$r = 10 \cdot I^{0,65}$$

r in m
I in kA.

Der Blitzschutz von Gebäuden ist in der DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1) beschrieben. Diese Norm definiert u. a. die Einteilung in einzelne Gefährdungspegel / Schutzklassen und legt die daraus resultierenden Blitzschutz-Maßnahmen fest.
Sie unterscheidet vier Schutzklassen. Dabei bietet die Schutzklasse I den höchsten und die Schutzklasse IV den im Vergleich geringsten Schutz. Mit der jeweiligen Schutzklasse geht die Einfangwirksamkeit E_i der Fangeinrichtungen einher, d. h., welcher Anteil der zu erwartenden Blitzeinschläge durch die Fangeinrichtungen sicher beherrscht wird. Daraus ergibt sich die Enddurchschlagstrecke und damit der Radius der Blitzkugel. Die Zusammenhänge zwischen Gefährdungspegel / Schutzklasse, Einfangwahrscheinlichkeit der Fangeinrichtungen, Enddurchschlagstrecke / Radius der Blitzkugel und Stromscheitelwert sind in **Tabelle 5.1.1.1** dargestellt.

Basierend auf der Hypothese des elektro-geometrischen Modells, dass sich der Leitblitzkopf den Objekten auf der Erde willkürlich und unbeeinflusst bis auf die Enddurchschlagstrecke annähert, lässt sich ein allgemeines Verfahren ableiten, das eine Überprüfung des Schutzraums beliebiger Anordnungen

Gefährdungs-pegel LPL	Wahrscheinlichkeiten für die Grenzwerte der Blitzstromparameter		Radius der Blitz-kugel (Enddurch-schlagstrecke h_B) r in m	kleinster Scheitelwert des Stromes I in kA
	> Minimalwerte	< Maximalwerte		
IV	0,84	0,95	60	16
III	0,91	0,95	45	10
II	0,97	0,98	30	5
I	0,99	0,99	20	3

Tabelle 5.1.1.1 Beziehungen zwischen Gefährdungspegel, Einfangwahrscheinlichkeit, Enddurchschlagstrecke h_B und kleinstem Scheitelwert des Stromes I; Quelle: Tabelle 5 der DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1)

von Objekten gestattet. Zur Durchführung dieses Blitzkugelverfahrens benötigt man von dem zu schützenden Objekt ein maßstäbliches Modell (z. B. im Maßstab 1:100), an dem die äußeren Konturen und ggf. die Fangeinrichtungen nachgebildet sind. Je nach Standort des zu untersuchenden Objekts ist es ebenfalls notwendig, die umliegenden Gebäude und Objekte mit einzubeziehen, da diese als „natürliche Schutzmaßnahmen" für das zu untersuchende Objekt wirksam sein könnten.
Des Weiteren benötigt man eine der jeweiligen Schutzklasse adäquate maßstäbliche Kugel mit dem Radius, der der Enddurchschlagsstrecke entspricht (der Radius r der Blitzkugel muss je nach Schutzklasse maßstäblich mit den Radien 20, 30, 45 oder 60 m übereinstimmen). Der Mittelpunkt der verwendeten Blitzkugel entspricht dem Leitblitzkopf, bis zu dem sich die jeweiligen Fangentladungen ausbilden.

Die Blitzkugel wird nun um das zu untersuchende Objekt gerollt, und die jeweiligen Berührungspunkte, die den möglichen Einschlagstellen des Blitzes entsprechen, werden markiert. Anschließend wird die Blitzkugel in allen Richtungen über das Objekt gerollt. Wieder werden alle Berührungspunkte markiert. So bilden sich auf dem Modell alle möglichen Blitzeinschlagstellen ab und man kann auch die Bereiche von eventuellen

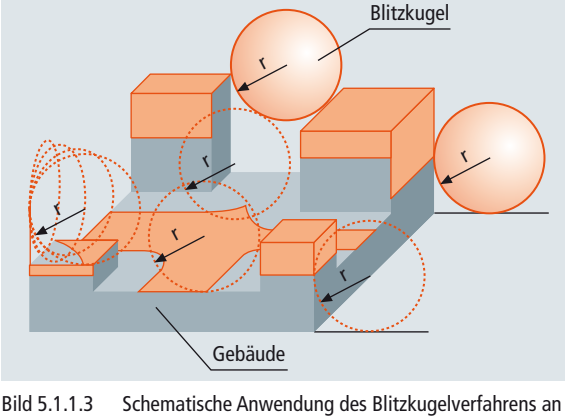


Bild 5.1.1.3 Schematische Anwendung des Blitzkugelverfahrens an einem Gebäude mit stark gegliederter Oberfläche

Seiteneinschlägen feststellen. Die natürlichen Schutzräume, die sich aufgrund der Geometrie des zu schützenden Objekts und seines Umfelds ergeben, werden ebenfalls deutlich. An diesen Stellen kann auf die Montage von Fangleitungen verzichtet werden (**Bild 5.1.1.3**).

Zu beachten ist dabei allerdings, dass an Turmspitzen auch schon Blitzfußspuren an Stellen festgestellt wurden, die durch das Überrollen der Blitzkugel nicht direkt berührt worden sind. Dies wird u. a. darauf zurückgeführt, dass bei Mehrfachblitzen der Fußpunkt des Blitzes aufgrund der Windverhältnisse gewandert ist. Es kann demnach vorkommen, dass sich um die ermittelten Einschlagstellen herum ein Bereich in der Größenordnung von etwa einem Meter ausbildet, in dem gleichfalls Blitzeinschläge möglich sind.

Beispiel 1: Neubau eines Verwaltungsgebäudes in München

In der Planungsphase des Neubaus dieses Verwaltungsgebäudes entschied man sich, wegen der komplexen Geometrie das Blitzkugelverfahren anzuwenden, um die blitzeinschlaggefährdeten Bereiche zu identifizieren.
Möglich war dies, da ein Architekturmodell des Neubaus im Maßstab 1:100 zur Verfügung stand.
Als Anforderung an das Blitzschutzsystem wurde die Schutzklasse I festgelegt, d. h., der Blitzkugelradius im Modell betrug 20 cm (**Bild 5.1.1.4**).

An den Stellen, an denen die Blitzkugel Gebäudeteile berührte, könnte ein direkter Blitzeinschlag mit dem zugehörigen Mindest-Stromscheitelwert von 3 kA auftreten (**Bild 5.1.1.5**). Hier waren demzufolge adäquate Fangeinrichtungen erforderlich. Nachdem an diesen Stellen oder in unmittelbarer Nähe elektrische Einrichtungen lokalisiert worden waren (z. B. auf dem Gebäudedach), wurden dort erweiterte Maßnahmen für Fangeinrichtungen realisiert.
Durch die Anwendung des Blitzkugelverfahrens wurde es vermieden, Fangeinrichtungen an Punkten zu installieren, wo sie aus schutztechnischer Sicht nicht erforderlich sind. Auf der an-

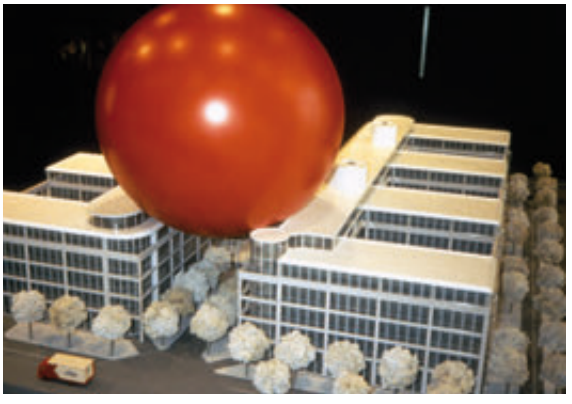


Bild 5.1.1.4 Neubau Verwaltungsgebäude: Modell mit Blitzkugel der Schutzklasse I; Quelle: WBG Wiesinger

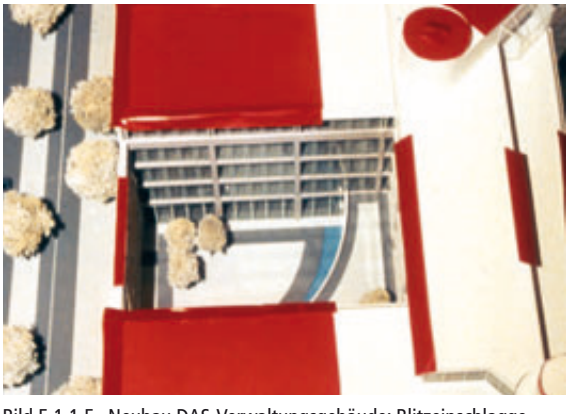


Bild 5.1.1.5 Neubau DAS-Verwaltungsgebäude: Blitzeinschlaggefährdete Bereiche für die Schutzklasse I in der Draufsicht (Ausschnitt); Quelle: WBG Wiesinger

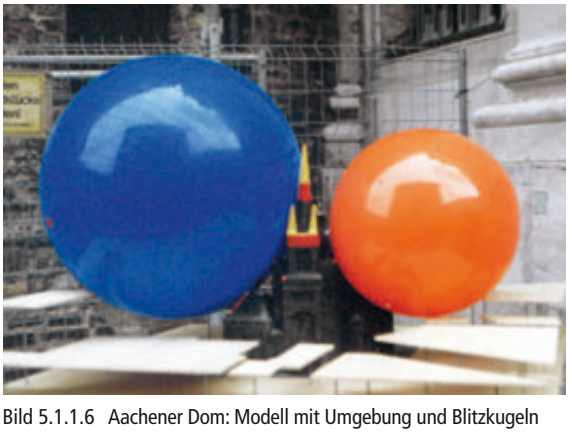


Bild 5.1.1.6 Aachener Dom: Modell mit Umgebung und Blitzkugeln der Schutzklasse III und II; Quelle: Prof. Dr. A. Kern, Aachen

deren Seite konnte der Schutz vor direkten Einschlägen an den Stellen verbessert werden, wo es notwendig ist (**Bild 5.1.1.5**).

Beispiel 2: Aachener Dom

Der Dom steht inmitten der Aachener Altstadt und ist von mehreren hohen Gebäuden umgeben. Direkt neben dem Dom befindet sich ein Modell im Maßstab 1:100, das den Besuchern die Geometrie des Bauwerks besser begreiflich machen soll.

Die umgebenden Gebäude bieten dem Aachener Dom zum Teil einen natürlichen Schutz vor Blitzeinschlägen. Um den natürlichen Schutz und die Wirksamkeit von Blitzschutzmaßnahmen aufzuzeigen, wurden die umliegenden Gebäude in ihren wesentlichen Elementen im gleichen Modell-Maßstab (1:100) abgebildet (**Bild 5.1.1.6**).

Bild 5.1.1.6 zeigt ferner Blitzkugeln der Schutzklassen II und III (d. h. mit Radien von 30 cm und 45 cm) am Modell.
Ziel war es hierbei, die steigenden Anforderungen an die Fangeinrichtungen bei abnehmendem Blitzkugelradius darzustellen, d. h., welche Bereiche des Aachener Doms bei der höheren Schutzklasse II zusätzlich als blitzeinschlaggefährdet anzusehen sind.
Die Blitzkugel mit dem kleineren Radius der höheren Schutzklasse berührt das Modell natürlich auch an allen Stellen, an denen es die Blitzkugel mit dem größeren Radius bereits berührt hat. Es ist damit nur noch notwendig, die zusätzlichen Berührungspunkte festzustellen.
Bei der Dimensionierung der Fangeinrichtung für eine bauliche Anlage oder einen Dachaufbau ist, wie aufgezeigt, der Durchhang der Blitzkugel ausschlaggebend.

Mit der nachfolgenden Formel kann die Eindringtiefe p der Blitzkugel errechnet werden, wenn die Blitzkugel beispielsweise auf „Schienen" rollt. Dies ist z. B. bei zwei gespannten Drähten gegeben.

$$p = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

r Radius der Blitzkugel

d Abstand zwischen zwei Fangstangen oder zwei parallelen Fangleitungen.

Bild 5.1.1.7 veranschaulicht diese Betrachtungsweise.
Sollen Dachfläche oder Dachaufbauten vor direktem Einschlag geschützt werden, wird dies häufig durch Fangstangen realisiert. Durch die quadratische Anordnung der Fangstangen, die in der Regel nicht überspannt werden, läuft die Kugel „nicht auf Schienen", sondern „taucht tiefer ein", wodurch die Eindringtiefe der Kugel größer wird (**Bild 5.1.1.8**).

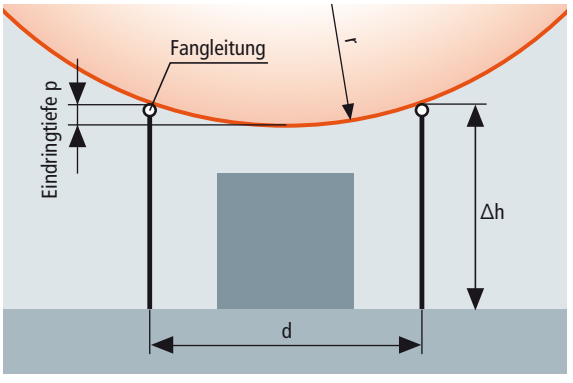


Bild 5.1.1.7 Eindringtiefe p der Blitzkugel

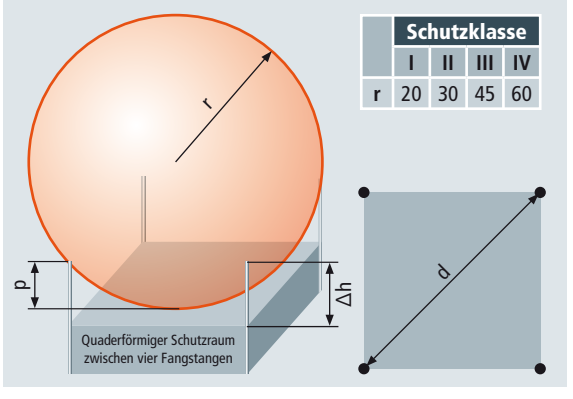


Bild 5.1.1.8 Fangeinrichtung für Dachaufbauten mit ihrem Schutzraum

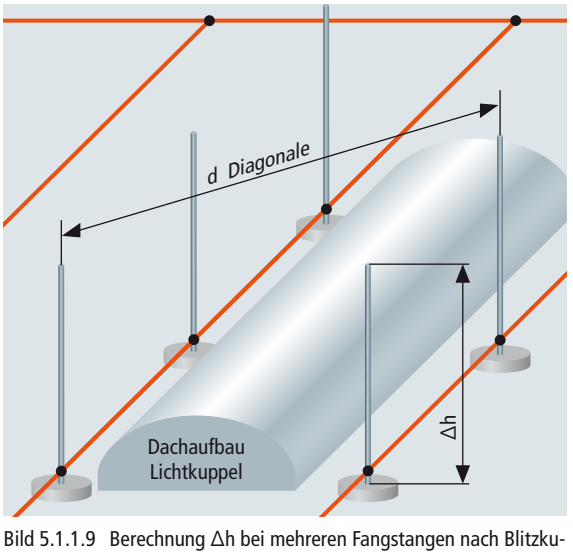


Bild 5.1.1.9 Berechnung Δh bei mehreren Fangstangen nach Blitzkugelverfahren

d	Durchhang der Blitzkugel [m] (aufgerundet)			
Abstand zwischen Fang-stangen [m]	Schutzklasse mit Blitzkugelradius [m]			
	I (20 m)	II (30 m)	III (45 m)	IV (60 m)
2	0,03	0,02	0,01	0,01
4	0,10	0,07	0,04	0,03
6	0,23	0,15	0,10	0,08
8	0,40	0,27	0,18	0,13
10	0,64	0,42	0,28	0,21
12	0,92	0,61	0,40	0,30
14	1,27	0,83	0,55	0,41
16	1,67	1,09	0,72	0,54
18	2,14	1,38	0,91	0,68
20	2,68	1,72	1,13	0,84
23	3,64	2,29	1,49	1,11
26	4,80	2,96	1,92	1,43
29	6,23	3,74	2,40	1,78
32	8,00	4,62	2,94	2,17
35	10,32	5,63	3,54	2,61

Tabelle 5.1.1.2 Durchhang der Blitzkugel bei zwei Fangstangen oder zwei parallelen Fangleitungen

Die Fangstangenhöhe Δh muss immer höher dimensioniert werden als der ermittelte Wert der Eindringtiefe p und somit der Durchhang der Blitzkugel. Durch diese zusätzliche Höhe der Fangstange wird gewährleistet, dass die Blitzkugel das zu schützende Objekt nicht berührt.

Eine andere Vorgehensweise, die Höhe der Fangstangen zu ermitteln, wird durch **Tabelle 5.1.1.2** ermöglicht. Maßgebend für die Eindringtiefe der Blitzkugel ist der größte Abstand der Fangstangen zueinander. Durch die weiteste Entfernung kann in der Tabelle die Eindringtiefe p (Durchhang) abgelesen werden. Die Fangstangen sind entsprechend der Höhe des Dachaufbaus (bezogen auf den Standort der Fangstange) und zusätzlich der Eindringtiefe zu dimensionieren (**Bild 5.1.1.9**). Wird z. B. eine gesamte Fangstangenhöhe von 1,15 m rechnerisch oder aus der Tabelle ermittelt, wird in der Regel ein handelsübliches Maß der Fangstange von 1,5 m eingesetzt.

Maschenverfahren

Die Fangeinrichtung „Masche" kann universell und unabhängig von der Gebäudehöhe und Dachform angewandt werden. Auf der Dacheindeckung wird ein maschenförmiges Fangnetz mit einer der jeweiligen Schutzklasse entsprechenden Maschenweite angeordnet (**Tabelle 5.1.1.3**).

Schutzklasse	Maschenweite
I	5 x 5 m
II	10 x 10 m
III	15 x 15 m
IV	20 x 20 m

Tabelle 5.1.1.3 Maschenweite

Der Durchhang der Blitzkugel wird bei der Fangeinrichtung „Masche" vereinfacht zu Null angenommen.
Die Lage der einzelnen Maschen ist unter Verwendung des Firstes und der Außenkanten des Gebäudes sowie den als Fangeinrichtung dienenden metallenen natürlichen Baukomponenten frei wählbar.
Die Fangleitungen an den Außenkanten der baulichen Anlage müssen möglichst nahe an den Kanten verlegt werden.

Eine metallene Attika kann als Fang- und/oder Ableitung verwendet werden, wenn die geforderten Mindestmaße für natürliche Bestandteile der Fangeinrichtung erfüllt werden (**Bild 5.1.1.10**).

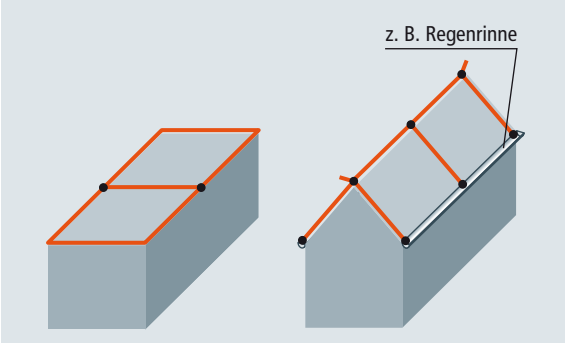


Bild 5.1.1.10 Maschenförmige Fangeinrichtung

Schutzwinkelverfahren

Das Schutzwinkelverfahren ist von dem elektro-geometrischen Blitzmodell abgeleitet. Der Schutzwinkel wird vom Radius der Blitzkugel bestimmt. Der mit dem Radius der Blitzkugel vergleichbare Schutzwinkel ergibt sich, wenn eine Schräge die Blitzkugel so schneidet, dass die dadurch entstehenden Flächen inhaltlich gleich groß sind (**Bild 5.1.1.11**).
Dieses Verfahren ist bei den Gebäuden mit symmetrischen Abmessungen (z. B. Steildach) oder für Dachaufbauten (z. B. Antennen, Abluftrohre) anzuwenden.
Der Schutzwinkel ist abhängig von der Schutzklasse und der Höhe der Fangeinrichtung über der Bezugsebene (**Bild 5.1.1.12**).

Fangleitungen, Fangstangen, Maste und Drähte sollten so angeordnet werden, dass alle Teile der zu schützenden baulichen Anlage innerhalb des Schutzvolumens der Fangeinrichtung liegen.

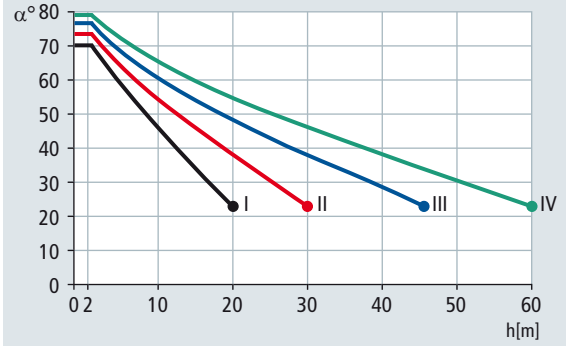


Bild 5.1.1.12 Schutzwinkel α als Funktion der Höhe h in Abhängigkeit von der Schutzklasse

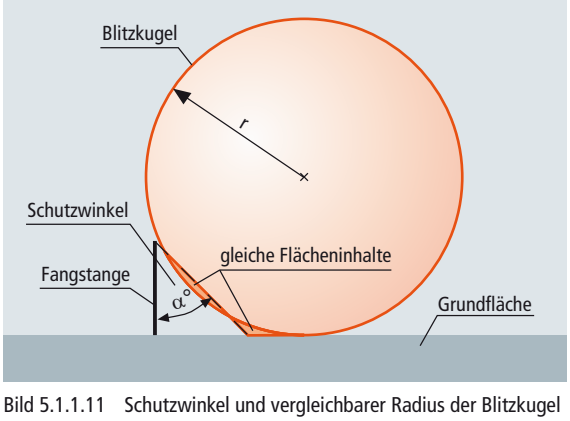


Bild 5.1.1.11 Schutzwinkel und vergleichbarer Radius der Blitzkugel

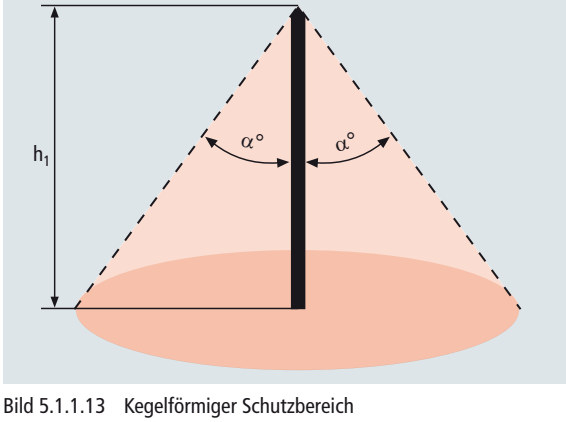


Bild 5.1.1.13 Kegelförmiger Schutzbereich

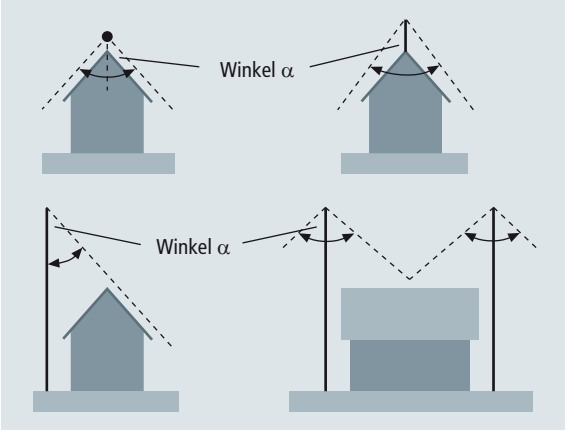
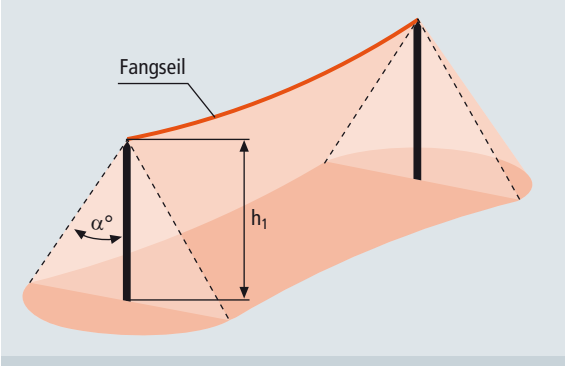
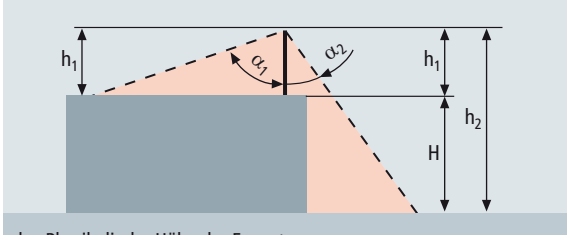


Bild 5.1.1.14 Beispiel für Fangeinrichtungen mit Schutzwinkel α



Der Winkel α ist abhängig von der Schutzklasse und der Höhe der Fangleitung über dem Erdboden

Bild 5.1.1.15 Durch eine Fangleitung geschützter Raum



h_1: Physikalische Höhe der Fangstange

Anmerkung:
Der Schutzwinkel α_1 bezieht sich auf die Höhe der Fangeinrichtung h_1 über der zu schützenden Dachfläche (Bezugsebene).
Der Schutzwinkel α_2 bezieht sich auf die Höhe $h_2 = h_1 + H$, wobei die Erdoberfläche die Bezugsebene ist.

Bild 5.1.1.16 Durch eine Fangstange geschütztes Volumen

Bild 5.1.1.17 Schutz kleinerer Dachaufbauten vor Direkteinschlägen mit Fangstangen

Der Schutzbereich kann „kegelförmig" oder mit Überspannung z. B. eines Seiles „zeltförmig" sein (**Bilder 5.1.1.13** bis **5.1.1.15**).
Sind Fangstangen zum Schutz von Dachaufbauten auf der Dachfläche aufgestellt, dann kann der Schutzwinkel α unterschiedlich sein. Im **Bild 5.1.1.16** ist die Bezugsebene für den Schutzwinkel α_1 die Dachfläche. Der Schutzwinkel α_2 hat den Erdboden als Bezugsebene, und somit ist der Winkel α_2 nach **Bild 5.1.1.12** und der **Tabelle 5.1.1.4** geringer als α_1.
In **Tabelle 5.1.1.4** können der entsprechende Schutzwinkel je nach Schutzklasse und der zugehörige Abstand (Schutzbereich) abgelesen werden.

Schutzwinkelverfahren für getrennte Fangeinrichtungen von Dachaufbauten

Besondere Probleme treten auf, wenn Dachaufbauten, die oft nachträglich eingebracht werden, etwa aus den Schutzbereichen der Masche herausragen. Besitzen diese Dachaufbauten zudem noch elektrische oder elektronische Einrichtungen, wie z. B. Dachlüfter, Antennen, Messsysteme oder Fernsehkameras, sind ergänzende Schutzmaßnahmen erforderlich.

Bei einem direkten Anschluss solcher Einrichtungen an den äußeren Blitzschutz werden im Falle eines Blitzeinschlags Teilströme in das Gebäude geführt, die zur Zerstörung überspannungsempfindlicher Einrichtungen führen können. Durch getrennte Fangeinrichtungen sind Direkteinschläge in diese dachüberragenden Aufbauten zu verhindern.
Zum Schutz von kleineren Dachaufbauten (mit elektrischen Einrichtungen) eignen sich Fangstangen nach **Bild 5.1.1.17**. Sie bilden einen kegelförmigen Schutzbereich und verhindern so einen Direkteinschlag in den Dachaufbau.

Der Trennungsabstand s ist bei der Dimensionierung der Fangstangenhöhe zu berücksichtigen (siehe Kapitel 5.6).

Höhe der Fangstange h in m	SK I		SK II		SK III		SK IV	
	Winkel α	Abstand a in m	Winkel α	Abstand a in m	Winkel α	Abstand a in m	Winkel α	Abstand a in m
1	71	2,90	74	3,49	77	4,33	79	5,14
2	71	5,81	74	6,97	77	8,66	79	10,29
3	66	6,74	71	8,71	74	10,46	76	12,03
4	62	7,52	68	9,90	72	12,31	74	13,95
5	59	8,32	65	10,72	70	13,74	72	15,39
6	56	8,90	62	11,28	68	14,85	71	17,43
7	53	9,29	60	12,12	66	15,72	69	18,24
8	50	9,53	58	12,80	64	16,40	68	19,80
9	48	10,00	56	13,34	62	16,93	66	20,21
10	45	10,00	54	13,76	61	18,04	65	21,45
11	43	10,26	52	14,08	59	18,31	64	22,55
12	40	10,07	50	14,30	58	19,20	62	22,57
13	38	10,16	49	14,95	57	20,02	61	23,45
14	36	10,17	47	15,01	55	19,99	60	24,25
15	34	10,12	45	15,00	54	20,65	59	24,96
16	32	10,00	44	15,45	53	21,23	58	25,61
17	30	9,81	42	15,31	51	20,99	57	26,18
18	27	9,17	40	15,10	50	21,45	56	26,69
19	25	8,86	39	15,39	49	21,86	55	27,13
20	23	8,49	37	15,07	48	22,21	54	27,53
21			36	15,26	47	22,52	53	27,87
22			35	15,40	46	22,78	52	28,16
23			36	16,71	47	24,66	53	30,52
24			32	15,00	44	23,18	50	28,60
25			30	14,43	43	23,31	49	28,76
26			29	14,41	41	22,60	49	29,91
27			27	13,76	40	22,66	48	29,99
28			26	13,66	39	22,67	47	30,03
29			25	13,52	38	22,66	46	30,03
30			23	12,73	37	22,61	45	30,00
31					36	22,52	44	29,94
32					35	22,41	44	30,90
33					35	23,11	43	30,77
34					34	22,93	42	30,61
35					33	22,73	41	30,43
36					32	22,50	40	30,21
37					31	22,23	40	31,50
38					30	21,94	39	30,77
39					29	21,62	38	30,47
40					28	21,27	37	30,14
41					27	20,89	37	30,90
42					26	20,48	36	30,51
43					25	20,05	35	30,11
44					24	19,59	35	30,81
45					23	19,10	34	30,35
46							33	29,87
47							32	29,37
48							32	29,99
49							31	29,44
50							30	28,87
51							30	29,44
52							29	28,82
53							28	28,18
54							27	27,51
55							27	28,02
56							26	27,31
57							25	26,58
58							25	27,05
59							24	26,27
60							23	25,47

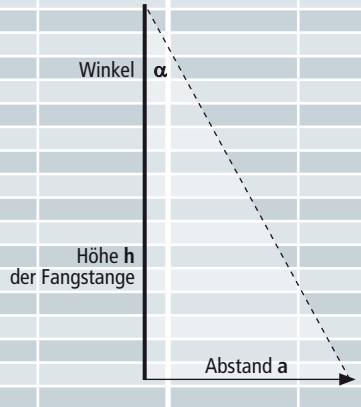


Tabelle 5.1.1.4 Schutzwinkel α in Abhängigkeit der Schutzklasse (SK)

Bild 5.1.1.18 Satteldach mit Leitungshalter

Bild 5.1.1.19 Flachdach mit Fangstangen und Leitungshaltern: Schutz der Lichtkuppeln

Getrennte und nicht getrennte Fangeinrichtungen

Bei der Ausführung des äußeren Blitzschutzes an einem Gebäude werden zwei Arten der Fangeinrichtungen unterschieden:

- getrennt
- nicht getrennt.

Die beiden Ausführungen können miteinander kombiniert werden.

Die Fangeinrichtungen eines **nicht getrennten** äußeren Blitzschutzes zum Schutz einer baulichen Anlage können auf folgende Arten errichtet werden:

- Besteht das Dach aus nicht brennbarem Material, können die Leitungen der Fangeinrichtung auf der Oberfläche der baulichen Anlage verlegt werden (z. B. Sattel- oder Flachdach). In der Regel werden ebenfalls Baustoffe aus nicht brennbarem Material verwendet. Somit können die Komponenten des äußeren Blitzschutzes direkt an die bauliche Anlage montiert werden (**Bilder 5.1.1.18** und **5.1.1.19**).
- Besteht das Dach aus leicht entflammbarem Material (Baustoffklasse B 3, siehe Beiblatt 1 zur DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3), wie z. B. bei Weichdächern, darf der Abstand zwischen den brennbaren Teilen des Daches und der Fangeinrichtung aus Fangstangen, Fangleitungen oder Fangmaschen nicht kleiner als 0,4 m sein. Leicht entflammbare Teile der zu schützenden baulichen Anlage dürfen nicht in direktem Kontakt mit Teilen des äußeren Blitzschutzes stehen. Sie dürfen sich auch nicht unter einer Dachdeckung befinden, die bei Blitzeinschlag durchlöchert werden kann (s. auch Kapitel 5.1.5 Reetdächer).

Bei **getrennten** Fangeinrichtungen wird die gesamte bauliche Anlage durch Fangstangen, Fangmaste oder mit Seilüberspannten Masten vor einem direkten Einschlag geschützt. Die Fangeinrichtungen sind unter Beachtung des Trennungsabstands s zum Gebäude zu errichten (**Bilder 5.1.1.20** und **5.1.1.21**).

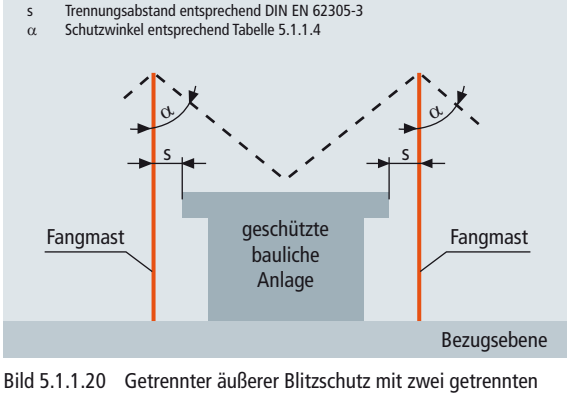


Bild 5.1.1.20 Getrennter äußerer Blitzschutz mit zwei getrennten Fangmasten nach dem Schutzwinkelverfahren: Projektion auf eine vertikale Fläche

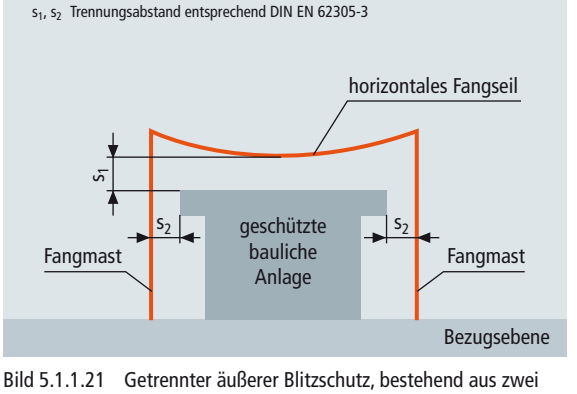


Bild 5.1.1.21 Getrennter äußerer Blitzschutz, bestehend aus zwei getrennten Fangmasten, verbunden durch eine horizontale Fangleitung: Projektion auf eine vertikale Fläche durch die zwei Masten (Aufriss)

Der Trennungsabstand s zwischen der Fangeinrichtung und der baulichen Anlage ist einzuhalten.
Diese von der baulichen Anlage getrennten Fangeinrichtungen werden häufig bei brennbaren Materialien auf dem Dach (z. B. Reet) oder auch bei Ex-Anlagen (z. B. Tankanlagen) angewendet (s. auch Kapitel 5.1.5 „Fangeinrichtung für Gebäude mit weicher Bedachung").

Eine weitere Möglichkeit, getrennte Fangeinrichtungen zu erstellen, besteht darin, mit elektrisch isolierenden Werkstoffen wie z. B. GFK (glasfaserverstärktem Kunststoff) die Fangeinrichtungen (Fangstangen, Leitungen oder Seile) am zu schützenden Objekt zu befestigen.
Diese Form der Trennung kann örtlich begrenzt oder auch für gesamte Anlagenteile verwendet werden. Häufig wird sie für Dachaufbauten wie Lüfter- oder Rückkühlanlagen angewendet, die eine elektrisch leitende Verbindung in das Gebäudeinnere aufweisen (s. auch Kapitel 5.1.8).

Natürliche Bestandteile von Fangeinrichtungen

Als natürliche Bestandteile einer Fangeinrichtung können metallene Konstruktionsteile wie z. B. Attiken, Regenrinnen, Geländer oder Verkleidungen verwendet werden.

Bei einem Gebäude in Stahlskelettbauweise, mit einem Metalldach und einer Fassade aus leitfähigem Material, sind diese Teile unter bestimmten Voraussetzungen für den äußeren Blitzschutz einsetzbar.
Verkleidungen aus Metallblech, an oder auf dem zu schützenden Gebäude, können verwendet werden, wenn die elektrische Verbindung zwischen den verschiedenen Teilen dauerhaft ausgeführt ist. Diese dauerhaften elektrischen Verbindungen können z. B. durch Löten, Schweißen, Pressen, Verschrauben oder Vernieten hergestellt werden. Durch qualifizierte Fachkräfte können Verbindungen durch Weichlöten ausgeführt werden. Die zusammenhängend verlötete Fläche der Verbindung muss mindestens 10 cm^2 bei einer Breite von mindestens 5 mm betragen.
Ist die elektrische Verbindung nicht gegeben, müssen diese Elemente zusätzlich z. B. mit Überbrückungsbändern oder Überbrückungskabeln verbunden werden.
Ist die Dicke des Metallbleches nicht kleiner als der Wert t' in **Tabelle 5.1.1.5** und ist es nicht erforderlich, ein Durchschmelzen der Bleche am Einschlagpunkt oder die Entzündung von brennbarem Material unter der Verkleidung zu berücksichtigen, können derartige Bleche als Fangeinrichtung verwendet werden. Hierbei erfolgt keine Unterscheidung der Materialdicken nach Schutzklassen.
Ist es jedoch erforderlich, Vorkehrungen gegen Durchschmelzen oder unzulässige Erhitzung am Einschlagpunkt zu treffen, darf die Dicke des Metallbleches nicht kleiner als der Wert t in **Tabelle 5.1.1.5** sein.

Schutzklasse des LPS	Werkstoff	Dicke[a] t mm	Dicke[b] t' mm
I bis IV	Blei	–	2,0
	Stahl (rostfrei, verzinkt)	4	0,5
	Titan	4	0,5
	Kupfer	5	0,5
	Aluminium	7	0,65
	Zink	–	0,7

[a] t verhindert Durchlöchern
[b] t` nur für Metallbleche, wenn die Verhinderung von Durchlöchern, Überhitzung und Entzündung nicht wichtig ist

Tabelle 5.1.1.5 Mindestdicke von Metallblechen

Diese geforderten Dicken t der Werkstoffe können gewöhnlich, z. B. bei Metalldächern, nicht eingehalten werden.
Bei Rohren oder Behältern besteht jedoch die Möglichkeit, diese Mindestdicken (Wandstärken) zu erfüllen. Ist dennoch die Temperaturerhöhung (Erhitzung) an der Innenseite des Rohres oder des Tanks gefährlich für das sich darin befindliche Medium (Brand- oder Explosionsgefahr), sind diese nicht als Fangeinrichtung verwendbar (s. hierzu auch Kapitel 5.1.4).

Werden die Anforderungen an die entsprechende Mindestdicke nicht erfüllt, sollen die Bauteile, z. B. Rohrleitungen oder Behälter, in einem vor direktem Einschlag geschützten Bereich untergebracht werden.

Eine dünne Beschichtung mit Farbe, 1 mm Bitumen oder 0,5 mm PVC sind bei einem direkten Blitzeinschlag nicht als Isolierung zu betrachten. Durch die hohe Energie, die bei einem direkten Blitzeinschlag umgesetzt wird, werden derartige Beschichtungen durchschlagen.

Befinden sich leitende Teile auf der Dachfläche können diese als natürliche Fangeinrichtung genutzt werden, sofern keine leitfähige Verbindung in das Gebäudeinnere besteht.
Durch Rohrverbindungen u. ä. oder durch elektrische Leitungen, die in das Gebäude führen, können Blitzteilströme in das Innere der baulichen Anlage gelangen und empfindliche elektrische / elektronische Einrichtungen beeinflussen oder gar zerstören.
Um diese Blitzteilströme zu verhindern, sind für derartige Dachaufbauten getrennte Fangeinrichtungen zu installieren.
Die Auslegung der getrennten Fangeinrichtung kann nach dem Blitzkugel- oder Schutzwinkelverfahren erfolgen. Eine Fangeinrichtung mit einer der jeweiligen Schutzklasse entsprechenden Maschenweite kann errichtet werden, wenn die gesamte An-

Bild 5.1.2.1 Fangeinrichtung auf Satteldach

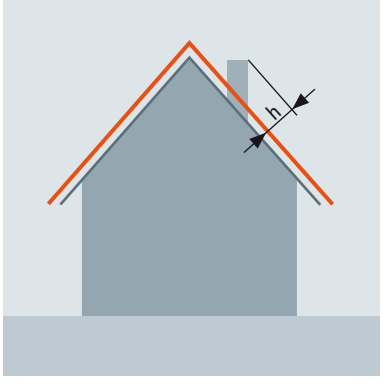


Bild 5.1.2.2 Höhe Dachaufbau aus elektrisch nicht leitendem Material (z. B. PVC), h ≤ 0,5 m

Bild 5.1.2.3 Zusätzliche Fangeinrichtung für Entlüftungsrohre

ordnung um den geforderten Trennungsabstand s erhöht (isoliert) geführt wird.

Ein universelles Bauteilesystem zur Errichtung getrennter Fangeinrichtungen wird in Kapitel 5.1.8 beschrieben.

5.1.2 Fangeinrichtungen für Gebäude mit Satteldach

Unter Fangeinrichtungen auf Dächern versteht man die Gesamtheit der metallenen Bauteile, wie z. B. Fangleitungen, Fangstangen, Fangspitzen.
Vom Blitz bevorzugte Einschlagstellen, wie Giebelspitzen, Schornsteine, Firste und Grate, Giebel- und Traufenkanten, Brüstungen und sonstige herausragende Dachaufbauten, sind mit Fangeinrichtungen zu versehen.

Im Regelfall wird bei Satteldächern auf der Dachfläche ein maschenförmiges Fangnetz entsprechend der jeweiligen Schutzklasse (z. B. Maschenweite 15 m x 15 m für Schutzklasse III) errichtet (**Bild 5.1.2.1**).
Die Lage der einzelnen Maschen ist unter Verwendung des Firstes und der Außenkanten und den als Fangeinrichtung dienenden metallenen Bauteilen wählbar. Die Fangleitungen an den Außenkanten der Gebäude müssen möglichst direkt an den Kanten verlegt werden.

Um die Fangeinrichtung „Masche" auf der Dachfläche zu schließen, wird in der Regel die metallene Regenrinne genutzt. Unter der Voraussetzung, dass die Dachrinne selbst elektrisch leitfähig verbunden ist, wird am Kreuzungspunkt der Fangeinrichtung mit der Dachrinne eine Dachrinnenklemme montiert.

Dachaufbauten aus elektrisch **nicht leitendem** Material (z. B. Entlüftungsrohre aus PVC) gelten als ausreichend geschützt, wenn sie nicht mehr als h = 0,5 m aus der Maschenebene herausragen (**Bild 5.1.2.2**).

Ist das Maß h > 0,5 m, so ist der Aufbau mit einer Fangeinrichtung (z. B. Auffangspitze) zu versehen und mit der nächstgelegenen Fangleitung zu verbinden. Dabei kann z. B. auch ein Draht mit einem Durchmesser von 8 mm bis zu einer maximalen freien Länge von 0,5 m verwendet werden, wie im **Bild 5.1.2.3** gezeigt.

Dachaufbauten aus Metall ohne leitfähige Verbindung in das Innere der baulichen Anlage brauchen nicht an die Fangeinrichtung angeschlossen werden, wenn alle nachfolgenden Voraussetzungen erfüllt sind:

- Dachaufbauten dürfen höchstens 0,3 m über das Dachniveau hinausragen
- Dachaufbauten dürfen höchstens eine eingeschlossene Fläche von 1 m^2 aufweisen (z. B. Dachfenster)
- Dachaufbauten dürfen höchstens 2 m lang sein (z. B. Blecheindeckungen).

Nur sofern alle drei Voraussetzungen eingehalten sind, kann auf einen Anschluss verzichtet werden. Weiterhin muss bei den oben genannten Bedingungen der Trennungsabstand zu Fang- und Ableitungen beachtet werden (**Bild 5.1.2.4**).

Für Schornsteine sind Fangstangen so zu installieren, dass sich der gesamte Kamin im Schutzbereich befindet. Bei der Dimensionierung der Fangstangen wird das Schutzwinkelverfahren angewendet.
Ist der Kamin gemauert oder aus Formsteinen errichtet, kann die Fangstange direkt an den Kamin montiert werden.

Bild 5.1.2.4 Gebäude mit Photovoltaik-Anlage und eingehaltenem Trennungsabstand; Quelle: Blitzschutz Wettingfeld, Krefeld

Bild 5.1.2.5 Antenne mit Fangstange und Distanzhalter

Befindet sich ein metallenes Einsatzrohr im Inneren des Kamins, z. B. bei der Altbausanierung, muss der Trennungsabstand zu diesem leitfähigen Teil eingehalten werden. Hier kommen getrennte Fangeinrichtungen zum Einsatz, wobei Fangstangen mit Distanzhaltern errichtet werden. Das metallene Einsatzrohr ist an den Potentialausgleich anzuschließen.

Der Aufbau zum Schutz insbesondere von Parabolantennen erfolgt ähnlich wie der zum Schutz von Kaminen mit metallenem Einsatzrohr.

Bei einem direkten Blitzeinschlag in Antennen können über die Schirme der Koaxial-Leitungen Blitzteilströme in das Innere des zu schützenden Gebäudes gelangen und die bereits beschriebenen Beeinflussungen und Zerstörungen verursachen. Um dies zu vermeiden, werden Antennen mit getrennten Fangeinrichtungen (z. B. Fangstangen) versehen (**Bild 5.1.2.5**). Fangeinrichtungen auf dem First besitzen einen zeltförmigen Schutzbereich (nach dem Schutzwinkelverfahren). Der Winkel ist abhängig von der Höhe über der Bezugsebene (z. B. der Erdoberfläche) und der gewählten Schutzklasse.

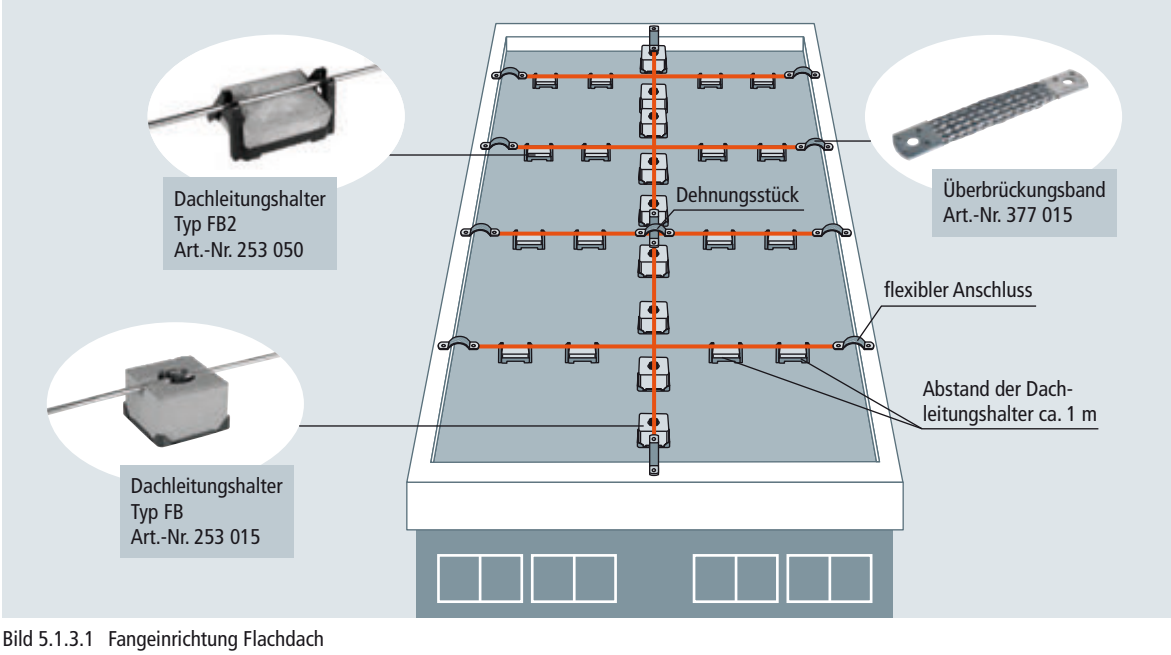


Bild 5.1.3.1 Fangeinrichtung Flachdach

5.1.3 Fangeinrichtungen für Gebäude mit Flachdach

Auf Gebäuden mit Flachdächern (**Bilder 5.1.3.1**) wird das Maschenverfahren zur Auslegung der Fangeinrichtung verwendet. Auf der Dacheindeckung wird ein maschenförmiges Fangnetz mit einer der Schutzklasse entsprechenden Maschenweite angeordnet (**Tabelle 5.1.1.3**).

Bild 5.1.3.2 zeigt die praktische Anwendung der Fangeinrichtung „Masche" in Verbindung mit Fangstangen für den Schutz der Dachaufbauten, wie z. B. Lichtkuppeln, Photovoltaik-Module oder Lüfter. Wie diese Dachaufbauten zu behandeln sind, wird im Kapitel 5.1.8 aufgezeigt.

Dachleitungshalter auf Flachdächern werden im Abstand von ca. 1 m verlegt. Die Fangleitungen werden mit der Attika als natürlichem Bestandteil der Fangeinrichtung verbunden. Wegen der temperaturbedingten Längenänderungen der bei der Attika verwendeten Materialien sind die einzelnen Segmente mit „Schiebeblechen" ausgestattet.
Wird die Attika als Fangeinrichtung benutzt, müssen diese einzelnen Segmente untereinander dauerhaft elektrisch leitfähig verbunden werden, ohne dass die Fähigkeit zur Ausdehnung beeinträchtigt wird. Dies kann mit Überbrückungsbändern, Laschen oder Kabeln realisiert werden (**Bild 5.1.3.3**).

Auch bei Fangleitungen und Ableitungen sind die temperaturbedingten Längenänderungen zu berücksichtigen (s. Kapitel 5.4.1).

Bei einem Blitzeinschlag in die Attika kann es zu einem Durchschmelzen des eingesetzten Materials kommen. Kann dies nicht akzeptiert werden, ist hier eine zusätzliche Fangeinrichtung – z. B. mit Fangspitzen, positioniert nach der Blitzkugelmethode – erforderlich (**Bild 5.1.3.4**).

Leitungshalter für Flachdächer – homogen verschweißt
Unter Windeinwirkung können sich Dachbahnen, soweit sie nicht fachgerecht befestigt, also quasi nur aufgelegt sind, horizontal zur Dachfläche bewegen. Damit Leitungshalter für Fangeinrichtungen auf der glatten Oberfläche nicht verschoben werden, ist eine spezielle Lagesicherung der Fangleitung erforderlich. Herkömmliche Dachleitungshalter können auf Dachbahnen nicht dauerhaft verklebt werden, da eine Verträglichkeit der Klebemittel mit der Dachbahn meistens nicht besteht.
Eine einfache und sichere Möglichkeit der Lagesicherung besteht beim Dachleitungshalter Typ KF in der Kombination mit Laschen (Streifen nach Maß schneiden) aus dem Material der Dachbahn. Die Lasche wird in den Kunststoffhalter geklemmt und beidseitig auf die Abdichtung geschweißt. Halter und Lasche sollen unmittelbar neben einer Dachbahnnaht im Abstand

Bild 5.1.3.2 Anwendung Fangstangen

Bild 5.1.3.3 Attika-Überbrückung

Bild 5.1.3.4 Beispiel für den Schutz einer metallenen Dachattika, wenn ein Durchschmelzen nicht erlaubt ist (Vorderansicht)

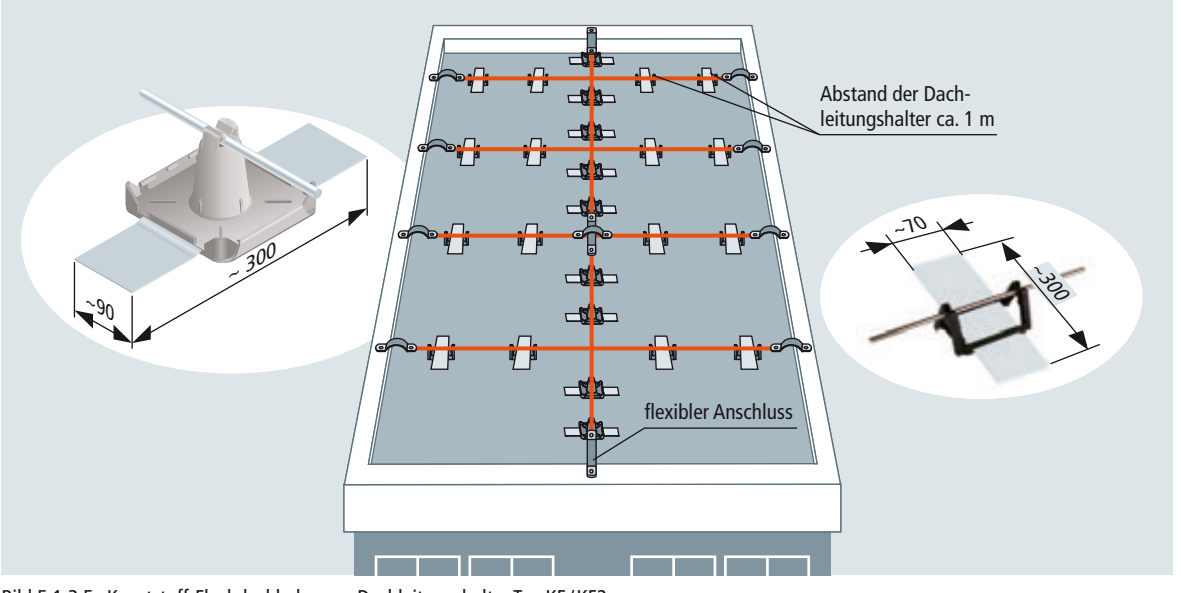


Bild 5.1.3.5 Kunststoff-Flachdachbahnen – Dachleitungshalter Typ KF / KF2

von ca. 1 m positioniert werden. Der Folienstreifen wird nach Maßgabe des Dachbahnherstellers mit der Dachbahn verschweißt. Dadurch wird ein Verschieben der Fangleitung auf Flachdächern verhindert.

Bei einer Dachneigung größer als 5° muss jeder Dachleitungshalter mit einer Lagefixierung versehen werden, bei einer Dachneigung kleiner als 5° nur jeder zweite. Bei Dachneigungen größer als 10° ist der Dachleitungshalter ja nach Montagesituation eventuell nicht mehr anwendbar.
Die Anordnung der Dachleitungshalter muss bei mechanisch befestigten Kunststoffdachbahnen im unmittelbaren Bereich der mechanischen Befestigung erfolgen.
Bei diesen Arbeiten ist zu beachten, dass Schweiß- und Klebearbeiten auf der Abdichtung den Gewährleistungsbereich des Dachdeckers berühren.

Die notwendigen Arbeiten sind daher nur in Abstimmung mit dem jeweils verantwortlichen Dachdecker oder von diesem selbst auszuführen (**Bild 5.1.3.5**).

5.1.4 Fangeinrichtungen auf Metalldächern

Moderne Zweckgebäude in Industrie und Handel haben oftmals Dächer und Fassaden aus Metall. Die Metallbahnen oder -platten der Dächer haben üblicherweise eine Dicke von 0,7 – 1,2 mm.

Bild 5.1.4.1 zeigt exemplarisch die Bauart eines Metalldaches. Wenn der Blitz in ein solches Dach direkt einschlägt, kann es ein Loch aufgrund der Ausschmelzung und Verdampfung am Punkt des Blitzeinschlages geben. Die Größe des Lochs ist

Bild 5.1.4.1 Ausführungen der Metalldächer, z. B. Rundstehfalz-Dächer

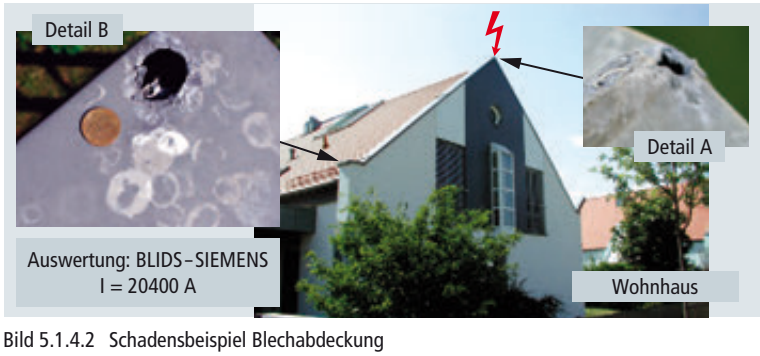


Bild 5.1.4.2 Schadensbeispiel Blechabdeckung

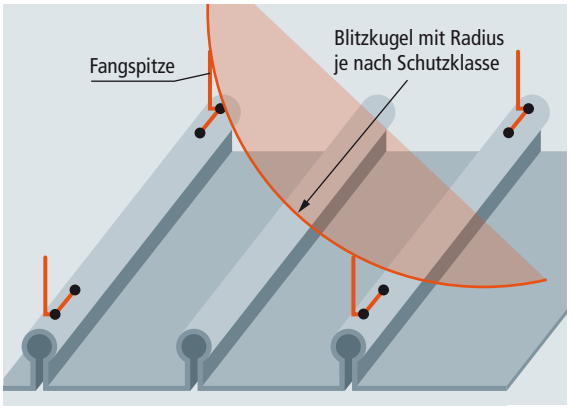


Bild 5.1.4.3 Fangeinrichtung Metalldach – Schutz gegen Durchlöcherung

abhängig von der Energie des Blitzes sowie den Materialeigenschaften des Daches (z. B. Dicke). Das größte Problem ist dabei der Folgeschaden, z. B. der Wassereintritt an dieser Stelle. Bis dieser Schaden bemerkt wird, können Tage oder Wochen vergehen. Die Dachisolierung wird feucht und/oder die Decke nass. Die Regensicherheit ist nicht mehr gegeben.

Ein Schadensbeispiel, welches mit dem **Bl**itz-**I**nformations **D**ienst von **S**iemens (BLIDS) bewertet wurde, zeigt diese Problematik (**Bild 5.1.4.2**). Ein Strom von ca. 20000 A schlug in die Blechabdeckung ein und verursachte ein Loch (**Bild 5.1.4.2: Detail A**). Da die Blechabdeckung nicht mit einer Ableitung geerdet war, entstanden im Bereich des Sims Überschläge zu natürlichen Metallteilen in der Wand (**Bild 5.1.4.2: Detail B**), welche ebenfalls ein Loch verursachten.
Um derartige Schäden zu verhindern, muss auch auf einem „dünnen" Metalldach ein ordnungsgemäßer äußerer Blitzschutz mit stromtragfähigen Drähten und Klemmen installiert werden. Die Blitzschutznorm DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3), weist auf die Gefahr von Beschädigungen an Metalldächern eindeutig hin. Wenn ein äußerer Blitzschutz gefordert ist, müssen die Metallbleche die in **Tabelle 5.1.1.5** festgelegten Mindestwerte haben.

Die Dicken t sind für Dacheindeckungen nicht relevant. Metallbleche mit der Dicke t' können als natürliche Fangeinrichtung nur verwendet werden, wenn ein Durchlöchern, Überhitzung und Ausschmelzen zulässig ist. Diese Art der Dachbeschädigung ist, da die Regensicherheit des Daches nicht mehr gegeben ist, mit dem Eigentümer der baulichen Anlage abzustimmen. Auch in den Regeln des Deutschen Dachdeckerhandwerks „Äußerer Blitzschutz auf Dach und Wand" wird die Abstimmung mit dem Eigentümer gefordert.

Akzeptiert der Eigentümer eine Dachbeschädigung im Falle eines Blitzeinschlages nicht, so muss auf einem Metalldach eine separate Fangeinrichtung installiert werden. Die Fangeinrichtung muss so angebracht sein, dass die Blitzkugel (Radius r entsprechend der gewählten Schutzklasse) das Metalldach nicht berührt (**Bild 5.1.4.3**).

Es empfiehlt sich, für die Montage der Fangeinrichtung ein sogenanntes „Igeldach" mit Fangspitzen zu installieren.

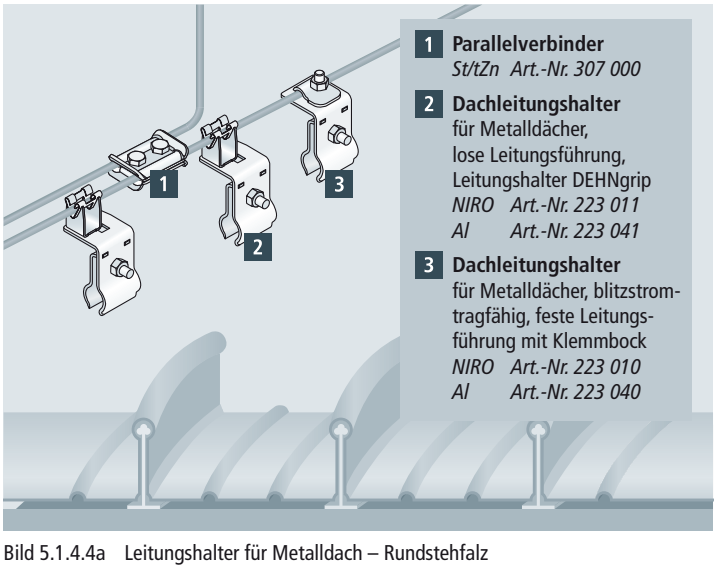


Bild 5.1.4.4a Leitungshalter für Metalldach – Rundstehfalz

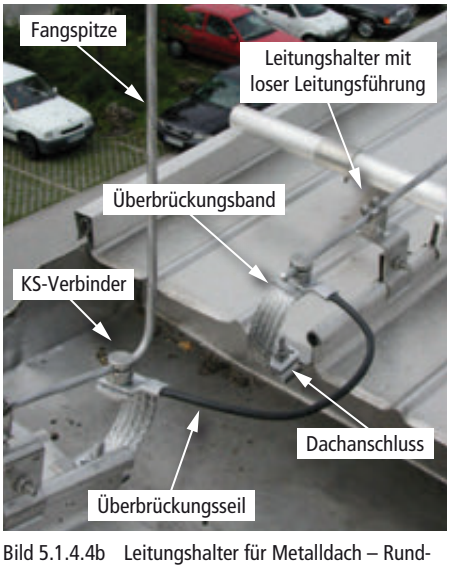


Bild 5.1.4.4b Leitungshalter für Metalldach – Rundstehfalz

Für alle Blitzschutzklassen geeignet	
Abstand der horizontalen Leitungen	Höhe der Fangspitze *)
3 m	0,15 m
4 m	0,25 m
5 m	0,35 m
6 m	0,45 m
*) empfohlene Werte	

Tabelle 5.1.4.1 Blitzschutz für Metalldächer – Höhe der Fangspitzen

In der Praxis haben sich, unabhängig von der Schutzklasse, Höhen der Fangspitzen entsprechend **Tabelle 5.1.4.1** bewährt.

Für die Befestigung der Leitungen und Fangspitzen darf das Metalldach nicht angebohrt werden. Für die unterschiedlichen Varianten der Metalldächer (Rundstehfalz, Stehfalz, Trapez) sind verschiedenartige Leitungshalter verfügbar. Im **Bild 5.1.4.4a** ist eine mögliche Ausführungsform für ein Metalldach mit Rundstehfalz dargestellt. Bei den Ausführungsformen der Leitungshalter mit blitzstromtragfähiger Klemme kann eine Fangspitze direkt befestigt werden.

Zu beachten ist, dass im Leitungsverlauf z. B. auf einem Trapezdach der Leitungshalter, welcher sich an der höchsten Stelle des Daches befindet, mit einer festen Leitungsführung realisiert sein muss, während alle anderen Leitungshalter wegen des temperaturbedingten Längenausgleichs mit loser Leitungsführung ausgeführt sein müssen (**Bild 5.1.4.4b**).
Der Leitungshalter mit fester Leitungsführung ist in **Bild 5.1.4.5** am Beispiel eines Trapezblech-Daches dargestellt.
In **Bild 5.1.4.5** ist neben dem Leitungshalter auch eine Fangspitze sichtbar. Der Leitungshalter muss oberhalb der Abdeckscheibe für das Bohrloch in die Befestigungsschraube eingehängt werden, um einen möglichen Wassereintritt sicher zu verhindern.

Im **Bild 5.1.4.6** ist die lose Leitungsführung am Beispiel eines Stehfalz-Daches wiedergegeben.
Ebenfalls ist im **Bild 5.1.4.6** der stromtragfähige Anschluss an das Stehfalz-Dach im Randbereich des Daches dargestellt.
Ungeschützte, dachüberragende Einrichtungen, z. B. Lichtkuppeln und Rauchabzugsklappen, sind exponierte Einschlagpunkte für eine Blitzentladung. Um den direkten Blitzeinschlag in diese Einrichtungen zu verhindern, müssen Fangstangen neben diesen dachüberragenden Einrichtungen installiert werden (**Bild 5.1.4.7**). Die Höhe der Fangstange ergibt sich aus dem Schutzwinkel α.

5.1.5 Prinzip Fangeinrichtung für Gebäude mit weicher Bedachung

Die Auslegung der Schutzklasse III erfüllt im Allgemeinen die Anforderungen für ein solches Gebäude. In besonderen Einzelfällen kann eine Risikoanalyse, basierend auf der DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2), durchgeführt werden.
Das Beiblatt 2 zur DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) regelt im Abschnitt 4.3 für Gebäude mit weicher Bedachung (Weichdächer) eine besondere Verlegung der Fangeinrichtung.
So müssen die Fangleitungen auf Dächern aus Reet, Stroh oder Schilf z. B. auf isolierenden Stützen frei gespannt verlegt werden. Auch im Bereich der Traufe sind bestimmte Abstände einzuhalten.
Bei der nachträglichen Montage eines Blitzschutzsystems auf einem Dach sind die Abstände entsprechend größer zu wählen, sodass nach einer Neueindeckung die erforderlichen Mindestabstände in jedem Fall eingehalten werden.

Bild 5.1.4.5 Musteraufbau Trapezblech-Dach, Leitungshalter mit Klemmbock

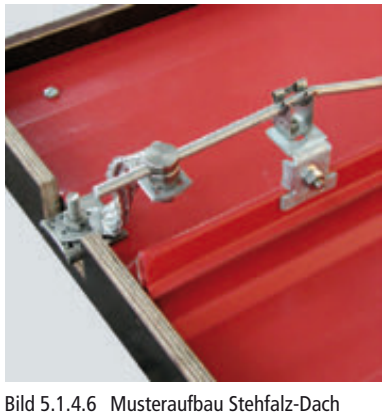
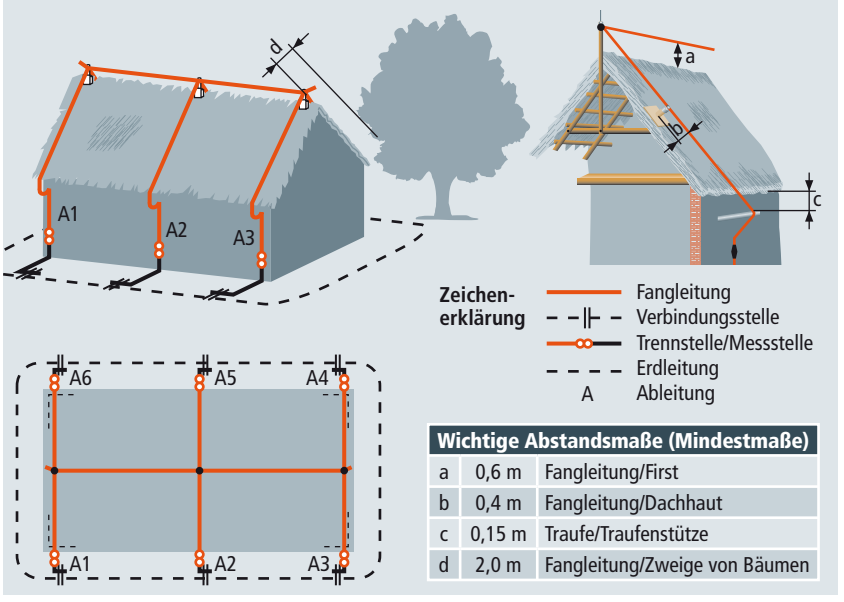


Bild 5.1.4.6 Musteraufbau Stehfalz-Dach

Bild 5.1.4.7 Fangstange für Lichtkuppel auf Rundstehfalz-Dach



Wichtige Abstandsmaße (Mindestmaße)		
a	0,6 m	Fangleitung/First
b	0,4 m	Fangleitung/Dachhaut
c	0,15 m	Traufe/Traufenstütze
d	2,0 m	Fangleitung/Zweige von Bäumen

Bild 5.1.5.1 Fangeinrichtung für Gebäude mit weicher Bedachung

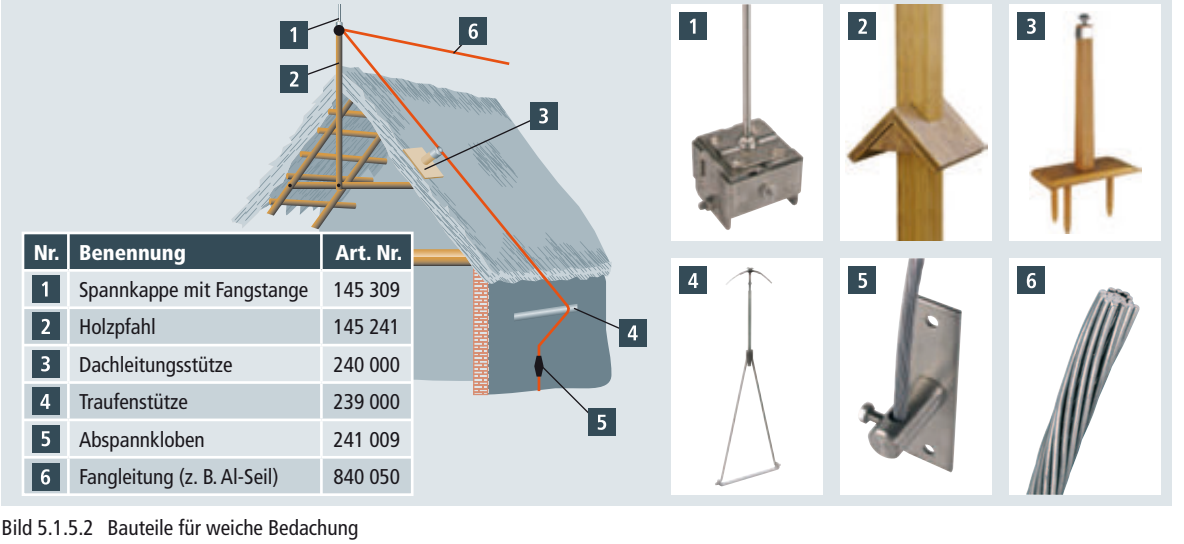
Bei Firstleitungen sind Spannweiten bis etwa 15 m, bei Ableitungen Spannweiten bis etwa 10 m ohne zusätzliche Abstützungen anzustreben.
Spannpfähle müssen mit der Dachkonstruktion (Sparren und Querhölzer), mit Durchgangsbolzen und Unterlegscheiben fest verbunden werden (**Bilder 5.1.5.1 bis 5.1.5.3**).

Befinden sich auf der Dachfläche metallene Teile (z. B. Windfahnen, Berieselungsanlagen, Antennen, Metallbleche, Leitern), so sind diese vollständig in den Schutzbereich getrennter Fangeinrichtungen zu bringen.

Ist dies nicht möglich, so ist in diesen Fällen ein wirksamer Blitzschutz zu schaffen. Dies erfolgt durch einen getrennten äußeren Blitzschutz mit Fangstangen neben dem Gebäude, mit Fangleitungen oder mit Fangnetzen zwischen Masten neben dem Gebäude.
Grenzt ein Weichdach an eine Dacheindeckung aus Metall und soll das Gebäude mit einem äußeren Blitzschutz versehen werden, so muss zwischen dem Weichdach und dem übrigen Dach eine elektrisch nicht leitende Dacheindeckung von mindestens 1 m Breite, z. B. aus Kunststoff, eingefügt werden.

Der typische Wert für den Abstand der Ableitungen ist bei der Schutzklasse III 15 m.
Der genaue Abstand der Ableitungen voneinander ergibt sich aufgrund der Berechnung des Trennungsabstands s nach der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3).

Wie der Trennungsabstand berechnet wird, kann dem Kapitel 5.6 entnommen werden.



Nr.	Benennung	Art. Nr.
1	Spannkappe mit Fangstange	145 309
2	Holzpfahl	145 241
3	Dachleitungsstütze	240 000
4	Traufenstütze	239 000
5	Abspannkloben	241 009
6	Fangleitung (z. B. Al-Seil)	840 050

Bild 5.1.5.2 Bauteile für weiche Bedachung

Bild 5.1.5.3 Reetdach

Bild 5.1.5.4 Historisches Bauernhaus mit äußerem Blitzschutz; Quelle: Hans Thormählen GmbH & Co.KG.

Äste und Zweige von Bäumen sind in mindestens 2 m Abstand vom Weichdach zu halten. Wenn Bäume dicht an einem Gebäude stehen und es überragen, muss an dem den Bäumen zugewandten Dachrand (Traufenkante, Giebel) eine Fangleitung angebracht werden, die mit der Blitzschutzanlage zu verbinden ist. Die notwendigen Abstände sind dabei einzuhalten.
Eine weitere Möglichkeit, Gebäude mit weicher Bedachung vor Blitzschlag zu schützen, ist die Errichtung von Fangmasten, die das gesamte Gebäude in den Schutzbereich stellen.
Dies kann dem Kapitel 5.1.8 „Getrennte Fangeinrichtungen" (Tele-Blitzschutzmaste) entnommen werden.

Eine neue und auch architektonisch sehr ansprechende Möglichkeit des getrennten Blitzschutzes ist der Einsatz von isolierten Ableitungen.
Als Beispiel für die Installation von isolierten Ableitungen dient die Dachsanierung eines historischen Bauernhauses in Niedersachsen (**Bild 5.1.5.4**)

Für das historische Bauernhaus wurde das Blitzschutzsystem gemäß Schutzklasse III ausgeführt. Dies entspricht den normativen Anforderungen für Gebäude mit weicher Bedachung (DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3)).
Das Objekt ist mit einem Heidefirst versehen, der zum Schutz vor Vogelabtragung mit einem Maschennetz aus Kunststoff bespannt ist.

Zur Planung der Fangeinrichtung sind zuerst mit Hilfe des Blitzkugelverfahren deren Schutzbereiche zu bestimmen. Aufgrund normativer Festlegungen ist bei Schutzklasse III ein Blitzkugelradius von 45 m anzuwenden. Im konkreten Fall wurde eine Höhe der Fangeinrichtung von 2,30 m ermittelt, welche die zwei Kamine am First sowie die drei neuen Gauben auf einer Dachseite in den einschlagsgeschützen Bereich stellt (**Bild 5.1.5.5).**

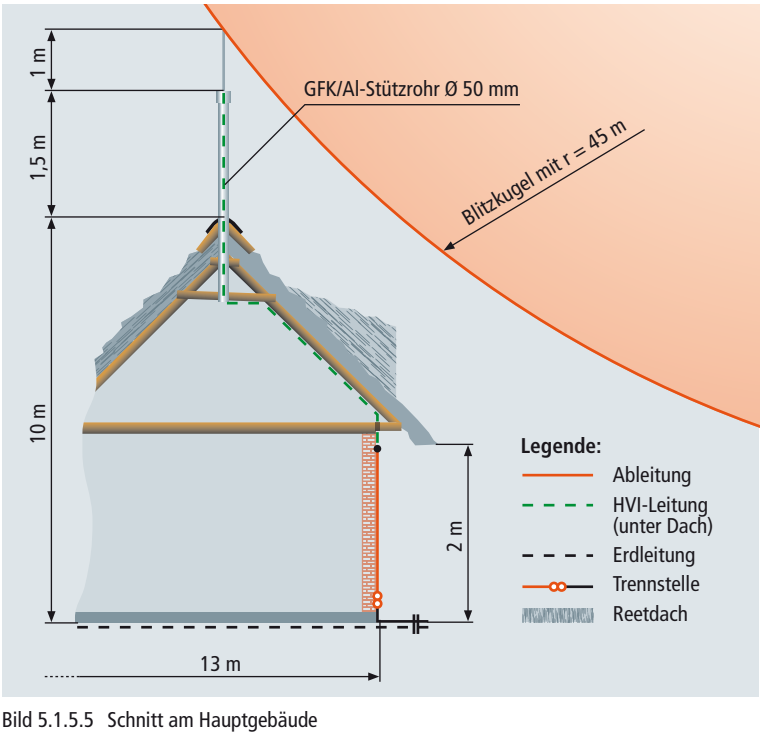


Bild 5.1.5.5 Schnitt am Hauptgebäude

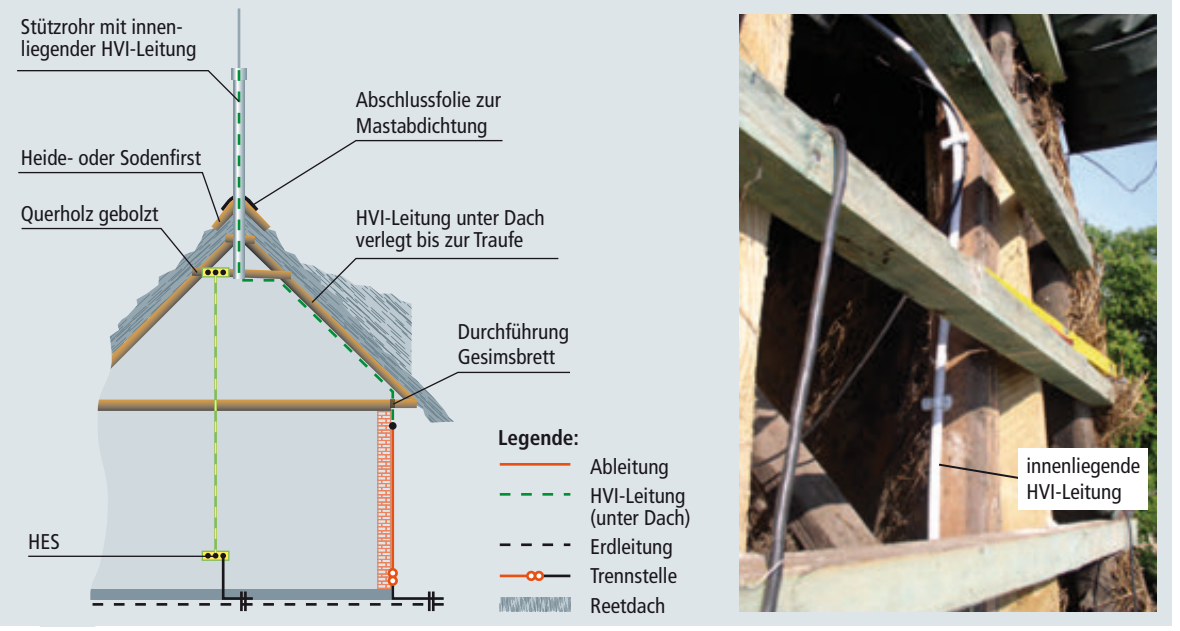


Bild 5.1.5.6 Prinzipdarstellung und Darstellung der Verlegung der Ableitung am Dachsparren

Um die Fangeinrichtung entsprechend hoch anzuheben und die isolierten Ableitungen aufzunehmen, wurde ein GFK-Stützrohr (**g**las**f**aserverstärkter **K**unststoff) gewählt. Zur Sicherstellung der mechanischen Stabilität ist das Stützrohr im unteren Bereich in Aluminium ausgeführt. In diesem Bereich kann es aufgrund von Induktionswirkungen gegenüber in der Nähe befindlicher Teile zu unerwünschter Funkenbildung kommen. Um dies zu vermeiden, dürfen sich in einem Bereich von 1 m um das Aluminiumrohr keine geerdeten Teile oder elektrischen Betriebsmittel befinden. Deshalb sollen im Bereich des Heide- oder Sodenfirstes z. B. Bindedrähte aus Nylon verwendet werden.

Die elektrische Isolierung zwischen Fangeinrichtungen und Ableitungen einerseits und den zu schützenden metallenen Installationen und den Einrichtungen der elektrischen Energie- und Informationstechnik innerhalb der zu schützenden baulichen Anlage andererseits, kann durch den Trennungsabstand s zwischen diesen leitenden Teilen erreicht werden. Dieser ist entsprechend DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) zu bestimmen. Die hochspannungsfeste, isolierte HVI-Leitung (HVI: High Voltage Insulation) ist spezifiziert mit einem äquivalenten Trennungsabstand in Luft von s = 0,75 m oder s = 1,50 m bei festem Baustoff. Die Anordnung der Ableitung ist in **Bild 5.1.5.6** dargestellt.

Bei der Installation wurde die HVI-Leitung innenliegend in einem Stützrohr geführt. Die bauartbedingte Absteuerung der HVI-Leitung erfolgte über eine zentrale Erdungssammelschiene, wobei die Potentialausgleichsmaßnahmen mit einer flexiblen Leitung H07V-K 1 x 16 mm^2 durchgeführt wurden. Zur Befestigung des Stützrohres wurden spezielle Hilfskonstruktion (Querholz) angefertigt, wobei die Ableitungen im weiteren Verlauf an den Sparren der vorhandenen Dachkonstruktion unterhalb der Dachlattung hinabgeführt wurden (**Bild 5.1.5.6**). An der Traufe wurden die HVI-Leitungen durch das Gesimsbrett geführt (**Bild 5.1.5.7**).

Aus architektonischen Gründen erfolgte die weitere Verlegung der Ableitungen in Aluminium. Der Übergang der HVI-Leitung auf die nichtisolierte, blanke Ableitung in der Nähe der Erdungsanlage erfolgte wie die gesamte Installation vor dem Hintergrund der Montageanleitung. Ein Endverschluss musste hier nicht verwendet werden.

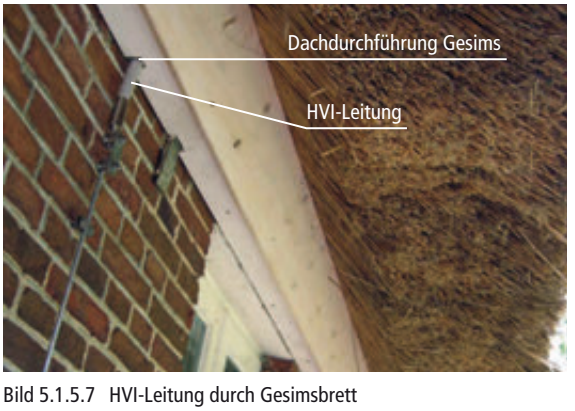


Bild 5.1.5.7 HVI-Leitung durch Gesimsbrett

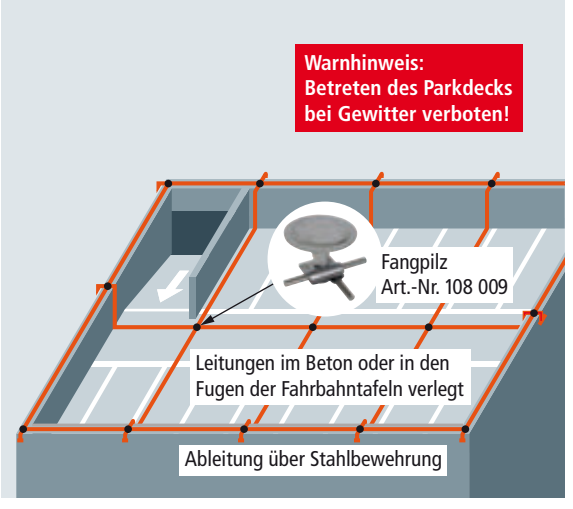


Bild 5.1.6.1 Blitzschutz von Parkdächern – Gebäudeschutz

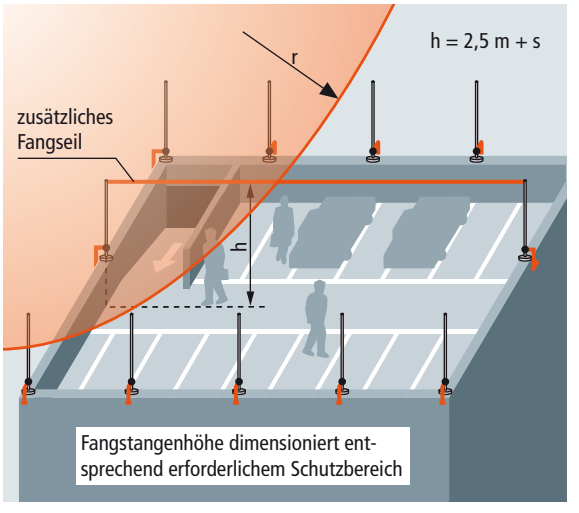


Bild 5.1.6.2 Blitzschutz von Parkdächern – Gebäude- und Personenschutz (DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3); Anhang E)

5.1.6 Begehbare und befahrbare Dächer

Auf befahrbaren Dächern können keine Fangleitungen (z. B. mit Betonsteinen) aufgebracht werden. Eine mögliche Lösung ist, die Fangleitungen entweder im Beton oder in den Fugen der Fahrbahntafeln zu verlegen. Wird die Fangleitung in diesen Fugen verlegt, werden an den Knotenpunkten der Maschen Fangpilze als definierte Einschlagspunkte installiert.
Die Maschenweite darf den der Schutzklasse entsprechenden Wert nicht überschreiten (s. Kapitel 5.1.1, **Tabelle 5.1.1.3**).

Ist gewährleistet, dass sich während eines Gewitters keine Personen auf dieser Fläche befinden, ist es ausreichend, die genannten Maßnahmen zu errichten.
Personen, die das Parkdeck betreten können, sind mittels Hinweisschild zu unterrichten, dass das Parkdeck bei Gewitter unverzüglich zu räumen ist und nicht betreten werden darf (**Bild 5.1.6.1**).

Sollten sich auch während eines Gewitters Personen auf der Dachfläche befinden, ist die Fangeinrichtung so zu planen, dass diese Menschen mit einer angenommenen Höhe von 2,5 m (mit gestrecktem Arm) auch vor einem direkten Einschlag geschützt sind. Die Fangeinrichtung kann durch das Blitzkugel- oder durch das Schutzwinkelverfahren je nach Schutzklasse dimensioniert werden (**Bild 5.1.6.2**).

Diese Fangeinrichtungen können aus gespannten Seilen oder Fangstangen errichtet werden. Die Fangstangen werden z. B. an Konstruktionselementen wie Brüstungen o. ä. befestigt.

Weiterhin können z. B. auch Beleuchtungsmaste als Fangstange für den Personenschutz fungieren. Bei dieser Ausführung sind jedoch die Blitzteilströme, die über die Energieleitungen in das Innere der baulichen Anlage geleitet werden können, zu beachten. Der Blitzschutz-Potentialausgleich für diese Leitungen ist unbedingt erforderlich.

5.1.7 Fangeinrichtung für begrünte Dächer und Flachdächer

Aus ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten kann eine Dachbegrünung sinnvoll sein. Die Gründe dafür sind Schalldämmung, Schutz der Dachhaut, Staubbindung aus der Umgebungsluft, zusätzliche Wärmedämmung, Filterung und Rückhalt des Niederschlagswassers und natürliche Verbesserung des Wohn- und Arbeitsklimas. Hinzu kommt, dass eine Dachbegrünung in vielen Regionen öffentlich gefördert wird. Es wird unterschieden zwischen der sogenannten extensiven und der intensiven Begrünung. Die extensive Begrünung ist pflegeaufwandsarm, ganz im Gegensatz zur intensiven Begrünung, die Pflegearbeiten wie Düngung, Bewässerung und Schnitt erforderlich macht. Für beide Dachbegrünungsarten muss Erdsubstrat oder Granulat auf das Dach aufgebracht werden.
Noch aufwendiger wird es, wenn das Granulat oder Substrat aufgrund eines direkten Blitzeinschlages abgetragen werden muss.
Durch das Nichtvorhandensein eines äußeren Blitzschutzes kann eine Beschädigung der Dachabdichtung am Blitzeinschlagspunkt verursacht werden.

Bild 5.1.7.1 Begrüntes Dach

Bild 5.1.7.2 Fangeinrichtung auf begrüntem Dach

Bild 5.1.7.3 Leitungsführung oberhalb der Deckschicht

Die Praxis zeigt, dass unabhängig von der Pflegeform die Fangeinrichtung eines äußeren Blitzschutzes auch auf der Oberfläche eines begrünten Daches errichtet werden kann und sollte.

Die Blitzschutznorm DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) schreibt bei einer maschenförmigen Fangeinrichtung eine Maschenweite vor, die abhängig ist von der gewählten Schutzklasse (s. Kapitel 5.1.1, **Tabelle 5.1.1.3**). Eine innerhalb der Deckschicht verlegte Fangleitung ist nach einigen Jahren schwierig zu kontrollieren, da Fangspitzen oder Fangpilze durch Überwuchs nicht mehr erkennbar sind und bei Pflegearbeiten häufig beschädigt werden. Hinzu kommt die Korrosionsgefahr bei innerhalb der Deckschicht verlegten Fangleitungen. Die Leitungen von gleichmäßig oberhalb der Deckschicht verlegten Fangmaschen sind trotz Überwuchses leicht kontrollierbar, und es ist jederzeit möglich, mittels Fangspitzen und Stangen das Niveau der Auffangeinrichtung anzuheben und „mitwachsen" zu lassen. Für die Gestaltung von Fangeinrichtungen gibt es verschiedene Möglichkeiten. Üblicherweise wird unabhängig von der Höhe des Gebäudes auf der Dachfläche ein maschenförmiges Fangnetz mit einer Maschenweite von 5 m x 5 m (Schutzklasse I) bis zu einer max. Maschenweite von 15 m x 15 m (Schutzklasse III) errichtet. Die Lage der Masche ist, unter Bevorzugung der Dachaußenkanten und der evtl. als Fangeinrichtung dienenden Metallkonstruktionen, auf dem Dach zu installieren.
Als Drahtwerkstoff für Fangeinrichtungen auf begrünten Dächern hat sich nichtrostender Stahl (NIRO (V4A), z. B. mit der Werkstoff-Nr. 1.4571) bewährt.
Bei Leitungsverlegung in der Deckschicht (im Erdsubstrat oder Granulat) darf kein Aluminium-Draht verwendet werden (**Bilder 5.1.7.1 bis 5.1.7.3**).

5.1.8 Getrennte Fangeinrichtungen

Dachaufbauten, wie Klimaanlagen und Kühleinrichtungen z. B. für Großrechner, befinden sich häufig auf den Dächern großer Büro- und Industriebauten. Diese sind ebenso wie Antennen, elektrisch betriebene Lichtkuppeln, Werbeschilder mit integrierter Beleuchtung und alle anderen überragenden Dachaufbauten zu behandeln, da diese in der Regel eine leitfähige Verbindung z. B. über elektrische Leitungen oder Kanäle in das Innere des Gebäudes besitzen.

Nach dem Stand der Blitzschutztechnik werden diese Dachaufbauten mit getrennt angebrachten Fangeinrichtungen gegen direkte Blitzeinschläge geschützt. Dadurch wird vermieden, dass Blitzteilströme in das Gebäudeinnere gelangen können, wo sie die empfindlichen elektrischen / elektronischen Einrichtungen beeinflussen oder gar zerstören würden.

In der Vergangenheit wurden diese Dachaufbauten direkt angeschlossen. Dadurch werden Teile des Blitzstromes ins Gebäudeinnere geleitet. Später wurde der „indirekte Anschluss" über eine Funkenstrecke praktiziert. Dadurch konnten aber immer noch unmittelbare Einschläge in den Dachaufbau auch zum Teil über die „innere Leitung" abfließen, obwohl bei einem entfernteren Einschlag in das Gebäude die Funkenstrecke nicht die Ansprechspannung erreichen sollte. Diese Spannung von ca. 4 kV kam fast immer zustande, sodass ein Blitzteilstrom z. B. über die elektrische Leitung ins Gebäudeinnere verschleppt wurde, was zur genannten Beeinträchtigung elektrischer und elektronischer Anlagen führte und führt.

Einzige Abhilfe, um diese eingekoppelten Ströme zu vermeiden, sind getrennte Fangeinrichtungen, die den Trennungsabstand s einhalten.

Bild 5.1.8.1 zeigt das Eindringen eines Blitzteilstromes in das Innere der baulichen Anlage.

Diese vielfältigen Dachaufbauten können durch verschiedene Ausführungsarten der getrennten Fangeinrichtungen geschützt werden.

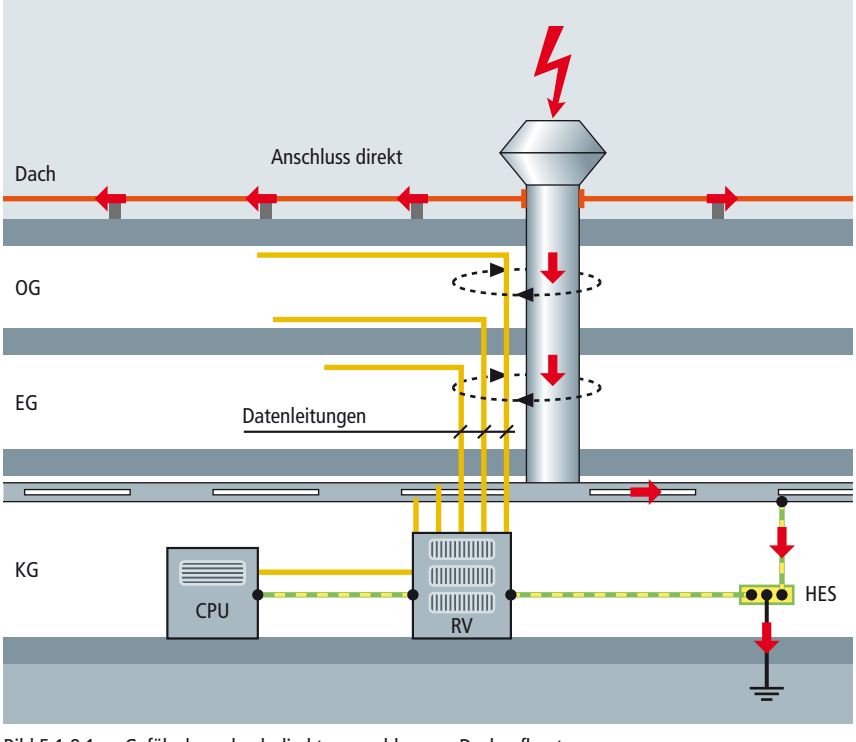


Bild 5.1.8.1 Gefährdung durch direkt angeschlossene Dachaufbauten

Fangstangen

Für kleinere Dachaufbauten (z. B. kleine Lüfter) kann der Schutz durch einzelne oder durch die Kombination mehrerer Fangstangen erreicht werden. Fangstangen bis zu einer Höhe von 2,0 m können mit einem oder mit zwei aufeinander gestapelten Betonsockeln (z. B. Art.-Nr. 102 010) frei stehend befestigt werden (**Bild 5.1.8.2**).

Ab einer Fangstangenhöhe von 2,5 m bis 3,0 m müssen die Fangstangen mit Distanzhaltern aus elektrisch isolierendem Material (z. B. DEHNiso-Distanzhalter) an dem zu schützenden Objekt angebracht werden (**Bild 5.1.8.3**).

Sollen Fangstangen auch gegen starke seitliche Windbeeinflussungen gesichert werden, ist die Winkelabstützung eine praktikable Lösung (**Bilder 5.1.8.4 und 5.1.8.5**).
Werden Fangstangen mit größerer Höhe benötigt, z. B. für größere Dachaufbauten, an denen selbst nichts befestigt werden kann, können diese Fangstangen mit speziellen Standvorrichtungen versehen werden.

Mit einem Dreibeinstativ können Fangstangen bis zu einer Höhe von 14 m freistehend errichtet werden. Diese Gestelle werden mit üblichen Betonsockeln (aufeinander gestapelt) am Boden fixiert. Ab einer freien Höhe von 6 m werden zusätzliche Abstützungen erforderlich, um den Windbeanspruchungen standzuhalten.

Bild 5.1.8.2 Getrennte Fangeinrichtung – Schutz durch Fangstange

Bild 5.1.8.3 Fangstange mit Distanzhalter

Bild 5.1.8.4 Winkelabstützung der Fangstange

Bild 5.1.8.5 Aufnahme der Fangstange

Bild 5.1.8.6 Getrennte Fangeinrichtung für Photovoltaik-Anlage

Diese freistehenden Fangstangen können bei den unterschiedlichsten Anwendungen (z. B. Antennen, PV-Anlagen) eingesetzt werden. Diese Art der Fangeinrichtung zeichnet sich durch eine kurze Montagezeit aus, da keine Löcher zu bohren sind und nicht viel geschraubt werden muss (**Bilder 5.1.8.6 und 5.1.8.7**).

Sollen gesamte Gebäude oder Anlagen (z. B. PV-Freiflächenanlagen, Munitionslager) mit Fangstangen geschützt werden,

Bild 5.1.8.7 Getrennte Fangeinrichtung für Dachaufbauten

Bild 5.1.8.8 Aufstellen eines Tele-Blitzschutzmastes

kommen Blitzschutzmaste zum Einsatz. Diese Maste werden auf einem Köcherfundament oder einem Vorort-Betonfundament errichtet. In das Köcherfundament wird im Werk, oder in das Betonfundament vor Ort, ein Ankerkorb eingesetzt. Mit diesen Masten können freie Höhen über Flur von ca. 25 m oder mit Sonderanfertigung auch mehr erreicht werden. Die Standardlängen der Stahl-Tele-Blitzschutzmaste werden in Teillängen geliefert, was speziell für den Transport enorme Vorteile bietet.
Nähere Informationen (z. B. Montage, Aufbau) zu diesen Stahl-Tele-Blitzschutzmasten können der Montageanleitung Nr. 1729 entnommen werden (**Bild 5.1.8.8**).

Bild 5.1.8.9 Aufgeständerte Fangeinrichtung;
Quelle: Blitzschutz Wettingfeld, Krefeld

Bild 5.1.8.10 Dreibeinstativ für frei stehende Stützrohre

Überspannt durch Seile oder Leitungen

Nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) können Fangleitungen über die zu schützende Anlage geführt werden.
Die Fangleitungen erzeugen an den Seiten einen zeltförmigen und an den Enden einen kegelförmigen Schutzraum. Der Schutzwinkel α ist abhängig von der Schutzklasse und Höhe der Fangeinrichtungen über der Bezugsebene.
Das Blitzkugelverfahren kann auch für die Dimensionierung der Leitungen oder Seile angewendet werden (Radius der Blitzkugel entsprechend der Schutzklasse).
Die Fangeinrichtung „Masche" kann mit dem adäquaten Trennungsabstand s, der zwischen den Anlagenteilen und der Fangeinrichtung eingehalten werden muss, ebenfalls angewendet werden. Hierbei werden z. B. isolierende Distanzhalter in Betonsockeln senkrecht errichtet sodass die Masche erhöht geführt werden kann (**Bild 5.1.8.9**).

DEHNiso-Combi

Eine anwenderfreundliche Möglichkeit, Leitungen oder Seile entsprechend den drei verschiedenen Planungsverfahren für

Bild 5.1.8.11 Getrennte Fangeinrichtung mit DEHNiso-Combi

Bild 5.1.8.12 Geländerbefestigung für DEHNiso-Combi-Stützrohr

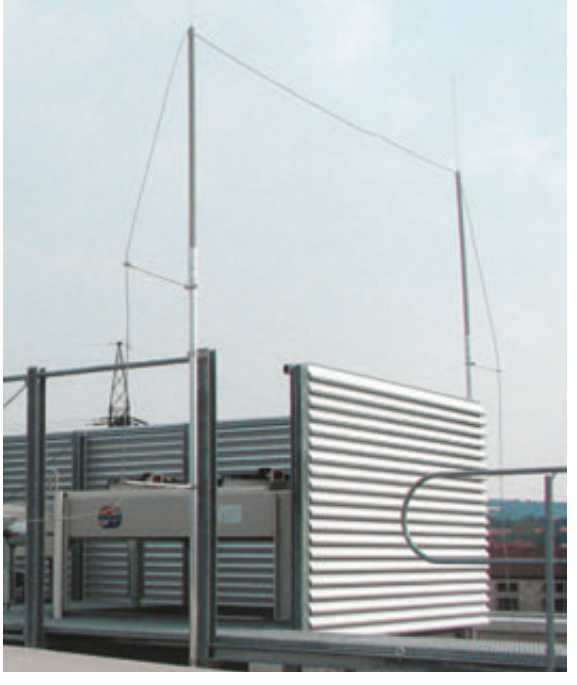


Bild 5.1.8.13 Getrennte Fangeinrichtung mit DEHNiso-Combi

Bild 5.1.9.1 Verlegung der Ableitung am Kirchturm

Fangeinrichtungen (Blitzkugel, Schutzwinkel, Masche) zu installieren, bietet das Produktprogramm DEHNiso-Combi.
Durch die Stützrohre aus Aluminium mit „Isolierstrecke" (GFK = glasfaserverstärkter Kunststoff), die an dem zu schützenden Objekt oder einem Dreibeinstativ befestigt werden, ergibt sich eine Führung der Seile. Mittels der Distanzhalter aus GFK wird die weitere getrennte Führung zu den Ableitungen oder den Fangeinrichtungen (z. B. Masche) realisiert.

Nähere Informationen zur Anwendung sind in den Druckschriften DS151 und in der Montageanleitung Nr. 1475 enthalten.
Die beschriebenen Ausführungen können beliebig untereinander kombiniert werden, um die getrennte Fangeinrichtung den örtlichen Gegebenheiten anzupassen (**Bild 5.1.8.10 bis 5.1.8.13**).

5.1.9 Fangeinrichtung für Kirchtürme und Kirchen

Äußerer Blitzschutz

Nach Beiblatt 2 zur DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3), Abschnitt 18.1, entspricht ein Blitzschutzsystem, das für Schutzklasse III ausgelegt ist, den normalen Anforderungen für Kirchen und Kirchtürmen. In besonderen Einzelfällen, wie z. B. bei Bauwerken mit hohem kulturellem Wert, ist eine gesonderte Risikoanalyse nach DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2) durchzuführen.

Kirchenschiff

Nach Beiblatt 2 zur DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) Abschnitt 18.5, muss das Kirchenschiff einen eigenen Blitzschutz erhalten, der bei einem angebauten Turm auf kürzestem Wege mit einer Ableitung des Turmes zu verbinden ist. Bei einem Kreuzschiff muss die Fangleitung längs des Querfirstes an jedem Ende eine Ableitung erhalten.

Kirchturm

Kirchtürme mit einer Höhe bis zu 20 m sind mit einer Ableitung zu versehen. Sind Kirchturm und Kirchenschiff zusammengebaut, so muss diese Ableitung auf dem kürzesten Weg mit dem äußeren Blitzschutz des Kirchenschiffes verbunden werden (**Bild 5.1.9.1**). Fällt die Ableitung des Kirchturmes mit einer Ableitung des Kirchenschiffes zusammen, so kann hier eine gemeinsame Ableitung verwendet werden. Nach dem Beiblatt 2 zur DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3), Abschnitt 18.3, müssen Kirchtürme über 20 m Höhe mindestens mit zwei Ableitungen ausgerüstet sein. Wenigstens eine dieser Ableitungen muss mit dem äußeren Blitzschutz des Kirchenschiffes auf dem kürzesten Weg verbunden werden.
Ableitungen an Kirchtürmen sind grundsätzlich außen am Turm herabzuführen. Eine Verlegung im Inneren des Turms ist nicht

zulässig (DIN EN 62305-3 Beiblatt 2 (VDE 0185-305 Beiblatt 2)). Auch der Trennungsabstand s zu Metallteilen und elektrischen Anlagen im Turm (z. B. Uhrenanlagen, Glocken) und unter dem Dach (z. B. Klima-, Lüftungs- und Heizungsanlagen) muss durch eine geeignete Anordnung des äußeren Blitzschutzes eingehalten werden. Der geforderte Trennungsabstand kann speziell an der Turmuhr zu einem Problem werden. In diesem Fall kann zur Vermeidung gefährlicher Funkenbildung in Teilen des äußeren Blitzschutzes die leitfähige Verbindung in das Gebäudeinnere durch ein Isolierstück (z. B. GFK-Rohr) ersetzt werden.

Bei Kirchen neuerer Bauart, die in Stahlbetonbauweise errichtet wurden, können die Bewehrungsstähle als Ableitungen verwendet werden, wenn ihre durchgehende leitende Verbindung sichergestellt wird. Finden Stahlbeton-Fertigteile Verwendung, so darf die Bewehrung als Ableitung genutzt werden, wenn an den Beton-Fertigteilen Anschlussstellen zum durchgehenden Verbinden der Bewehrung angebracht sind.

Entsprechend dem Beiblatt 2 zur DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) wird der Blitzschutz-Potentialausgleich / Überspannungsschutz mit den elektrischen Einrichtungen (Starkstromanlage, Telefon- und Lausprecheranlage etc.) am Gebäudeeintritt und für die Glockensteuerung oben im Turm und an der Steuerungsanlage durchgeführt.

5.1.10 Fangeinrichtungen für Windenergieanlagen (WEA)

Forderung nach Blitzschutz

Durch die beständige Weiterentwicklung moderner WEA in Turmhöhen deutlich über 100 m steigt das Blitzrisiko beträchtlich. Durch größere Generatorleistungen erhöht sich zudem der Wert dieser WEA. Zusätzlich dringt diese Technik, verstärkt durch den globalen Einsatz, in Regionen mit ausgeprägter Blitztätigkeit vor. Brände, ausgelöst durch Blitzwirkung sind in diesen Höhen mit konventioneller Brandbekämpfung kaum zu löschen.
Die internationale Normung folgt diesem Trend. So wird in der IEC 61400-24 Wind turbines: Lightning protection generell die Blitzschutzklasse I gefordert. Die Anlagen sind daher für Blitzstromstärken von 200.000 A auszulegen.

Prinzip äußerer Blitzschutz bei Windenergieanlagen

Der äußere Blitzschutz besteht aus Fangeinrichtungen, Ableitungen und einer Erdungsanlage und schützt vor mechanischer Zerstörung und Brand. Blitzeinschläge bei Windenergieanlagen finden bevorzugt in die Rotorblätter statt. Deshalb werden dort z. B. Rezeptoren integriert, die definierte Einschlagspunkte vorgeben (**Bild 5.1.10.1**). National ist diese IEC-Norm als DIN EN 61400-24 (VDE 0127-24) publiziert.

Um die eingekoppelten Blitzströme kontrolliert gegen Erde abfließen zu lassen, werden die Rezeptoren in den Flügeln durch eine metallene Verbindungsleitung (Flachband St/tZn 30 mm x 3,5 mm oder Kupferseil 50 mm^2) mit der Nabe verbunden. Kohlefaserbürsten oder Luftfunkenstrecken überbrücken dann wiederum die Kugellager im Gondelkopf, um ein Verschweißen der drehbaren Konstruktionsteile zu vermeiden. Damit Gondelaufbauten, wie z. B. Anemometer, bei Blitzeinschlag geschützt sind, werden Fangstangen oder „Fangkäfige" montiert (**Bild 5.1.10.2**).

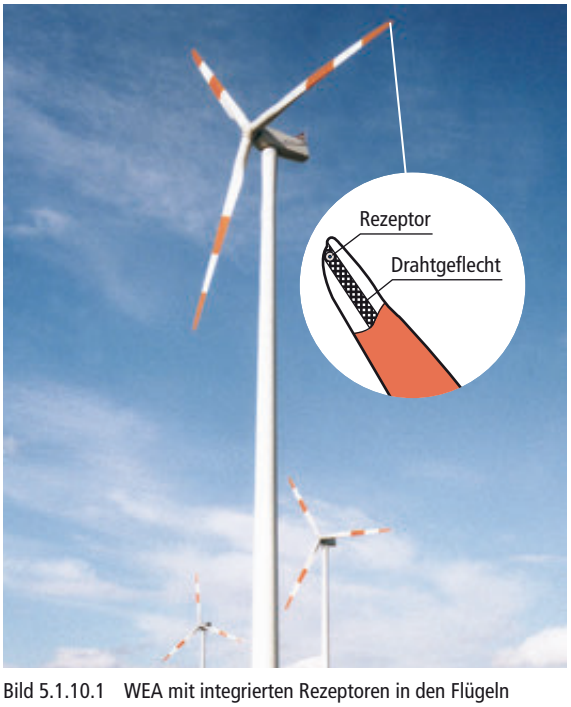


Bild 5.1.10.1 WEA mit integrierten Rezeptoren in den Flügeln

Bild 5.1.10.2 Blitzschutz für Windmessgeräte bei WEA

Bild 5.1.11.1 Schutz vor direkten Blitzeinschlägen durch freistehende Fangstangen

Als Ableitung werden der metallene Turm oder bei einer Spannbetonausführung im Beton eingebettete Runddrähte (St/tZn Ø 8 ... 10 mm) oder Flachbänder (St/tZn 30 mm x 3,5 mm) genutzt. Die Erdung der Windenergieanlage wird in Form eines Fundamenterders im Turmfuß und der maschenartigen Verbindung mit dem Fundamenterder des Betriebsgebäudes bzw. weiterer WEA realisiert. Dadurch wird eine „Äquipotentialfläche" geschaffen, die im Blitzeinschlagsfall Potentialunterschiede vermeidet.

5.1.11 Windlastbeanspruchungen von Blitzschutz-Fangstangen

Dächer werden als technische Installationsebene genutzt. Insbesondere für Erweiterungen der technischen Gebäudeausrüstung werden umfangreiche Anlagen gerade auf Dachflächen großer Büro- und Industriebauten installiert. Es gilt dann, diverse Dachaufbauten zu schützen, wie Klimaanlagen und Kühleinrichtungen, Antennen von Mobilfunkanlagen auf Gastgebäuden, Lampen, Rauchgas-Entlüftungen und andere Einrichtungen mit Anschlüssen an das elektrische Niederspannungssystem (**Bild 5.1.11.1**).

Entsprechend den geltenden Blitzschutznormen der Reihe DIN EN 62305 (VDE 0185-305) können diese Dachaufbauten mit isoliert angebrachten Fangeinrichtungen vor direkten Blitzeinschlägen geschützt werden. Dabei werden sowohl die Fangeinrichtungen wie Fangstangen, Fangspitzen oder -maschen als auch die Ableitungen isoliert, d. h. mit einem ausreichenden Trennungsabstand zu den im Schutzbereich liegenden Dachaufbauten installiert. Durch den Aufbau einer isolierten Blitzschutzanlage entsteht ein Schutzraum, in den direkte Blitzeinschläge ausgeschlossen sind. Ebenfalls wird das Eindringen von Blitzteilströmen in das Gebäudeinnere vermieden. Dies ist wichtig, da, wie bereits erwähnt, durch die Verschleppung von Blitzteilströmen empfindliche elektrische / elektronische Einrichtungen beeinflusst oder zerstört werden können.
Für ausgedehnte Dachaufbauten wird dazu ein System von isolierten Fangeinrichtungen aufgebaut. Diese sind sowohl untereinander als auch mit der Erdungsanlage verbunden. Die Größe des entstehenden Schutzraumes hängt u. a. von der Anzahl und der Höhe der installierten Fangeinrichtungen ab.

Max. Gebäudehöhe		
Schutzklasse	Radius der Blitzkugel (r)	Maschenweite (W)
I	20 m	5 x 5 m
II	30 m	10 x 10 m
III	45 m	15 x 15 m
IV	60 m	20 x 20 m

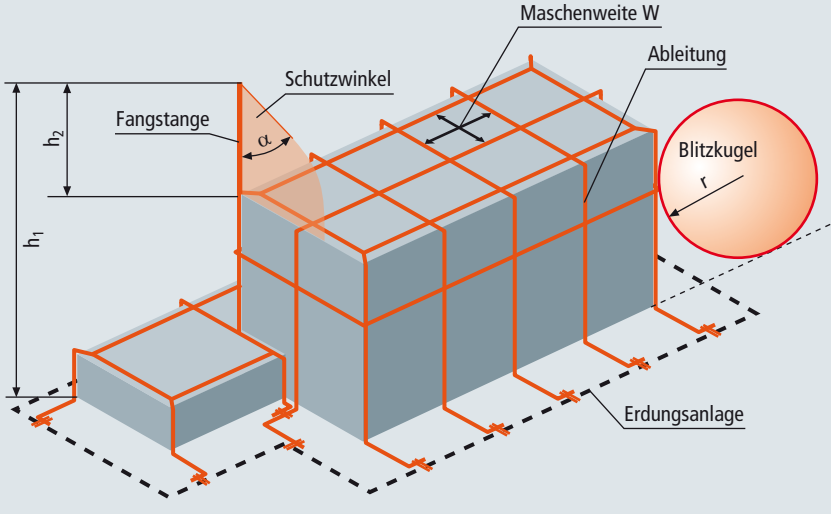


Bild 5.1.11.2 Verfahren für die Auslegung von Fangeinrichtungen nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3)

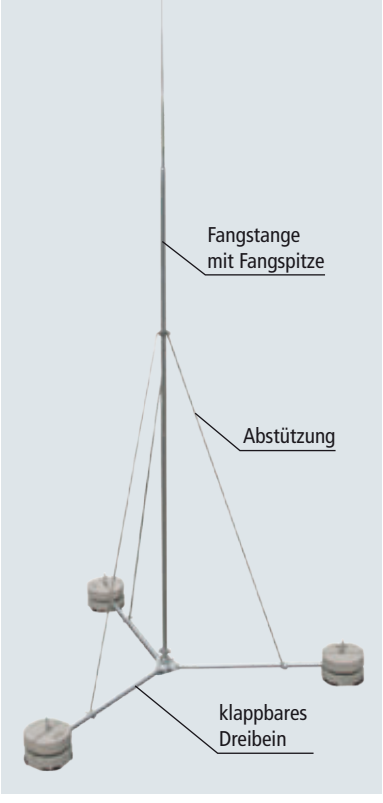


Bild 5.1.11.3 Freistehende Fangstange mit klappbarem Dreibein

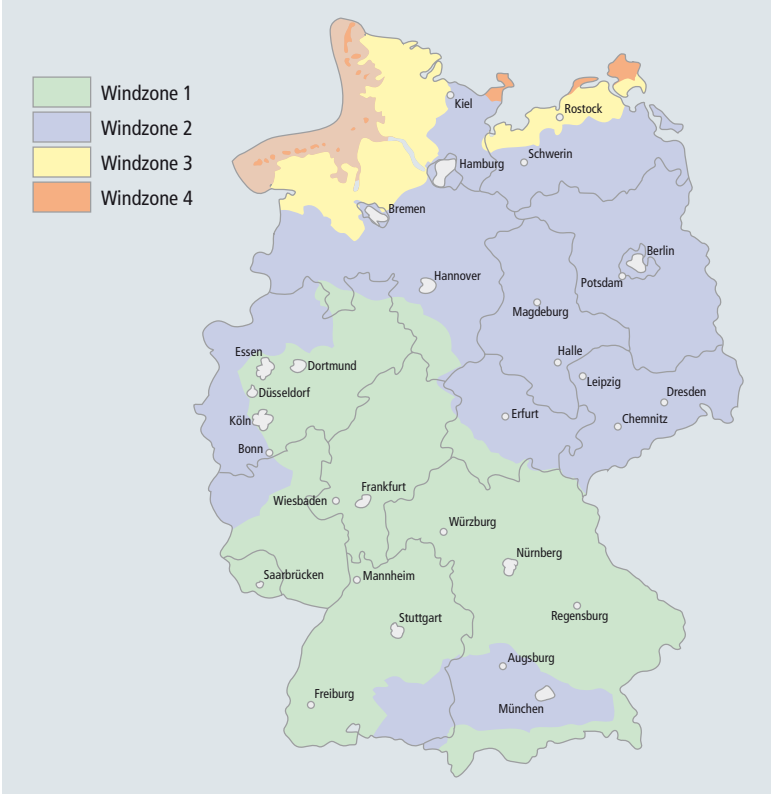


Bild 5.1.11.4 Einteilung Deutschlands in Windzonen; Quelle: DIN EN 1991-1-4/NA „Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten")

Für kleinere Dachaufbauten wird dieser Schutz durch eine einzelne Fangstange erreicht. Dabei wird das Blitzkugelverfahren nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) angewendet (**Bild 5.1.11.2**).

Beim Blitzkugelverfahren wird eine Blitzkugel, deren Radius von der gewählten Schutzklasse abhängig ist, in alle möglichen Richtungen an und über die zu schützende Anlage gerollt. Dabei darf die Blitzkugel nur den Erdboden (Bezugsfläche) und/oder die Fangeinrichtung berühren.

Mit diesem Verfahren ergibt sich ein geschütztes Volumen, innerhalb dessen direkte Blitzeinschläge ausgeschlossen sind.

Um ein möglichst großes geschütztes Volumen zu erreichen oder auch um größere Dachaufbauten vor direkten Blitzeinschlägen schützen zu können, ist es das Ziel, die einzelnen Fangstangen mit entsprechend großer Höhe aufzubauen. Dazu werden freistehende Fangstangen durch adäquate Gestaltung des Fußes und durch zusätzliche Abstützungen gegen Kippen und Bruch gesichert (**Bild 5.1.11.3**).

Der Forderung nach einer möglichst großen Bauhöhe für die freistehenden Fangstangen steht jedoch eine höhere Beanspruchung durch angreifende Windlasten gegenüber. Gleichzeitig wird zur Erleichterung des Transports und der Montage ein Leichtbau des Systems „Freistehende Fangstange" gefordert. Für den sicheren Einsatz von Fangstangen auf Dächern muss deshalb ein Nachweis der Standfestigkeit erbracht werden.

Beanspruchung durch auftretende Windlasten

Da der Einsatz von freistehenden Fangstangen an exponierten Stellen (z. B. auf Dächern) erfolgt, ergeben sich mechanische Belastungen, die wegen des vergleichbaren Einsatzortes und der vergleichbaren auftretenden Windgeschwindigkeiten den Beanspruchungen von Antennentragwerken entsprechen. Damit werden an frei stehende Fangstangen bezüglich der mechanischen Festigkeit prinzipiell die gleichen Anforderungen gestellt, wie dies in DIN EN 1993-3-1, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 3-1: Türme, Maste und Schornsteine – Türme und Maste, der Fall ist.

Deutschland ist in vier Windzonen eingeteilt (**Bild 5.1.11.4**). In die Berechnung der tatsächlich zu erwartenden Windlastbe-

anspruchungen gehen neben der zonenabhängigen Windlast auch die Gebäudehöhen und die örtlichen Gegebenheiten (Gebäude einzeln stehend im offenen Gelände oder eingebettet in andere Bebauung) mit ein. In **Bild 5.1.11.4** ist zu erkennen, dass ca. 95 % der Fläche Deutschlands durch die Windzonen 1 und 2 abgedeckt werden. Aus diesem Grund erfolgt die Auslegung der Fangstangen generell für die Windzone 2. Die Verwendung von freistehenden Fangstangen in Windzone 3 und Windzone 4 muss hinsichtlich der jeweils auftretenden Belastungen separat überprüft werden.

Bei der Auslegung freistehender Fangstangen müssen aus Sicht der Windlastbeanspruchung folgende Anforderungen erfüllt werden:

- Sicherheit der Fangstangen gegen Kippen
- Sicherheit gegen Biegen der Stangen
- Einhalten des notwendigen Trennungsabstands zum zu schützenden Objekt auch unter Windlast (Vermeidung unzulässiger Durchbiegungen).

Bestimmung der Kippsicherheit

Durch Windkräfte, die auf die Windangriffsflächen der Fangstange wirken, wird an der Oberfläche eine Streckenlast q' erzeugt, die an der freistehenden Fangstange ein entsprechendes Kippmoment M_K zur Folge hat. Um einen sicheren Stand der freistehenden Fangstange sicherzustellen, muss dem Kippmoment M_K ein Gegenmoment M_G entgegenwirken, das durch das Standbein erzeugt wird. Die Größe des Gegenmomentes M_G hängt vom Standgewicht und dem Standbeinradius ab. Ist das Kippmoment größer als das Gegenmoment, fällt die Fangstange durch die Windlast um.
Der Nachweis der Standsicherheit freistehender Fangstangen erfolgt durch statische Berechnungen. In die Berechnung fließen dazu, neben den mechanischen Kennwerten der eingesetzten Materialien, folgende Angaben ein:

- **Windangriffsfläche der Fangstange**
  bestimmt durch Länge und Durchmesser der einzelnen Fangstangen-Teilstücke.
- **Windangriffsfläche der Abstützung**
  Freistehende Fangstangen großer Bauhöhe werden durch 3 Streben, die gleichmäßig am Umfang angebracht sind, abgestützt. Die Windangriffsfläche dieser Streben entspricht der auf einer senkrecht zur Windrichtung stehenden Ebene projizierten Fläche dieser Streben, d. h., die Strebenlängen werden entsprechend verkürzt in die Berechnung eingesetzt.
- **Gewicht der Fangstange und der Abstützung**
  Das Eigengewicht der Fangstange und der Abstützstreben wird bei der Berechnung des Gegenmomentes mitberücksichtigt.
- **Gewicht des Standbeines**
  Das Standbein ist eine Dreibeinkonstruktion, die mit Betonsteinen beschwert wird. Das Gewicht dieses Standbeins setzt sich aus dem Eigengewicht des Dreibeins und den Einzelmassen der aufgelegten Betonsteine zusammen.
- **Kipphebel des Standbeines**
  Der Kipphebel bezeichnet den kürzesten Abstand zwischen dem Mittelpunkt des Dreibeins und der Linie bzw. dem Punkt, um den das Gesamtsystem kippen würde.

Der Nachweis der Standsicherheit ergibt sich aus dem Vergleich der folgenden Momente:

- **Kippmoment**
  gebildet aus der windlastabhängigen Kraft auf die Fangstange, die Abstützstreben und dem Hebelarm der Fangstange.
- **Gegenmoment**
  gebildet aus dem Gewicht des Standbeins, dem Gewicht der Fangstange und der Abstützstreben sowie der Länge des Kipphebels durch das Dreibein.

Die **Standsicherheit** ist erreicht, wenn das Verhältnis von Gegen- zu Kippmoment einen Wert >1 annimmt. Prinzipiell gilt: Je größer das Verhältnis von Gegen- zu Kippmoment ist, umso größer ist die Standsicherheit.
Es bestehen folgende Möglichkeiten, um die geforderte Standsicherheit zu erreichen:

- Um die Windangriffsfläche der Fangstange klein zu halten, werden möglichst kleine Querschnitte verwendet. Die Belastung auf die Fangstange wird reduziert, gleichzeitig nimmt jedoch die mechanische Festigkeit der Fangstange ab (Gefahr des Bruchs der Stange). Entscheidend ist somit ein Kompromiss zwischen einem möglichst kleinen Querschnitt zur Reduzierung der Windlast und einem möglichst großen Querschnitt zum Erreichen der notwendigen Festigkeit.
- Die Standsicherheit kann erhöht werden, wenn größere Standgewichte und/oder größere Standbeinradien eingesetzt werden. Dies steht oftmals im Widerspruch zu den begrenzten Aufstellflächen und der allgemeinen Forderung nach geringem Gewicht und Transportfreundlichkeit.

Realisierung

Um eine möglichst geringe Windangriffsfläche zu bieten, wurden die Querschnitte der Fangstangen entsprechend den Berechnungsergebnissen optimiert. Zur Erleichterung des Transportes und der Montage besteht die Fangstange aus einem Aluminium-Rohr (auf Wunsch teilbar) und einer Aluminium-Fangstange. Das Standbein zur Aufnahme der Fangstange

ist klappbar und wird in zwei Größen angeboten. So können Dachschrägen bis 10° ausgeglichen werden.

Bestimmung der Bruchsicherheit

Neben der Standfestigkeit ist auch ein Nachweis der Bruchsicherheit der Fangstange zu erbringen, da durch die auftretende Windlast an der freistehenden Fangstange Biegebeanspruchungen erzeugt werden. Die Biegespannung darf dabei die max. zulässige Spannung nicht übersteigen. Die auftretende Biegespannung nimmt bei längeren Fangstangen zu. Die Fangstangen sind so auszulegen, dass bei Windlasten, wie sie in Windzone 2 auftreten können, keine bleibenden Verformungen an den Stangen auftreten.
Da sowohl die exakte Geometrie der Fangstange als auch das nichtlineare Verhalten der eingesetzten Materialien berücksichtigt werden muss, erfolgt der Nachweis der Bruchsicherheit freistehender Fangstangen durch ein FEM-Berechnungsmodell. Die Finite Elemente Methode, kurz FEM, ist ein numerisches Berechnungsverfahren, mit dem Spannungen und Verformungen komplexer geometrischer Strukturen berechnet werden können. Die zu untersuchende Struktur wird durch gedachte Flächen und Linien in sogenannte „Finite Elemente" unterteilt, die über Knoten miteinander verbunden sind.
Für die Berechnung werden folgende Eingaben benötigt:

- **FEM-Rechenmodell**
  Das FEM-Rechenmodell entspricht in vereinfachter Form der Geometrie der freistehenden Fangstange.
- **Materialeigenschaften**
  Das Materialverhalten wird über die Angabe von Querschnittswerten, E-Modul, Dichte und Querkontraktion vorgegeben.
- **Belastungen**
  Die Windlast wird als Drucklast auf das Geometriemodell aufgebracht.

Die Bruchsicherheit wird aus dem Vergleich der zulässigen Biegespannung (Materialkennwert) und der max. auftretendenBiegespannung (errechnet aus dem Biegemoment und dem wirksamen Querschnitt am Punkt der höchsten Beanspruchung) bestimmt.
Die Bruchsicherheit als Verhältnis von zulässiger zu auftretender Biegespannung ist bei einem Wert > 1 erreicht. Prinzipiell gilt auch hier: Je größer das Verhältnis von zulässiger zu auftretender Biegespannung ist, umso größer ist die Bruchsicherheit.

Mit dem FEM-Rechenmodell wurden für zwei Fangstangen (Länge = 8,5 m) mit Abstützung und ohne Abstützung die auftretenden Biegemomente als Funktion der Fangstangenhöhe berechnet (**Bild 5.1.11.5**). Dabei wird der Einfluss einer möglichen Abstützung auf den Verlauf der Momente deutlich. Während das max. Biegemoment bei der Fangstange ohne

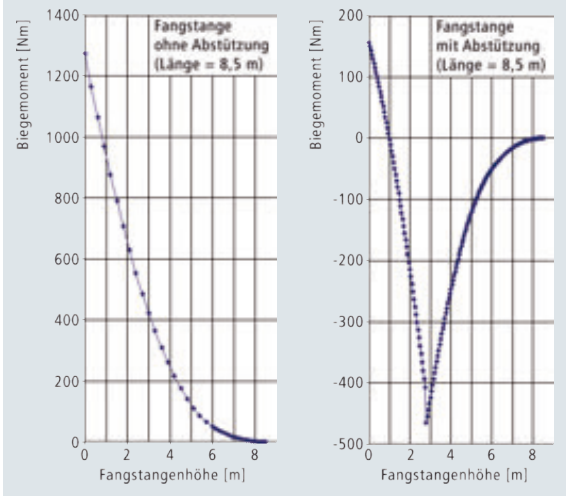


Bild 5.1.11.5 Vergleich der Biegemomentverläufe an freistehenden Fangstangen ohne und mit Abstützung (Länge = 8,5 m)

Abstützung im Einspannpunkt ca. 1270 Nm beträgt, reduziert sich das Biegemoment durch die Abstützung auf ca. 460 Nm. Durch diese Abstützung ist es möglich, die Spannungen in der Fangstange so weit zu reduzieren, dass bei den max. anzunehmenden Windlasten die Festigkeit der eingesetzten Materialien nicht überschritten wird und es nicht zur Zerstörung der Fangstange kommt.

Realisierung

Abstützstreben erzeugen einen zusätzlichen „Lagerpunkt", durch den die auftretenden Biegespannungen in der Fangstange deutlich verringert werden. Ohne zusätzliche Abstützung würden die Fangstangen den Beanspruchungen der Windzone 2 nicht standhalten. Aus diesem Grund werden Fangstangen ab einer Höhe von 6 m mit Abstützungen ausgerüstet.

Neben den Biegemomenten liefert die FEM-Berechnung auch die auftretenden Spannungen in den Abstützstreben, deren Festigkeit ebenfalls nachgewiesen werden muss.

Bestimmung der windlastbedingten Auslenkung der Fangstange

Ein weiteres wichtiges Berechungsergebnis des FEM-Modells ist die Auslenkung der Fangstangenspitze. Windlasten bewirken, dass sich die Fangstangen biegen. Die Durchbiegung der Stange hat eine Veränderung des zu schützenden Volumens zur Folge. Zu schützende Objekte befinden sich nicht mehr im Schutzbereich, und/oder Näherungen werden nicht mehr eingehalten.

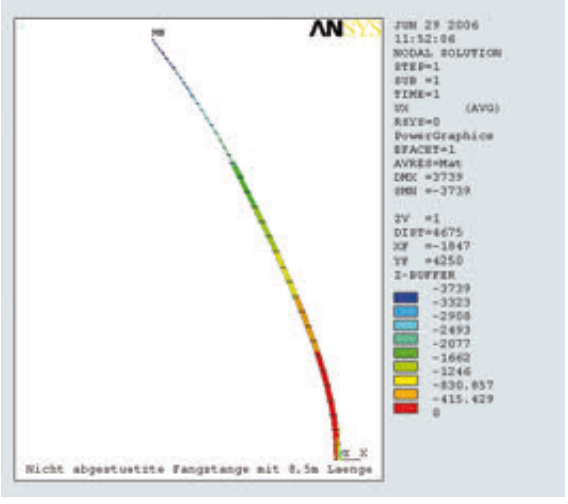


Bild 5.1.11.6 FEM-Modell der freistehenden Fangstange ohne Abstützung (Länge = 8,5 m)

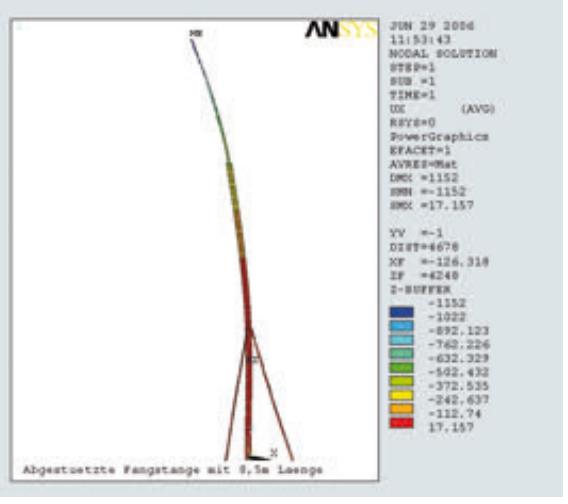


Bild 5.1.11.7 FEM-Modell der freistehenden Fangstange mit Abstützung (Länge = 8,5 m)

Die Anwendung des Rechenmodells auf eine freistehende Fangstange ohne und mit Abstützung zeigt folgende Ergebnisse: **Bilder 5.1.11.6 und 5.1.11.7**.
Die Berechnung ergibt für das ausgewählte Beispiel eine Verschiebung der Spitze der Fangstange mit Abstützung von ca. 1150 mm. Ohne Abstützung käme es zu einer Auslenkung von ca. 3740 mm – einem theoretischen Wert, da er die Bruchgrenze der betrachteten Fangstange überschreitet.

Realisierung

Zusätzliche Abstützungen ab einer gewissen Stangenhöhe bewirken eine deutliche Reduzierung dieser Auslenkungen. Zudem verringert sich dadurch auch die Biegebelastung auf die Stange.
Kippsicherheit, Bruchsicherheit und Auslenkung sind die entscheidenden Faktoren bei der Auslegung von Fangstangen. Standfuß und Fangstange sind so aufeinander abzustimmen, dass die auftretenden Belastungen aufgrund der Windgeschwindigkeit entsprechend der Windzone 2 nicht zum Kippen und/oder zu einer Beschädigung der Stange führen.

Zu beachten ist weiterhin, dass große Auslenkungen der Fangstange den Trennungsabstand verringern und damit unzulässige Näherungen entstehen können. Eine zusätzliche Abstützung bei Fangstangen größerer Höhe ist notwendig, damit derartige unzulässige Auslenkungen von Fangstangenspitzen verhindert werden. Die beschriebenen Maßnahmen erreichen, dass freistehende Fangstangen bei bestimmungsgemäßem Gebrauch Windgeschwindigkeiten der Windzone 2 standhalten.

5.1.12 Sicherungssysteme und Blitzschutz

In der Regel müssen Dachflächen von Gewerbe- und Industriebauten zu Service- und Wartungszwecken regelmäßig begangen werden. Deshalb ist es heute insbesondere bei Industrieflachdächern vielfach bereits Standard, dass diese Dächer mit einem Seilsicherungssystem ausgerüstet sind oder werden. Aber auch z. B. das Säubern von Rinnen und Lichtbändern fällt in den Bereich der absturzgefährdeten Arbeiten. Das Bedienpersonal kann bei der Dachbegehung nur in die Persönliche Schutzausrüstung (PSA) des Seilsicherungssystems (**Bild 5.1.12.1**) eingehängt oder durch Anschlagpunkte gegen Absturz gesichert werden. Der Vorteil des Seilsicherungssystems gegenüber dem Anschlagpunkt ist, dass der Bedienende durch die Einhängung eines Seilgleiters / Mitläufers in das Seilsicherungssystem am Seil entlanglaufen kann. Ein Umhängen, wie bei einem fixierten Anschlagpunkt, ist nicht notwendig. Dies erhöht die Arbeitssicherheit und auch die Akzeptanz eines solchen notwendigen Systems.

Bild 5.1.12.1 Seilsicherungssystem auf einem Flachdach

Bild 5.1.12.2 Montagefehler: Kreuzung Seilanlage – Fangeinrichtung

Auf dem Dach treffen zwei unterschiedliche Gewerke zusammen, die an den Schnittstellen beider Gewerke koordiniert werden müssen. Das sind der Errichter des Seilsicherungssystems und der Errichter des äußeren Blitzschutzes. Im Bezug auf die Personensicherheit kann es sogar gefährlich werden, wenn fachfremde Handwerker an einem „fremden System" Arbeiten ausführen. Jeder sollte eigenständig und fachkundig sein Gewerk ausführen und die Gewährleistungspflicht des anderen Fachkollegen beachten. Deshalb sollten Installationen von Seilsicherungssystemen nur von geeigneten Fachfirmen und Arbeiten am äußeren Blitzschutzsystem nur von qualifizierten Blitzschutz-Fachkräften ausgeführt werden.
Da Seilsicherungssysteme ca. 30 cm oberhalb einer üblichen Blitzschutzfangmasche verlegt werden, sind sie bevorzugte Blitzeinschlagpunkte. Viele Hersteller von Seilsicherungssystemen weisen deshalb in ihren Montageanleitungen darauf hin, dass im Rahmen der jährlichen Überprüfung die Seilanlage auch auf Blitzeinschläge und damit mögliche, unterschiedlich große Metallausschmelzungen aufgrund einer Blitzstromeinkopplung zu kontrollieren sind. Der Zentralverband des deutschen Dachdeckerhandwerkes (ZVDH) hat in Zusammenarbeit mit dem Ausschuss Blitzschutz und Blitzforschung (ABB) des Verbands der Elektrotechnik / Elektronik / Informationstechnik e.V. (VDE) ein Merkblatt – Äußerer Blitzschutz auf Dach und Wand – herausgegeben.

Montagefehler

Ein Negativbeispiel, wie es heute leider häufig in der Praxis zu finden ist, zeigt **Bild 5.1.12.2**. Die hier dargestellte Seilanlage wurde oberhalb des Blitzschutzsystems angeordnet. Zusätzlich ist fraglich, ob die hier eingesetzte handelsübliche Verbindungsklemme, zur Kontaktierung an der Seilanlage, blitzstromtragfähig ist. Die Verbindung zwischen Seilanlage und Maschennetz ist mit einer sehr kurzen Leitung ausgeführt. Im Falle eines Absturzes wird die Seilanlage bis zu 1 m ausgelenkt, um den Absturz „abzufedern". Die zu kurze, im **Bild 5.1.12.2** dargestellte Verbindungsleitung würde abreißen und die Dämpfungswirkung bei einem Absturz erheblich beeinträchtigen. Dies ist unzulässig.

Blitzschutz

Das Seil des Absturzsicherungssystems ist Teil des Personensicherheitssystems und darf nicht die Fangeinrichtung sein! Bei einer Blitzeinkopplung besteht die Gefahr der Seilbeschädigung durch Ausschmelzungen (reduzierter Querschnitt / geringere Festigkeit). Deshalb muss das Seilsicherungssystem in den äußeren Blitzschutz integriert werden. Die **Bilder 5.1.12.3 und 4** zeigen die prinzipielle Vorgehensweise.
Durch die Positionierung der Fangstangen wird die Seilanlage in den vor Blitzeinschlag geschützten Bereich gebracht. An den Kreuzungspunkten zwischen Seilanlage und tiefer liegender Blitzschutzfangmasche wird zum Zweck des Potentialausgleichs eine elektrisch sichere Verbindung hergestellt.
Diese Verbindungen müssen blitzstromtragfähig und, dem jeweiligen Leitungsdurchmesser angepasst, korrekt ausgeführt sein. Auch müssen diese so konstruiert sein, dass sie von den Seilgleitern / Mitläufern überrollt werden können. Das speziell fürs Seilsicherungssystem entwickelte „Anschluss-Set Seilan-

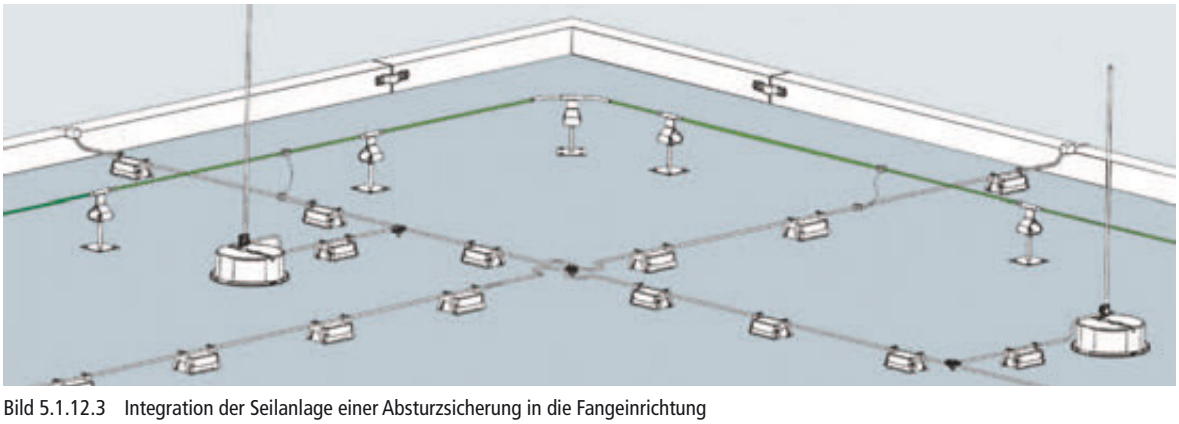


Bild 5.1.12.3 Integration der Seilanlage einer Absturzsicherung in die Fangeinrichtung

Bild 5.1.12.4 Bauliche Anlage mit Flachdach – Detailansicht

lage“ von DEHN bietet die notwendige blitzstromtragfähige Anbindung an eine vorhandene äußere Blitzschutzanlage. Ein Aushängen der PSA ist nicht notwendig und somit ist eine durchgehende Absturzsicherung gegeben. **Bild 5.1.12.5** zeigt ein korrekt ausgeführtes Montagebeispiel. Die Seilanschlussklemme/Verbindungslasche ist so ausgeformt, dass der Seilgleiter/Mitläufer des Seilsicherungssystems ohne Aushängen über den Anschluss geführt werden kann. Das gesamte Anschluss-Set, als Verbindung zwischen Seilanlage und Maschennetz des äußeren Blitzschutzes, ist so positioniert, dass bei einem Absturz die Seilanlage bis zu einer Länge von 1 m ausgelenkt werden kann, ohne dass die Verbindung abreißt. Dafür ist es notwendig, das Anschluss-Set mit einem längeren Verbindungskabel zu versehen.

5.2 Ableitungen

Die Ableitung ist die elektrisch leitende Verbindung zwischen der Fangeinrichtung und der Erdungsanlage. Ableitungen sollen den eingefangenen Blitzstrom zur Erdungsanlage leiten, ohne dass am Gebäude, z. B. durch unzulässig hohe Erwärmung, ein Schaden entsteht.
Um das Auftreten von Schäden bei der Ableitung des Blitzstromes zur Erdungsanlage zu verringern, sind die Ableitungen so anzubringen, dass vom Einschlagpunkt zur Erde

- mehrere parallele Strompfade bestehen,
- die Länge der Stromwege so kurz wie möglich gehalten wird (gerade, senkrecht, keine Schleifenbildung),
- die Verbindungen zu leitenden Teilen der baulichen Anlage überall dort hergestellt werden, wo es notwendig ist

5.2.1 Ermittlung der Anzahl der Ableitungen

Die Anzahl der Ableitungen orientiert sich am Umfang der Dachaußenkanten (Umfang der Projektion auf die Grundfläche). Ihre Anordnung ist so zu gestalten, dass sie ausgehend von den Ecken der baulichen Anlage möglichst gleichmäßig auf den Umfang verteilt sind.
Je nach den baulichen Gegebenheiten (z. B. Tore, Betonfertigteile) können die gegenseitigen Abstände der Ableitungen unterschiedlich sein. In jedem Fall ist mindestens die Gesamtzahl der erforderlichen Ableitungen je nach Schutzklasse einzuhalten.

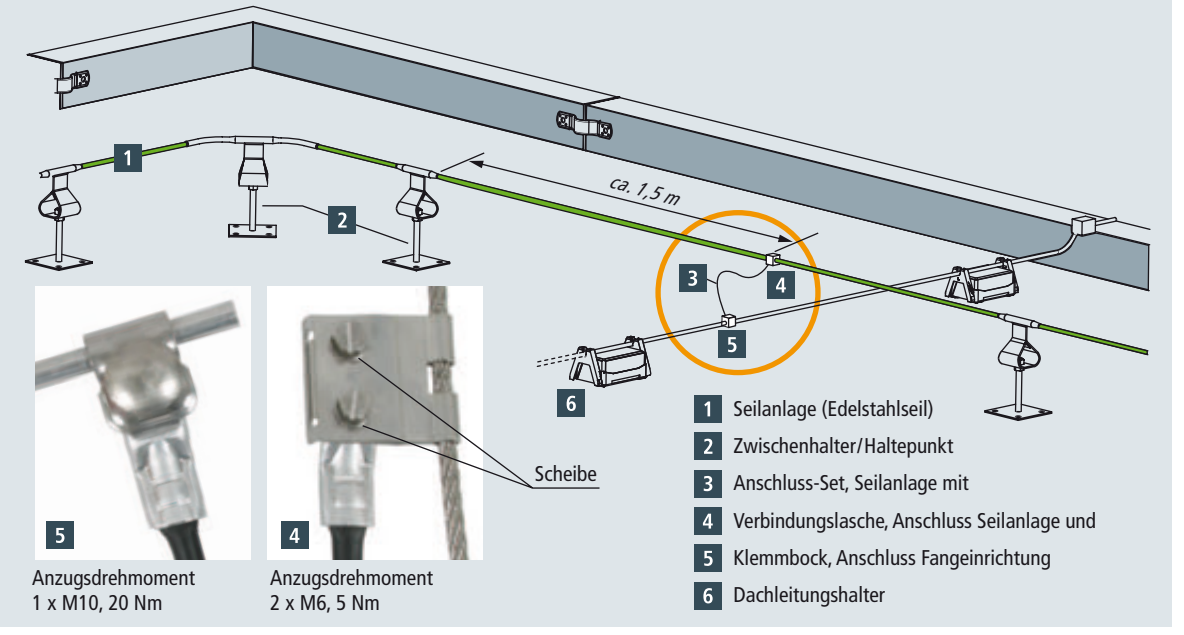


Bild 5.1.12.5 Montagebeispiel: Anschluss-Set Seilanlage

Schutzklasse	Typischer Abstand
I	10 m
II	10 m
III	15 m
IV	20 m

Tabelle 5.2.1.1 Abstände zwischen Ableitungen nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3)

In der Norm DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) werden typische Abstände zwischen Ableitungen und Ringleitern in Abhängigkeit von der Schutzklasse genannt (**Tabelle 5.2.1.1**).

Die genaue Anzahl der Ableitungen kann nur durch die Berechnung des Trennungsabstands s ermittelt werden. Kann der errechnete Trennungsabstand bei der geplanten Anzahl der Ableitungen einer baulichen Anlage nicht eingehalten werden, besteht eine Möglichkeit diese Forderung zu erfüllen darin, die Anzahl der Ableitungen zu erhöhen. Durch die parallelen Strompfade wird der Stromaufteilungskoeffizient k_c verbessert. Der Strom in den Ableitungen wird verringert, und der erforderliche Trennungsabstand kann somit eingehalten werden.
Natürliche Bestandteile der baulichen Anlage (z. B. Stahl-Beton-Stützen, Stahlskelette) können ebenfalls als Ableitungen verwendet werden, wenn eine durchgehende elektrische Leitfähigkeit sichergestellt ist.
Durch Querverbindungen der Ableitungen auf Höhe des Erdbodens (Sockelleitung) und durch Ringleitungen bei höheren Gebäuden wird eine Symmetrierung der Blitzstromverteilung erreicht, die ebenfalls den Trennungsabstand s reduziert.

In der aktuellen Normenreihe der DIN EN 62305 (VDE 0185-305) wird dem Trennungsabstand hohe Bedeutung beigemessen. Durch die genannten Maßnahmen kann der Trennungsabstand bei baulichen Anlagen reduziert und somit der Blitzstrom sicher abgeleitet werden.
Reichen diese Maßnahmen nicht aus, um den geforderten Trennungsabstand einzuhalten, können auch hochspannungsfeste isolierte Leitungen (HVI-Leitungen) verwendet werden. Diese werden im Kapitel 5.2.4 beschrieben.
Wie der genaue Trennungsabstand ermittelt werden kann, wird im Kapitel 5.6 behandelt.

5.2.2 Ableitungen im Falle eines nicht getrennten Blitzschutzsystems

In erster Linie werden die Ableitungen direkt am Gebäude (ohne Abstand) angebaut. Kriterium für die Verlegung direkt an der baulichen Anlage ist die Temperaturerhöhung im Falle eines Blitzeinschlages in das Blitzschutzsystem.
Besteht die Wand aus schwer oder normal entflammbarem Baustoff, dürfen die Ableitungen direkt auf oder in der Wand installiert werden.
Aufgrund der Angaben in den Bauordnungen der Länder werden in der Regel keine leicht brennbaren Baustoffe verwendet. Dadurch können die Ableitungen in der Regel meist direkt am Gebäude montiert werden.

Holz gilt bei einer Rohdichte über 400 kg/m^2 und einer Dicke über 2 mm als normal entflammbar. Somit kann z. B. an Holzmasten die Ableitung direkt angebracht werden.
Wenn die Wand aus einem leicht entflammbaren Baustoff besteht, können die Ableitungen direkt auf die Oberfläche der Wand installiert werden, vorausgesetzt, dass die Temperaturerhöhung beim Blitzstromfluss nicht gefährlich ist.

Die maximale Temperaturerhöhung ΔT in K der verschiedenen Leiter je nach Schutzklasse kann der **Tabelle 5.2.2.1** entnommen werden. Aufgrund dieser Werte ist es in der Regel zulässig, selbst Ableitungen hinter einer Wärmedämmung zu verlegen, da die Temperaturerhöhungen zu keiner Brandgefahr bei den Dämmungen führen. Die Brandhemmung ist dadurch ebenfalls sichergestellt.
Durch die Verwendung eines zusätzlichen PVC-Mantels bei der Verlegung der Ableitung in oder hinter einer Wärmedämmung wird die Temperaturerhöhung (an der Oberfläche) reduziert. Es kann auch PVC-ummantelter Alu-Draht verwendet werden.

q [mm^2]	Ø [mm]	Schutzklasse											
		Aluminium			Eisen			Kupfer			NIRO (V4A)		
		III + IV	II	I	III + IV	II	I	III + IV	II	I	III + IV	II	I
I		146	454	*	1120	*	*	56	143	309	*	*	*
II	8 mm	12	28	52	37	96	211	5	12	22	190	460	940
III	10 mm	4	9	17	15	34	66	3	5	9	78	174	310
* schmelzen / verdampfen													

Tabelle 5.2.2.1 Maximale Temperaturerhöhung ΔT in K verschiedener Leitermaterialien

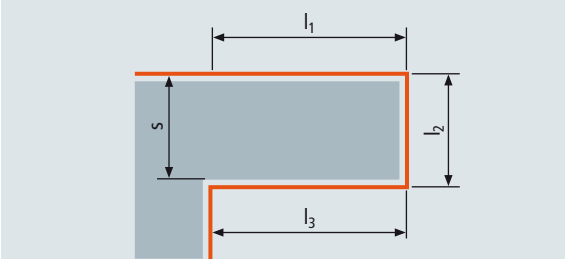


Bild 5.2.2.1.1 Schleife in der Ableitung

Wenn die Wand aus einem leicht entflammbaren Werkstoff besteht und die Temperaturerhöhung der Ableitungen gefährlich ist, müssen die Ableitungen so angebracht werden, dass der Abstand zwischen den Ableitungen und der Wand größer als 0,1 m ist. Die Befestigungselemente dürfen die Wand berühren. Ob die Wand, an der eine Ableitung zu verlegen ist, aus brennbarem Material besteht, muss der Errichter der baulichen Anlage angeben.
Die genaue Definition der Begriffe „schwer", „normal" und „leicht entflammbar" ist im Anhang E.101 des Beiblatts 1 zur DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) beschrieben.

5.2.2.1 Errichten von Ableitungen

Die Ableitungen müssen so angeordnet werden, dass sie die direkte Fortsetzung der Fangleitungen sind. Sie müssen gerade und senkrecht verlegt werden, sodass sie die kürzestmögliche direkte Verbindung zur Erde darstellen.
Schleifenbildung z. B. an überstehenden Traufen oder Vorbauten muss vermieden werden. Wenn dies nicht möglich ist, müssen der Abstand, gemessen an der Annäherungsstelle zweier Punkte einer Ableitung, und die Länge l der Ableitung zwischen diesen Punkten die Forderung nach dem Trennungsabstand s erfüllen (**Bild 5.2.2.1.1**). Der Trennungsabstand s wird mit der Gesamtlänge $l = l_1 + l_2 + l_3$ berechnet.
Ableitungen dürfen nicht in Regenrinnen und Regenfallrohren verlegt werden, auch wenn sie mit einem isolierenden Werkstoff überzogen sind. Die Feuchtigkeit in den Regenrinnen würde zu starker Korrosion der Ableitungen führen.
Wird als Ableitung Aluminium verwendet, darf diese nicht unmittelbar (ohne Abstand) auf, im oder unter Putz, Mörtel oder Beton sowie nicht im Erdreich verlegt werden. Mit einem PVC-Mantel ist die Verlegung von Aluminium im Mörtel, Putz oder Beton möglich, wenn gewährleistet ist, dass der Mantel nicht mechanisch beschädigt wird und auch kein Bruch der Isolierung bei Kälte auftritt.
Es wird empfohlen, Ableitungen so anzubringen, dass zu allen Türen und Fenstern der notwendige Trennungsabstand s eingehalten wird (**Bild 5.2.2.1.2**).
Metallene Regenrinnen müssen an den Kreuzungsstellen mit den Ableitungen verbunden werden (**Bild 5.2.2.1.3**).
Metallene Regenfallrohre müssen, auch wenn sie nicht als Ableitungen verwendet werden, am Fußpunkt mit dem Potentialausgleich oder der Erdungsanlage verbunden werden. Durch

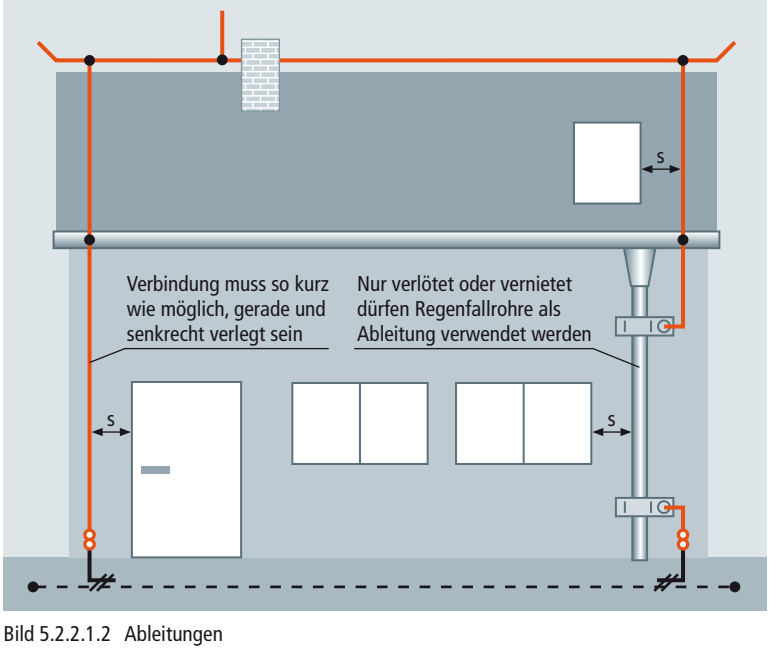


Bild 5.2.2.1.2 Ableitungen

Bild 5.2.2.1.3 Fangeinrichtung mit Anschluss an die Dachrinne

Bild 5.2.2.1.4 Erdung Regenfallrohr

die Verbindung mit der blitzstromdurchflossenen Dachrinne führt das Fallrohr auch einen Teil des Blitzstromes der in die Erdunganlage geleitet werden muss. Eine mögliche Ausführungsart zeigt **Bild 5.2.2.1.4**.

5.2.2.2 Natürliche Bestandteile der Ableitung

Bei der Verwendung von natürlichen Bestandteilen der baulichen Anlage als Ableitung kann die Anzahl separat zu installierender Ableitungen verringert werden oder eventuell ganz entfallen.
Die folgenden Teile einer baulichen Anlage können als „Natürliche Bestandteile" der Ableitungseinrichtung genutzt werden:

- **Metallene Installationen**
  Vorausgesetzt wird, dass die sichere Verbindung zwischen den verschiedenen Teilen dauerhaft ist und ihre Abmessungen den Mindestanforderungen an Ableitungen entsprechen. Diese metallenen Installationen dürfen auch mit Isolierstoff umhüllt sein. Die Benutzung von Rohrleitungen mit brennbarem oder explosivem Inhalt als Ableitung ist nicht zulässig, wenn die Dichtungen in den Flanschen / Kupplungen nicht metallen oder die Flansche / Kupplungen der verbundenen Rohre nicht in anderer Art elektrisch leitend verbunden sind.
- **Das metallene Skelett der baulichen Anlage**
  Wenn das Metallgerüst von Stahlskelettbauten oder der durchverbundene Bewehrungsstahl der baulichen Anlage als Ableitung benutzt werden, sind Ringleiter nicht notwendig, da durch die zusätzlichen Ringleitungen keine bessere Stromaufteilung erreicht wird.
- **Durchverbundene Bewehrung der baulichen Anlage**
  Bei bestehenden baulichen Anlagen kann die Bewehrung nicht als natürlicher Bestandteil der Ableitung verwendet werden, wenn die Bewehrung nicht sicher durchverbunden ist. Es müssen dann separate äußere Ableitungen verlegt werden.
- **Betonfertigteile**
  In Betonfertigteilen müssen Anschlussstellen an der Bewehrung vorgesehen werden. Die Betonfertigteile müssen eine elektrisch leitende Verbindung zwischen allen Anschlussstellen besitzen. Die einzelnen Teile müssen auf der Baustelle während der Montage miteinander verbunden werden (**Bild 5.2.2.2.1**).
- **Fassadenelemente, Profilschienen und metallene Unterkonstruktionen von Fassaden**
  Unter der Voraussetzung, dass die Maße den Anforderungen an Ableitungen entsprechen (5.6.2 der DIN EN 62305-3), dass bei Metallblechen oder -rohren die Dicke mindestens 0,5 mm beträgt und dass der elektrische Durchgang in senkrechter Richtung den Anforderungen der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) Abschnitt 5.5.3 entspricht, können diese Teile als natürliche Ableitungen verwendet werden.

Anmerkung: Im Falle von Spannbeton muss das besondere Risiko von eventuell unzulässigen mechanischen Einflüssen aufgrund des Blitzstromes und als Folge des Anschlusses an das Blitzschutzsystem beachtet werden.

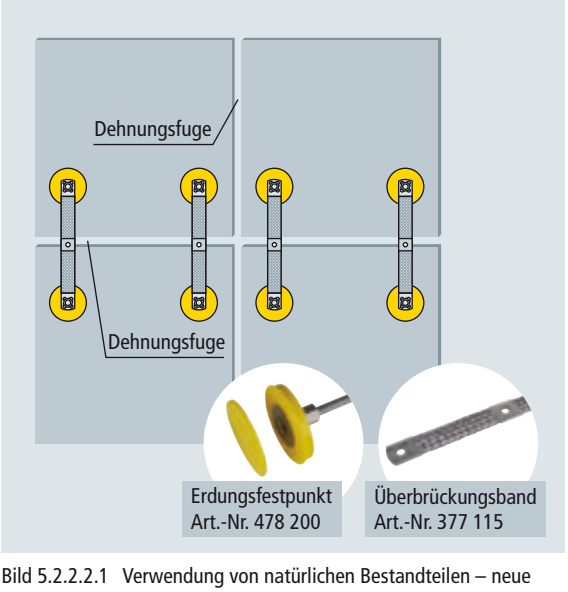


Bild 5.2.2.2.1 Verwendung von natürlichen Bestandteilen – neue Gebäude aus Fertigbeton

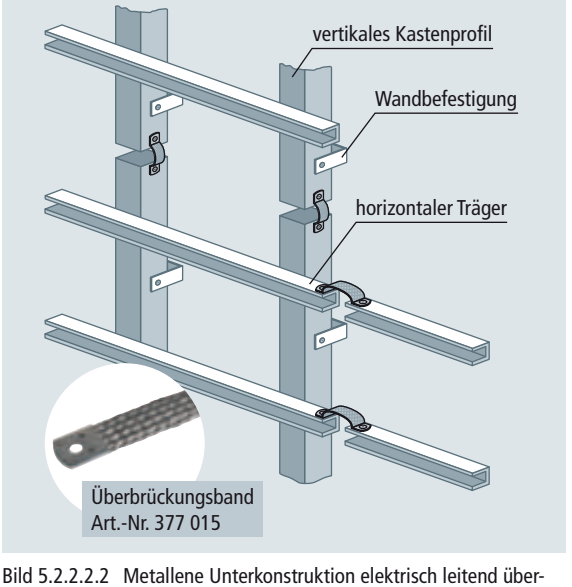


Bild 5.2.2.2.2 Metallene Unterkonstruktion elektrisch leitend überbrückt

Bild 5.2.2.2.3 Erdanschluss Metallfassade

Bild 5.2.2.2.4 Ableitung am Regenfallrohr

Bild 5.2.2.3.1 Messstelle mit Nummer

Ein Anschluss an Spannstäbe oder -seile bei Spannbeton darf nur außerhalb des Spannbereiches erfolgen. Vor der Verwendung von Spannstäben oder -seilen als Ableitung ist die Zustimmung des Errichters der baulichen Anlage einzuholen.
Ist die Bewehrung bei bestehenden baulichen Anlagen nicht sicher durchverbunden, kann sie nicht als Ableitung genutzt werden. Dann sind äußere Ableitungen zu verlegen.
Weiterhin können Fassadenelemente, Profilschienen und metallene Unterkonstruktionen von Fassaden als natürliche Ableitung verwendet werden, vorausgesetzt, dass:

- die Abmessungen den Mindest-Anforderungen an Ableitungen entsprechen. Bei Metallblechen darf die Dicke nicht kleiner als 0,5 mm sein. Ihre elektrische Durchgängigkeit in senkrechter Richtung muss gewährleistet sein. Werden Metallfassaden als Ableitung verwendet, dann müssen sie durchverbunden sein, sodass die einzelnen Blechtafeln untereinander durch Schrauben, Nieten oder Überbrückungen sicher verbunden sind. Ein sicherer, stromtragfähiger Anschluss an die Fangeinrichtung und an die Erdungsanlage muss hergestellt werden.
- Sind Blechtafeln nicht miteinander entsprechend der vorstehenden Forderung verbunden, jedoch die Unterkonstruktionen so, dass sie vom Anschluss an die Fangeinrichtung bis zum Anschluss an die Erdungsanlage durchgehend leitend sind, können diese als Ableitung genutzt werden (**Bilder 5.2.2.2.2 und 5.2.2.2.3**).

Metallene Regenfallrohre können als natürliche Ableitungen verwendet werden, sofern diese sicher durchverbunden (die Stoßstellen gelötet oder genietet) sind und die Mindestwandstärke des Rohres von 0,5 mm eingehalten wird (**Bild 5.2.2.1.2**).
Ist ein Regenfallrohr nicht sicher durchverbunden, kann es als Halter für die zusätzliche Ableitung dienen. Diese Art der Anwendung ist im **Bild 5.2.2.2.4** dargestellt. Eine blitzstromtragfähige Anbindung des Regenfallrohres an die Erdungsanlage ist erforderlich, da die Leitung nur am Rohr gehalten wird.

5.2.2.3 Messstellen

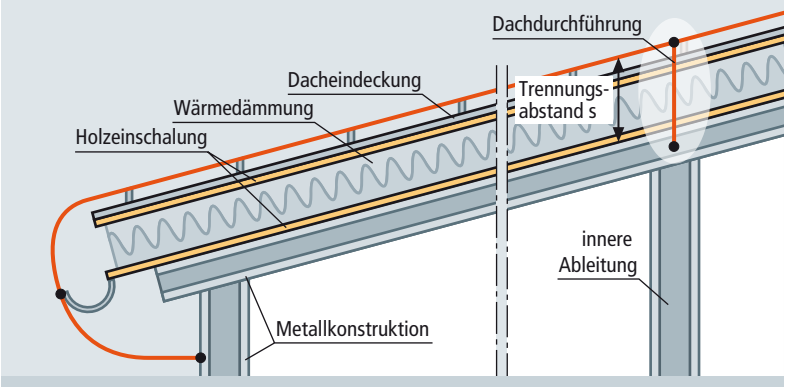
An jedem Anschluss einer Ableitung an die Erdungsanlage muss eine Messstelle angebracht sein (möglichst oberhalb der Erdeinführung).
Messstellen sind erforderlich, um folgende Eigenschaften des Blitzschutzsystems überprüfen zu können:

- Verbindungen der Ableitungen über die Fangeinrichtungen zur nächsten Ableitung
- Verbindungen der Anschlussfahnen untereinander über die Erdungsanlage, z. B. bei Ring- oder Fundamenterdern (Typ B Erder)
- Erdausbreitungswiderstände bei Einzelerdern (Typ A Erder).

Messstellen sind nicht erforderlich, wenn durch die Art des Bauwerks (z. B. Stahlbetonbau oder Stahlskelettbau) eine „galvanische" Trennung der „natürlichen" Ableitung zur Erdungsanlage (z. B. Fundamenterder) nicht möglich ist. Die Messstelle darf nur mit Hilfe eines Werkzeuges zu Messzwecken geöffnet werden, ansonsten muss sie geschlossen sein. Jede Messstelle muss eindeutig dem Plan des Blitzschutzsystems zugeordnet werden können. In der Regel werden alle Messstellen mit Nummern gekennzeichnet (**Bild 5.2.2.3.1**).

5.2.2.4 Innere Ableitungen

Sind die Gebäudekanten (Länge und Breite) viermal größer als der Ableitungsabstand entsprechend der Schutzklasse, sollten zusätzliche innere Ableitungen errichtet werden (**Bild**



Ist der Trennungsabstand zu klein, dann müssen die leitenden Teile der Gebäudekonstruktion mit der Fangeinrichtung verbunden werden. Die Auswirkungen der Ströme müssen beachtet werden.

Bild 5.2.2.4.1 Fangeinrichtung bei großen Dächern – innere Ableitungen

5.2.2.4.1). Das Rastermaß für die inneren Ableitungen beträgt ca. 40 m x 40 m.
Häufig werden innere Ableitungen bei großen Flachdachbauten erforderlich, wie z. B. großen Fertigungshallen oder auch Verteilerzentren. In diesen Fällen sollten die Durchführungen durch die Dachfläche vom Dachdecker errichtet werden, da die Regensicherheit des Daches in seiner Gewährleistungspflicht liegt.

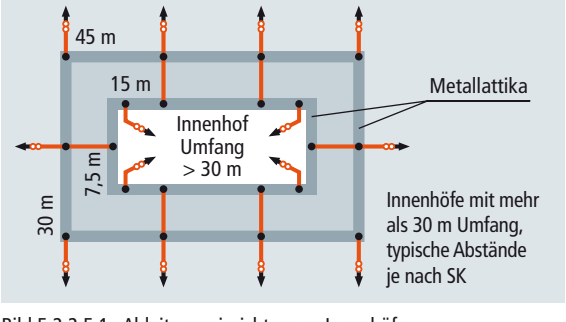


Bild 5.2.2.5.1 Ableitungseinrichtungen Innenhöfe

Die Auswirkungen der Blitzteilströme durch innere Ableitungen innerhalb der baulichen Anlage sind zu berücksichtigen. Das resultierende elektromagnetische Feld in der Nähe der Ableitungen ist bei der Planung des inneren Blitzschutzes zu berücksichtigen (Einkopplungen auf elektrische/elektronische Systeme beachten).

5.2.2.5 Innenhöfe

Bei baulichen Anlagen mit geschlossenen Innenhöfen mit mehr als 30 m Umfang müssen Ableitungen im Abstand entsprechend der **Tabelle 5.2.1.1** errichtet werden (**Bild 5.2.2.5.1**).

5.2.3 Ableitungen eines getrennten äußeren Blitzschutzes

Besteht die Fangeinrichtung aus Fangstangen auf getrennt stehenden Masten (oder einem Mast), so sind diese Fang- und Ableiteinrichtung zugleich (**Bild 5.2.3.1**). Für jeden dieser einzelnen Maste ist mindestens eine Ableitung erforderlich. Stahlmaste oder Maste mit durchverbundenem Bewehrungsstahl benötigen keine zusätzlichen Ableitungen. Aus optischen Gründen kann z. B. ein metallener Fahnenmast ebenfalls als Fangeinrichtung verwendet werden.
Der Trennungsabstand s ist von den Fang- und Ableitungen zur baulichen Anlage einzuhalten. Besteht die Fangeinrichtung aus einem oder mehreren gespannten Drähten oder Seilen, ist für jedes Leitungsende, an dem die Leiter befestigt sind, wenigstens eine Ableitung erforderlich (**Bild 5.2.3.2**).
Bildet die Fangeinrichtung ein vermaschtes Leitungsnetz, d. h., die einzelnen gespannten Drähte oder Seile bilden untereinander eine Masche (sind querverbunden), ist mindestens eine Ableitung an jedem Leitungsende, an dem die Leiter befestigt sind, notwendig (**Bild 5.2.3.3**).

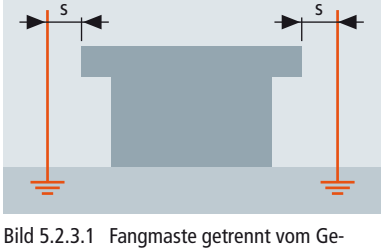


Bild 5.2.3.1 Fangmaste getrennt vom Gebäude

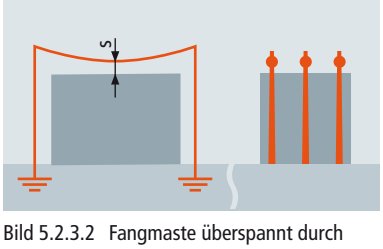


Bild 5.2.3.2 Fangmaste überspannt durch Seile

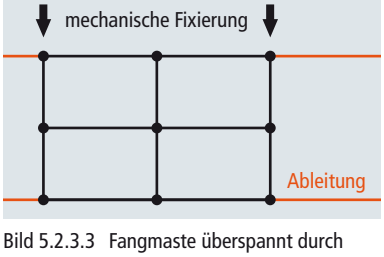


Bild 5.2.3.3 Fangmaste überspannt durch Seile mit Querverbindungen (Maschen)

5.2.4 Hochspannungsfeste, isolierte Ableitung – HVI-Leitung

Die elementare Aufgabe des äußeren Blitzschutzes ist es, nach dem Prinzip von Benjamin Franklin den Blitz zu fangen, außen am Gebäude abzuleiten und gefahrlos in die Erde einzuleiten. Um gefährliche Überschläge zwischen Teilen des äußeren Blitzschutzes und inneren, leitfähigen Teilen (elektrischen / elektronischen Einrichtungen, Rohrleitungen, Lüftungskanäle usw.) infolge eines direkten Blitzeinschlages zu verhindern, ist die Einhaltung des Trennungsabstands s bei der Planung und Realisierung einer Blitzschutzanlage eine wichtige Forderung.
Der Trennungsabstand s muss entsprechend der normativen Vorgabe nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3), Hauptabschnitt 6.3, berechnet werden.

Die Einhaltung des Trennungsabstands ist jedoch bei Neuanlagen und bestehenden Anlagen vielfach ein Problem. So erlaubt es die moderne Architektur aus stilistischen Gründen oftmals nicht, die Ableitung auf Abstand mit Distanzhaltern aus GFK am Gebäude herabzuführen. Bei modernen Industrieanlagen ist vielfach das Dach die letzte verfügbare Installationsebene für Einrichtungen z. B. der Lüftungs- und Klimatechnik, Antennentechnik, unterschiedlichen Rohrsystemen und Kabelpritschen. Hierbei sind Blitzschutzsysteme zu beachten, und der notwendige Trennungsabstand ist zwingend einzuhalten. Durch geschickte Positionierung von Fangeinrichtungen, nach dem Blitzkugelverfahren dimensioniert, lassen sich direkte Blitzeinschläge in dachüberragende Aufbauten verhindern. Diese sind in der Regel mit der technischen Gebäudeausrüstung verbunden.
Die besondere Herausforderung hierbei ist, den Blitzstrom unter Beachtung des ausreichenden Trennungsabstands s und architektonisch ansprechend sicher zur Erde abzuleiten. Die Lösung dafür ist die HVI-Leitung (HVI: High Voltage Insulation).

Trennungsabstand

Die Berechnung des Trennungsabstands bildet die Basis für die Entscheidung, ob und welche HVI-Leitung für die Installation geeignet ist. Der Trennungsabstand ist somit die Grundlage bei der Auslegung eines getrennten Blitzschutzsystems. Um eine ausreichende Dimensionierung der Schutzmaßnahmen treffen zu können, ist bereits bei der Planung der Trennungsabstand zu ermitteln. Im Kapitel 5.6 wird im Detail auf die unterschiedlichen Berechnungsarten zur Ermittlung des Trennungsabstands eingegangen. Vor allem bei der Verwendung einer HVI-Leitung sind die absoluten Leitungslängen für den rechnerisch zu ermittelnden Trennungsabstand ausschlaggebend. Entsprechend der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) wird der notwendige Trennungsabstand s zum Vermeiden von unkontrollierten Überschlägen wie folgt berechnet:

$$s = \frac{k_i \cdot k_c}{k_m} \cdot l$$

s	Trennungsabstand
k_i	abhängig von der gewählten Schutzklasse des Blitzschutzsystems
k_c	abhängig vom Blitzstrom, der in den Ableitungen fließt
k_m	abhängig vom Werkstoff der elektrischen Isolation
l	die Länge entlang der Fangeinrichtung oder der Ableitung in Metern von dem Punkt, an dem der Trennungsabstand ermittelt werden soll, bis zum nächstliegenden Punkt des Potentialausgleichs oder der Erdung.

Der Trennungsabstand wird durch die Länge (l) der Ableitung, die Schutzklasse (k_i), die Aufteilung des Blitzstromes auf verschiedene Ableitungen (k_c) und den Materialfaktor (k_m) bestimmt.

Aufbau und Wirkungsweise der HVI-Leitung

Die Grundkonzeption der hochspannungsfesten isolierten Ableitung besteht darin, den blitzstromführenden Leiter so mit Isolierstoff zu umhüllen, dass der notwendige Trennungsabstand s zu anderen leitenden Teilen der Gebäudekonstruktion, zu elektrischen Leitungen und Rohrleitungen eingehalten wird. Prinzipiell müssen folgende Anforderungen an eine hochspannungsfeste, isolierte Ableitung erfüllt werden, wenn diese zur Vermeidung von unzulässigen Näherungen eingesetzt wird:

- Ausreichende Durchschlagsfestigkeit der Isolierung bei Blitzspannungsimpulsen im gesamten Leitungsverlauf.
- Verhindern der Entstehung einer Gleitentladung.
- Ausreichende Stromtragfähigkeit durch ausreichenden Leiterquerschnitt der Ableitung.
- Blitzstromfester Anschluss der Ableitung an die Fangeinrichtung (Fangstange, Fangleitung usw.).
- Anschluss an die Erdungsanlage oder des Potentialausgleiches.

Durch das Umhüllen der Ableitung mit Isoliermaterialien hoher elektrischer Festigkeit kann unter Berücksichtigung bestimmter hochspannungstechnischer Randbedingungen der Trennungsabstand s eingehalten werden. Mögliche auftretende Gleitentladungen müssen jedoch unterbunden werden! Mit einem Leiter, der lediglich von einer Isolierstoffhülle umgeben ist, ist dieses Problem nicht lösbar.
Bereits bei relativ geringen Impulsspannungen werden Gleitentladungen im Bereich von Näherungen (z. B. zwischen metallenen, geerdeten Leitungshaltern und der Einspeisestelle) einsetzen, die zu einem Gesamtüberschlag an der Oberfläche über große Leitungslängen führen können. Kritisch bezüglich

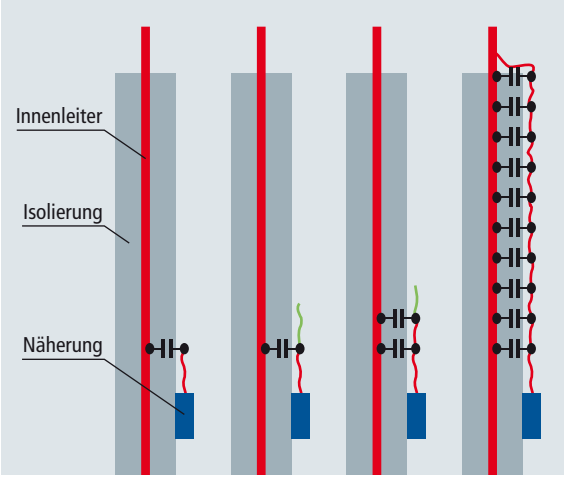


Bild 5.2.4.1 Prinzipielle Entwicklung einer Gleitentladung an einer isolierten Ableitung ohne Spezialmantel

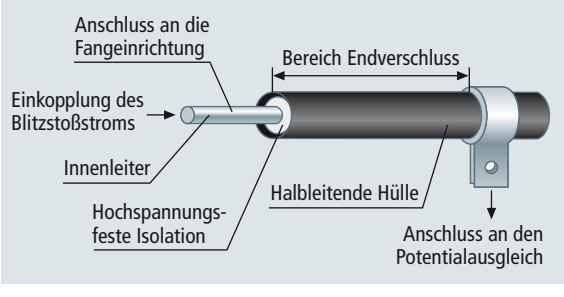


Bild 5.2.4.2 Bauteilkomponenten HVI-Leitung

des Einsatzes von Gleitentladungen sind Bereiche, in denen Isolierstoff, Metall (auf Hochspannungspotential oder geerdet) und Luft zusammentreffen. Dieser Umgebungsbereich ist aus hochspannungstechnischer Sicht stark beansprucht, da es zur Ausbildung von Gleitentladungen und damit zu einer stark reduzierten Spannungsfestigkeit kommen kann. Mit dem Einsatz von Gleitentladungen ist immer dann zu rechnen, wenn normale (senkrecht auf der Isolierstoffoberfläche gerichtete) Komponenten der elektrischen Feldstärke E zum Überschreiten der Gleitentladungs-Einsetzspannung führen und tangentiale (parallel zur Isolierstoff-Oberfläche gerichtete) Feldkomponenten eine Ausbreitung der Gleitentladung vorantreiben (**Bild 5.2.4.1**).

Die Gleitentladungs-Einsetzspannung bestimmt die Festigkeit der gesamten Isolieranordnung und liegt für derartige Anordnungen in einer Größenordnung 250 – 300 kV Blitz-Impulsspannung.

Koaxialkabel mit halbleitender Hülle

Mit dem speziell entwickelten koaxial aufgebauten Einleiterkabel HVI-Leitung ist es möglich, das Auftreten der Gleitentladung zu verhindern und den Blitzstrom sicher zur Erde abzuleiten (**Bild 5.2.4.2**).

Isolierte Ableitungen mit Feldsteuerung durch einen elektrisch halbleitenden Mantel verhindern Gleitentladungen durch gezielte Beeinflussung des elektrischen Feldes im Bereich des Endverschlusses. Dadurch wird das Einleiten des Blitzstromes in das Spezialkabel sowie das sichere Ableiten des Blitzstromes bei Einhaltung des notwendigen Trennungsabstands s erreicht. Zu beachten ist, dass das magnetische Feld, welches

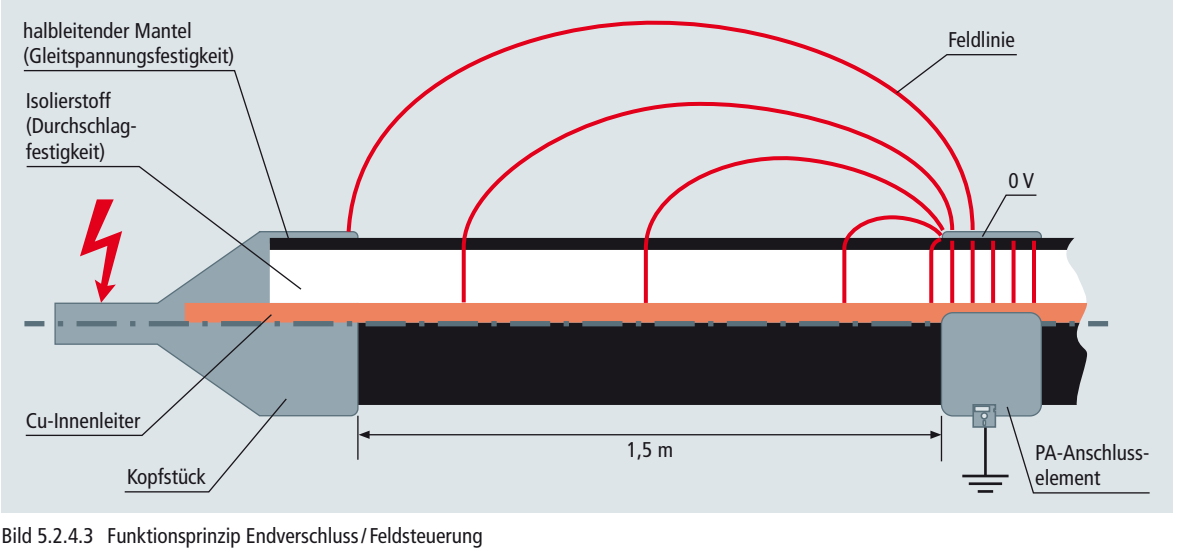


Bild 5.2.4.3 Funktionsprinzip Endverschluss / Feldsteuerung

den stromdurchflossenen Innenleiter umgibt, davon nicht beeinflusst wird.
Durch die Optimierung der Feldsteuerung entstand ein speziell angepasster Endverschlussbereich der Leitung. Die Länge dieses Endverschlussbereiches wird definiert durch die HVI-Leitungsvariante. Dieser spezielle Endverschluss beginnt am Einspeisepunkt (Anschluss an die Fangeinrichtung) und endet nach dem vorgegebenen Abstand mit dem angebrachten Potentialausgleichs-Anschlusselement (**Bild 5.2.4.3**).

Ausgehend vom notwendigen Trennungsabstand s kann die maximale Leitungslänge Lmax einer solchen isolierten Ableitung mit

$$L_{\max} = \frac{k_m \cdot s}{k_i \cdot k_c}$$

berechnet werden.

HVI-Leitungsvarianten

Um den stetig wachsenden Anforderungen an die Installationsgegebenheiten gerecht zu werden, wurde die HVI-Leitung angepasst. Es wird zwischen drei Typen von HVI-Leitungen unterschieden:

- HVI-light-Leitung, DEHNcon-H
- HVI-Leitung, HVI-long-Leitung
- HVI-power-Leitung.

Jede dieser HVI-Varianten (**Bild 5.2.4.4**.) besitzt unterschiedliche Stärken und Eigenschaften und daher auch gesonderte Installationsvorgaben. In der Produktfamilie HVI-Leitung wird zwischen schwarzen und grauen Leitungen unterschieden. Der zusätzliche graue Mantel ermöglicht eine optisch unauffälligere Installation der HVI-Leitung bei entsprechenden Gebäuden. Die wichtigsten Parameter der unterschiedlichen HVI-Leitungen sind in **Tabelle 5.2.4.1** aufgeführt.

HVI-Leitungen erfüllen die Anforderungen entsprechend DIN EN 50164-2 (VDE 0185-202). Im Folgendem werden die unterschiedlichen Arten der HVI-Leitung erläutert.

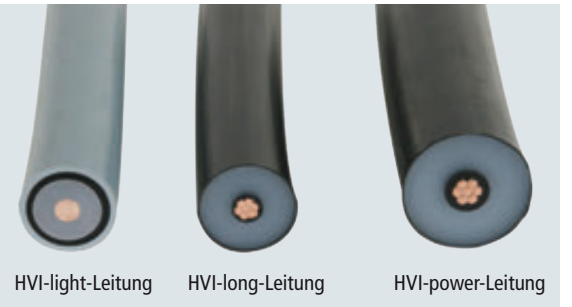


Bild 5.2.4.4 HVI-Leitungsvarianten

Bild 5.2.4.5 Schutz einer PV-Anlage mit HVI-light-Leitung

HVI-light-Leitung (s ≤ 0,45 m in Luft, s ≤ 0,9 m fester Baustoff)

Ungeachtet der Gefahr möglicher Blitzeinschläge werden Rohrleitungen, elektrische und informationstechnische Systeme sowie PV-Anlagen großflächig auf Dachflächen installiert. Aufgrund dieser Installationssituation in Kombination mit den Gebäudedimensionen ist eine Einhaltung des Trennungsabstands mit nicht isolierten Leitungen nahezu unmöglich. Eine normativ geforderte konsequente Vermaschung der Fangeinrichtung unter Berücksichtigung der Trennungsabstände ist jedoch notwendig.

	s in Luft	s fester Baustoff	Endverschlusslänge	Querschnitt Innenleiter (Cu)	Außendurchmesser	Biegeradius
HVI-light-Leitung, DEHNcon-H, HVI-Leitung, HVI-long-Leitung	s ≤ 0,45 m	s ≤ 0,9 m	≤ 1,2 m	19 mm²	Grau 20 mm	≥200 mm
	s ≤ 0,75 m	s ≤ 1,5 m	≤ 1,5 m	19 mm²	Schwarz 20 mm Grau 23 mm	≥200 mm ≥230 mm
HVI-power-Leitung, HVI-power- long-Leitung	s ≤ 0,90 m	s ≤ 1,8 m	≤ 1,8 m	25 mm²	Schwarz 27 mm Grau 30 mm	≥270 mm ≥300 mm

Tabelle 5.2.4.1 HVI-Leitungsparameter

Bild 5.2.4.6 Anschluss DEHNcon-H (HVI-light-Leitung I) an das Erdungssystem

Bild 5.2.4.7 Schutz Wohnhaus mit DEHNcon H (HVI-light-Leitung III)

Bild 5.2.4.8 Schutz einer Biomethananlage mit HVI-Leitung I

Die HVI-light-Leitung ist das System zum Einhalten des Trennungsabstands für vermaschte Fangeinrichtungen auf Flachdächern. Durch die hochspannungsfeste Isolierung der HVI-light-Leitung wird ein unkontrolliertes Überschlagen z. B. durch die Dacheindeckung auf darunter liegende metallene oder elektrische Teile vermieden.
Dieses System unterscheidet sich maßgeblich im Vergleich zur HVI-Leitung (Standard) dadurch, dass keine direkte Anbindung (kein Endverschluss) an den Funktionspotentialausgleich des Gebäudes erstellt werden muss. Der Ankopplungspunkt der HVI-light-Leitung (Anpassungsbereich) wird mittels metallener Leitungshalter am unteren Teil der Stützrohrkonstruktion ausgeführt. Dadurch ergeben sich einfachere Montagemöglichkeiten (**Bild 5.2.4.5**).
Wichtig ist zudem, dass bei der Trennungsabstandberechnung die reellen Leitungslängen der HVI-light-Leitung zu verwenden sind. Zu berücksichtigen ist hierbei jedoch auch die Leitungslänge am Stützrohr bis hin zur Anschlussplatte (Anschluss an die Fangstange).

DEHNcon-H (s ≤ 0,45 m in Luft, s ≤ 0,9 m fester Baustoff)

Vor allem im Wohnhausbereich sowie bei Gebäuden mit niedrigen Höhen kann die Verlegung blanker, nicht isolierter Leitungen ein Näherungsproblem darstellen. Die konsequente Einhaltung der erforderlichen Trennungsabstände ist hierbei meist nicht möglich. Hinweise zur Einhaltung der Trennungsabstände kommen neben der Blitzschutznorm DIN EN 62305 (VDE 0185-305) auch aus dem Bereich der Kommunikationstechnik. In der DIN EN 60728-11 (VDE 0855-1) wird darauf hingewiesen, dass Antennentragwerke bei Gebäuden mit vorhandenem Blitzschutzsystem, wenn möglich, isoliert (getrennt) in dieses zu integrieren sind. Für die vorgenannten Anwendungszwecke kommt vorzugsweise die DEHNcon-H Leitung zum Einsatz.

Entsprechend des jeweiligen Einsatzbereiches wird zwischen zwei Ausführungsvarianten der DEHNcon-H (werksseitig vorkonfektioniert) unterschieden:

- DEHNcon-H, HVI-light-Leitung I
- DEHNcon-H, HVI-light-Leitung III.

Die DEHNcon-H HVI-light-Leitung I wird verwendet, wenn die Fangeinrichtung direkt mit der Erdungsanlage des Gebäudes verbunden wird (**Bild 5.2.4.6**). Die DEHNcon-H HVI-light-Leitung III mit einem vor Ort zu erstellenden Endverschluss wird verwendet, wenn der Anschluss an andere Teile (z. B. Anschluss an die Traufe) erfolgen soll. Der Trennungsabstand am Anschlusspunkt beträgt s ≤ 0,175 m in Luft oder s ≤ 0,35 m in festem Baustoff (**Bild 5.2.4.7**).

HVI-Leitung (s ≤ 0,75 m in Luft, s ≤ 1,5 m fester Baustoff)

Die HVI-Leitung (Standard) besitzt ein umfangreiches Spektrum an Installationsvarianten. Beispielsweise können größere Dachaufbauten, Antennen sowie Masten mit informationstechnischen Einrichtungen so vor direktem Blitzeinschlag geschützt werden. Daneben bietet diese Leitung aufgrund ihrer Eigenschaften auch die Möglichkeit der Leitungsverlegung bis direkt zur Erdungsanlage. Wird dies nicht gefordert, sind auch Anschlüsse an bereits bestehende konventionelle Blitzschutzsysteme (aufgeständerte / getrennte Ringleitung) möglich. Entsprechend des jeweiligen Einsatzbereiches wird zwischen zwei Ausführungsvarianten (werksseitig vorkonfektioniert) unterschieden:

- HVI-Leitung I
- HVI-Leitung III.

Die HVI-Leitung I wird verwendet, wenn die Fangeinrichtung des äußeren Blitzschutzes direkt mit der Erdungsanlage des Gebäudes verbunden wird (**Bild 5.2.4.8**).
Die HVI-Leitung III mit einem fest angebrachten Endverschluss und einem vor Ort zu erstellenden Endverschluss wird typischerweise dort verwendet, wo die Gesamtlänge während der Anlagenplanung nicht exakt bestimmt werden kann. Die HVI-Leitung III wird eingesetzt, wenn z. B. mehrere zu schützende Anlagenteile nicht einzeln, sondern gemeinsam über eine aufgeständerte / getrennte Ringleitung mit der Erdungsanlage des Gebäudes verbunden werden (**Bild 5.2.4.9**).

Für den notwendigen Endverschluss der HVI-Leitung ist ein Anschluss an den Potentialausgleich des Gebäudes (Funktionspotentialausgleich) notwendig.

HVI-long-Leitung (s ≤ 0,75 m in Luft, s ≤ 1,5 m fester Baustoff)

Aufgrund unbekannter sowie stets veränderlicher Gebäudesituationen besteht bei Neubauten sowie Sanierungen nur selten die Möglichkeit, die exakten Längen der HVI-Leitungen bereits bei der Planung eines Blitzschutzsystems zu ermitteln. Aus diesem Grund bietet die HVI-long-Leitung die Möglichkeit, diese vor Ort zu konfektionieren. Die HVI-long-Leitung wird als Trommelware mit einer Länge von 100 m dem Installateur zur Verfügung gestellt. Längenermittlung, Ablängen sowie Anbringen der Endverschlüsse werden durch den Monteur am Montageort vorgenommen.

Für den notwendigen Endverschluss der HVI-long-Leitung ist ein Anschluss an den Potentialausgleich des Gebäudes (Funktionspotentialausgleich) erforderlich.

Bild 5.2.4.9 Installation HVI-Leitung III mit Endverschluss

Bild 5.2.4.10 Installation HVI-power-Leitung

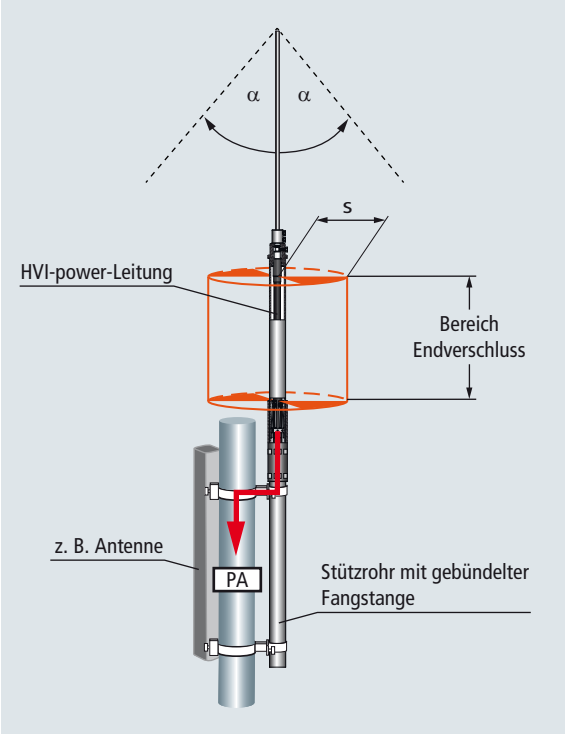


Bild 5.2.4.11 Darstellung Bereich Endverschluss

Bild 5.2.4.12 Abisolierwerkzeug HVI-strip

HVI-power-Leitung (s ≤ 0,9 m in Luft, s ≤ 1,8 m fester Baustoff)

Die HVI-power-Leitung ist die leistungsstärkste Variante der hochspannungsfesten isolierten HVI-Leitungen. Im Gegensatz zur HVI-Leitung (Standard) ermöglicht sie die Einhaltung eines äquivalenten Trennungsabstands von 0,9 m in Luft und 1,8 m in Feststoff. Besonders hervorzuheben ist, dass die HVI-power-Leitung und die dazugehörigen Komponenten für eine Blitzstromtragfähigkeit bis 200 kA (10/350 µs) geprüft wurden. Somit kann diese Leitungsvariante für alle Blitzschutzklassen (I-IV) eingesetzt werden.

Anwendung findet diese Leitung vor allem bei Gebäuden wie Krankenhäuser, Rechenzentren sowie Silos, wo aufgrund der Gebäudedimension (Höhe) große Trennungsabstände einzuhalten sind. Des Weiteren ist auch eine längere Leitungsführung bis zur Erdungsanlage möglich (**Bild 5.2.4.10**).
Die Leitungsverlegung erfolgt im Stützrohr. Der notwendige Funktionspotentialausgleich für den Endverschluss wird automatisch mit einer innenliegenden Federkontaktierung hergestellt. Ein Anschluss des Stützrohres an den Funktionspotentialausgleich der baulichen Anlage ist notwendig.

Funktionsprinzip Endverschluss

Hohe Impulsspannungen verursachen ohne zusätzliche Maßnahmen Überschläge an Isolierstoffoberflächen. Dieser Effekt ist als Gleitüberschlag bekannt. Wird die sogenannte Gleitentladungs-Einsetzspannung überschritten, wird eine Oberflächenentladung initiiert, die problemlos eine Strecke von einigen Metern überschlagen kann. Um Gleitentladungen zu vermeiden, ist die HVI-Leitung mit einem äußeren Spezialmantel ausgestattet, der es ermöglicht, hohe Blitz-Impulsspannungen gegen ein Bezugspotential abzusteuern. Funktionsbedingt wird dazu im Bereich des Endverschlusses eine Verbindung zwischen dem äußeren halbleitenden Mantel und dem Potentialausgleich des Gebäudes (nicht blitzspannungsbehaftet) geschaffen. Dieser Anschluss an den Potentialausgleich kann z. B. an metallene geerdete Dachaufbauten, die im Schutzbereich der Blitzschutzanlage liegen, an geerdete Teile der Gebäudekonstruktion/Antennentragwerke, die nicht mit Blitzspannung behaftet sind, oder an den Schutzleiter des Niederspannungssystems erfolgen. Das Funktionsprinzip der Feldsteuerung über den halbleitfähigen Mantel der HVI-Leitung ist im **Bild 5.2.4.3** dargestellt.

Im Bereich des Endverschlusses (Bereich zwischen Kopfstück und Potentialausgleichs-Anschlusselement) dürfen keine elektrisch leitfähigen oder geerdeten Teile wie z. B. metallene Leitungshalter, Konstruktionsteile oder Armierung angeordnet sein. Die Darstellung des Trennungsabstands s in Form eines Zylinders wird in **Bild 5.2.4.11** gezeigt.

Montage der Anschlusselemente

Es wird zwischen schwarzen sowie grauen HVI-Leitungen unterschieden. Bei der Montage der Anschlusselemente der HVI-Leitungen ist vor allem ein korrektes Absetzen der hochspannungsfesten Isolierung notwendig. Hierfür gibt es anwendungsfreundliche Werkzeuge.
Kommt eine graue HVI-Leitung (außer der HVI-light-Leitung) zum Einsatz, so ist der graue Mantel über eine Länge von ca. 65 mm zu entfernen. Es muss dabei berücksichtigt werden,

dass die darunter liegende schwarze Ummantelung der Leitung nicht verletzt wird. Anschließend wird mit dem Werkzeug HVI-strip (**Bild 5.2.4.12**) in einfacher und sicherer Weise der äußere Mantel sowie die PE-Isolierung über eine Länge von 35 mm abgesetzt. Der darunter liegenden Kupferleiter wird bei Verwendung des Werkzeugs HVI-strip nicht verletzt.
Danach wird mittels des aufzudrehenden Anschlusselements die Leitung abgeschlossen. Das Anschlusselement wird mit zwei Gewindestiften fixiert und elektrisch kontaktiert. Im letzten Schritt ist die Leitung mit einem selbstklebenden Schrumpfschlauch mittels eines Heißluftföns zu umschrumpfen. Dieser gibt der Anordnung einen zusätzlichen mechanischen Schutz und dichtet den Leitungsabschluss gegen das Eindringen von Feuchtigkeit ab. Dadurch wird eine Korrosion des Innenleiters aus Kupfer verhindert.

Montage PA-Anschlusselement

Entsprechend der HVI-Leitungsvariante, der Installationsgegebenheit sowie unter Berücksichtigung der Endverschlusslänge in Abhängigkeit des Trennungsabstands sind PA-Anschlusselemente anzubringen. In den Montageanleitungen werden hierzu detaillierte Angaben gemacht.
Bei einer grauen HVI-Leitung ist hierfür der zusätzliche graue Mantel zu entfernen, damit der darunterliegende halbleitfähige Mantel kontaktiert werden kann. Danach kann das PA-Anschlusselement montiert werden.

Anwendung HVI bei Schutz von Dachaufbauten

Metallene und elektrische Dachaufbauten überragen die Dachebene und sind exponierte Punkte für Blitzeinschläge. Durch leitfähige Verbindungen mit Rohrleitungen, Lüftungskanälen und elektrischen Leitungen in das Innere der baulichen Anlage besteht auch hier die Gefahr der Verschleppung von Blitzteilströmen.
Das Eindringen von Blitzteilströmen in die bauliche Anlage wird verhindert, indem eine getrennte Fangeinrichtung über die isolierte Ableitung angeschlossen wird. Damit ist die gesamte dachüberragende elektrische / metallene Einrichtung im blitzeinschlaggeschützten Bereich. Der Blitzstrom wird an der zu schützenden baulichen Anlage „vorbei geleitet" und über die Erdungsanlage verteilt.

Verlegung der HVI-Leitung in Fassaden

Eine optisch-unauffällige Einbindung einer Ableitung unter Berücksichtigung des notwendigen Trennungsabstands s ist oftmals eine besondere Herausforderung. In der Vergangenheit wurde dies mit einem Runddraht, befestigt mit DEHNiso-Distanzhaltern, realisiert. Dieser horizontale Abstand ist vielfach nicht akzeptabel, obwohl dies technisch notwendig war.
Mittels HVI-Leitung kann eine direkte Verlegung auf oder in der Fassade integriert erfolgen. So bestehen mit dieser isolierten Ableitung andere Möglichkeiten bei der architektonischen Gestaltung. Funktionalität und Design können zu einer Ein-

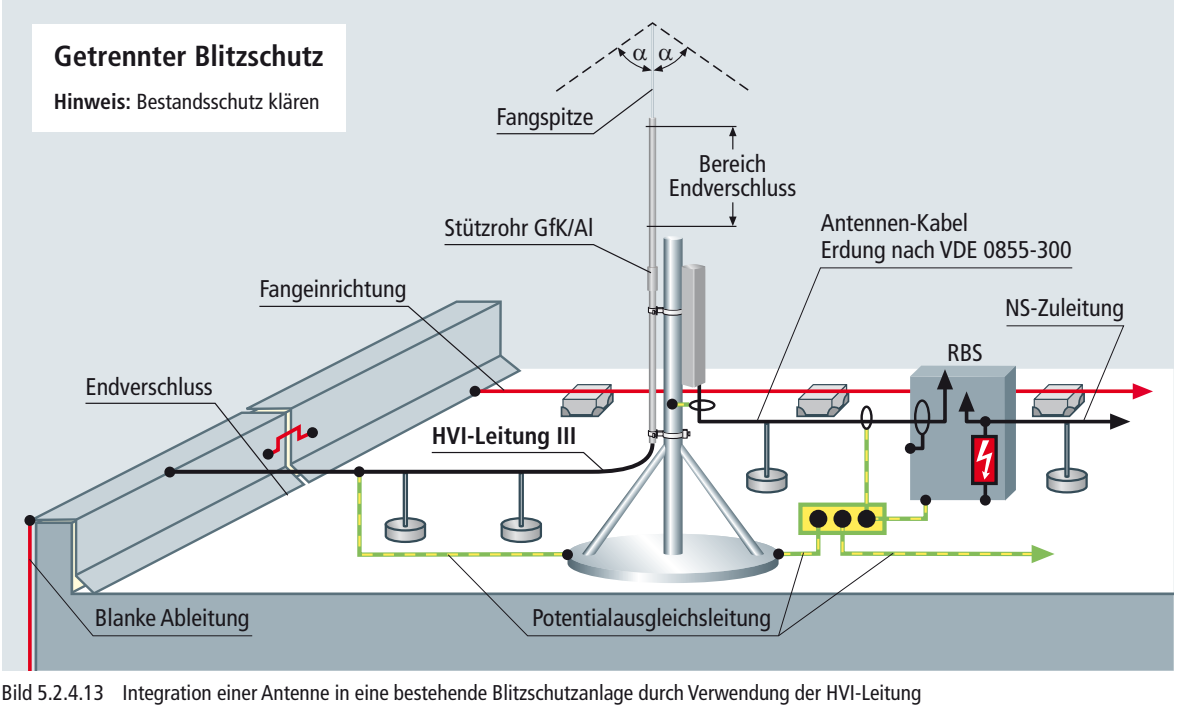


Bild 5.2.4.13 Integration einer Antenne in eine bestehende Blitzschutzanlage durch Verwendung der HVI-Leitung

Bild 5.2.4.14 Montage HVI-Leitung am Antennentragrohr

heit verschmelzen, weshalb diese innovative Technologie ein wichtiger Gesichtspunkt der modernen Bauweise ist. Durch die Anwendung der HVI-Leitung ist die Ableitung des Blitzstromes zur Erdungsanlage auf einfache Art möglich, ohne dass Abstände zu metallenen und elektrischen Teilen beachtet werden müssen.

Anwendung HVI bei Sende- / Empfangsanlagen

Mobilfunkanlagen werden vielfach auf Gastgebäuden errichtet. Zwischen dem Betreiber der Mobilfunkanlage und dem Eigentümer der baulichen Anlage besteht in der Regel die Vereinbarung, dass durch die Errichtung der Mobilfunkanlage die bauliche Anlage nicht zusätzlich gefährdet werden darf.

In Bezug auf den Blitzschutz bedeutet dies insbesondere, dass bei einem Blitzeinschlag in die Tragwerkskonstruktion kein Blitzteilstrom in die bauliche Anlage verschleppt werden darf. Ein Blitzteilstrom im Inneren der baulichen Anlage würde die elektrischen und elektronischen Einrichtungen gefährden.
Aus diesem Grund muss die Antennentragwerkskonstruktion mit einer getrennten Fangeinrichtung in Kombination mit einer isolierten Ableitung errichtet werden (**Bild 5.2.4.13**). Durch diesen Aufbau, der direkt an dem Antennentragrohr befestigt wird, werden Windangriffsflächen möglichst klein gehalten (HVI-Leitung im Stützrohr verlegt) und somit die zusätzliche mechanische Beanspruchung des Antennentragrohres minimiert (**Bild 5.2.4.14**).

Anwendung HVI-Leitung bei Reetdächern

Reet-, Reth-, Reith- oder Rieddächer sowie Weichdächer stellen aufgrund ihrer spezifischen Brandlast eine besondere Herausforderung für die Installation eines Blitzschutzsystems dar. Infolge der Verwendung dieser leicht entzündlichen Materialen gilt es vor allem bei diesen Objekten Trennungsabstände einzuhalten. Die HVI-Leitung kann auch bei Weichdächern eingesetzt werden. Durch die isolierte Führung des Blitzstroms bis hin zur Erdungsanlage werden unkontrollierte Überschläge zu Installationen vermieden. Zudem wird mit dieser Lösung den architektonischen Ansprüchen Rechnung getragen. Detaillierte Informationen sind im Kapitel 5.1.5, Weichdächer, zu finden.

Anwendung HVI-Leitung bei explosionsgefährdeten Anlagen

Blitzeinschläge in oder neben baulichen Anlagen sowie in und neben Versorgungsleitungen, die in bauliche Anlagen eingeführt werden, können Schäden an der baulichen Anlage selbst oder den darin befindlichen Personen und Einrichtungen verursachen. Zusätzlich kann sich dies auf die nähere Umgebung auswirken und diese beeinflussen. Erhöhtes Gefahrenpotential entsteht beim Umgang mit brennbaren Stoffen wie Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben, deren Gemisch mit Luft eine zündfähige Atmosphäre bildet und mit Hilfe einer Zündquelle zur Explosion führen kann. Aus Sicht des Blitzschutzes sind hierfür Informationen erforderlich, die fachgerechte Installationen von Schutzsystemen überhaupt erst ermöglichen.
Der Betreiber hat die Verpflichtung, nach der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) ein Explosionsschutzdokument zu erstellen. Darin werden die potenziellen Gefahren aufgrund des Vorhandenseins und der Ausdehnung von explosionsfähigen Atmosphären beurteilt und im Ex-Zonenplan festgelegt. Es wird zwischen folgenden Ex-Zonen unterschieden:

Zone 0 Bereich, in dem explosionsfähige Atmosphäre als Mischung brennbarer Stoffe in Form von Gas, Dampf oder Nebel mit Luft ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.

Zone 1 Bereich, in dem damit zu rechnen ist, dass explosionsfähige Atmosphäre als Mischung brennbarer Stoffe in Form von Gas, Dampf oder Nebel mit Luft bei Normalbetrieb gelegentlich auftritt.

Zone 2 Bereich, in dem bei Normalbetrieb nicht damit zu rechnen ist, dass explosionsfähige Atmosphäre als Mischung brennbarer Stoffe in Form von Gas, Dampf

Bild 5.2.4.15 Montage HVI-Leitung an einer GDRM-Station

oder Nebel mit Luft auftritt. Wenn sie aber dennoch auftritt, dann nur kurzzeitig.

Zone 20 Bereich, in der explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke brennbaren Staubes in Luft ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist.

Zone 21 Bereich, in dem damit zu rechnen ist, dass explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke brennbaren Staubes in Luft bei Normalbetrieb gelegentlich auftritt.

Zone 22 Bereich, in dem bei Normalbetrieb nicht damit zu rechnen ist, dass explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke brennbaren Staubes in Luft auftritt, wenn sie aber dennoch auftritt, dann nur kurzzeitig.

Die Ex-Zoneneinteilung der jeweiligen baulichen Anlage umfasst die Identifizierung möglicher Zündquellen. In DIN EN 1127-1 oder TRBS 2152-3 wird unter anderem Blitzschlag als Zündquelle in explosionsfähiger Atmosphäre definiert. Wenn ein Blitz in eine explosionsfähige Atmosphäre einschlägt, wird diese stets entzündet. Von der Blitzeinschlagstelle weg fließen hohe Ströme, die entlang der Entladungsstrecke Funken hervorrufen können. Resultierende Zündquellen können entstehen durch

- Aufschmelzen am Einschlagpunkt
- Erwärmung der Ableitwege
- unkontrollierte Überschläge bei Nichteinhaltung des Trennungsabstands
- induzierte Spannungen in Kabel und Leitungen
- Einschläge in Leitungen, die in explosionsgefährdete Bereiche eingeführt werden.

Werden Blitzschutzsysteme auf oder in einer baulichen Anlage installiert, in der explosionsgefährdete Bereiche (Zonen) definiert sind, müssen diese den Anforderungen der betreffenden Zonen entsprechen. Die hierfür erforderliche Zoneneinteilung ist im Explosionsschutzdokument nach der Betriebssicherheitsverordnung enthalten. In Ex-Anlagen mit Ex-Zone 2 und Ex-Zone 22 ist nur bei seltenen, unvorhergesehenen Zuständen damit zu rechnen, dass Ex-Atmosphäre vorhanden ist. Das zeitgleiche Zusammentreffen des Zustandes „Vorhandensein einer zündfähigen Ex-Atmosphäre" in diesen Zonen gemeinsam mit der Zündquelle Blitz ist äußerst selten. Daher ist das Einfangen eines Blitzes (Einschlag in die Fangeinrichtung) in diesen Zonen zulässig. Dennoch sind unkontrollierte Überschläge bei Nichteinhaltung des Trennungsabstands sowie eine Erwärmung der Ableitwege für alle Ex-Zonen nicht akzeptierbar, also unzulässig.

Durch die elektrische Isolierung der Blitzschutzanlage von leitenden Teilen der Gebäudekonstruktion und -isolation gegenüber elektrischen Leitungen im Gebäude wird ein Überschlag und somit gefährliche Funkenbildung in explosionsgefährdeten Bereichen verhindert.
Mit der HVI-Leitung kann die Forderung nach Einhaltung des Trennungsabstands erfüllt sowie die unzulässige Erwärmung der Ableitwege vermieden werden. In der hochspannungsfesten, isolierten Ableitung wird der Blitzstrom direkt zur Erdungsanlage geleitet, ohne dass es zu einem Überschlag kommt. Dabei kann die HVI-Leitung direkt neben metallenen Gebäudekonstruktionsteilen oder elektrotechnischen Systemen verlegt werden (**Bild 5.2.4.15**).

Beim Fließen des Blitzstromes durch die HVI-Leitung baut sich aufgrund eines leistungsarmen kapazitiven Verschiebestromes an entfernten Erdungspunkten auf dem äußeren, halbleitenden Mantel ein Potential auf. Dieses Potential ist umso geringer, je kürzer der Abstand der speziellen Leitungshalter (Funktionspotentialausgleich) auf den halbleitenden Mantel ist. Bei Beachtung dieser Installationsvorschriften für die Verlegung in den Ex-Zonen 1 und 2 oder 21 und 22 wird beim Blitzstromdurchgang durch die HVI-Leitung das Entstehen von Entladungen (Funkenbildung) sicher unterbunden. Was jedoch nicht reduziert wird, sind die Auswirkungen des elektromagnetischen Blitzimpulses. In den **Bildern 5.2.4.16 und 5.2.4.17** sind exemplarisch zwei Verlegevarianten dargestellt.

Anwendung HVI-Leitung bei Biogasanlagen

Bei der Auslegung von Blitzschutzmaßnahmen für eine Biogasanlage muss ein ganzheitliches Blitzschutzkonzept erstellt werden. Hierbei stellt vor allem der Schutz von Fermentern,

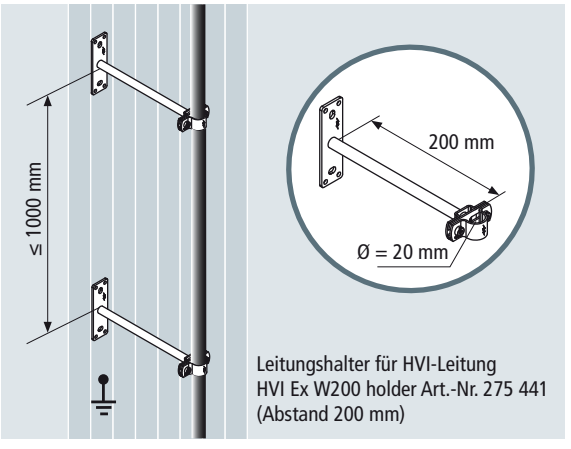


Bild 5.2.4.16 Ex-Variante 1, Metallfassade

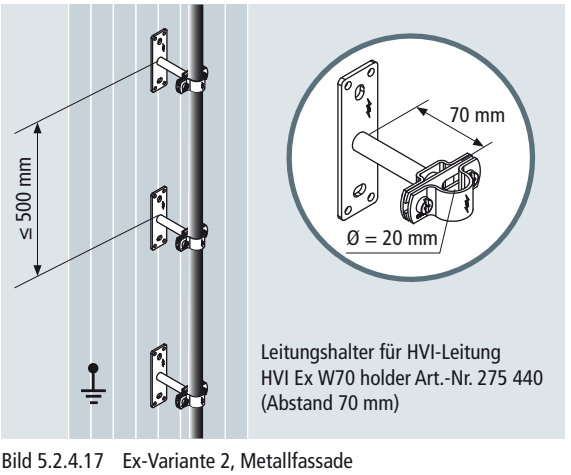


Bild 5.2.4.17 Ex-Variante 2, Metallfassade

Bild 5.2.4.18 Schutz Biogasfermenter mit HVI-Leitung

Nachfermentern sowie Gärrestebehältern eine Herausforderung dar. Zumeist handelt es sich hierbei um runde Behälter, welche einen großen Durchmesser besitzen. Den Abschluss eines Fermenters bildet in der Regel eine Kuppel (Membran), welche aus gummiartigem Material besteht. Aufgrund des Durchmessers sowie der Höhe des Fermenters mit Membran müssen zum Schutz des gesamten Behälters vor direktem Blitzeinschlag sehr hohe Fangeinrichtungen errichtet werden. Alternativ zu Tele-Blitzschutzmasten, die neben einem Fermenter mit einem entsprechenden Fundament errichtet werden, können auch Fangmasten mit HVI-Leitungen direkt an diesem angebracht werden (**Bild 5.2.3.18**). Diese Fangmasten mit integrierter HVI-Leitung können bis zu einer freien Länge von ≤ 8,5 m montiert werden.
Optional kann der Fangmast mit einer oder zwei HVI-Leitungen bestückt werden. Die Anzahl der Leitungen ist abhängig von der effektiven Leitungslänge sowie vom Trennungsabstand. Da die HVI-Leitungen ggf. in Ex-Bereichen verlegt werden, ist ein zusätzlicher Anschluss des Außenmantels der zweiten Leitung an den Potentialausgleich im Abstand von ≤ 1000 mm nötig. Weitere Informationen können der zugehörigen Montageanleitung entnommen werden.

5.3 Werkstoffe und Mindestmaße für Fang- und Ableitungen

In **Tabelle 5.3.1** sind Mindestquerschnitte, Form und Werkstoff von Fangeinrichtungen dargestellt.
Diese Anforderungen ergeben sich aufgrund der elektrischen Leitfähigkeit der Werkstoffe zur Führung des Blitzstromes (Temperaturerhöhung) und den mechanischen Beanspruchungen bei der Anwendung.
Bei der Verwendung eines Runddrahtes Ø 8 mm als Fangspitze ist eine max. freie Höhe von 0,5 m erlaubt. Die Begrenzung der Höhe bei einem Runddraht Ø 10 mm liegt bei 1 m freier Länge.

Anmerkung: Nach Tabelle 8 der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) ist ein Mindestquerschnitt von 16 mm^2 Cu für eine Verbindungsleitung zwischen zwei Potentialausgleichsschienen gefordert.
Bei Prüfungen mit einer PVC-isolierten Kupferleitung und mit einem Stoßstrom von 100 kA (10/350 µs) wurde eine Temperaturerhöhung um 56 K festgestellt. Damit kann z. B. ein Kabel NYY 1 x 16 mm^2 Cu als Ableitung oder als ober- und unterirdische Verbindungsleitung eingesetzt werden. Dies ist eine seit Jahrzehnten übliche Installationspraxis, z. B. bei der Verlegung von Ableitungen hinter einer Fassade.
Im Beiblatt 1, Abschnitt 5.6.2 der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) wird ebenfalls darauf hingewiesen.

Werkstoff	Form	Mindestquerschnitt in [mm²]
Kupfer, verzinntes Kupfer	massives Flachmaterial	50
	massives Rundmaterial [b)]	50
	Seil [b)]	50
	massives Rundmaterial [c)]	176
Aluminium	massives Flachmaterial	70
	massives Rundmaterial	50
	Seil	50
Aluminiumlegierung	massives Flachmaterial	50
	massives Rundmaterial	50
	Seil	50
	massives Rundmaterial	176
kupferüberzogene Aluminiumlegierung	massives Rundmaterial	50
feuerverzinkter Stahl	massives Flachmaterial	50
	massives Rundmaterial	50
	Seil	50
	massives Rundmaterial [c)]	176
kupferüberzogener Stahl	massives Rundmaterial	50
	massives Flachmaterial	50
rostfreier Stahl	massives Flachmaterial [d)]	50
	massives Rundmaterial [d)]	50
	Seil	50
	massives Rundmaterial [c)]	176

[a)] Mechanische und elektrische Eigenschaften sowie das Verhalten des Korrosionswiderstands müssen den Anforderungen der Reihe EN 50164 entsprechen.

[b)] In bestimmten Anwendungen, bei denen mechanische Festigkeit nicht von Bedeutung ist, dürfen 50 mm² (8 mm Durchmesser) auf 25 mm² verringert werden. Dabei sollte die Verringerung des Abstandes der Befestigungselemente beachtet werden.

[c)] Anwendbar für Fangstangen und Erdeinführungsstangen. Für Anwendungen, wo mechanische Beanspruchungen wie Windlast nicht kritisch sind, kann eine höchstens 1 m lange Fangstange mit einem Durchmesser von 9,5 mm verwendet werden.

[d)] Wenn thermische und mechanische Anforderungen von Bedeutung sind, können diese Maße auf 75 mm² erhöht werden.

Tabelle 5.3.1 Werkstoff, Form und Mindestquerschnitt von Fangleitungen, Fangstangen, Erdeinführungen und Ableitungen [a)] entsprechend Tabelle 6 der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3)

5.4 Montagemaße für Fangeinrichtungen und Ableitungen

Nachfolgende Maße (**Bild 5.4.1**) haben sich in der Praxis bewährt und sind in erster Linie bestimmt durch die mechanischen Kräfte, die auf die Komponenten des äußeren Blitzschutzes einwirken.
Diese mechanischen Kräfte entstehen weniger durch die elektrodynamischen Kräfte beim Fließen des Blitzstromes, sondern vielmehr durch Druck- und Zugkräfte z. B. bei temperaturbedingten Längenänderungen, Wind- oder Schneelast.

Die Angabe über die max. Abstände von 1,2 m zwischen den Leitungshaltern ist in erster Linie auf St/tZn bezogen (relativ starr). In der Praxis haben sich bei der Verwendung von Aluminium Abstände von max. 1 m etabliert.

In der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) werden folgende Montagemaße entsprechend der **Bilder 5.4.1 und 5.4.2** für den äußeren Blitzschutz empfohlen. Wenn möglich, sollte bei der Verlegung von Ableitungen der Trennungsabstand s zu Fenstern, Türen und zu anderen Öffnungen eingehalten werden.
Bild 5.4.3 zeigt die Anwendung auf einem Flachdach.

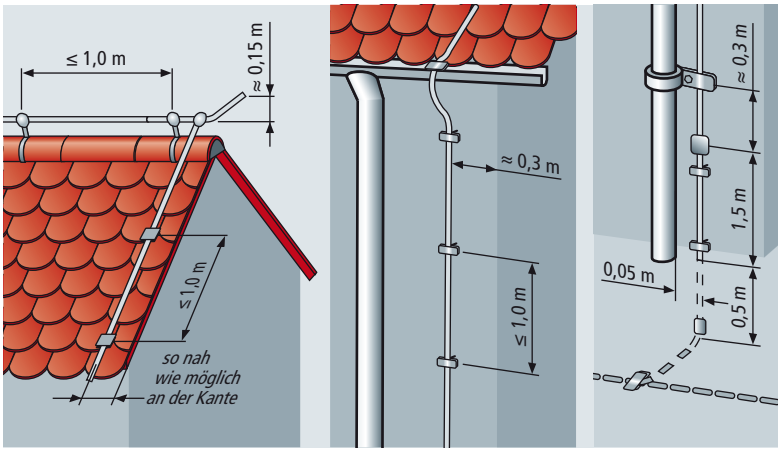


Bild 5.4.1 Beispiele von Einzelheiten eines äußeren Blitzschutzes an einer baulichen Anlage mit geneigtem Ziegeldach

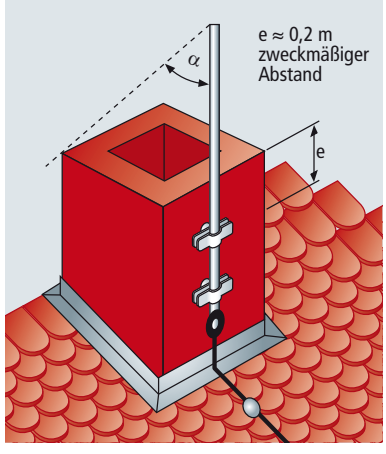


Bild 5.4.2 Fangstange für Schornstein

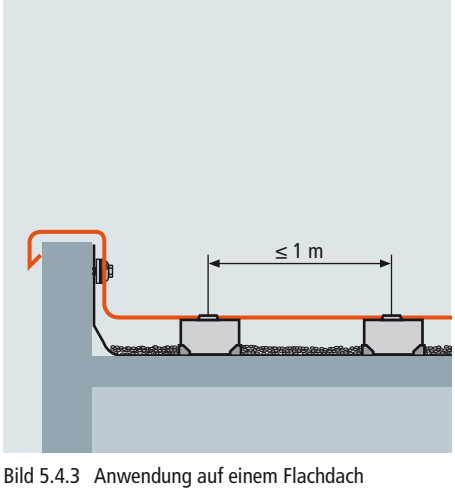


Bild 5.4.3 Anwendung auf einem Flachdach

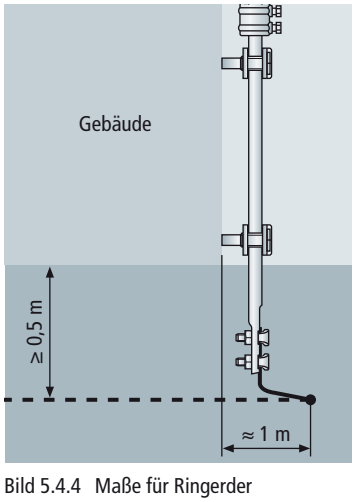


Bild 5.4.4 Maße für Ringerder

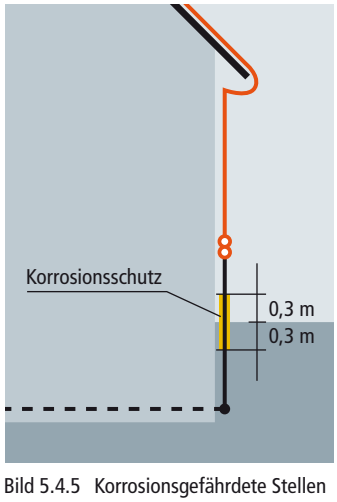


Bild 5.4.5 Korrosionsgefährdete Stellen

Weitere wichtige Montagemaße sind in den **Bildern 5.4.3 bis 5.4.5** dargestellt.
Die Verlegung von Oberflächenerdern (z. B. Ringerder) um das Gebäude erfolgt in einer Tiefe von > 0,5 m und mit einem Abstand von ca. 1 m zur baulichen Anlage (**Bild 5.4.4**).

Bei den Erdeinführungen oder Anschlüssen an den Fundamenterder (Ringerder) ist der Korrosionsschutz zu beachten. Maßnahmen wie das Aufbringen einer Korrosionsschutzbinde oder die Verwendung von Draht mit PVC-Mantel, min. 0,3 m ober- und unterhalb der Grasnarbe (Erdeintritt), sind durchzuführen (**Bild 5.4.5**). Eine in viele Fällen einfachere Montagevariante ist die Verwendung von Anschlussfahnen aus NIRO (V4A).

Eine optisch gefällige und korrosionsfreie Anschlussmöglichkeit bietet ein Erdungsfestpunkt aus NIRO (V4A), der einbetoniert wird.
Weiterhin ist bei der Anschlussfahne für den Potentialausgleich im Gebäudeinneren bei feuchten und nassen Räumen ebenfalls ein Korrosionsschutz zu erstellen.

Unter der Voraussetzung, dass keine besonderen, aggressiven Umwelteinflüsse zu berücksichtigen sind, haben sich Werkstoff-Kombinationen (für Fangeinrichtungen, Ableitungen untereinander und mit Konstruktionsteilen) entsprechend **Tabelle 5.4.1** bewährt. Dabei handelt es sich um Erfahrungswerte aus der Praxis.

5.4.1 Längenänderung von Metalldrähten

In der Praxis wird häufig die temperaturbedingte Längenänderung von Fangeinrichtungen und Ableitungen unterschätzt. In den älteren Vorschriften und Festlegungen wurde vielfach pauschal etwa alle 20 m ein Dehnungsstück empfohlen. Diese Festlegung bezog sich auf die früher übliche und ausschließliche Verwendung von Stahldrähten. Die höheren Werte der Längenausdehnungs-Koeffizienten der Werkstoffe Edelstahl, Kupfer und vor allem Aluminium wurden nicht beachtet.

Auf und am Dach muss im Jahresverlauf mit Temperaturänderungen von 100 K gerechnet werden. Die dabei auftretenden Längenänderungen, bezogen auf verschiedene Werkstoffe der Metalldrähte, sind in der **Tabelle 5.4.1.1** dargestellt. Auffällig ist, dass die temperaturbedingte Längenänderung zwischen Stahl und Aluminium etwa dem Faktor 2 entspricht.

	Stahl (tZn)	Aluminium	Kupfer	NIRO (V4A)	Titan	Zinn
Stahl (tZn)	ja	ja	**nein**	ja	ja	ja
Aluminium	ja	ja	**nein**	ja	ja	ja
Kupfer	**nein**	**nein**	ja	ja	**nein**	ja
NIRO (V4A)	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Titan	ja	ja	**nein**	ja	ja	ja
Zinn	ja	ja	ja	ja	ja	ja

Tabelle 5.4.1 Werkstoffkombinationen

Werkstoff	Längenausdehnungs-Koeffizient α $\frac{1}{10^6} \cdot \frac{1}{K}$	ΔL Berechnungsformel: ΔL = α · L · ΔT angenommene Temperaturänderung auf dem Dach: ΔT = 100 K
Stahl	11,5	$\Delta L = 11{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{K} \cdot 1m \cdot 100K = 0{,}115cm \approx 1{,}1 \frac{mm}{m}$
Edelstahl	16	$\Delta L = 16 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{K} \cdot 1m \cdot 100K = 0{,}16cm \approx 1{,}6 \frac{mm}{m}$
Kupfer	17	$\Delta L = 17 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{K} \cdot 1m \cdot 100K = 0{,}17cm \approx 1{,}7 \frac{mm}{m}$
Aluminium	23,5	$\Delta L = 23{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{K} \cdot 1m \cdot 100K = 0{,}235cm \approx 2{,}3 \frac{mm}{m}$

Tabelle 5.4.1.1 Berechnung der temperaturbedingten Längenänderung ΔL von Metalldrähten im Blitzschutz

Werkstoff	Untergrund der Befestigung der Fang- oder Ableitung		Abstand Dehnungsstücke in m
	weich, z. B. Flachdach mit Bitumen- oder Kunststoff-Dachbahnen	hart, z. B. Ziegelpfannen oder Mauerwerk	
Stahl	•		≈ 15
		•	≤ 20
Edelstahl / Kupfer	•		≈ 10
		•	≤ 15
Aluminium	•	•	≤ 10
Anwendung von Dehnungsstücken, wenn kein anderer Längenausgleich gegeben ist.			

Tabelle 5.4.1.2 Dehnungsstücke im Blitzschutz – Anwendungsempfehlung

Bild 5.4.1.1 Fangeinrichtung – Dehnungsausgleich mit Überbrückungsband

Für die Praxis ergeben sich daher beim Einsatz von Dehnungsstücken Festlegungen wie in **Tabelle 5.4.1.2** dargestellt.
Beim Einsatz der Dehnungsstücke ist darauf zu achten, dass es sich um einen flexiblen Längenausgleich handeln muss. Das S-förmige Biegen der Metalldrähte ist nicht ausreichend, da diese manuell vor Ort selbst hergestellten „Dehnungsstücke" nicht genügend flexibel sind.
Beim Anschluss von Fangeinrichtungen, z. B. an umlaufende metallene Attiken an Dachrändern, sollte auf einen flexiblen Anschluss mit geeigneten Bauteilen oder anderen Maßnahmen geachtet werden. Wird dieser flexible Anschluss nicht ausgeführt, besteht die Gefahr, dass die metallene

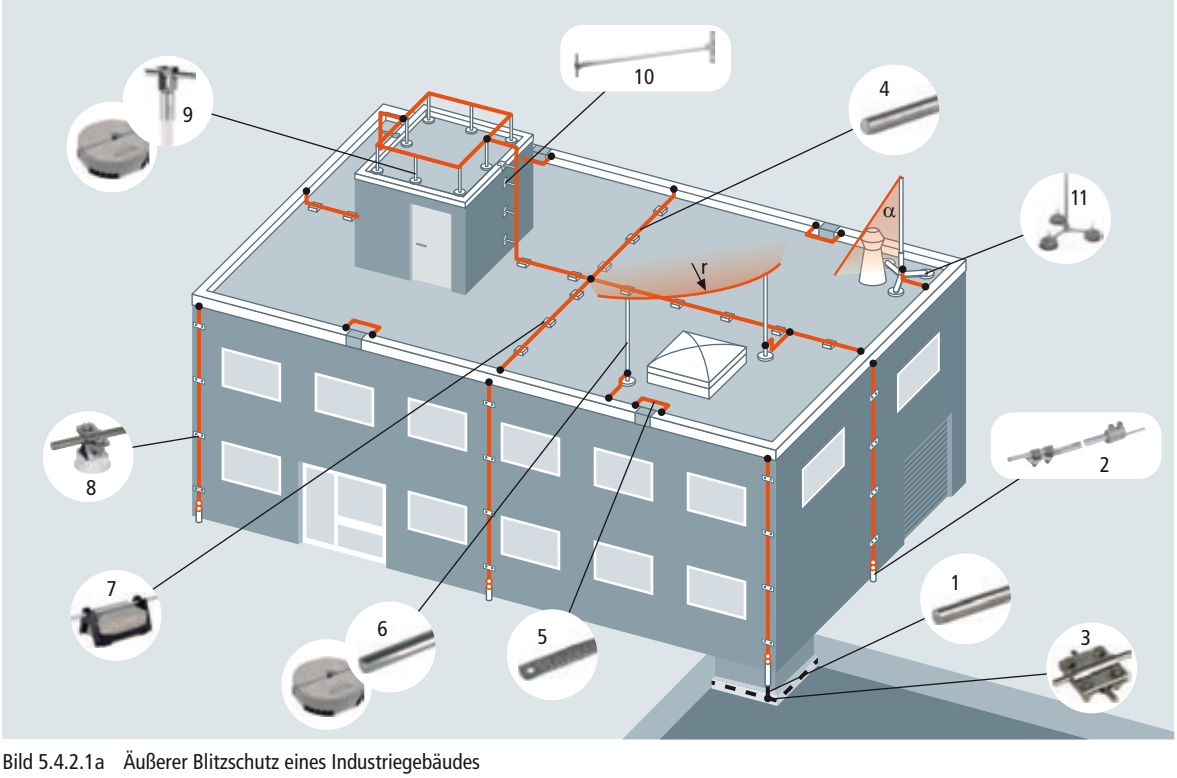


Bild 5.4.2.1a Äußerer Blitzschutz eines Industriegebäudes

Nr.	Artikel-Bezeichnung		Art. -Nr.
1	Edelstahldraht Ø 10 mm	NIRO (V4A)	860 010
2	Erdeinführungsstangen-Set	St/tZn	480 150
3	Kreuzstück	NIRO (V4A)	319 209
4	DEHNALU-DRAHT®	AlMgSi	840 008
5	Überbrückungsband	Al	377 015
6	Fangstange mit Betonsockel mit adaptierter Unterlegplatte	AlMgSi	103 420 102 340

Nr.	Artikel-Bezeichnung		Art. -Nr.
7	Dachleitungshalter für Flachdächer		253 050
8	Leitungshalter DEHNhold		274 160
9	Aufgeständerte Ringleitung mit Betonsockel mit adaptierter Unterlegplatte sowie Distanzhalter	 NIRO (V4A)	 102 340 106 160
10	DEHNiso Distanzhalter	ZG-St/tZn	106 120
11	Fangstange freistehend		105 500

Tabelle 5.4.2.1a Bauteile für den äußeren Blitzschutz eines Industriegebäudes

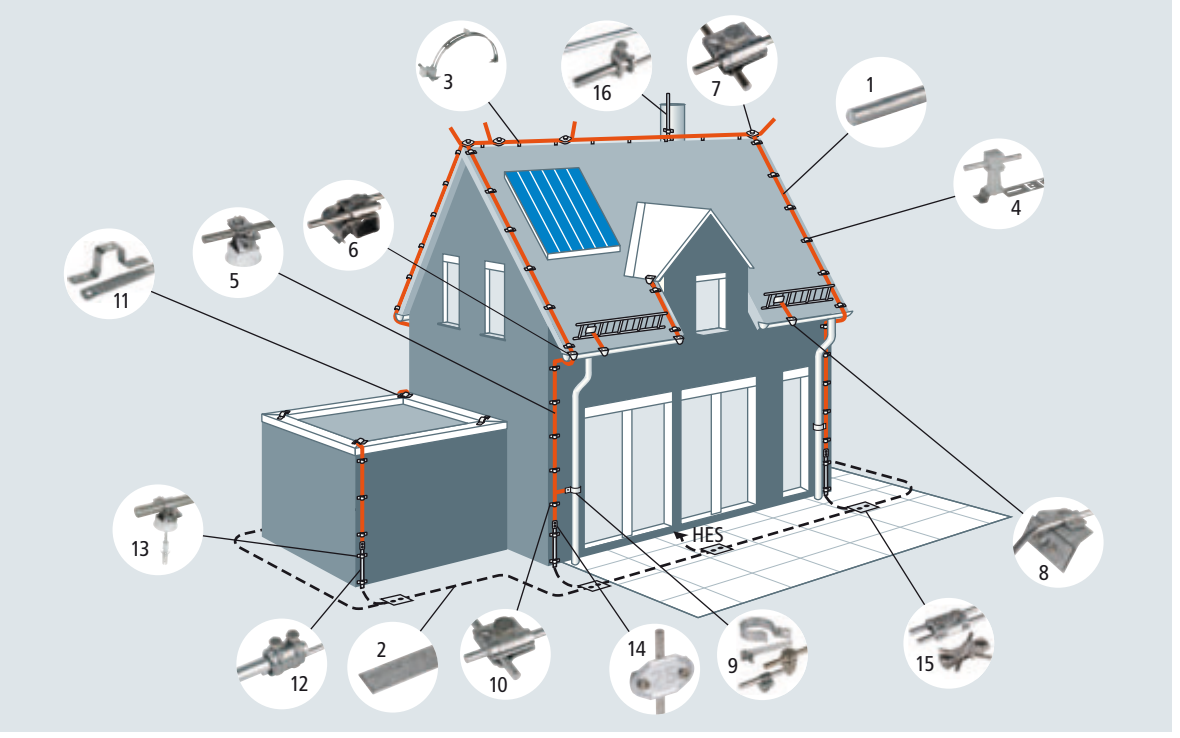


Bild 5.4.2.1b Äußerer Blitzschutz eines Wohnhauses

Nr.	Artikel-Bezeichnung		Art. -Nr.
1	Runddraht Ø 8 mm – DEHNALU, halbhart oder weich tordierbar		840 008 840 018
2	Bandstahl 30 x 3,5 mm Runddraht Ø 10 mm	St/tZn NIRO (V4A)	810 335 860 010
3	Dachleitungshalter für First- und Gratsteine	St/tZn NIRO (V4A) NIRO (V4A) NIRO (V4A) NIRO (V4A) NIRO (V4A)	202 020 204 109 204 249 204 269 206 109 206 239
4	Dachleitungshalter für Leitungen in der Dachfläche	NIRO (V4A) NIRO (V4A) St/tZn St/tZn St/tZn NIRO (V4A) St/tZn	204 149 204 179 202 010 202 050 202 080 206 209 206 309
5	DEHNsnap DEHNgrip Leitungshalter DEHNhold mit Kunststoffsockel Leitungshalter für Wärmedämmung		204 006 207 009 274 150 273 740
6	Dachrinnenklemme	St/tZn NIRO (V4A) St/tZn NIRO (V4A)	339 050 339 059 339 060 339 069
7	MV-Klemme	St/tZn NIRO (V4A)	390 050 390 059
8	Schneefanggitterklemme	St/tZn	343 000
9	Regenrohrschelle verstellbar für Ø 60 – 150 mm Regenrohrschelle für beliebige Querschnitte KS-Verbinder zum Anschluss von Leitungen KS-Verbinder	 NIRO (V4A)	423 020 423 200 301 000 301 009
10	MV-Klemme		390 051
11	Überbrückungslasche Überbrückungsband	Aluminium Aluminium	377 006 377 015
12	Erdeinführungsstange Ø 16 mm komplett		480 150 480 175
13	Stangenhalter mit Kunststoffsockel		274 260
14	Nummernschild zur Kennzeichnung von Trennstellen		480 006 480 005
15	Parallelverbinder Kreuzstück SV-Klemme	 St/tZn NIRO (V4A)	305 000 306 020 319 201 308 220 308 229
16	Fangstange mit angeschmiedetem Lappen Fangstagen beidseitig angekuppt Stangenklemme		100 075 483 075 308 020

Tabelle 5.4.2.1b Bauteile für den äußeren Blitzschutz eines Wohnhauses

Attika-Abdeckung durch die temperaturbedingte Längenänderung beschädigt wird.
Um die temperaturbedingten Längenänderungen der Fangleitungen zu kompensieren, sind Dehnungsstücke für den Längenausgleich einzusetzen (**Bild 5.4.1.1**).

5.4.2 Äußerer Blitzschutz für ein Industriegebäude und Wohnhaus

Das **Bild 5.4.2.1a** zeigt die Ausführung des äußeren Blitzschutzes für Industriegebäude und **Bild 5.4.2.1b** für ein Wohnhaus mit angebauter Garage.
Nachfolgend sind beispielhaft die heute zur Verwendung kommenden Bauteile (**Bilder 5.4.2.1a** und **b** und **Tabellen 5.4.2.1a** und **b**) aufgeführt.
Nicht berücksichtigt sind die erforderlichen Maßnahmen des inneren Blitzschutzes, wie z. B. Blitzschutz-Potentialausgleich und Überspannnungsschutz (s. dazu Kapitel 6).
Besonders verwiesen sei auf die DEHN-Halterprogramme DEHNhold, DEHNsnap und DEHNgrip.
Der Leitungshalter DEHNhold ist aus Vollmaterial NIRO (V4A) und einsetzbar für die verschiedenen Werkstoffe Al, NIRO (V4A), St/tZn und Cu.
Die DEHNsnap-Kunststoffhaltergeneration (**Bild 5.4.2.2**) ist als Grundbaustein (Dach und Wand) geeignet. Durch einfaches Einschwenken der Kappe wird der Leiter im Halter fixiert und dennoch lose geführt. Die besondere Verrasttechnik übt keinerlei mechanische Belastung auf den Verschluss aus.
DEHNgrip (**Bild 5.4.2.2**) ist ein schraubenloses NIRO (V4A)-Haltersystem. Auch dieses schraubenlose Haltersystem ist sowohl als Dach- iwe auch als Wandleitungshalter für die Leitungen Ø 8 mm geeignet. Ein einfaches Eindrücken der Leitungen genügt, und die Leitung ist im DEHNgrip fixiert (**Bild 5.4.2.2**).

5.4.3 Arbeitshinweise für die Montage von Dachleitungshaltern

First- und Gratsteine

Dachleitungshalter entsprechend der Abmessung des Firstziegels mit Stellschraube einstellen (**Bild 5.4.3.1**).

Die Leitungsführung kann zusätzlich über Leitungshalter von oben Mitte bis unten seitlich stetig verstellt werden. (Lockern des Leitungshalters entweder durch Drehen des Halters oder Öffnen der Befestigungsschraube möglich.)

- Dachleitungshalter SPANNsnap mit Kunststoff-Leitungshalter DEHNsnap oder NIRO (V4A)-Leitungshalter DEHNgrip (**Bild 5.4.3.2**). Dauerhafte Spannkraft durch NIRO (V4A)-Zugfeder. Universeller Spannbereich von 180-280 mm mit seitlich verstellbarer Leitungsführung für Leiter Rd 8 mm.
- Leitungshalter FIRSTsnap mit Kunststoff-Leitungshalter DEHNsnap, zum Aufsetzen auf bereits vorhandene Firstklammern bei Trockenfirsten (**Bild 5.4.3.3**).

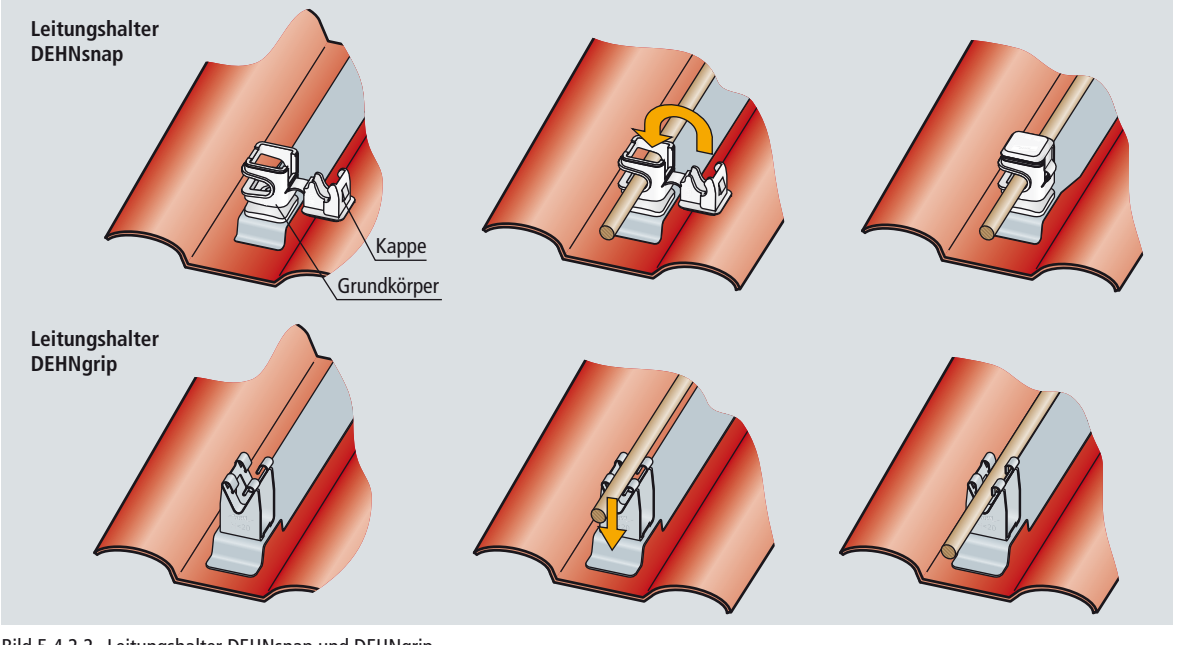


Bild 5.4.2.2 Leitungshalter DEHNsnap und DEHNgrip

Der Leitungshalter FIRSTsnap wird auf die bauseits vorhandene Firstklammer bei Trockenfirsten aufgesteckt und von Hand (nur DEHNsnap drehen) festgeschraubt.

Falzpfannen, glatte Ziegel

Der Dachleitungshalter UNIsnap mit geprägter Strebe wird für die Dachflächen verwendet. Nach dem Abwinkeln per Hand wird der Leitungshalter in die Dachpfanne eingehängt (**Bild 5.4.3.4**).

Schieferdächer

Bei der Anwendung auf Schieferdächern wird die innere Verhakung abgewinkelt (**Bild 5.4.3.5**) oder mit einem zusätzlichen Klemmteil (Art.-Nr. 204 089) versehen.

Falzziegel

- Dachleitungshalter FLEXIsnap für Falzziegel, zum direkten Anformen an die Falze (**Bild 5.4.3.6**). Die flexible NIRO (V4A)-Strebe wird zwischen die Falzziegel geschoben. Durch Aufdrücken auf den oberen Falzziegel verformt sich die NIRO (V4A)-Strebe und passt sich dem Falz an. Sie sitzt somit fest unter dem Ziegel.
- Dachleitungshalter (Art.-Nr. 204 229) mit vorgeformter Strebe, zum Einhängen am unteren Falz bei Pfannendächern (**Bild 5.4.3.7**).

Flache Ziegel oder Platten

Der ZIEGELsnap wird mit dem Leitungshalter DEHNsnap auf seiner Klemmvorrichtung (**Bild 5.4.3.8**) zwischen die flachen

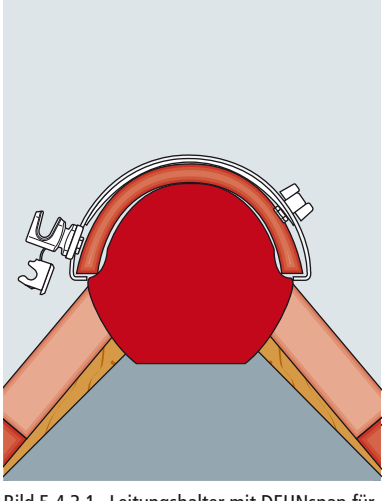


Bild 5.4.3.1 Leitungshalter mit DEHNsnap für Firstziegel

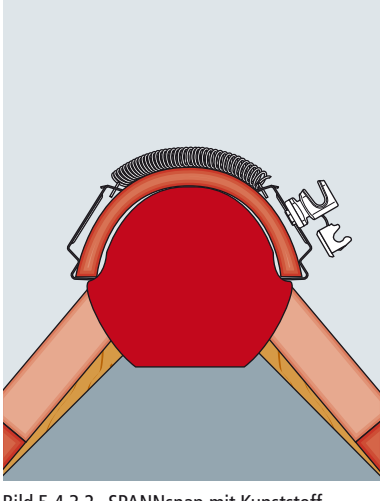


Bild 5.4.3.2 SPANNsnap mit Kunststoff-Leitungshalter DEHNsnap

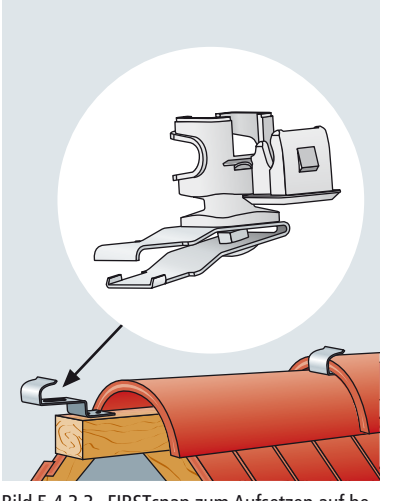


Bild 5.4.3.3 FIRSTsnap zum Aufsetzen auf bereits vorhandene Firstklammern

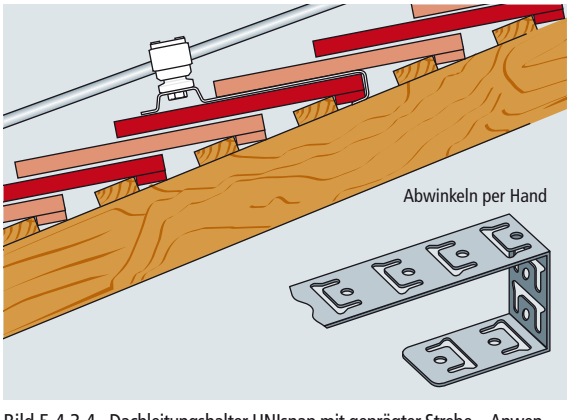


Bild 5.4.3.4 Dachleitungshalter UNIsnap mit geprägter Strebe – Anwendung auf Falzpfannen und glatten Ziegeln (z. B. Biberschwanz)

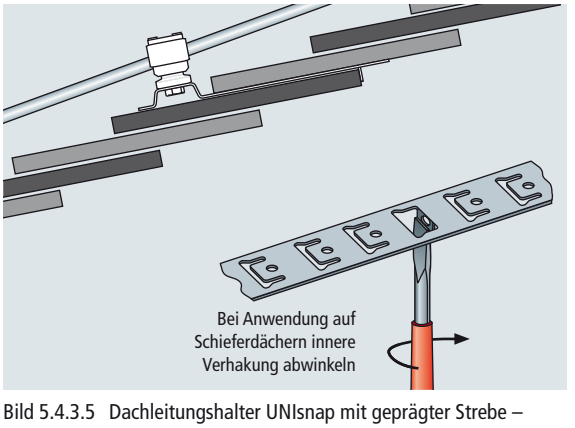


Bild 5.4.3.5 Dachleitungshalter UNIsnap mit geprägter Strebe – Anwendung auf Schieferdächern

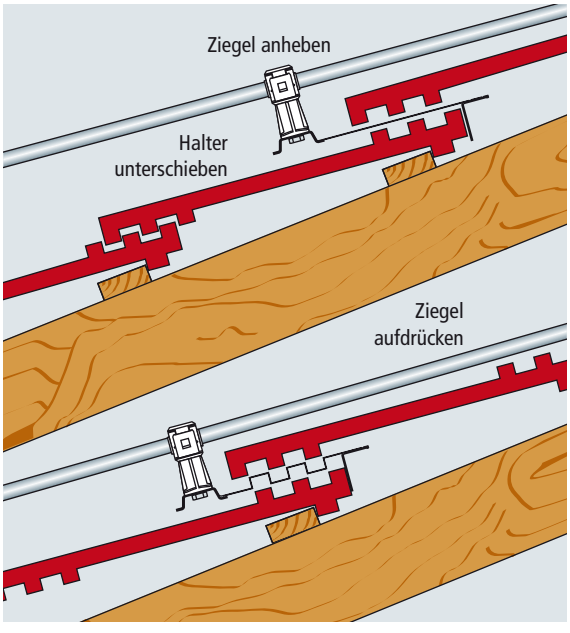


Bild 5.4.3.6 Leitungshalter FLEXIsnap zum direkten Anformen an die Falze

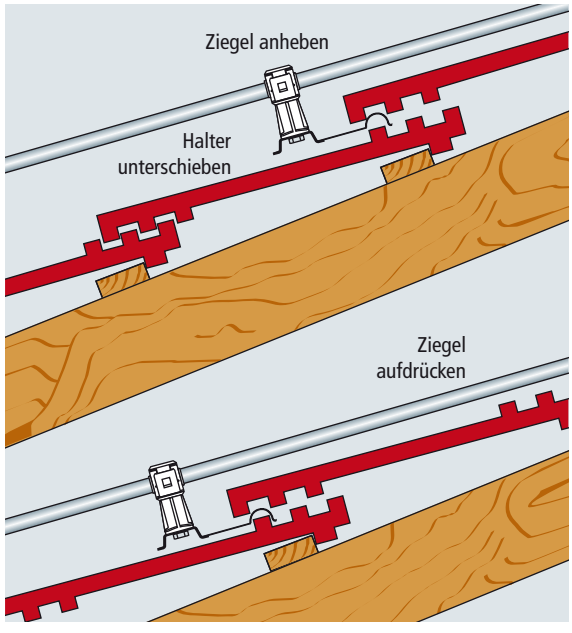


Bild 5.4.3.7 Dachleitungshalter zum Einhängen in den unteren Falz bei Pfannendächern

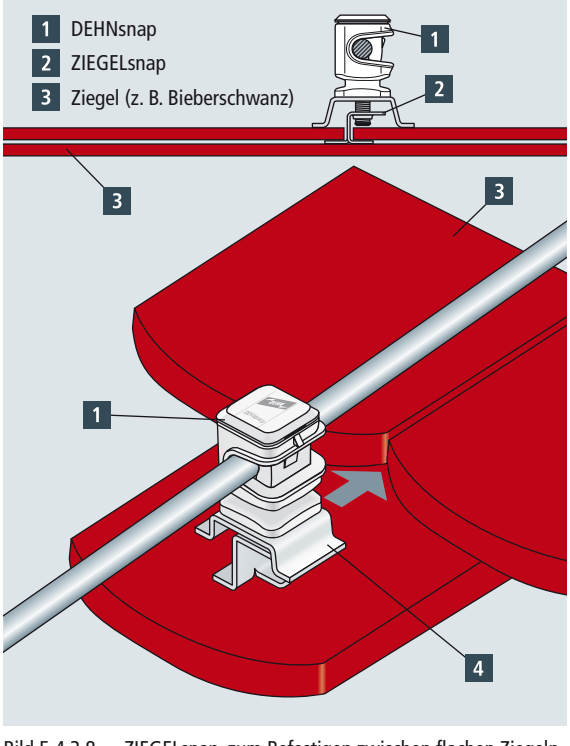


Bild 5.4.3.8 ZIEGELsnap, zum Befestigen zwischen flachen Ziegeln oder Platten

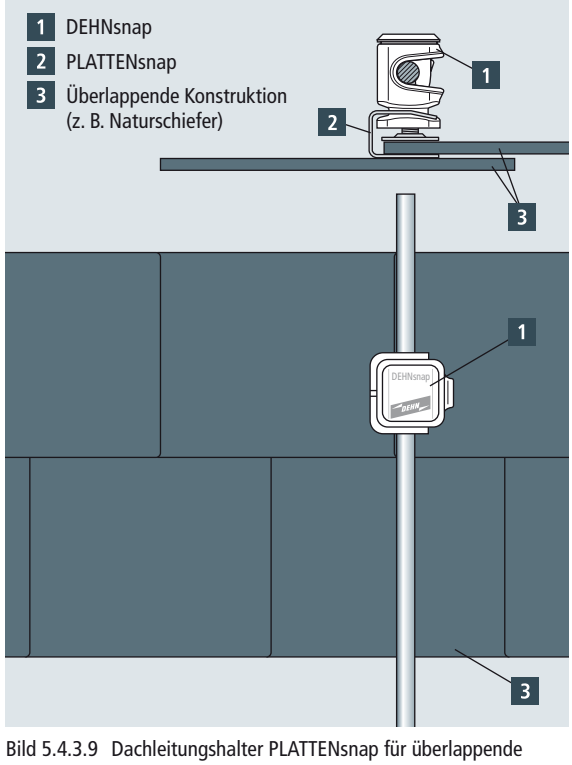


Bild 5.4.3.9 Dachleitungshalter PLATTENsnap für überlappende Konstruktionen

Ziegel (z. B. Biberschwanz) oder Platten geschoben und von Hand (nur DEHNsnap drehen) festgeschraubt.

Überlappte Konstruktionen

Der Leitungshalter DEHNsnap (**Bild 5.4.3.9**) mit Klemmbügel wird bei überlappten Konstruktionen (z. B. Platten und Naturschiefer) seitlich aufgeschoben und bei geöffnetem Halter mit Schraubendreher befestigt.
DEHNsnap kann bei schrägverlegten Platten auch so gedreht werden, dass eine lotrechte Leitungsführung möglich ist.

5.5 Erdungsanlagen

Eine umfassende Erläuterung der in der Erdungstechnik gebräuchlichen Begriffe befindet sich in DIN EN 62305 (VDE 0185-305) „Blitzschutz – Schutz von baulichen Anlagen und Personen", DIN VDE 0101 Teil 1 und 2 „Starkstromanlagen für Nennwechselspannungen über 1 kV" und DIN VDE 0100 „Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V" (Teil 200 und Teil 540). Für die Ausführung von Fundamenterdern ist zusätzlich DIN 18014 zu beachten. Hier werden nur die für das Verständnis der folgenden Ausführungen notwendigen Begriffserläuterungen wiederholt.

Begriffserläuterung

Erde

ist das leitfähige Erdreich und der Teil der Erde, der sich in elektrischem Kontakt mit einem Erder befindet, und dessen elektrisches Potential nicht notwendigerweise Null ist. Das Wort „Erde" ist auch die Bezeichnung sowohl für die Erde als Ort wie auch für die Erde als Stoff, z. B. die Bodenart Humus, Lehm, Sand, Kies und Gestein.

Bezugserde

(neutrale Erde) ist der Teil der Erde, insbesondere der Erdoberfläche außerhalb des Einflussbereiches eines Erders oder einer Erdungsanlage, in welchem zwischen zwei beliebigen Punkten keine merklichen, vom Erdungsstrom herrührenden Spannungen auftreten (**Bild 5.5.1**).

Erder

ist ein leitfähiges Teil oder mehrere leitfähige Teile, die im elektrischen Kontakt mit der Erde stehen und mit dieser eine elektrische Verbindung bilden (hierzu zählen auch Fundamenterder).

Erdungsanlage

ist eine örtlich abgegrenzte Gesamtheit miteinander leitend verbundener Erder oder in gleicher Weise wirkender Metallteile (z. B. Bewehrungen von Betonfundamenten oder erdfühlige Kabelmetallmäntel).

Erdungsleitung

ist eine Leitung, die ein zu erdendes Anlagenteil mit einem Erder verbindet und außerhalb des Erdreichs oder isoliert im Erdreich verlegt ist.

Blitzschutzerdung

ist die Erdung einer Blitzschutzanlage zum Ableiten eines Blitzstromes in die Erde.
Im Nachfolgenden werden Arten von Erdern und deren Einteilung nach Lage, Form und Profil beschrieben.

Einteilung nach der Lage

Oberflächenerder

ist ein Erder, der im Allgemeinen in geringer Tiefe bis etwa 1 m eingebracht wird. Er kann aus Rund- oder Bandmaterial bestehen und als Strahlen-, Ring- oder Maschenerder sowie als Kombination dieser Bestandteile ausgeführt werden.

Tiefenerder

ist ein Erder, der im Allgemeinen lotrecht in größere Tiefen eingebracht wird. Er kann z. B. aus Rund- oder anderem Profilmaterial bestehen.

Fundamenterder

besteht aus einem oder mehreren Leitern, die in Beton eingebettet sind und mit der Erde großflächig in Berührung stehen.

Steuererder

ist ein Erder, der nach Form und Anordnung mehr zur Potentialsteuerung als zur Einhaltung eines bestimmten Ausbreitungswiderstandes dient.

Ringerder

Erder, der unterhalb oder auf der Erdoberfläche einen geschlossenen Ring um die bauliche Anlage bildet.

Natürlicher Erder

ist ein mit der Erde oder mit Wasser unmittelbar oder über Beton in Verbindung stehendes Metallteil, dessen ursprünglicher Zweck nicht die Erdung ist, das aber als Erder wirkt (Bewehrungen von Betonfundamenten, Rohrleitungen usw.).

Einteilung nach Form und Profil

Man unterscheidet Banderder, Kreuzprofilerder und Staberder.

Widerstandsarten

Spezifischer Erdwiderstand

φ_E ist der spezifische elektrische Widerstand der Erde. Er wird in Ωm angegeben und stellt den Widerstand eines Erdwürfels von 1 m Kantenlänge zwischen zwei gegenüberliegenden Würfelflächen dar.

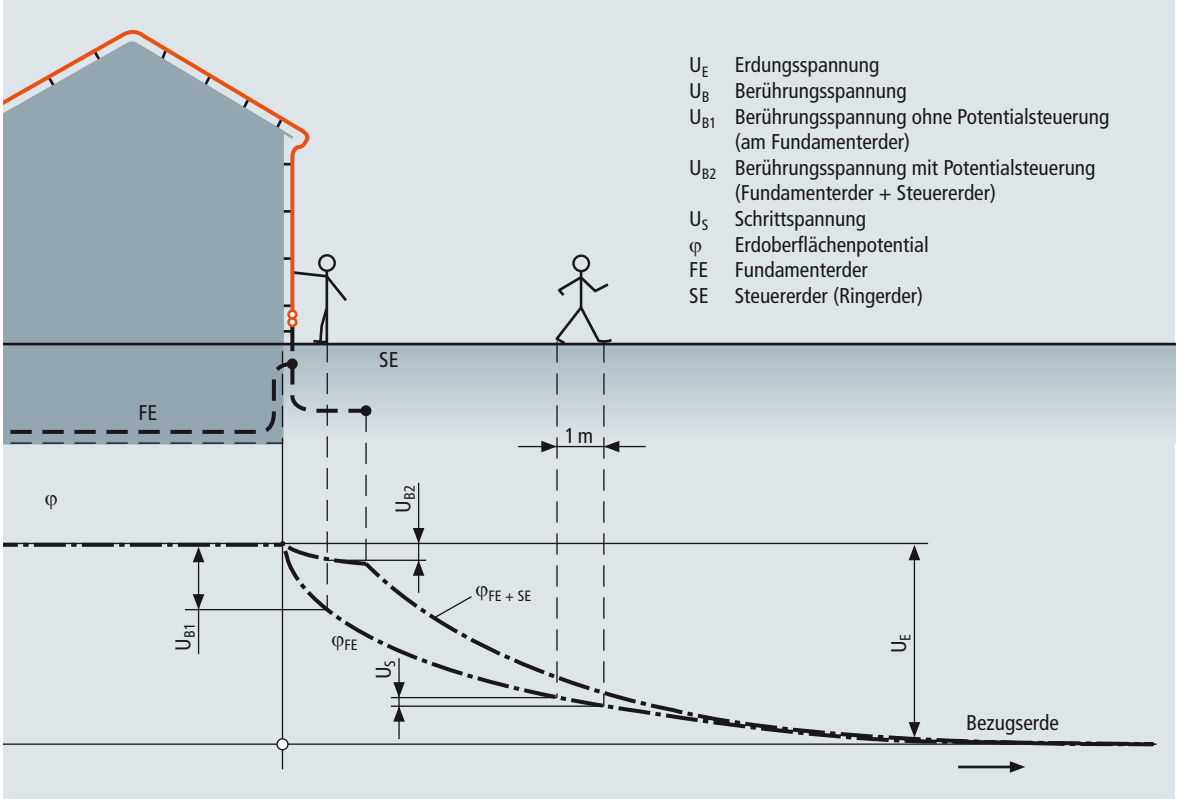


Bild 5.5.1 Erdoberflächenpotential und Spannungen beim stromdurchflossenen Fundamenterder FE und Steuererder SE

Ausbreitungswiderstand

R_A eines Erders ist der Widerstand der Erde zwischen dem Erder und der Bezugserde. R_A ist praktisch ein Wirkwiderstand.

Stoßerdungswiderstand

R_{st} ist der beim Durchgang von Blitzströmen zwischen einem Punkt einer Erdungsanlage und der Bezugserde wirksame Widerstand.

Spannungen bei stromdurchflossenen Erdungsanlagen, Potentialsteuerung

Erdungsspannung

U_E ist die zwischen einer Erdungsanlage und der Bezugserde auftretende Spannung (**Bild 5.5.1**).

Erdoberflächenpotential

φ ist die Spannung zwischen einem Punkt der Erdoberfläche und der Bezugserde (**Bild 5.5.1**).

Berührungsspannung

U_B ist der Teil des Erdoberflächenpotentials, der vom Menschen überbrückt werden kann (**Bild 5.5.1**), wobei der Stromweg über den menschlichen Körper von Hand zu Fuß (waagrechter Abstand vom berührbaren Teil etwa 1 m) oder von Hand zu Hand verläuft.

Schrittspannung

U_S ist der Teil des Erdobeflächen-Potentials, der vom Menschen in einem Schritt von 1 m Länge überbrückt werden kann, wobei der Stromweg über den menschlichen Körper von Fuß zu Fuß verläuft (**Bild 5.5.1**).

Potentialsteuerung

ist die Beeinflussung des Erdpotentials, insbesondere des Erdoberflächenpotentials, durch Erder (**Bild 5.5.1**).

Potentialausgleich

für Blitzschutzanlagen ist das Verbinden metallener Installationen und elektrischer Systeme mit dem Blitzschutzsystem über Leitungen, Blitzstrom-Ableiter oder Trennfunkenstrecken.

Ausbreitungswiderstand / Spezifischer Erdwiderstand

Ausbreitungswiderstand R_A

Das Überleiten des Blitzstromes über den Erder in die Erde erfolgt nicht punktförmig, sondern setzt einen bestimmten Bereich um den Erder unter Strom.

Erderform und Verlegungsart müssen nun so gewählt werden, dass die sich auf die Erdoberfläche auswirkenden Spannungen (Berührungs- und Schrittspannungen) keine gefährlichen Werte annehmen.

Den Ausbreitungswiderstand R_A eines Erders kann man am besten an einer im Erdboden vergrabenen Metallkugel erklären.

Ist die Kugel genügend tief vergraben, so tritt der Strom gleichmäßig über die Kugeloberfläche verteilt radial aus. Dieser Fall ist im **Bild 5.5.2a** dargestellt; im Vergleich dazu zeigt **Bild 5.5.2b** den Fall einer direkt unter der Erdoberfläche vergrabenen Kugel.

Die konzentrischen Kreise um die Kugeloberfläche stellen Niveauflächen konstanter Spannung dar. Der Ausbreitungswiderstand R_A setzt sich aus der Reihenschaltung der Teilwiderstände einzelner Kugelschichten zusammen. Der Widerstand einer solchen Kugelschicht berechnet sich nach:

$$R = \rho_E \cdot \frac{l}{q}$$

Dabei ist

ρ_E der spezifische Erdwiderstand des als homogen angenommenen Erdbodens,

l die Dicke einer angenommenen Kugelschicht und

q die mittlere Oberfläche dieser Kugelschicht.

Zur Veranschaulichung sei eine in 3 m Tiefe vergrabene Metallkugel von 20 cm Durchmesser bei einem spezifischen Erdwiderstand von 200 Ωm angenommen.

Berechnet man nun für die verschiedenen Kugelschichten die Ausbreitungswiderstands-Zunahme, so ergibt sich in Abhängigkeit der Entfernung vom Kugelzentrum ein Verlauf nach **Bild 5.5.3**.

Der Ausbreitungswiderstand R_A für den Kugelerder berechnet sich nach:

$$R_A = \frac{\rho_E \cdot 100}{2\pi \cdot r_K} \cdot \frac{1 + \frac{r_K}{2t}}{2}$$

ρ_E Spezifischer Erdwiderstand in Ωm

t Eingrabtiefe in cm

r_K Radius des Kugelerders in cm.

Aus dieser Formel ergibt sich für den Kugelerder ein Ausbreitungswiderstand R_A = 161 Ω.

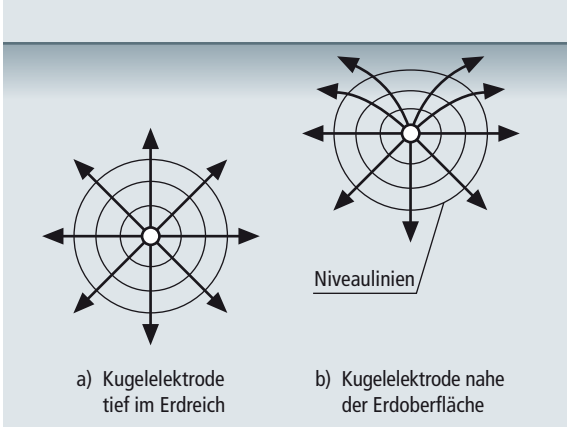


Bild 5.5.2 Stromaustritt aus einem Kugelerder

Aus dem Kurvenverlauf im **Bild 5.5.3** erkennt man, dass der größte Anteil am gesamten Ausbreitungswiderstand in unmittelbarer Umgebung des Erders auftritt. So ist z. B. in 5 m Entfernung vom Kugelmittelpunkt bereits 90 % des gesamten Ausbreitungswiderstandes R_A erreicht.

Spezifischer Erdwiderstand ρ_E

Der für die Größe des Ausbreitungswiderstandes R_A eines Erders maßgebende spezifische Widerstand ρ_E der Erde ist von der Bodenzusammensetzung, der Bodenfeuchtigkeit und der Temperatur abhängig. Er kann in weiten Grenzen schwanken.

Werte für verschiedene Bodenarten

Im **Bild 5.5.4** sind für verschiedene Bodenarten die Schwankungsbreiten des spezifischen Erdwiderstandes ρ_E wiedergegeben.

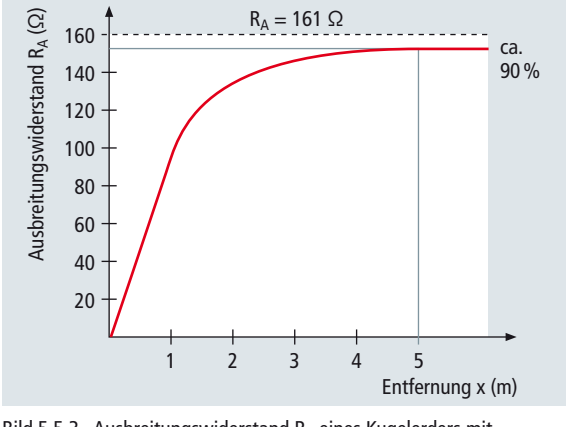


Bild 5.5.3 Ausbreitungswiderstand R_A eines Kugelerders mit Ø 20 cm in 3 m Tiefe, bei ρ_E = 200 Ωm in Abhängigkeit von der Entfernung x vom Kugelmittelpunkt

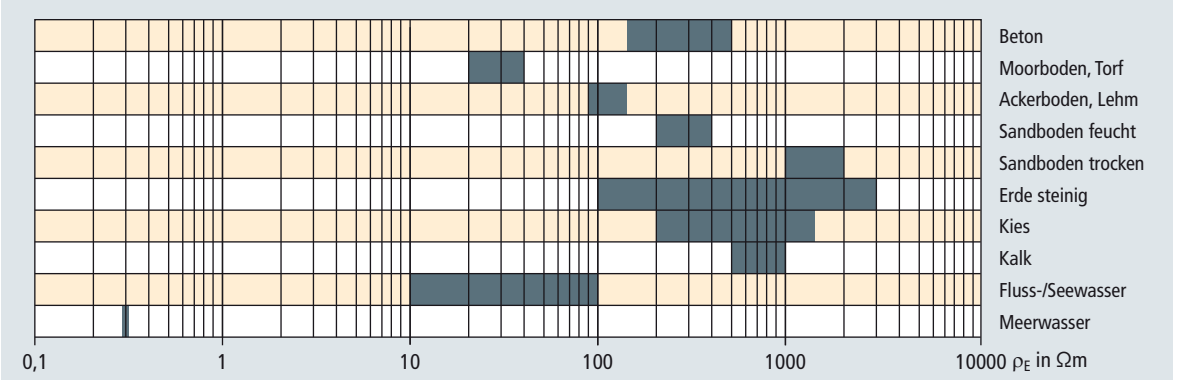


Bild 5.5.4 Spezifischer Erdwiderstand ρ_E bei verschiedenen Bodenarten

Jahreszeitliche Schwankungen

Umfangreiche Messungen haben gezeigt, dass der spezifische Erdwiderstand je nach Eingrabtiefe des Erders stark variiert. Wegen des negativen Temperaturkoeffizienten des Erdbodens (α = 0,02 ... 0,004) erreichen die spezifischen Erdwiderstände im Winter ein Maximum und im Sommer ein Minimum. Es empfiehlt sich daher, die Messwerte von Erdern auf die maximal zu erwartenden Werte umzurechnen, da auch unter ungünstigen Bedingungen (Tiefsttemperaturen) zulässige Werte nicht überschritten werden dürfen.

Der Verlauf des spezifischen Erdwiderstandes ρ_E in Abhängigkeit von der Jahreszeit (Bodentemperatur) kann mit recht guter Annäherung durch eine Sinuskurve dargestellt werden, die ihr Maximum etwa Mitte Februar und ihr Minimum etwa Mitte August besitzt. Untersuchungen haben weiterhin gezeigt, dass bei Erdern, die nicht tiefer als etwa 1,5 m vergraben sind, die maximalen Abweichungen des spezifischen Erdwiderstandes vom Mittelwert rund ± 30 % betragen (**Bild 5.5.5**).

Bei tiefer eingegrabenen Erdern (insbesondere bei Tiefenerdern) beträgt die Schwankung lediglich ± 10 %. Anhand des sinusförmigen Verlaufs des spezifischen Erdwiderstandes im **Bild 5.5.5** kann der an einem bestimmten Tag gemessene Ausbreitungswiderstand R_A einer Erdungsanlage auf den maximal zu erwartenden Wert umgerechnet werden.

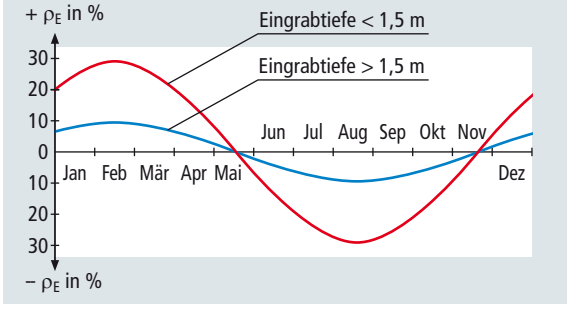


Bild 5.5.5 Spezifischer Erdwiderstand ρ_E in Abhängigkeit von der Jahreszeit ohne Beeinflussung durch Niederschläge (Eingrabtiefe des Erders < 1,5 m)

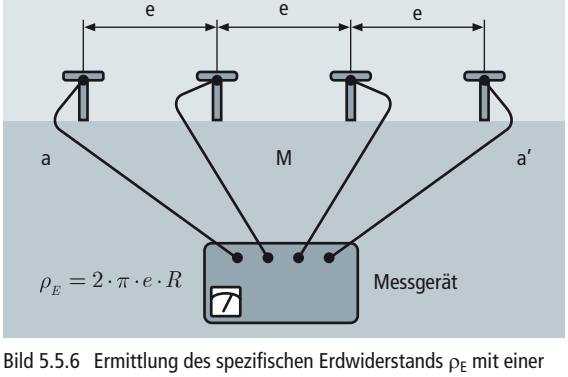


Bild 5.5.6 Ermittlung des spezifischen Erdwiderstands ρ_E mit einer 4-poligen Messmethode nach WENNER

Messung

Zur Ermittlung des spezifischen Erdwiderstandes ρ_E wird eine Erdungsmessbrücke mit 4 Klemmen (Vierleiter-Verfahren/ 4-polige Messmethode), die nach der Nullmethode arbeitet, verwendet.

Bild 5.5.6 zeigt die Messanordnung dieser nach WENNER benannten Messmethode. Die Messung wird von einem festen Mittelpunkt M ausgeführt, der bei allen folgenden Messungen beibehalten wird. Auf einer im Gelände abgesteckten Strecke a – a' werden vier Mess-Sonden (Erdspieße mit 30 ... 50 cm Länge) in den Boden eingebracht. Aus dem gemessenen Widerstand R ermittelt man den spezifischen Erdwiderstand ρ_E des Erdreiches:

$$\rho_E = 2\pi \cdot e \cdot R$$

R gemessener Widerstand in Ω

e Sondenabstand in m

ρ_E mittlerer spezifischer Erdwiderstand in Ωm bis zu einer Tiefe entsprechend dem Sondenabstand e.

Durch Vergrößern des Sondenabstandes e und erneutes Abstimmen der Erdungsmessbrücke kann der Verlauf des spezifischen Erdwiderstandes ρ_E in Abhängigkeit von der Tiefe ermittelt werden.

Berechnung von Ausbreitungswiderständen

Für die häufig verwendeten Erderarten sind in **Tabelle 5.5.1** die Formeln für die Berechnung der Ausbreitungswiderstände angegeben. Für die Praxis genügen diese Faustformeln durchaus. Die genauen Berechnungsformeln sind den folgenden Abschnitten zu entnehmen.

Gerader Oberflächenerder

Oberflächenerder werden in der Regel horizontal in 0,5 ... 1 m Tiefe im Erdreich eingebettet. Da die über dem Erder liegende Bodenschicht im Sommer austrocknet und im Winter gefriert, berechnet man den Ausbreitungswiderstand R_A eines solchen Oberflächenerders so, als würde er an der Erdoberfläche liegen:

$$R_A = \frac{\rho_E}{\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l}{r}$$

R_A Ausbreitungswiderstand eines gestreckten Oberflächenerders in Ω

ρ_E spezifischer Erdwiderstand in Ωm

l Länge des Oberflächenerders in m

r viertel Bandstahlbreite in m oder Radius des Runddrahtes in m

Aus **Bild 5.5.7** lässt sich der Ausbreitungswiderstand R_A in Abhängigkeit von der Länge des Erders entnehmen.

Im **Bild 5.5.8** ist für einen 8 m langen Banderder die Erdungsspannung U_E in Quer- und Längsrichtung dargestellt.
Deutlich ist hier der Einfluss der Eingrabtiefe auf die Erdungsspannung zu erkennen.

Im **Bild 5.5.9** ist die Schrittspannung U_S in Abhängigkeit von der Eingrabtiefe wiedergegeben.
Für die Praxis ist die Berechnung nach der Faustformel aus **Tabelle 5.5.1** ausreichend:

$$R_A = \frac{2 \cdot \rho_E}{l}$$

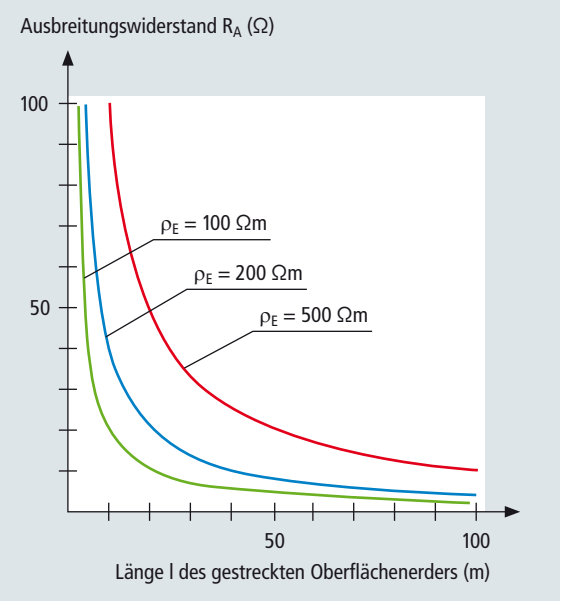


Bild 5.5.7 Abhängigkeit des Ausbreitungswiderstandes R_A von der Länge l des Oberflächenerders bei verschiedenen spezifischen Erdwiderständen ρ_E

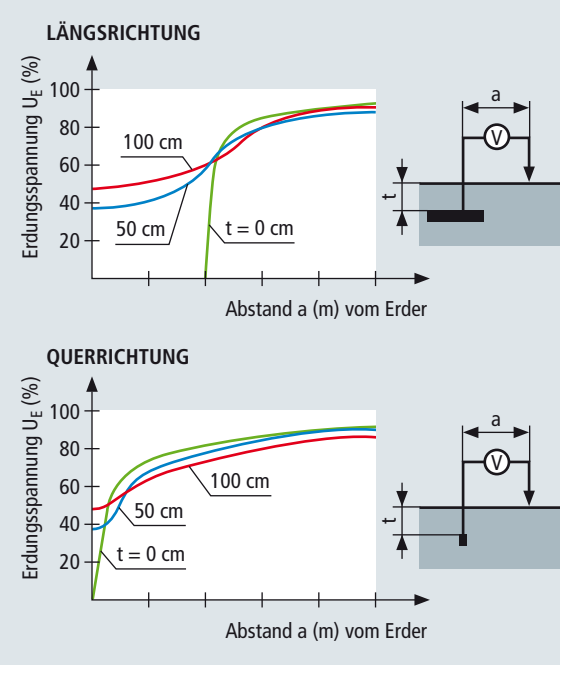


Bild 5.5.8 Erdungsspannung U_E zwischen Erderzuleitung und Erdoberfläche in Abhängigkeit vom Abstand zum Erder, bei einem Banderder (8 m lang) in unterschiedlicher Tiefe

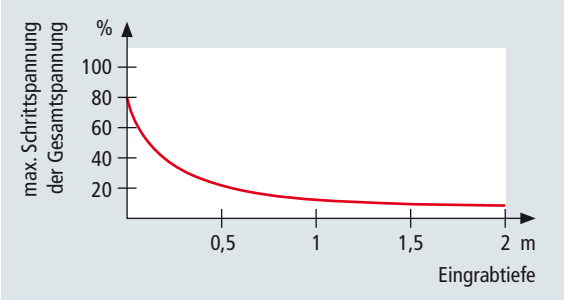


Bild 5.5.9 Maximale Schrittspannung U_S in Abhängigkeit von der Eingrabtiefe für einen gestreckten Banderder

Tiefenerder

Der Ausbreitungswiderstand R_A eines Tiefenerders errechnet sich aus:

$$R_A = \frac{\rho_E}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2l}{r}$$

R_A Ausbreitungswiderstand in Ω

ρ_E spezifischer Erdwiderstand in Ωm

l Länge des Tiefenerders in m

r Radius des Tiefenerders in m.

Näherungsweise kann der Ausbreitungswiderstand R_A mit der in **Tabelle 5.5.1** angegebenen Faustformel berechnet werden:

$$R_A = \frac{\rho_E}{l}$$

Die Abhängigkeit des Ausbreitungswiderstandes R_A von der Stablänge l und dem spezifischen Erdwiderstand ρ_E ist in **Bild 5.5.10** wiedergegeben.

Kombination von Erdern

Beim Einbringen von mehreren Tiefenerdern nebeneinander (bedingt durch Bodenverhältnisse) sollte der Abstand zwischen den Erdern mindestens der Eintreibtiefe entsprechen. Die einzelnen Tiefenerder sind miteinander zu verbinden.

Die nach den Formeln errechneten Ausbreitungswiderstände und die in den Diagrammen wiedergegebenen Messergebnisse gelten für Gleichstrom und für Wechselstrom niedriger Frequenz und unter der Voraussetzung einer verhältnismäßig geringen Ausdehnung (einige hundert Meter) des Erders. Bei größeren Längen, z. B. bei Oberflächenerdern, kommt für Wechselstrom noch ein induktiver Anteil hinzu.

Erder	Faustformel	Hilfsgröße
Oberflächenerder (Strahlenerder)	$R_A = \frac{2 \cdot \rho_E}{l}$	–
Tiefenerder (Staberder)	$R_A = \frac{\rho_E}{l}$	–
Ringerder	$R_A = \frac{2 \cdot \rho_E}{3 \cdot d}$	$d = 1{,}13 \cdot \sqrt[2]{A}$
Maschenerder	$R_A = \frac{\rho_E}{2 \cdot d}$	$d = 1{,}13 \cdot \sqrt[2]{A}$
Plattenerder	$R_A = \frac{\rho_E}{4{,}5 \cdot a}$	–
Halbkugelerder/ Fundamenterder	$R_A = \frac{\rho_E}{\pi \cdot d}$	$d = 1{,}57 \cdot \sqrt[3]{V}$

R_A Ausbreitungswiderstand (Ω)

ρ_E Spezifischer Erdwiderstand (Ωm)

l Länge des Erders (m)

d Durchmesser eines Ringerders, der Ersatzkreisfläche oder eines Halbkugelerders

A Fläche (m^2) der umschlossenen Fläche eines Ring- oder Maschenerders

a Kantenlänge (m) einer quadratischen Erderplatte. Bei Rechteckplatten ist für a einzusetzen: $\sqrt{b \cdot c}$, wobei b und c die beiden Rechteckseiten sind

V Inhalt eines Einzelfundamenterders

Tabelle 5.5.1 Formeln zur Berechnung des Ausbreitungswiderstandes R_A für verschiedene Erder

Die berechneten Ausbreitungswiderstände gelten jedoch nicht für Blitzströme. Hier wird der induktive Anteil wirksam, der bei größerer Ausdehnung der Erdungsanlage zu höheren Werten des Stoßerdungswiderstandes führen kann.
Durch Verlängerung von Oberflächen- oder Tiefenerdern über 30 m hinaus wird nur noch eine unwesentliche Verringerung des Stoßausbreitungswiderstandes erreicht. Es ist deshalb zweckmäßig, mehrere kürzere Erder zu kombinieren. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass wegen der gegenseitigen Beeinflussung der tatsächliche Gesamtausbreitungswiderstand größer ist als der aus der Parallelschaltung der Einzelwiderstände berechnete Wert.

Strahlenerder

Strahlenerder in Form von gekreuzten Oberflächenerdern sind dann von Bedeutung, wenn in schlecht leitendem Erdboden

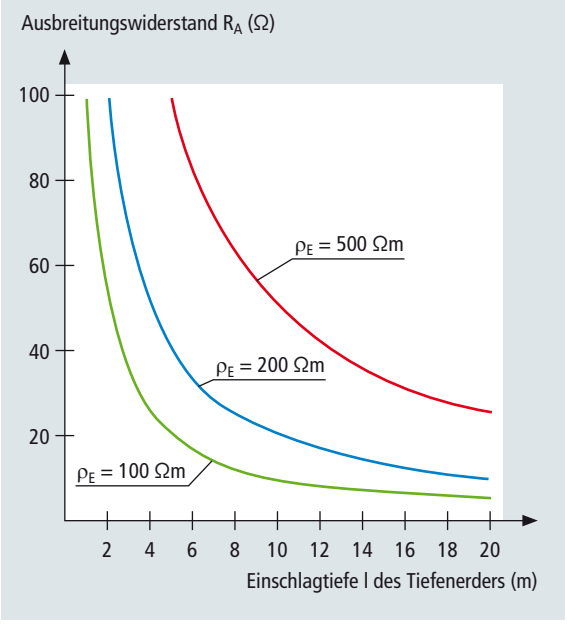


Bild 5.5.10 Ausbreitungswiderstand R_A von Tiefenerdern in Abhängigkeit von ihrer Länge l bei verschiedenen spezifischen Erdwiderständen ρ_E

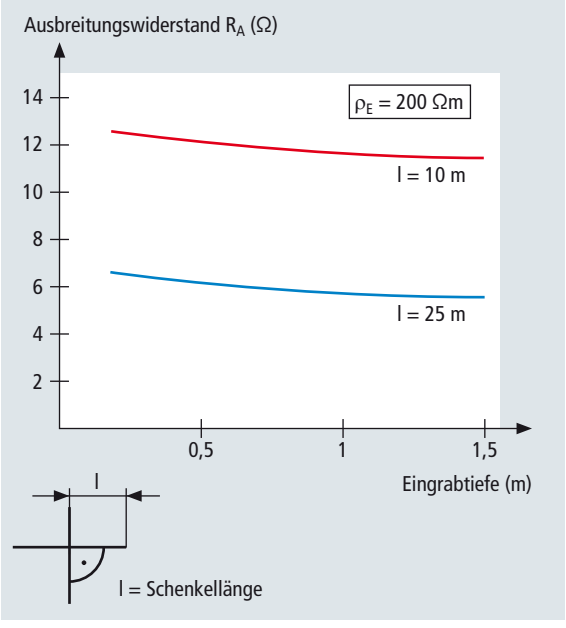


Bild 5.5.11 Ausbreitungswiderstand R_A gekreuzter Oberflächenerder (90 °) in Abhängigkeit von der Eingrabtiefe

relativ niedrige Ausbreitungswiderstände mit wirtschaftlich tragbaren Kosten erstellt werden sollen.
Der Ausbreitungswiderstand R_A eines gekreuzten Oberflächenerders, dessen Schenkel im 90 °-Winkel zueinander stehen, berechnet sich aus:

$$R_A = \frac{\rho_E}{4\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l}{r} + 1{,}75$$

R_A Ausbreitungswiderstand des gekreuzten Oberflächenerders in Ω

ρ_E spezifischer Erdwiderstand in Ωm

l Schenkellänge in m

d halbe Bandbreite in m bzw. Durchmesser des Runddrahtes in m.

In grober Annäherung kann bei größerer Strahlenlänge (l > 10 m) der Ausbreitungswiderstand R_A mit der Gesamtlänge der Strahlen aus den Gleichungen nach **Tabelle 5.5.1** ermittelt werden.

Bild 5.5.11 zeigt den Verlauf des Ausbreitungswiderstandes R_A gekreuzter Oberflächenerder in Abhängigkeit von der Eingrabtiefe;

Bild 5.5.12 gibt den Erdungsspannungsverlauf wieder.
Bei Strahlenerdern soll der Winkel zwischen den einzelnen Strahlen größer als 60 ° sein.
Nach **Bild 5.5.12** gilt für den Ausbreitungswiderstand eines Maschenerders die Formel:

$$R_A = \frac{\rho_E}{2 \cdot d}$$

d ist dabei der Durchmesser des dem Maschenerder flächengleichen Ersatzkreises, der sich wie folgt ermitteln lässt:

bei rechteckigen oder polygonen Abmessungen des Maschenerders:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

A Fläche des Maschenerders in m^2;

bei quadratischen Abmessungen (Kantenlänge b):

$$d = 1{,}1 \cdot b$$

Bild 5.5.13 zeigt den Verlauf des Stoßausbreitungswiderstandes von ein- und mehrstrahligen Oberflächenerdern bei Rechteck-Stoßspannungen.

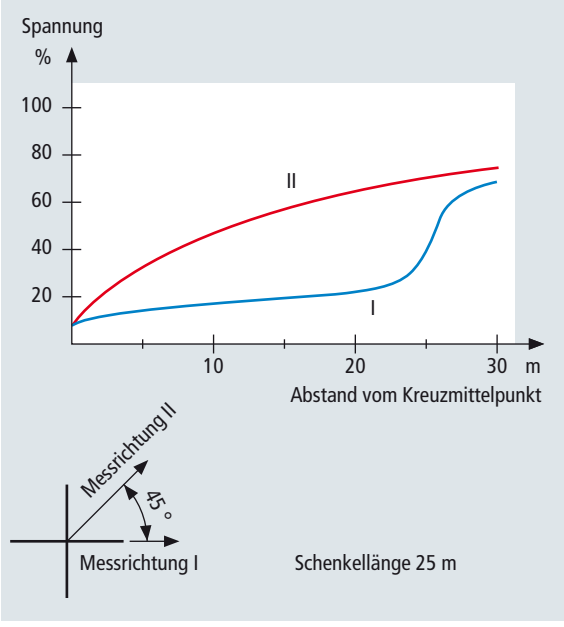


Bild 5.5.12 Erdungsspannung U_E zwischen Erderzuleitung und Erdoberfläche gekreuzter Oberflächenerder (90°) in Abhängigkeit vom Abstand zum Kreuzmittelpunkt (Eingrabtiefe 0,5 m)

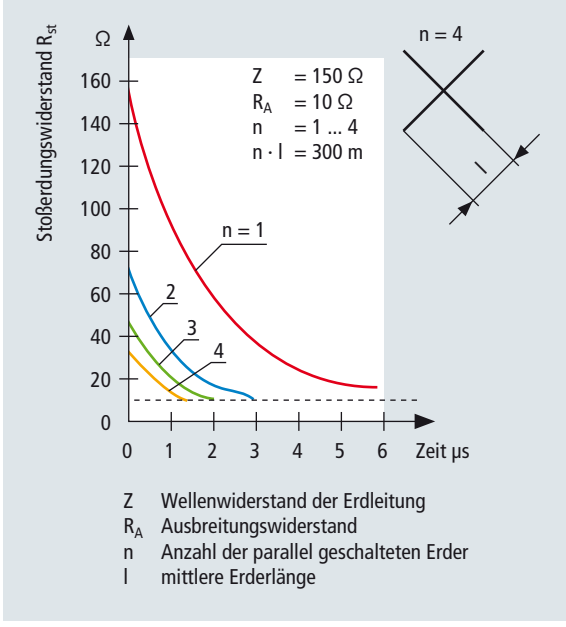


Bild 5.5.13 Stoßerdungswiderstand R_{st} ein- und mehrstrahliger Oberflächenerder gleicher Länge

Man ersieht aus diesem Diagramm, dass es zweckmäßiger ist, bei gleicher Länge einen sternförmigen Erder als einen einzelnen Strahl zu verlegen.

Fundamenterder

Der Ausbreitungswiderstand eines metallenen Leiters im Betonfundament kann näherungsweise mit der Formel für Halbkugelerder berechnet werden:

$$R_A = \frac{\rho_E}{\pi \cdot d}$$

d ist dabei der Durchmesser der dem Fundament inhaltsgleichen Ersatz-Halbkugel:

$$d = 1{,}57 \cdot \sqrt[3]{V}$$

V Inhalt des Fundamentes in m^3.

Bei der Berechnung des Ausbreitungswiderstandes ist zu beachten, dass der Fundamenterder nur wirksam sein kann, wenn der Betonkörper großflächig mit dem umgebenden Erdreich in Berührung steht. Wasser abweisende, isolierende Umhüllungen vergrößern den Erdausbreitungswiderstand erheblich oder isolieren den im Fundament liegenden Leiter (siehe 5.5.2).

Parallel geschaltete Tiefenerder

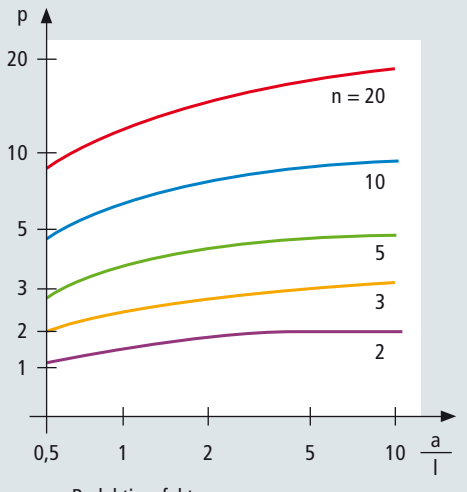
Um die gegenseitigen Beeinflussungen in vertretbaren Grenzen zu halten, sollten bei parallel geschalteten Tiefenerdern die Abstände der Einzelerder möglichst nicht kleiner als die Eintreibtiefe sein.
Sind die Einzelerder annähernd auf einem Kreis angeordnet und weisen sie etwa die gleiche Länge auf, dann kann der Ausbreitungswiderstand wie folgt berechnet werden:

$$R_A = \frac{R_{A'}}{p}$$

Dabei ist $R_{A'}$ der mittlere Ausbreitungswiderstand der Einzelerder. Der Reduktionsfaktor p kann aus **Bild 5.5.14** in Abhängigkeit von der Erderlänge dem Einzelerderabstand und der Anzahl der Erder entnommen werden.

Kombination aus Band- und Tiefenerdern

Erhält man durch Tiefenerder, z. B. bei tiefliegenden Wasser führenden Schichten im Sandboden, einen ausreichenden Ausbreitungswiderstand, so soll der Tiefenerder möglichst dicht am zu schützenden Objekt liegen. Ist eine lange Zuleitung erforderlich, so ist es zweckmäßig, parallel dazu einen sternförmigen Mehrstrahlerder zu verlegen, um den Widerstand während des Stromanstieges herabzusetzen.



p Reduktionsfaktor
n Anzahl der parallel geschalteten Erder
a mittlerer Erderabstand
l mittlere Erderlänge

Bild 5.5.14 Reduktionsfaktor p für die Berechnung des Gesamtausbreitungswiderstandes R_A von parallel geschalteten Tiefenerdern

Der Ausbreitungswiderstand eines Banderders mit Tiefenerder kann näherungsweise so berechnet werden, als wäre der Banderder um die Einschlagtiefe des Tiefenerders verlängert.

$$R_A \approx \frac{\rho_E}{l_{Banderder} + l_{Tiefenerder}}$$

Ringerder

Bei kreisförmigen Ringerdern mit großem Durchmesser (d > 30 m) wird der Ausbreitungswiderstand angenähert mit der Formel für den Banderder berechnet (wobei für die Länge des Erders der Kreisumfang π · d eingesetzt wird):

$$R_A = \frac{\rho_E}{\pi^2 \cdot d} \cdot \ln \frac{\pi \cdot d}{r}$$

r Radius des Runddrahtes oder viertel Breite des Banderders in m.

Bei nicht kreisförmigen Ringerdern wird für die Berechnung des Ausbreitungswiderstandes mit dem Durchmesser d eines flächengleichen Ersatzkreises gerechnet:

$$R_A = \frac{2 \cdot \rho_E}{3 \cdot d}$$

$$d = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}}$$

A Fläche, die vom Ringerder umschlossen wird in m^2.

Ausführung

Entsprechend den DIN VDE-Normen wird für jede zu schützende Anlage eine eigene Erdungsanlage gefordert, die auch ohne Mitverwendung von metallenen Wasserleitungen oder geerdeten Leitern der elektrischen Anlage für sich allein voll funktionsfähig sein muss.
Die Größe des Ausbreitungswiderstandes R_A ist für den Blitzschutz eines Gebäudes oder einer Anlage nur von untergeordneter Bedeutung. Wichtig ist, dass etwa auf Höhe des Erdniveaus der Potentialausgleich konsequent durchgeführt ist und der Blitzstrom gefahrlos im Erdreich verteilt wird.
Das zu schützende Objekt wird durch den Blitzstrom i auf die Erdungsspannung U_E

$$U_E = i \cdot R_A + \frac{1}{2} \cdot L \cdot \frac{di}{dt}$$

gegenüber der Bezugserde angehoben.

Das Erdoberflächenpotential nimmt mit zunehmender Entfernung vom Erder ab (**Bild 5.5.1**).

Der induktive Spannungsfall am Erder während des Blitzstromanstieges ist nur bei ausgedehnten Erdungsanlagen (z. B. bei langen Oberflächenerdern, die in schlecht leitenden Böden mit felsigem Untergrund notwendig sind) zu berücksichtigen. Im Allgemeinen wird der Ausbreitungswiderstand allein durch den ohmschen Anteil bestimmt.

Gegenüber isoliert in das Gebäude geführten Leitungen tritt die Erdungsspannung U_E in voller Höhe auf.
Um hier die Durch- und Überschlagsgefahr zu vermeiden, werden solche Leitungen über Trennfunkenstrecken oder bei spannungsführenden Leitungen über Überspannungsschutzgeräte (siehe DEHN UE-Hauptkatalog (Überspannungsschutz)) im Rahmen des Blitzschutz-Potentialausgleichs mit der Erdungsanlage verbunden.

Um Berührungs- und Schrittspannungen möglichst klein zu halten, ist es notwendig, den Ausbreitungswiderstand in seiner Größe zu begrenzen.

Die Erdungsanlage kann als Fundamenterder, als Ringerder und bei Gebäuden mit großen Grundflächen auch als vermaschter Erder sowie in Sonderfällen als Einzelerder ausgelegt werden.
Fundamenterder sind nach DIN 18014 auszulegen.
Der Fundamenterder in der traditionellen Art ist als geschlossener Ring auszuführen und in den Fundamenten der Außenwände des Gebäudes oder in der Fundamentplatte entsprechend DIN 18014 anzuordnen. Bei größeren Gebäuden sollte der Fundamenterder Querverbindungen erhalten, sodass die max. Größe der Masche 20 m x 20 m nicht überschritten wird. Der Fundamenterder muss so angeordnet werden, dass er allseitig von Beton umschlossen wird.
Darüber hinaus ist eine Verbindung zwischen Fundamenterder und Potentialausgleichsschiene im Hausanschlussraum herzustellen. Nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) muss ein Fundamenterder Anschlussfahnen für den Anschluss der Ableitungen des äußeren Blitzschutzes an die Erdungsanlage erhalten.

Aufgrund der Korrosionsgefahr an der Austrittstelle einer Anschlussfahne aus dem Beton sollte ein zusätzlicher Korrosionsschutz berücksichtigt werden (mit PVC-Ummantelung oder bevorzugt die Verwendung von Edelstahl z. B. mit der Werkstoff-Nr. 1.4571).
Die Bewehrung von Platten- oder Streifenfundamenten kann wie ein Fundamenterder benutzt werden, wenn die notwendigen Anschlussfahnen an die Bewehrung angeschlossen und die Bewehrungen über die Fugen miteinander stromtragfähig verbunden werden.
Oberflächenerder sind in mindestens 0,5 m Tiefe als geschlossener Ring zu verlegen.

Der Stoßerdungswiderstand von Erdern ist abhängig vom Maximalwert des Blitzstromes und vom spezifischen Erdwiderstand. Siehe dazu auch **Bild 5.5.13**. Die beim Blitzstrom wirksame Erderlänge berechnet sich annäherungsweise wie folgt:

Oberflächenerder:

$$l_{eff} = 0,28\sqrt{\hat{\imath} \cdot \rho_E}$$

Tiefenerder:

$$l_{eff} = 0,2\sqrt{\hat{\imath} \cdot \rho_E}$$

l_{eff} wirksame Erderlänge in m

$\hat{\imath}$ Scheitelwert des Blitzstromes in kA

ρ_E spezifischer Erdwiderstand in Ωm.

Der Stoßerdungswiderstand R_{st} kann nach den Formeln in **Tabelle 5.5.1** errechnet werden, indem für die Länge l die wirksame Erderlänge l_{eff} eingesetzt wird.
Oberflächenerder sind immer dann vorteilhaft, wenn die oberen Schichten des Erdbodens einen kleineren spezifischen Widerstand aufweisen als der Untergrund.

Bei relativ homogenem Erdreich (wenn also der spezifische Erdwiderstand an der Erdoberfläche und in der Tiefe etwa gleich groß ist) liegen die Erstellungskosten für Oberflächen- und Tiefenerder bei gleichem Ausbreitungswiderstand etwa in gleicher Höhe.

Nach **Bild 5.5.15** ist bei einem Tiefenerder etwa nur die Hälfte der Länge eines Oberflächenerders erforderlich.
Weist das Erdreich in der Tiefe eine bessere Leitfähigkeit als an der Oberfläche auf, z. B. durch Grundwasser, so ist ein Tiefenerder in der Regel wirtschaftlicher als der Oberflächenerder.

Die Frage, ob Tiefen- oder Oberflächenerder im Einzelfall wirtschaftlicher sind, kann oft nur durch die Messung des spezifischen Erdwiderstandes in Abhängigkeit von der Tiefe entschieden werden.
Da mit Tiefenerdern ohne Grabarbeiten und Flurschäden bei geringem Montageaufwand sehr gute konstante Ausbreitungswiderstände erreicht werden können, sind diese Erder auch zur Verbesserung bereits bestehender Erdungsanlagen geeignet.

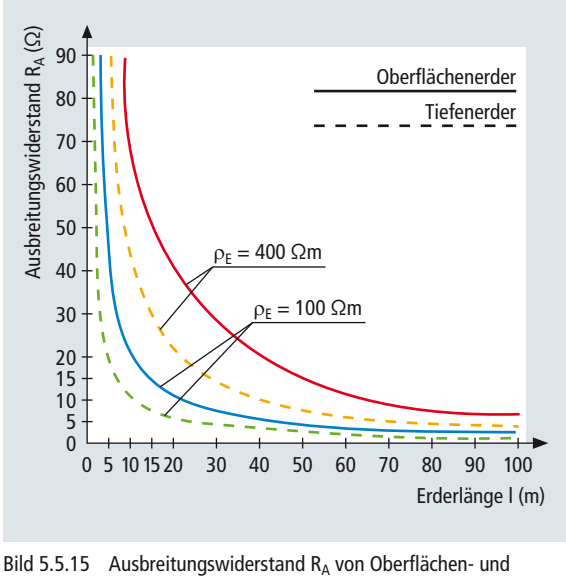


Bild 5.5.15 Ausbreitungswiderstand R_A von Oberflächen- und Tiefenerdern in Abhängigkeit von der Erderlänge l

5.5.1 Erdungsanlagen nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3)

Die Erdungsanlage ist die Fortsetzung der Fangeinrichtungen und Ableitungen zum Einleiten des Blitzstromes in die Erde. Weitere Aufgaben der Erdungsanlage sind der Potentialausgleich zwischen den Ableitungen sowie die Herstellung der Potentialsteuerung in der Nähe der Wände der baulichen Anlage. Es ist zu beachten, dass für die verschiedenen elektrischen Systeme (Blitzschutz, Niederspannungsanlagen und Fernmeldeanlagen) eine gemeinsame Erdungsanlage zu bevorzugen ist. Diese Erdungsanlage muss über die Haupterdungsschiene (HES) mit dem Potentialausgleich verbunden werden.
Da die DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) von dem konsequenten Blitzschutz-Potentialausgleich ausgeht, wird für den Erdausbreitungswiderstand kein besonderer Wert gefordert. Im Allgemeinen wird jedoch ein niedriger Erdwiderstand (≤ 10 Ω, gemessen mit Niederfrequenz) empfohlen.
Die Norm unterscheidet Erderanordnungen nach **Typ A** und **Typ B**.
Für beide Erderanordnungen, Typ A und B, gilt die Mindesterderlänge l_1 der Erdungsleiter in Abhängigkeit von der Schutzklasse (**Bild 5.5.1.1**)
Der genaue spezifische Bodenwiderstand kann nur durch Messung vor Ort mit der „WENNER-Methode" (Vierleiter-Messverfahren) ermittelt werden.

Erder Typ A

Die Erderanordnung Typ A beschreibt einzeln angeordnete Vertikalerder (Tiefenerder) oder horizontale Strahlerder (Oberflächenerder), die jeweils mit einer Ableitung zu verbinden sind.
Die Mindestanzahl der Erder des Typs A sind zwei. Bei einzeln positionierten Fangstangen oder Masten ist ein Erder ausreichend.
Für die Schutzklasse III und IV ist eine Mindesterderlänge von 5 m gefordert. Für die Schutzklasse I und II wird die Länge des Erders in Abhängigkeit des spezifischen Bodenwiderstandes festgelegt. Die Mindesterderlänge l_1 kann dem **Bild 5.5.1.1** entnommen werden. Die Mindesterderlänge jedes Erders beträgt:

l_1 x 0,5 für Vertikal- oder Schrägerder

l_1 für Strahlenerder.

Diese ermittelten Werte gelten für jeden Einzelerder.
Bei Kombinationen der verschiedenen Erder (vertikal und horizontal) sollte die äquivalente Gesamtlänge berücksichtigt werden.
Die Mindesterderlänge kann vernachlässigt werden, wenn ein Erdausbreitungswiderstand kleiner 10 Ω erreicht wird.
Tiefenerder werden im Allgemeinen senkrecht in größere Tiefen eingebracht. Sie werden in gewachsenen Boden eingetrieben, der normalerweise erst unterhalb von Fundamenten anzutreffen ist. Erderlängen von 9 m haben sich als vorteilhaft erwiesen. Tiefenerder haben den Vorteil, dass sie Erdschichten in größeren Tiefen erreichen, deren spezifischer Widerstand in der Regel geringer ist als in oberflächennahen Bereichen.
Es wird empfohlen, den ersten Meter eines Vertikalerders unter Frostbedingung als nicht wirksam zu betrachten.
Die Forderungen an den Potentialausgleich zwischen den Ableitungen und an die Potentialsteuerung erfüllt der Erder Typ A nicht. Einzelerder des Typs A sind untereinander zu verbinden, um eine gleichmäßige Stromaufteilung zu erreichen. Dies ist für die Berechnung des Trennungsabstands s wichtig. Die Verbindung der Erder vom Typ A kann unter- oder oberirdisch erfolgen. Bei der Nachrüstung einer bestehenden Anlage kann die Verbindungsleitung der einzelnen Erder auch durch die Verlegung einer Leitung in der baulichen Anlage realisiert werden.

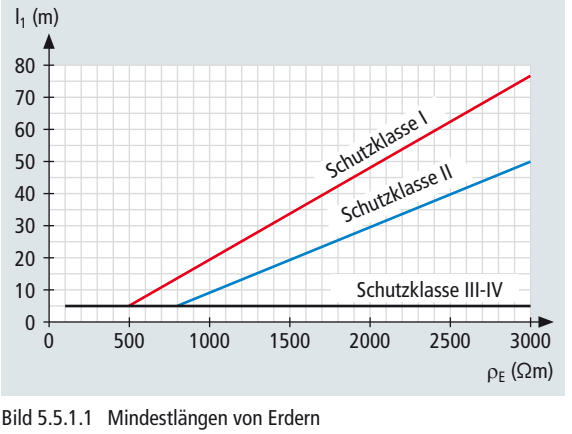


Bild 5.5.1.1 Mindestlängen von Erdern

Erder Typ B

Erder der Anordnung Typ B sind Ringerder um das zu schützende Objekt oder Fundamenterder. Anforderungen an die Erdungsanlage bei Neubauten sind in DIN 18014 beschrieben. Ist ein geschlossener Ring außen um die baulichen Anlage nicht möglich, so ist durch Leitungen im Inneren eine Vervollständigung des Ringes herzustellen. Hierzu können auch Rohrleitungen oder sonstige metallene Bauteile, die elektrisch dauerhaft durchgängig sind, verwendet werden. Mindestens 80 % der Erderlänge muss Kontakt mit der Erde haben, damit bei der Berechnung des Trennungsabstands der Erder Typ B zugrunde gelegt werden kann. Die Mindestlängen der Erder entsprechend der Anordnung Typ B sind abhängig von der Schutzklasse. Bei den Schutzklassen I und II wird die Mindesterderlänge zusätzlich in Abhängigkeit vom spezifischen Bodenwiderstand festgelegt (**Bild 5.5.1.1**).
Bei Erdern vom Typ B darf der mittlere Radius r des vom Erder eingeschlossenen Bereiches nicht weniger als die angegebene Mindestlänge l_1 betragen.

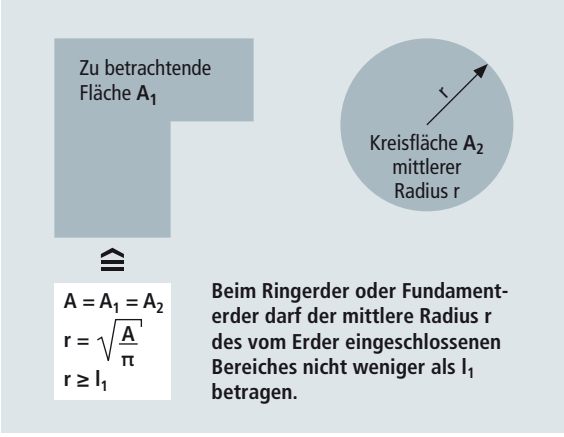


Bild 5.5.1.2 Erder Typ B – Ermittlung des mittleren Radius – Beispielrechnung

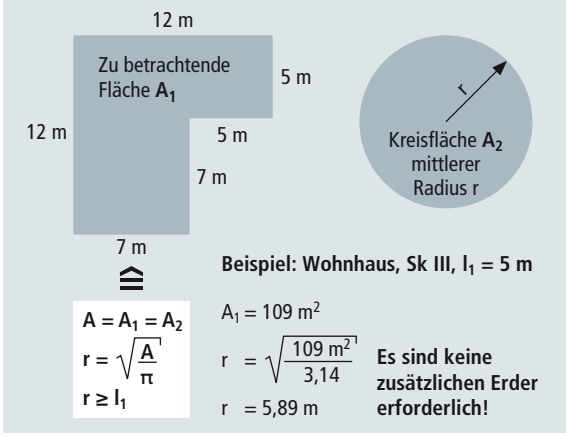


Bild 5.5.1.3 Erder Typ B – Ermittlung des mittleren Radius – Beispielrechnung

Um den mittleren Radius r zu berechnen, wird die zu betrachtende Fläche in eine äquivalente Kreisfläche übertragen und der Radius entsprechend den **Bildern 5.5.1.2 und 5.5.1.3** ermittelt.

Nachfolgend eine beispielhafte Berechung:
Ist der geforderte Wert von l_1 größer als der der baulichen Anlage entsprechende Wert von r, müssen zusätzliche Strahlen- oder Vertikalerder (oder Schrägerder) hinzugefügt werden, deren jeweilige Längen l_r (radial / horizontal) und l_v (vertikal) sich aus den folgenden Gleichungen ergeben:

$$l_r = l_1 - r$$

$$l_v = \frac{l_1 - r}{2}$$

Die Anzahl der zusätzlichen Erder darf nicht kleiner sein als die Anzahl der Ableitungen und muss mindestens 2 betragen. Diese zusätzlichen Erder sollen gleichmäßig auf dem Umfang verteilt mit dem Ringerder verbunden werden.

Sollen weitere Erder an den Fundamenterder angeschlossen werden, ist auf den Werkstoff der Erder und auf den Anschluss an den Fundamenterder zu achten. Hier sollte bevorzugt Edelstahl, z. B. der Werkstoff-Nr. 1.4571, verwendet werden (**Bild 5.5.2.1**).

Zusätzliche Anforderungen an die Erdungsanlage können z. B. folgende Systeme stellen:

- Elektrische Systeme – Abschaltbedingungen der jeweiligen Netzform (TN-, TT-, IT-Systeme) nach der VDE 0100-410
- Potentialausgleich nach der VDE 0100-540
- Elektronische Systeme – Daten-Informationstechnik
- Antennenerdung nach der VDE 0855
- Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
- Trafostation in oder neben der baulichen Anlage unter Beachtung von DIN EN 50522 (VDE 0101-2).

5.5.2 Erdungsanlagen, Fundamenterder und Fundamenterder bei besonderen baulichen Maßnahmen

Fundamenterder – Erder Typ B

In der DIN 18014 „Fundamenterder" sind die Anforderungen an den Fundamenterder bei Neubauten spezifiziert.
Viele nationale wie auch internationale Normen spezifizieren den Fundamenterder als einen bevorzugten Erder, denn bei fachgerechter Installation ist er allseitig mit Beton umschlossen und damit korrosionsbeständig. Durch die hygroskopischen Eigenschaften des Betons ergibt sich in der Regel ein ausreichend geringer Erdausbreitungswiderstand.
Der Fundamenterder muss als geschlossener Ring im Streifenfundament oder in der Bodenplatte verlegt werden (**Bild 5.5.2.1**) und erfüllt damit primär auch die Aufgabe des Funktions-Potentialausgleichs. Die Aufteilung in Maschen ≤ 20 m x 20 m und notwendige Anschlussteile nach außen für den Anschluss von Ableitungen des äußeren Blitzschutzes und nach innen für den Potentialausgleich sind zu berücksichtigen (**Bild 5.5.2.2**). Unter Beachtung von DIN 18014 ist die Errichtung des Fundamenterders eine elektrotechnische Maßnahme und muss von einer anerkannten **Blitzschutz-Fachkraft** oder **Elektrofachkraft** ausgeführt beziehungsweise überwacht werden.

Fundamenterder 1
– Runddraht, Ø 10 mm oder Band 30 x 3,5 mm, St/tZn
– min. 5 cm Betondeckung
– geschlossener Ring
– alle 2 m mittels einer Klemme mit Armierung verbinden 4

Anschlussfahne 2 zur **Haupterdungsschiene** 6 und **Anschlussfahnen** 3 für Äußeren Blitzschutz mit SV-Klemme 5 min. 1,5 m lang, auffällig gekennzeichnet
– Runddraht, NIRO, z. B. Werkstoff-Nr. 1.4571 (V4A), Ø 10 mm
– Band, NIRO, z. B. Werkstoff-Nr. 1.4571 (V4A), 30 x 3,5 mm
– Runddraht, St/tZn, Ø 10 mm mit Kunststoffmantel
– Erdungsfestpunkt

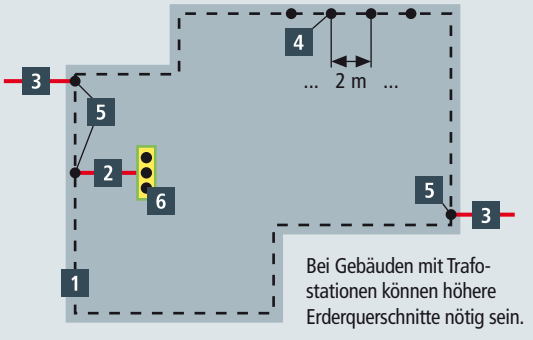


Bild 5.5.2.1 Fundamenterder mit Anschlussfahne

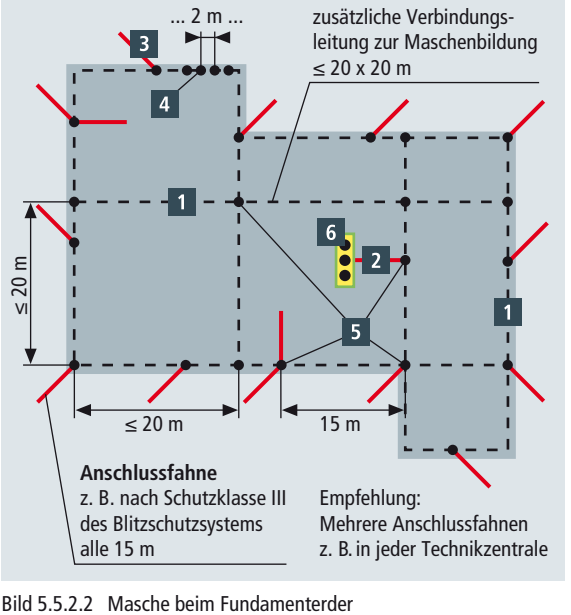


Bild 5.5.2.2 Masche beim Fundamenterder

Die Frage, mit welcher Maßnahme der Fundamenterder verlegt werden soll, ist zu danach zu entscheiden, wie sichergestellt werden kann, dass der Fundamenterder während des Einfüllens allseitig von Beton umschlossen wird.

Verlegung im unbewehrten Beton

In unbewehrten Fundamenten, z. B. Streifenfundamenten von Wohngebäuden (**Bild 5.5.2.3**), müssen Abstandshalter verwendet werden. Nur durch die Verwendung der Abstandshalter im Abstand von ca. 2 m ist sichergestellt, dass der Fundamenterder „hochgehoben" wird und allseitig von Beton (min. 5 cm) umschlossen werden kann, damit der Fundamenterder (St/tZn) korrosionsgeschützt ist.

Verlegung im bewehrten Beton

Der Fundamenterder wird bei geschlossen bewehrten Fundamenten auf der untersten Bewehrungslage installiert. Bei fachgerechter Installation ist der Fundamenterder aus Rund- oder Bandstahl (verzinkt) allseitig mit min. 5 cm Beton umschlossen und damit korrosionsbeständig. Durch die hygroskopischen Eigenschaften des Betons ergibt sich in der Regel ein ausreichend geringer Erdausbreitungswiderstand.

Bei Verwendung von Stahlmatten, Armierungskörben oder Armierungseisen in Fundamenten ist der Fundamenterder mit diesen natürlichen Eisenkomponenten alle 2 m durch eine Klemmen oder Schweißen zu verbinden. Die Funktion des Fundamenterders wird dadurch verbessert.
Durch die modernen Methoden des Einbringens von Beton in bewehrten Betonfundamenten mit anschließendem Rütteln/Verdichten ist sichergestellt, dass der Beton auch bei einer waagrechten Installation des Flachbandes „fließt" und es allseitig umschließt, sodass die Korrosionsbeständigkeit gegeben ist. Eine Hochkant-Verlegung des Flachbandes ist somit beim maschinellen Verdichten des Betons nicht notwendig.

Bild 5.5.2.3 Fundamenterder

Bild 5.5.2.4 Anwendung Fundamenterder

Bild 5.5.2.5 Erdungsfestpunkt

Bild 5.5.2.6 Fundamenterder mit Maschen

Bild 5.5.2.4 zeigt ein Anwendungsbeispiel für die waagerechte Verlegung eines Flachbandes als Fundamenterder. Die Kreuzungspunkte des Fundamenterders müssen stromtragfähig verbunden sein. Als Material für Fundamenterder ist verzinkter Stahl ausreichend.

Anschlussfahnen nach außen ins Erdreich müssen an der Austrittstelle zusätzlich korrosionsgeschützt werden. Geeignet sind z. B. Stahldraht mit Kunststoffmantel (wegen der Bruchgefahr des Kunststoffmantels bei tiefen Temperaturen ist besondere Montagesorgfalt notwendig), hochlegierter Edelstahl, z. B. Werkstoff-Nr. 1.4571, oder Erdungsfestpunkte (**Bild 5.5.2.5**).

Bei der Ausführung des Fundamenterders sind Maschen von nicht größer 20 m x 20 m zu realisieren. Diese Maschenweite steht in keinen Zusammenhang mit der Schutzklasse des äußeren Blitzschutzes (**Bild 5.5.2.6**).

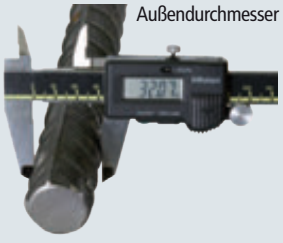
In der heutigen Bautechnik werden die verschiedenartigen Fundamente in den unterschiedlichsten Ausführungsformen und Abdichtungsvarianten errichtet.
Auf die Ausführungen der Streifenfundamente und der Fundamentplatten haben die Wärmeschutzverordnungen ebenfalls Einfluss genommen.
In Bezug auf die Fundamenterder, die bei Neubauten auf der Basis der DIN 18014 errichtet werden, hat die Abdichtung / Isolierung eine Auswirkung auf deren Einbringung und Anordnung.

Verbindungsklemmen für Bewehrungen

Der Fundamenterder muss alle 2 m mit der Bewehrung der Fundamentplatte verbunden werden. Für diese Verbindungen gibt es unterschiedliche Möglichkeiten.
Die Klemmverbindung hat sich dabei als die wirtschaftlichste Verbindungsart herausgestellt, denn sie kann einfach und schnell vor Ort erstellt werden. Zudem sind entsprechend der aktuellen Blitzschutznormung u. a. Bewehrungsstähle als natürliche Bestandteile der Ableiteinrichtung zu verwenden. Die Verbindungen der Bestandteile des Fundamenterders sind dauerhaft elektrisch leitend und mechanisch fest auszuführen. Sie werden rationell mittels Schraubverbindungen nach DIN EN 50164-1 (VDE 0185-201) „Blitzschutzbauteile Teil 1: Anforderungen für Verbindungsbauteile" hergestellt. Weitere Informationen dazu finden Sie im Kapitel 5.8 dieses Buches.

Bild 5.5.2.7 zeigt eine Übersicht der Nenn- und Außendurchmesser sowie der Querschnitte der Bewehrungsstähle.
Für die Auswahl der Verbindungsbauteile / Klemmen ist der Außendurchmesser der Bewehrungsstähle maßgeblich.

Der Außendurchmesser über die Rippen beträgt ca.
d_A = 1,15 x d_S



Nenndurchmesser d_s (mm)	6	8	10	12	14	16	20	25	28	32	40
Außendurchmesser über die Rippen d_A (mm)	6,9	9,2	11,5	13,8	16,1	18,4	23	29	32	37	46
Nennquerschnitt (mm^2)	28,3	50,3	78,5	113,1	154	201	314	491	616	804	1257

Bild 5.5.2.7 Durchmesser von Bewehrungsstählen

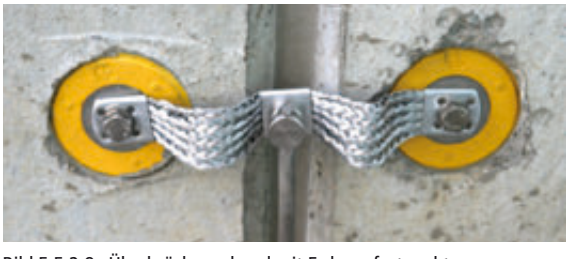


Bild 5.5.2.8 Überbrückungsband mit Erdungsfestpunkten

Bewegungsfugen

Der Fundamenterder kann nicht über Bewegungsfugen verlegt werden. Er kann an diesen Stellen in der Nähe von Wänden herausgeführt und z. B. bei Betonwänden mittels Erdungsfestpunkten und Überbrückungsbändern verbunden werden (**Bild 5.5.2.8**).

Bei größeren Abmessungen der Fundamentplatte müssen die verlegten Maschen des Fundamenterders auch durch diese Bewegungsfugen (Abschnitte oder Trennfugen) ohne notwendiges Herausführen geführt werden. Hier können spezielle Dehnungsbänder eingesetzt werden, die Aussparungen im Beton mittels Styroporblock und integrierter beweglicher Verbindung erzeugen.
Das Dehnungsband wird in die Fundamentplatte so einbetoniert, dass sich der Styroporblock in einem Abschnitt befindet und das andere Ende lose im nächsten Abschnitt weitergeführt werden kann (**Bild 5.5.2.9**).

Folien bei Fundamentplatten

Häufig werden auf die Sauberkeitsschicht Folien aus Polyethylen mit einer Dicke von ca. 0,3 mm als Trennlage gelegt (**Bild 5.5.2.10**).
Diese Folien werden nur gering überlappend verlegt und stellen keine Abdichtung gegen Wasser dar.

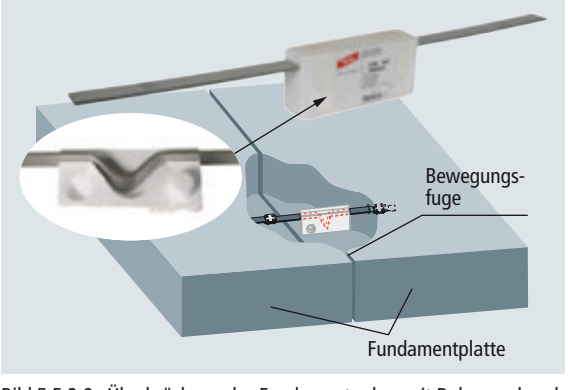


Bild 5.5.2.9 Überbrückung des Fundamenterders mit Dehnungsband

Bild 5.5.2.10 Folie bei Fundamentplatten

Sie haben in der Regel nur einen geringen Einfluss auf den Erdausbreitungswiderstand und können daher vernachlässigt werden. Der Fundamenterder kann somit im Beton der Fundamentplatte verlegt werden.

Bild 5.5.2.11 Einsatz von Noppenbahnen

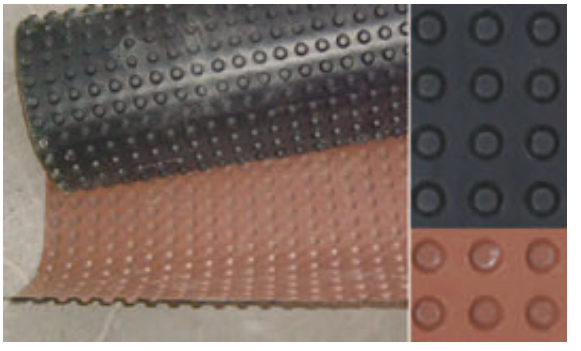


Bild 5.5.2.12 Noppenbahn

Noppenbahnen

Noppenbahnen werden als Ersatz der Sauberkeitsschicht für Fundamentplatten eingesetzt und umschließen häufig den gesamten Keller (**Bild 5.5.2.11**).

Diese Noppenbahnen werden aus Spezial-Polyethylen hoher Dichte und einer Dicke von ca. 0,6 mm (Noppenhöhe ca. 8 mm) hergestellt (**Bild 5.5.2.12**). Die einzelnen Bahnen haben eine Breite von ca. 2–4 m, werden überlappend verlegt (ca. 20–25 cm) und können auch abdichtend gegen Wasser wirken. Bedingt dadurch kann der Fundamenterder nicht wirksam in der Fundamentplatte verlegt werden.

Der Erder wird daher außerhalb des Fundaments als Ringerder mit der entsprechen Maschenweite unterhalb der Noppenbahnen im Erdreich verlegt. Hierfür ist der Werkstoff NIRO (V4A), z. B. Werkstoff-Nummer 1.4571, zu verwenden.

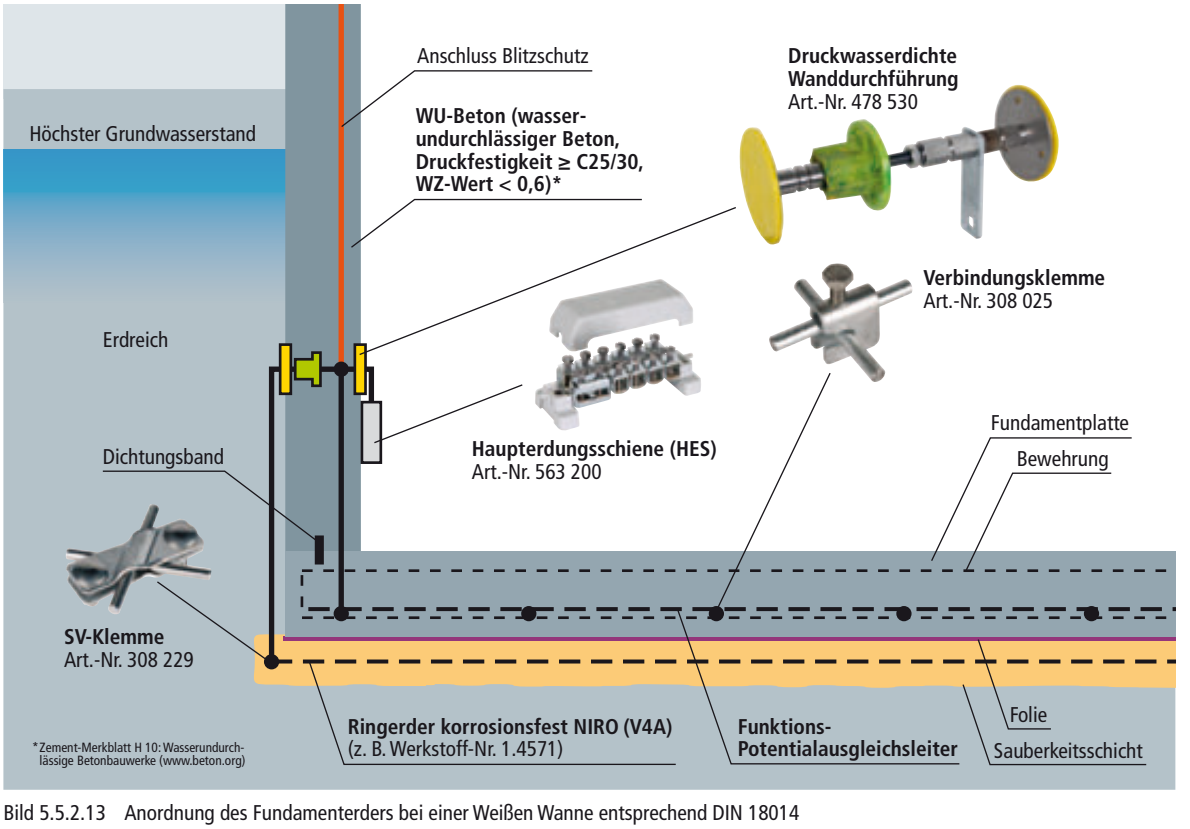


Bild 5.5.2.13 Anordnung des Fundamenterders bei einer Weißen Wanne entsprechend DIN 18014

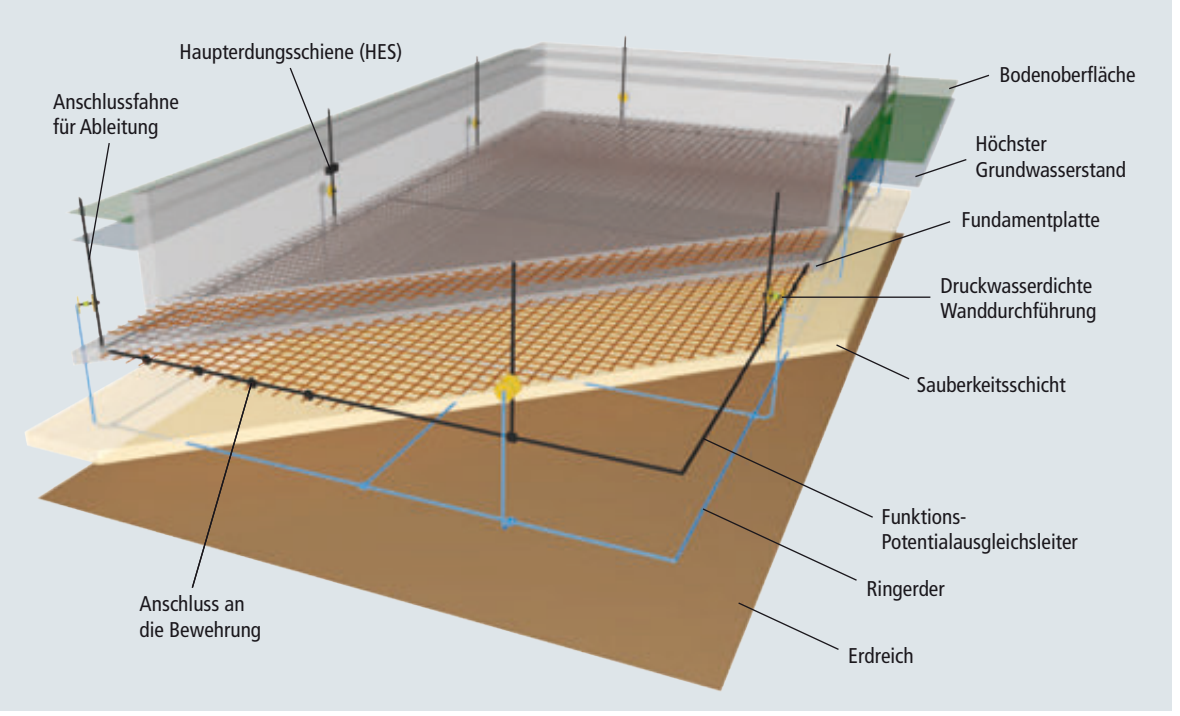


Bild 5.5.2.14 Räumliche Darstellung von Ringerder, Funktions-Potentialausgleichsleiter und Verbindungen mittels druckwasserdichter Wanddurchführungen

Fundamente mit erhöhtem Erdübergangswiderstand

Weiße Wanne aus Wasserundurchlässigem (WU) Beton

Wasserundurchlässiger Beton (WU-Beton) ist eine Betonart mit hohem Wassereindringungswiderstand. Geschlossene Wannen im Tiefbau aus WU-Beton werden umgangssprachlich auch „Weiße Wannen" genannt.

Bauwerke aus Beton mit hohem Wassereindringwiderstand sind Konstruktionen, die ohne zusätzliche äußere, flächige Abdichtung erstellt werden und allein aufgrund des Betons und konstruktiver Maßnahmen wie Fugenabdichtung und Rissbreitenbegrenzung einen Wasserdurchtritt in flüssiger Form verhindern. Bei der Errichtung dieser WU-Bauwerke ist besondere Sorgfalt notwendig, da alle Bestandteile des Bauwerks, wie z. B. Fugenabdichtungen, Einführungen für Wasser, Gas, Strom, Telefon (in Form von Mehrspartenhauseinführungen), Abwasserleitungen, sonstige Kabel oder Leitungen, Anschlüsse für den Fundamenterder oder Potentialausgleich, dauerhaft wasserdicht oder druckwasserdicht ausgeführt werden müssen. Der Errichter steht für die Wasserdichtheit des Bauwerks in der Verantwortung.

Der Begriff „WU-Beton" ist durch die aktuelle Normung im Bereich der Betonherstellung nicht definiert. In der Praxis wird dafür üblicherweise Beton mit einer Betongüte von z. B. C20/25 verwendet (Druckfestigkeit Zylinder/Würfel in N/mm^2).
Ausschlaggebend für die Wasserundurchlässigkeit von Betonmischungen ist der Zementanteil. Dieser liegt bei 1 m^3 WU-Beton bei mindestens 320 kg Zement (mit niedriger Hydratationswärme). Wichtig sind auch ein geringes Schwindmaß des Betons und die empfohlene Mindestbetondruckfestigkeit C25/30. Ein weiterer wichtiger Wert ist der sogenannte Wasser-Zement-Wert (WZ-Wert), der unter 0,6 liegen muss.

Im Gegensatz zu früheren Jahren ist das Eindringen von Feuchtigkeit im Bereich von einigen Zentimetern in die Weiße Wanne nicht mehr gegeben. Heute kann der verwendete Beton mit einem hohen Wassereindringwiderstand nur noch im Bereich von ca. 1,5 cm Wasser aufnehmen. Da der Fundamenterder aber von min. 5 cm Beton umschlossen sein muss (Korrosion), ist der Beton nach dem Eindringbereich des Wassers als elektrischer Isolator zu betrachten. Somit ist keine Erdfühligkeit mehr gegeben.
Aus diesem Grund ist bei Gebäuden mit Weißer Wanne ein Ringerder unterhalb der Fundamentplatte in der Sauberkeitsschicht

oder im Erdreich mit einer Maschenweite von ≤ 20 m x 20 m zu verlegen. Wird ein Blitzschutzsystem gefordert, verringert sich die Maschenweite auf ≤ 10 m x 10 m. Durch die Maßnahme der reduzierten Maschenweite soll beim Blitzeinschlag ein möglicher Durchschlag zwischen dem Funktions-Potentialausgleichsleiter / Bewehrung und der Abdichtung (Beton) auf den darunter installierten Ringerder verhindert werden.
Zusätzlich ist in der Fundamentplatte ein Funktions-Potentialausgleichsleiter mit der Maschenweite ≤ 20 m x 20 m nach DIN 18014 zu errichten. Die Ausführung ist identisch mit der Ausführung beim Fundamenterder.

Der Ringerder muss mit dem einbetonierten Funktions-Potentialausgleichsleiter alle 20 m (Gebäudeumfang) oder beim Vorhandensein eines äußeren Blitzschutzes mit jeder Ableitung des Blitzschutzsystems verbunden werden, um als kombinierte Potentialausgleichsanlage entsprechend DIN VDE 0100-444 zu wirken. Diese Verbindungen können oberhalb des Grundwasserspiegels oder unterhalb mit druckwasserdichten Durchführungen hergestellt werden.
Die Anordnung des Ringerders und des Funktions-Potentialausgleichsleiters in einer Weißen Wanne zeigen die **Bilder 5.5.2.13 und 5.5.2.14**.

Wasserdichte Wanddurchführung

Der elektrische Anschluss an den Ringerder ist wasserundurchlässig auszuführen. Bei der Entwicklung der wasserdichten Wanddurchführung wurden die Anforderungen, die z. B. an Weiße Wannen gestellt werden, auch auf das genannte Produkt übertragen. So wurde bei der Entwicklung explizit darauf geachtet, dass möglichst reale Bauteileanforderungen abgebildet werden. Die Prüflinge wurden in einem Betonkörper einbetoniert (**Bild 5.5.2.15**) und anschließend einer Druckwasserprüfung unterzogen. In der regulären Bautechnik sind Einbausituationen bis zu einer Tiefe von 10 m üblich (z. B. bei Tiefgaragen).
Diese Einbausituation wurde auf die Prüflinge übertragen, indem sie mit einem Wasserdruck von 1 bar beaufschlagt wurden (**Bild 5.5.2.16**). Nach dem Aushärtevorgang des verwendeten Betons erfolgte die Prüfung mit Wasserdruck. Mittels einer Langzeitprüfung über 65 Stunden wurde die Wasserdichtheit kontrolliert.
Einen erhöhten Schwierigkeitsgrad bei Wanddurchführungen stellt die Kapillarwirkung dar. Darunter ist zu verstehen, dass sich Flüssigkeiten (z. B. Wasser) in engen Spalten oder Röhren des Betons verschieden gut ausbreiten und sich somit förmlich in das Gebäudeinnere ziehen oder saugen. Diese möglichen engen Spalten oder Röhren können durch den Aushärtevorgang und dem damit verbundenen Schwundverhalten des Betons verursacht werden.
Auch während des Einbaus der Wanddurchführung in die Schalung ist es deshalb wichtig, fachgerecht und korrekt zu arbeiten. Dies ist im Detail in der zugehörigen Montageanleitung beschrieben.

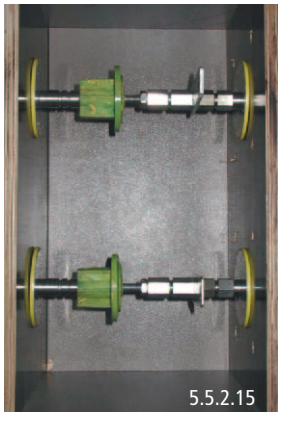


Bild 5.5.2.15 Wanddurchführung mit Schalungseinbau
Bild 5.5.2.16 Prüfaufbau (Schnittbild) mit Anschluss für die Druckwasserprüfung

Bild 5.5.2.17 Wasserdichte Wanddurchführung

Bild 5.5.2.18 Bitumenbahnen als Abdichtung

Wasserdichte Wanddurchführung für Weiße Wanne, z. B. Art.-Nr. 478 550 (**Bild 5.5.2.17)**:

- Ausführung für den Schalungseinbau mit Wassersperre und beidseitigem Doppelgewinde M10/12 zum Anschluss z. B. an den Ringerder und an die Potentialausgleichsschiene.
- Verstellbar je nach Wandstärke mit Gewinde M10 und Kontermutter. Die Durchführung kann gegebenenfalls auch am Gewinde gekürzt werden.
- Geprüft mit Druckluft 5 bar nach DIN EN 50164-5.

Schwarze Wanne

Der Name „Schwarze Wanne" ergibt sich aus der außen im Erdreich auf das Gebäude aufgebrachten mehrlagigen, schwarzen Bitumenbeschichtung zur Abdichtung des Gebäudes. Der Gebäudekörper wird mit Bitumen-/Teermasse angestrichen, auf die dann in der Regel bis zu drei Lagen Bitumenbahnen aufgebracht werden (**Bild 5.5.2.18**). Verwendet wird heute auch eine kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtung (KMB).

Durch die hohen Isolierwerte der eingesetzten Materialien ist die Erdfühligkeit eines Fundamenterders nicht gewährleistet.

Hier ist wieder der Einsatz des Ringerders in Verbindung mit einem Funktions-Potentialausgleichsleiter (Ausführung wie bei Weißer Wanne) erforderlich.

Das Einführen des äußeren Ringerders in das Gebäudeinnere sollte nach Möglichkeit oberhalb der Gebäudeabdichtung erfolgen, also über dem höchsten Grundwasserstand, um auch langfristig eine dichte Gebäudewanne sicherzustellen (**Bild 5.5.2.19**). Eine druckwasserdichte Durchdringung ist nur mit speziellen Bauteilen möglich.

Perimeterdämmung

In der heutigen Bautechnik werden die verschiedenartigen Fundamente in den unterschiedlichsten Ausführungsformen und Abdichtungsvarianten errichtet.

Auf die Ausführungen der Streifenfundamente und der Fundamentplatten haben die Wärmeschutzverordnungen ebenfalls Einfluss genommen. In Bezug auf die Fundamenterder, die bei Neubauten auf der Basis der DIN 18014 errichtet werden, hat die Abdichtung/Isolierung eine Auswirkung auf deren Einbringung und Anordnung.

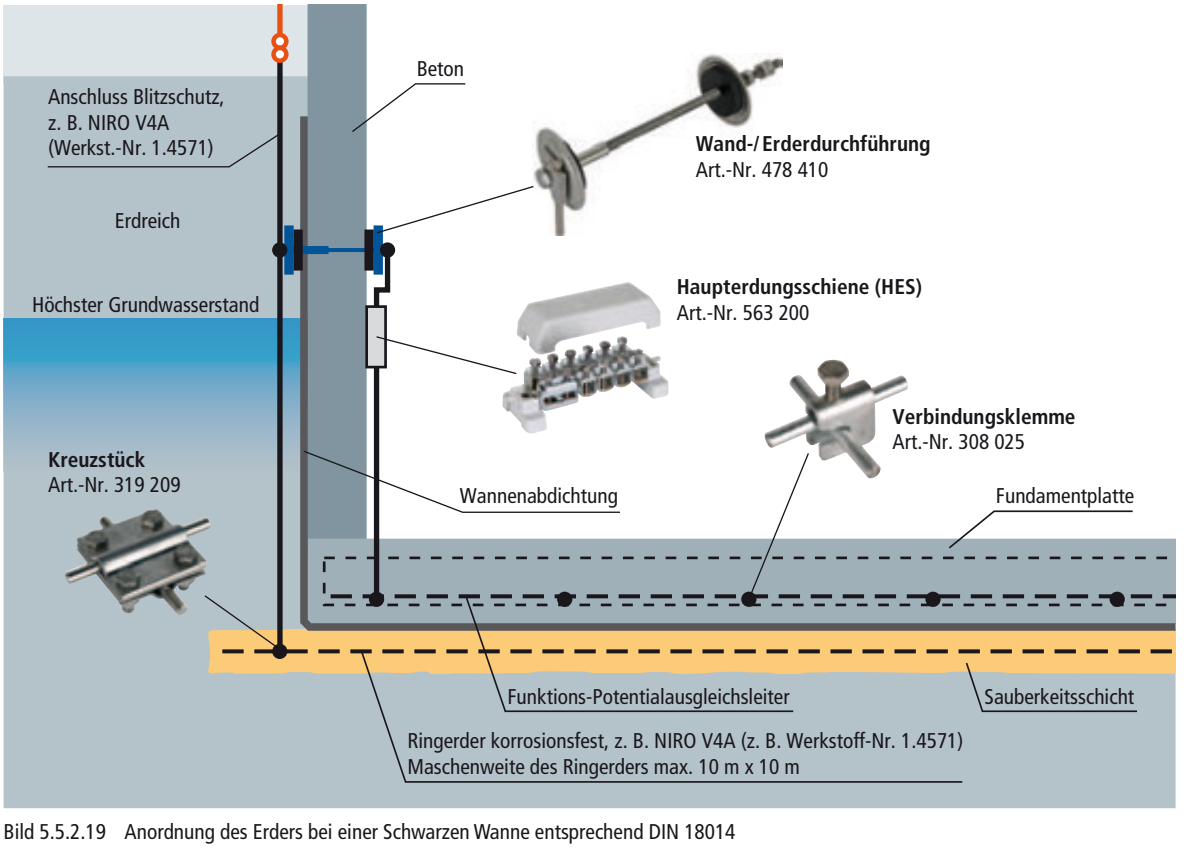


Bild 5.5.2.19 Anordnung des Erders bei einer Schwarzen Wanne entsprechend DIN 18014

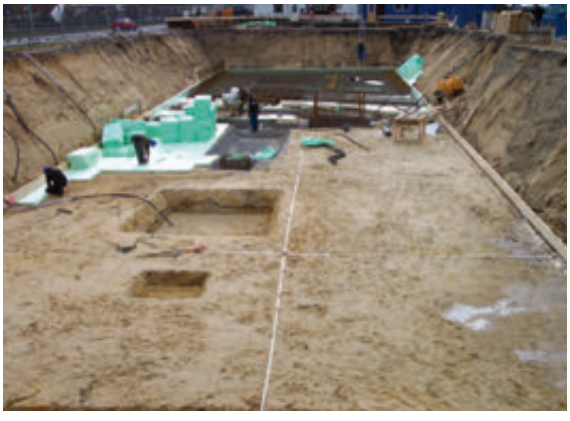


Bild 5.5.2.20 Ringerder bei Perimeterdämmung; Quelle: Fa. Mauermann

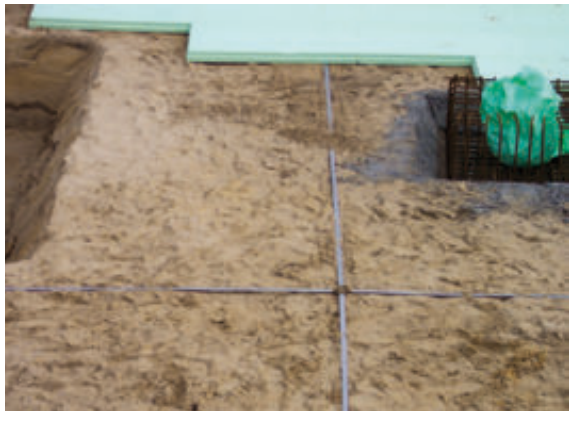


Bild 5.5.2.21 Detailbild Ringerder; Quelle: Fa. Mauermann

Mit „Perimeter" wird der erdberührte Wand- und Bodenbereich eines Gebäudes bezeichnet. Die Perimeterdämmung ist die Wärmedämmung, die das Bauwerk von außen umschließt. Die außen auf der Abdichtungsschicht liegende Perimeterdämmung kann den Baukörper wärmebrückenfrei umschließen und bildet einen zusätzlichen Schutz der Abdichtung gegen mechanische Beschädigung (**Bild 5.5.2.20** und **5.5.2.21**).

Eine entscheidende Größe bei der Betrachtung der Auswirkungen von Perimeterdämmungen auf den Ausbreitungswider-

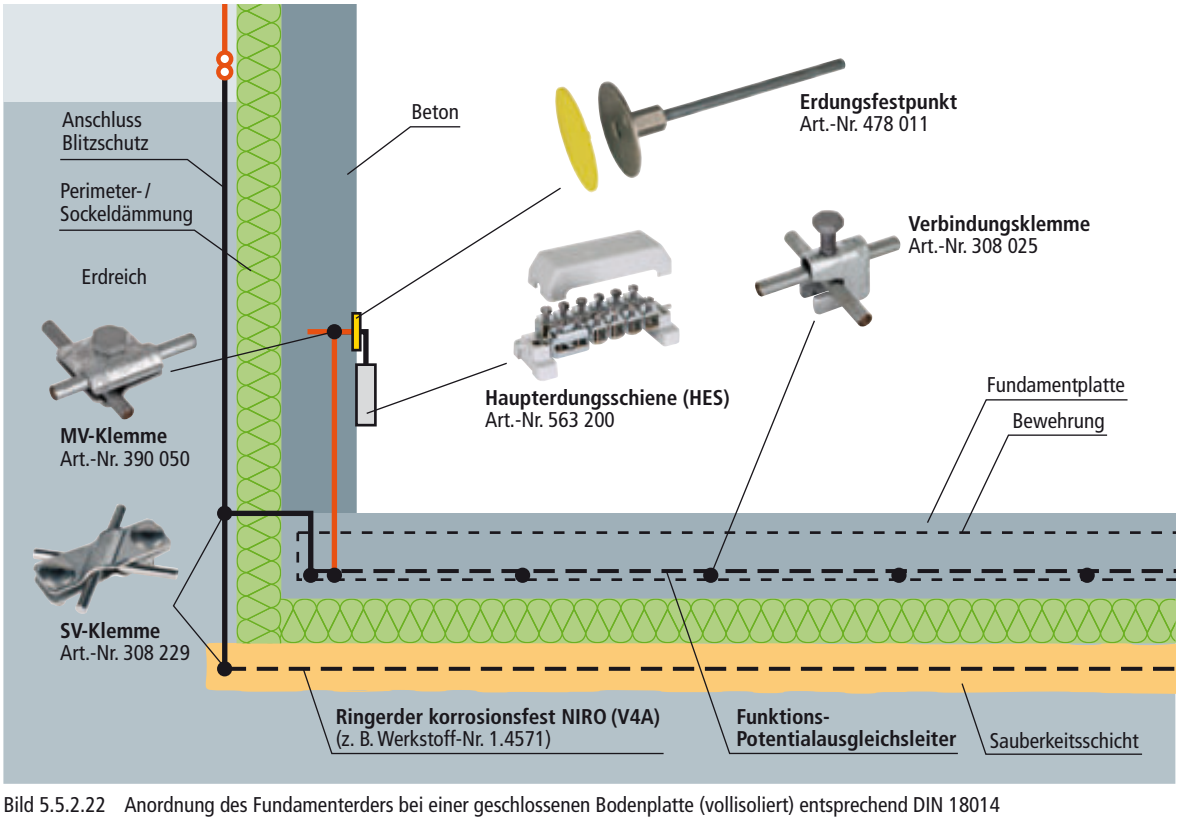


Bild 5.5.2.22 Anordnung des Fundamenterders bei einer geschlossenen Bodenplatte (vollisoliert) entsprechend DIN 18014

Bild 5.5.2.23 Perimeterdämmung: Einbringen von Glasschaumgranulat; Quelle: TECHNOpor Handels GmbH

Bild 5.5.2.24 Fundamenterder bei Einzelfundamenten mit Anschlussfahne; Quelle: Wettingfeld, Krefeld

stand von Fundamenterdern, bei herkömmlicher Anordnung in der Fundamentplatte, stellt der spezifische Widerstand der Perimeterdämmplatten dar. So wird z. B. für einen Polyurethan-Hartschaum mit der Rohdichte 30 kg/m^3 ein spezifischer Widerstand von 5,4 · 10^{12} Ωm angegeben. Demgegenüber liegt der spezifische Widerstand von Beton zwischen 150 Ωm und 500 Ωm. Allein hieraus lässt sich ableiten, dass bei lückenloser Perimeterdämmung ein herkömmlich im Fundament angeordneter Fundamenterder praktisch keine Wirkung hat. Die Perimeterdämmung wirkt demnach als elektrischer Isolator.

Bei einer gesamten Dämmung der Fundamentplatte und der Außenwände (Vollperimeterdämmung) ist der Ringerder unterhalb der Fundamentplatte in der Sauberkeitsschicht oder im Erdreich mit der entsprechenden Masche einzubringen. Hierbei muss ein korrosionsbeständiger Erderwerkstoff aus NIRO (V4A), z. B. Werkstoff-Nr. 1.4571, verwendet werden (**Bild 5.5.2.22**). Auch hierbei wird, wie bei der Weißen Wanne, der Funktions-Potentialausgleichsleiter gefordert.

Kapillarbrechende, schlecht leitende Bodenschichten z. B. aus Recyclingmaterial

Als Alternative zur Vollperimeterdämmung werden heute zudem Recyclingmaterialien eingesetzt, wie z. B. Glasschotter oder andere kapillarbrechende Werkstoffe (**Bild 5.5.2.23**). Dies stellt eine ökologische Alternative zu den üblichen, aus Erdöl hergestellten Polyurethan-Schaumplatten dar und erfüllt zugleich die Aufgabe der sogenannten Sauberkeitsschicht (Planum).

Üblicherweise wird diese Art der Perimeterdämmungen unterhalb der Bodenplatte sowie seitlich an der Kellerwand angewendet. Neben dem wärmedämmenden Eigenschaften bringt dieser Glasschaum noch die Vorteile mit sich, dass er dränierend, kapillarbrechend sowie lastabtragend und vor allen Dingen im Vergleich zu Schotter leicht zu transportieren ist. Bevor der Glasschaumschotter in die Baugrube eingebracht werden kann, wird diese z. B. mit Geotextilien ausgelegt.

Um bei dieser Art der Perimeterdämmungen eine normenkonforme Erdungsanlage errichten zu können, muss der Ringerder unterhalb des gesamten Aufbaues (Glasschaumschotter und Geotextil) erdfüllig eingebracht werden. Die Installation des Erders erfolgt somit, im Vergleich mit den üblichen Aufbauten, zeitlich früher. Es muss der ausführenden Firma also bewusst sein, dass die Erderinstallation frühzeitiger in der Planung, nämlich unmittelbar nach dem Aushub der Baugrube, erfolgen muss. Der hierzu verwendende Werkstoff ist NIRO (V4A), z. B. mit der Werkstoffnummer 1.4571, für den Rund- oder Flachleiter sowie für die notwendigen Klemmen und Verbinder, die direkt ins Erdreich eingebracht werden. Auch hier ist der Funktions-Potentialausgleichsleiter im Fundament zu installieren (s. Weiße Wanne).

Einzelfundamente / Punktfundamente

Im Industriebau werden häufig Einzelfundamente, auch als Punktfundamente bezeichnet, errichtet. Diese Einzelfundamente dienen als Gründung, z. B. für Stahlstützen oder Betonträger von Hallen. Eine geschlossene Fundamentplatte wird nicht errichtet. Auch diese Bauwerke benötigen eine funktionsfähige Erdungsanlage. Deshalb sind in diesen Einzelfundamenten ebenfalls Erdungsmaßnahmen notwendig.

Der Fundamenterder aus Rund- oder Flachstahl (verzinkt) muss innerhalb der Einzelfundamente eine Länge von min. 2,5 m aufweisen und mit min. 5 cm Beton umschlossen sein (**Bild 5.5.2.24**).

Bild 5.5.2.25 Anwendung Abstandshalter mit Kreuzstück

Diese „einzelnen Erdungsanlagen" müssen untereinander verbunden werden, damit keine Potentialdifferenzen innerhalb der Erdungsanlage entstehen. Die Verbindung sollte auf dem untersten Geschoss erfolgen sowie vorzugsweise erdfühlig ausgeführt werden; und sowohl die Verbindungsleitungen als auch die Anschlüsse aus dem Einzelfundament sind korrosionsbeständig aus NIRO (V4A) auszuführen.

Werden diese Einzelfundamente z. B. aus Beton mit hohem Wassereindringwiderstand (WU-Beton) errichtet, ist ein Ringerder aus NIRO (V4A) mit einer Maschenweite ≤ 20 m x 20 m im Erdreich zu verlegen.

Streifenfundamente ohne Bewehrung

In unbewehrten Fundamenten, wie z. B. in Streifenfundamenten von Wohngebäuden, müssen Abstandshalter verwendet werden. Nur durch den Einsatz der Abstandshalter im Abstand von ca. 2 m ist sichergestellt, dass der Fundamenterder „hochgehoben" wird und allseitig mindestens 5 cm von Beton umschlossen werden kann (**Bild 5.5.2.25** und **5.5.2.26**).
Wird dieser Beton maschinell verdichtet (gerüttelt), ist der Einsatz eines Keilverbinders nicht zulässig. Kann infolge des hochverdichteten Untergrunds (Mineralbeton mit Steinen usw.) kein Abstandshalter eingesetzt werden, so besteht nur die Möglichkeit, den Fundamenterder direkt auf den Untergrund zu legen und dabei den Werkstoff NIRO (V4A) zu verwenden.

Streifenfundamente mit Bewehrung

Bei Streifenfundamenten mit Bewehrung wird der Fundamenterder als geschlossener Ring im Beton verlegt. Die Bewehrung

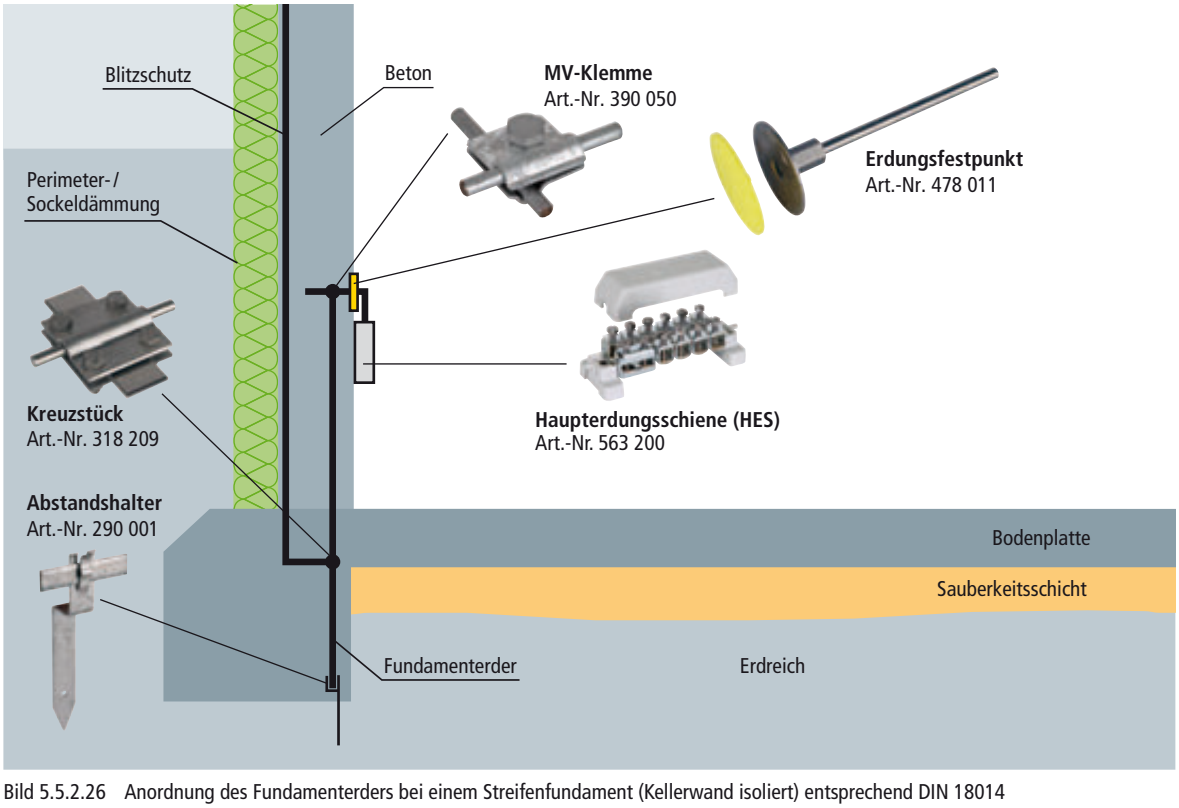


Bild 5.5.2.26 Anordnung des Fundamenterders bei einem Streifenfundament (Kellerwand isoliert) entsprechend DIN 18014

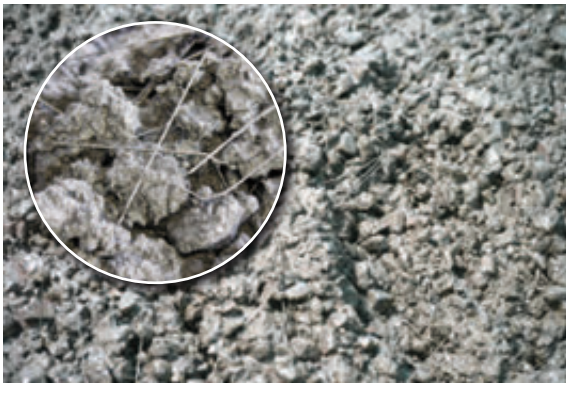


Bild 5.5.2.27 Frischbeton mit Stahlfasern

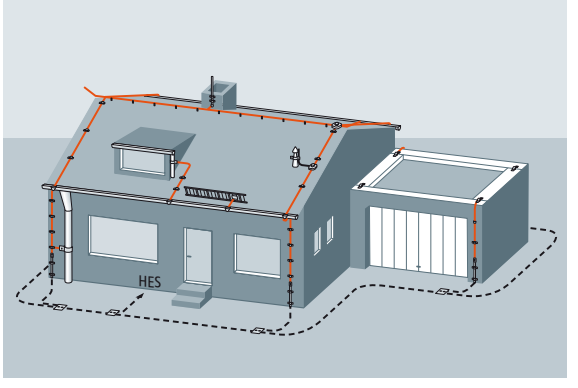


Bild 5.5.3.1 Ringerder um ein Wohnhaus

wird ebenfalls mit einbezogen und dauerhaft elektrisch leitend verbunden. Bedingt durch eine mögliche Korrosion ist zu beachten, dass der Fundamenterder 5 cm von Beton umschlossen sein muss. Für die Ausführung der Anschlüsse/Anschlussfahnen gilt die vorher beschriebene Forderung nach dem Werkstoff NIRO (V4A).

Stahlfaserbeton

Bei Stahlfaserbeton handelt es sich um einen Baustoff, der durch Einmischen von Stahlfasern in den Frischbeton hergestellt wird. Im Gegensatz zu Beton ohne Fasern kann Stahlfaserbeton innerhalb gewisser Grenzen auch auf Zug belastet werden (Nachrisszugfestigkeit), sodass die sonst üblicherweise verwendete Betonstahlbewehrung in vielen Fällen vollständig ersetzt werden kann. Stahlfaserbeton wird vor Ort direkt geschüttet oder gepumpt.

Hauptanwendungsgebiet in Deutschland sind der Industrie- und Wohnungsbau. Die dort eingesetzten Stahlfasern haben in der Regel eine Länge von 50 – 60 mm sowie einem Durchmesser von 0,75 – 1,00 mm. Die am häufigsten verwendeten Stahlfasern sind gerade und mit Endhaken versehen oder gewellt (**Bild 5.5.2.27**). Der erforderliche Anteil der Stahlfasern hängt sowohl von der Beanspruchung der Bodenplatte als auch von der Leistungsfähigkeit der verwendeten Stahlfasern ab. Grundlage für die Wahl der erforderlichen Faserart und -menge ist eine statische Berechnung.

Da Stahlfasern die elektrische Leitfähigkeit von Beton nur unwesentlich beeinflussen, muss für Erdungsmaßnahmen bei reinen Stahlfaserbetonplatten ein Erder mit einem Maschennetz ≤ 20 m x 20 m aufgebaut werden. Der Erdleiter kann in den Beton eingebracht werden und muss aus Korrosionsschutzgründen allseitig 5 cm vom Beton umschlossen sein, wenn er aus verzinktem Werkstoff besteht. Dies ist vor Ort in der Regel nicht realisierbar. Es empfiehlt sich daher, unterhalb der späteren Fundamentplatten einen korrosionsbeständigen Ringerder aus Edelstahl NIRO (V4A), z. B. Werkstoff-Nr. 1.4571, zu verlegen. Die entsprechenden Anschlussfahnen sind zu berücksichtigen.

5.5.3 Ringerder – Erder Typ B

Die Erdungsanlage bei bestehenden Bauten kann als Ringerder ausgeführt werden (**Bild 5.5.3.1**). Dieser Erder muss in einem geschlossenen Ring um das Gebäude errichtet werden oder es muss, wenn dies nicht möglich ist, eine Verbindung zum Schließen des Ringes im Inneren des Gebäudes erstellt werden. 80 % der Leitungen des Erders müssen erdfühlig verlegt sein. Können diese 80 % nicht erreicht werden, ist zu prüfen, ob zusätzliche Erder vom Typ A erforderlich sind.

Die Anforderungen an die Mindesterderlänge sind je nach Schutzklasse zu beachten (s. Kapitel 5.5.1). Bei der Verlegung des Ringerders ist ebenfalls darauf zu achten, dass er in einer Tiefe von > 0,5 m und in einer Entfernung von 1 m zum Gebäude verlegt wird. Wird der Erder wie vorher beschrieben eingebracht, reduziert er die Schrittspannung und dient auch als Potentialsteuerung um das Gebäude.

Der Ringerder sollte in gewachsenem Boden verlegt werden. Durch die Einbringung in aufgeschüttetem oder mit Bauschutt aufgefülltem Erdreich wird der Erdausbreitungswiderstand verschlechtert.

Bei der Auswahl des Erderwerkstoffes hinsichtlich der Korrosion sind die örtlichen Gegebenheiten zu berücksichtigen. Vorteilhaft ist der Einsatz von Edelstahl. Dieser Erderwerkstoff korrodiert nicht und erfordert später keine aufwändigen und teueren Sanierungsmaßnahmen der Erdungsanlage, wie das Entfernen von Pflaster, Teerdecken oder auch Treppen, um neues Erdermaterial zu verlegen.

Weiterhin sind die Anschlussfahnen besonders gegen Korrosion zu schützen.

5.5.4 Tiefenerder – Erder Typ A

Die zusammensetzbaren Tiefenerder, System DEHN, werden aus Sonderstahl gefertigt und im Vollbad feuerverzinkt oder bestehen aus hochlegiertem Edelstahl NIRO (V4A), z. B. mit der Werkstoff-Nr. 1.4571. Das besondere Kennzeichen dieser Tiefenerder ist ihre selbstschließende Kupplungsstelle, die eine Verbindung der Erderstäbe ohne Durchmesser-Vergrößerung ermöglicht.

Jeder Stab besitzt am unteren Ende eine Bohrung, während das andere Stangenende einen entsprechenden Zapfen aufweist (**Bild 5.5.4.1**). Diese Konstruktion hat den Vorteil, dass während des Eintreibvorganges diese Verbindung mechanisch hochfest, elektrisch sicher und blitzstromtragfähig verbunden wird:

- Beim Erdertyp S verformt sich beim Eintreibvorgang die Weichmetalleinlage in der Bohrung, sodass eine elektrisch und mechanisch hervorragende Verbindung besteht.
- Beim Erdertyp Z wird die hohe Kupplungsqualität durch einen mehrfach gerändelten Zapfen erreicht.
- Beim Erdertyp AZ wird die hohe Kupplungsqualität durch einen mehrfach gerändelten und stufig abgesetzten Zapfen ermöglicht.

Zum Eintreiben der Tiefenerder werden verschiedenartig angetriebene Schlagwerkzeuge verwendet. Bei deren Auswahl ist zu berücksichtigen, dass der Eintreibvorgang mit einer Schlagzahl von ca. 1200 Schlägen/min stattfindet. Wesentlich höhere Schlagzahlen sind nicht von Vorteil, da größtenteils nicht die benötigte Schlagenergie aufgebracht wird, um den Tiefenerder in ausreichende Tiefen einzuschlagen. Bei Einschlagwerkzeugen mit einer zu geringen Schlagfrequenz, wie z. B. Einschlagwerkzeuge, die mit Druckluft betrieben werden, ist jedoch die Schlagleistung vielfach zu hoch und die Schlagzahl zu gering. Das Eigengewicht des Einschlagwerkzeuges sollte größer als 20 kg sein.

Die mögliche Eindringtiefe der Tiefenerder hängt von verschiedenen geologischen Gegebenheiten ab. In leichten Böden, wie sie z. B. in Küstennähe oder in Feuchtgebieten vorzufinden sind, können Eindringtiefen in der Größenordnung von 30 m bis 40 m erreicht werden. Bei sehr hartem Boden, z. B. in gewachsenem Sandboden, sind Eindringtiefen über 12 m häufig nicht möglich. Bei den üblichen Tiefenerdern wird während des Eintreibvorgangs das Erdreich nicht herausgebohrt, sondern durch den eindringenden Tiefenerder verdrängt. Dies erzeugt unmittelbar um den Erder eine Verdichtung des Erdreichs und sorgt für einen guten elektrischen Kontakt zur Umgebung. Das Ausmaß der Verdrängung steigt mit dem Außendurchmesser des Tiefenerders. So ist für schwere Böden ein Tiefenerder mit einem Außendurchmesser von 25 mm hinsichtlich der möglichen maximalen Eintreibtiefe und der daraus resultierenden Verdrängung des Erdreiches die optimale Lösung.

Um Tiefenerder in größere Tiefen (Eindringtiefe > 6 m) einzutreiben, empfehlen wir den Einsatz des Hammergerüstes Art.-Nr. 600 003 (**Bild 5.5.4.2**). Bei Verwendung dieses Hammergerüstes mit eingehängtem Schlagwerkzeug wird die Schlagenergie über den Hammereinsatz konstant auf die Schlagfläche des Tiefenerders übertragen. Beim Eintreiben ohne Hammergerüst und somit einer Freihandführung des Schlagwerkzeugs ist dies nicht gegeben. Das Eintreiben eines

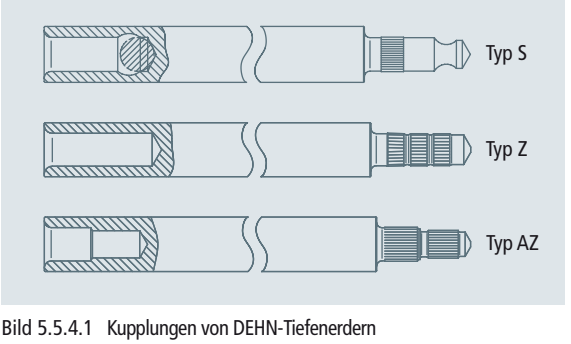


Bild 5.5.4.1 Kupplungen von DEHN-Tiefenerdern

Bild 5.5.4.2 Eintreiben des Tiefenerders mit einem Hammergerüst und einem Vibrationshammer

Tiefenerders ist bei mittleren oder schwereren Böden in Tiefen über 6 m ohne Hammergerüst nicht zu empfehlen.

Die Vorzüge der DEHN-Tiefenerder sind:

- Spezial-Kupplung:
  keine Durchmesser-Vergrößerung, sodass der Tiefenerder über seine gesamte Länge in innigem Kontakt mit dem Erdreich steht
- die Kupplung schließt selbsttätig beim Eintreiben der Stäbe
- einfaches Eintreiben mit Vibrationshämmern oder Handschlegel
- gleichbleibende Widerstandswerte werden erreicht, da die Tiefenerder in Erdschichten vordringen, die von jahreszeitlichen Feuchtigkeits- und Temperaturschwankungen unberührt bleiben
- hohe Korrosionsbeständigkeit durch Feuerverzinkung im Vollbad (Zinkschichtdicke 70 µm)
- Auswahlmöglichkeit Werkstoff Stahl feuerverzinkt und Edelstahl NIRO (V4A), z. B. Werkstoff-Nr. 1.4571
- auch die Kupplungsstellen sind bei verzinkten Tiefenerdern feuerverzinkt
- einfache Lagerhaltung und Transportmöglichkeit, da die Einzelstablänge 1,5 m oder 1 m beträgt. Die verkürzte Einzelstablänge von 1 m ist speziell für das nachträgliche Einbringen z. B. im Inneren von Gebäuden (Arbeitshöhe inkl. Vibrationshammer) konzipiert.

5.5.5 Erder bei felsigem Boden

Bei felsigem oder steinigem Untergrund sind Oberflächenerder, wie Ringerder oder Strahlender, oft die einzige Möglichkeit, eine Erdungsanlage zu erstellen. Beim Errichten der Erder wird das Band- oder das Rundmaterial auf den steinigen Boden oder den Fels gelegt. Der Erder sollte mit Schotter, Mineralbeton oder Ähnlichem bedeckt werden. Vorteilhaft ist die Verwendung von Edelstahl NIRO (V4A), z. B. mit der Werkstoff-Nr. 1.4571, als Erderwerkstoff. Die Klemmstellen sollten besonders sorgfältig und korrosionsgeschützt ausgeführt werden. Sie sollten aus einem gleichwertig korrosionsfesten Material wie der Erder bestehen.

5.5.6 Vermaschung von Erdungsanlagen

Eine Erdungsanlage kann vielfältige Aufgaben haben.
Aufgabe einer Schutzerdung ist es, elektrische Einrichtungen und Betriebsmittel sicher mit dem Erdpotential zu verbinden und im Falle eines elektrischen Fehlers für die Sicherheit der Personen und Sachen zu sorgen.
Die Blitzschutzerdung sorgt dafür, den Strom sicher von den Ableitungen zu übernehmen und in das Erdreich abzuleiten.
Die Funktionserdung hat die Aufgabe, den sicheren und störungsfreien Betrieb von elektrischen und elektronischen Anlagen sicherzustellen.
Die Erdungsanlage einer baulichen Anlage muss für alle Erdungsaufgaben gemeinsam verwendet werden, d. h., die Erdungsanlage nimmt alle Aufgaben der Erdung wahr. An-

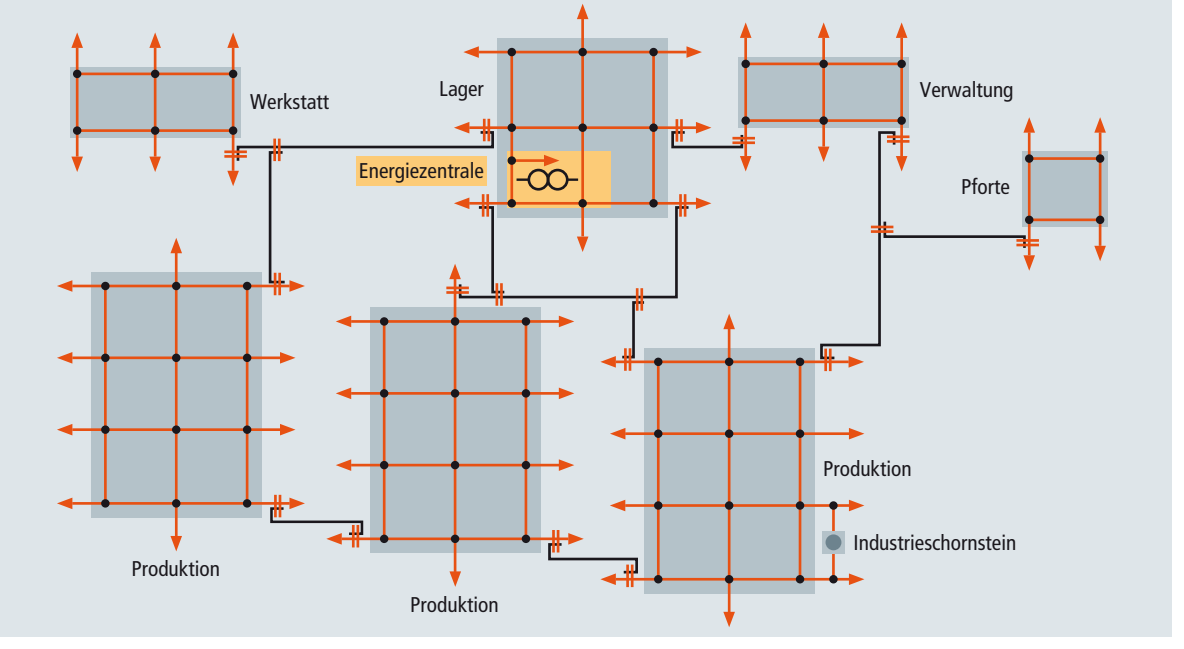


Bild 5.5.6.1 Vermaschte Erdungsanlage eines Industrieunternehmens

dernfalls können Potentialdifferenzen zwischen den an unterschiedlichen Erdungsanlagen geerdeten Einrichtungen auftreten.
Früher wurden in der Praxis für die Funktionserdung der Elektronik z. T. eine „saubere Erde" getrennt von der Blitzschutz- und Schutzerde ausgeführt. Dies ist äußerst ungünstig und kann sogar gefährlich werden. Im Falle von Blitzeinwirkungen treten in der Erdungsanlage sehr große Potentialdifferenzen bis zu einigen 100 kV auf, was zu Zerstörungen von elektronischen Einrichtungen und auch zu Personengefährdungen führen kann. Deshalb fordern die DIN EN 62305-3 und -4 (VDE 0185-305-3 und -4) einen lückenlosen Potentialausgleich innerhalb einer baulichen Anlage.
Die Erdung der elektronischen Einrichtung kann im Inneren einer baulichen Anlage sowohl sternförmig, zentral als auch vermascht, flächenförmig aufgebaut sein. Eine vermaschte Struktur ist zu bevorzugen. Dies hängt sowohl von der elektromagnetischen Umgebung als auch von den Eigenschaften der elektronischen Einrichtung ab. Besteht eine größere bauliche Anlage aus mehr als einem Gebäude und existieren elektrische und elektronische Verbindungsleitungen zwischen diesen, so kann durch einen Zusammenschluss der einzelnen Erdungssysteme der (Gesamt-)Erdwiderstand verkleinert werden (**Bild 5.5.6.1**). Zusätzlich werden die Potentialdifferenzen zwischen den Gebäuden deutlich verringert. Dabei wird die Spannungsbeanspruchung der elektrischen und elektronischen Verbindungsleitungen signifikant reduziert. Hierbei sollte die Verbindung der einzelnen Erdungssysteme der Gebäude untereinander ein Maschennetz ergeben. Das Erdungsmaschennetz sollte so aufgebaut werden, dass es dort an den Erdungsanlagen angesetzt wird, wo auch die senkrechten Ableitungen verbunden werden. Die Potentialdifferenzen zwischen den Gebäuden sind im Falle eines Blitzeinschlages umso geringer, je engmaschiger das Maschennetz der Erdung aufgebaut wird. Dies hängt von der Gesamtfläche der baulichen Anlage ab. Als wirtschaftlich haben sich Maschenweiten von 20 m x 20 m bis zu 40 m x 40 m erwiesen. Sind z. B. Industrieschornsteine (bevorzugte Blitzeinschlagstellen) vorhanden, dann sollten um den betreffenden Anlagenteil herum die Verbindungen enger und nach Möglichkeit sternförmig mit ringförmigen Querverbindungen (Potentialsteuerung) ausgeführt werden. Bei der Materialauswahl für die Leiter des Erdungs-Maschennetzes ist die Korrosions- und Materialverträglichkeit zu berücksichtigen.

5.5.7 Erderkorrosion

5.5.7.1 Erdungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung der Korrosion

Metalle, die unmittelbar mit Erdboden oder Wasser (Elektrolyten) in Verbindung stehen, können durch Streuströme, aggressiven Erdboden und durch Elementbildung korrodieren. Ein Korrosionsschutz durch eiene lückenlose Umhüllung, d. h. also eine Trennung der Metalle vom Erdboden, ist bei Erdern nicht möglich, weil alle bisher üblichen Umhüllungen einen hohen elektrischen Widerstand besitzen und dadurch die Erderwirkung aufgehoben wird.
Erder aus einem einheitlichen Werkstoff können durch aggressiven Erdboden und durch die Bildung von Konzentrationselementen korrosionsgefährdet sein. Die Korrosionsgefährdung hängt vom Werkstoff und von der Art und Zusammensetzung des Bodens ab.
In steigendem Maße werden Korrosionsschäden aufgrund einer galvanischen Elementbildung festgestellt. Diese Elementbildung zwischen verschiedenen Metallen mit stark unterschiedlichen Metall-/Elektrolyt-Potentialen ist schon seit vielen Jahren bekannt. Vielfach noch unbekannt ist jedoch die Erkenntnis, dass auch Bewehrungen von Betonfundamenten zur Kathode eines Elementes werden und damit Korrosionen an anderen erdverlegten Anlagen auslösen können.
Mit der veränderten Bauweise – größeren Stahlbetonbauwerken und kleineren freien Metallflächen im Erdboden – wird das Oberflächenverhältnis Anode/Kathode immer ungünstiger, und die Korrosionsgefahr der unedleren Metalle nimmt zwangsläufig zu.
Eine elektrische Trennung anodisch wirkender Anlagenteile zur Vermeidung dieser Elementbildung ist nur in Ausnahmefällen möglich. Heute wird der Zusammenschluss aller Erder auch mit anderen mit der Erde in Verbindung stehenden metallenen Anlagen angestrebt, um einen Potentialausgleich und damit ein Höchstmaß an Sicherheit gegen zu hohe Berührungsspannungen im Fehlerfalle und bei Blitzeinwirkungen zu erreichen.
In Hochspannungsanlagen werden in immer größerem Umfang Hochspannungsschutzerder mit Niederspannungsbetriebserdungen nach DIN VDE 0101 verbunden; und nach DIN VDE 0100-410/540 wird das Einbeziehen von Rohrleitungen und anderen Anlagen in die Berührungs-Schutzmaßnahmen verlangt. Es bleibt demnach nur der Weg, Korrosionsgefährdungen für Erder und andere mit den Erdern verbundene Anlagen durch die Wahl von geeigneten Erderwerkstoffen zu vermeiden oder wenigstens zu verringern.
Die DIN VDE 0151 „Werkstoffe und Mindestmaße von Erdern bezüglich der Korrosion" gibt es bereits seit Juni 1986. Neben den jahrzehntelangen Erfahrungen aus der Erdungstechnik sind auch die Ergebnisse umfangreicher Voruntersuchungen berücksichtigt worden. Im Folgenden sollen die grundlegenden Vorgänge beim Korrosionsgeschehen erläutert werden. Daraus und aus dem vom VDE-Arbeitskreis „Erderwerkstoffe" erarbeiteten Material können dann praktische Korrosionsschutzmaßnahmen, speziell für Blitzschutzerder, abgeleitet werden.

Begriffe aus dem Korrosionsschutz und der Korrosionsschutzmesstechnik

Korrosion
ist die Reaktion eines metallenen Werkstoffs mit seiner Umgebung, die zu einer Beeinträchtigung der Eigenschaften des metallenen Werkstoffes und/oder seiner Umgebung führt. Die Reaktion ist in den meisten Fällen elektrochemischer Art.

Elektrochemische Korrosion
ist eine Korrosion, bei der elektrochemische Vorgänge stattfinden. Sie laufen ausschließlich in Gegenwart eines Elektrolyten ab.

Elektrolyt
ist ein Ionen-leitendes Korrosionsmedium (z. B. Erdboden, Wasser, Salzschmelzen).

Elektrode
ist ein Elektronen-leitender Werkstoff in einem Elektrolyten. Das System Elektrode-Elektrolyt bildet eine Halbzelle.

Anode
ist eine Elektrode, an der ein Gleichstrom in den Elektrolyten austritt.

Kathode
ist eine Elektrode, an der ein Gleichstrom aus dem Elektrolyten eintritt.

Bezugselektrode
ist eine Messelektrode zum Bestimmen des Potentials eines Metalles im Elektrolyten.

Kupfersulfat-Elektrode
ist eine nahezu unpolarisierbare Bezugselektrode, die aus Kupfer in gesättigter Kupfersulfat-Lösung besteht.

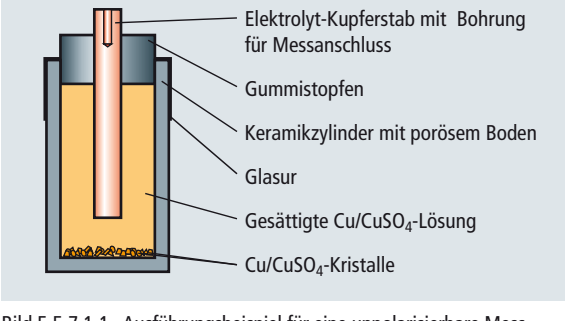


Bild 5.5.7.1.1 Ausführungsbeispiel für eine unpolarisierbare Messelektrode (Kupfer / Kupfersulfat-Elektrode) für den Abgriff eines Potentials im Elektrolyten (Schnittzeichnung)

Die Kupfersulfat-Elektrode ist die gebräuchlichste Bezugselektrode für die Messung des Potentials unterirdischer metallener Objekte (**Bild 5.5.7.1.1**).

Korrosionselement
ist ein galvanisches Element mit örtlich unterschiedlichen Teilstromdichten für die Metallauflösung. Anoden und Kathoden des Korrosionselementes können gebildet werden:

- **werkstoffseitig**
  bedingt durch unterschiedliche Metalle (Kontaktkorrosion) oder durch unterschiedliche Gefügebestandteile (selektive oder interkristalline Korrosion).
- **elektrolytseitig**
  bedingt durch unterschiedliche Konzentration bestimmter Stoffe, die für die Metallauflösung stimulierende oder inhibitorische Eigenschaften haben.

Potentiale

- **Bezugspotential**
  Potential einer Bezugselektrode bezogen auf die Standard-Wasserstoffelektrode.
- **Elektropotential**
  ist das elektrische Potential eines Metalles oder eines Elektronen-leitenden Festkörpers in einem Elektrolyten.

5.5.7.2 Bildung galvanischer Elemente, Korrosion

Die Korrosionsvorgänge lassen sich deutlich anhand eines galvanischen Elementes erklären. Wird z. B. ein Metallstab in einen Elektrolyten getaucht, dann treten positiv geladene Ionen in den Elektrolyten über, und umgekehrt werden auch positive Ionen aus dem Elektrolyten von dem Metallverband aufgenommen. Man spricht in diesem Zusammenhang vom „Lösungsdruck" des Metalls und vom „osmotischen Druck" der Lösung. Je nach Größe dieser beiden Drücke gehen entweder die Metall-Ionen des Stabes vermehrt in die Lösung über (der Stab wird also gegenüber der Lösung negativ), oder die Ionen des Elektrolyten lagern sich vermehrt am Stab an (der Stab wird positiv gegenüber dem Elektrolyten). Es entsteht also eine Spannung zwischen zwei Metallstäben im gleichen Elektrolyten.
In der Praxis werden die Potentiale der Metalle im Erdboden mit Hilfe einer Kupfersulfat-Elektrode gemessen. Sie besteht aus einem Kupferstab, der in eine gesättigte Kupfersulfat-Lösung taucht (**Bild 5.5.7.1.1**) (das Bezugspotential dieser Vergleichselektrode bleibt konstant).
Nachfolgend wird der Fall betrachtet, dass zwei Stäbe aus verschiedenen Metallen in denselben Elektrolyten tauchen. An jedem Stab im Elektrolyten entsteht nun eine Spannung bestimmter Größe. Mit einem Voltmeter kann man die Spannung

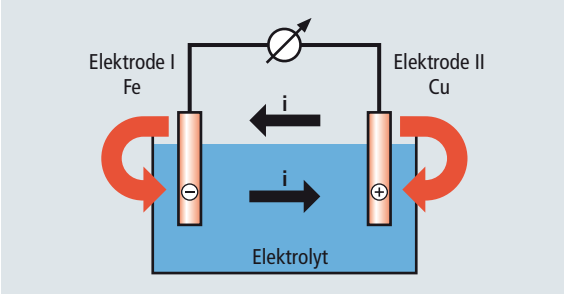


Bild 5.5.7.2.1 Galvanisches Element: Eisen / Kupfer

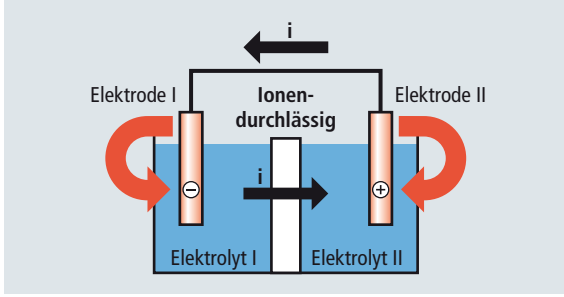


Bild 5.5.7.2.2 Konzentrationselement

zwischen den Stäben (Elektroden) messen; sie ist die Differenz zwischen den Potentialen der einzelnen Elektroden gegen den Elektrolyten.

Wie kommt es nun zu einem Stromfluss im Elektrolyten und damit zum Stofftransport, also zur Korrosion?

Verbindet man z. B., wie hier gezeigt, die Kupfer- und die Eisenelektrode über ein Amperemeter außerhalb des Elektrolyten, so wird man Folgendes feststellen (**Bild 5.5.7.2.1**): Im äußeren Stromkreis fließt der Strom i von + nach –, also von der nach T**abelle 5.5.7.2.1** „edleren" Kupferelektrode zur Eisenelektrode.

Im Elektrolyten hingegen muss der Strom i von der „negativeren" Eisenelektrode zur Kupferelektrode fließen, damit der Stromkreis geschlossen ist. Das bedeutet ganz allgemein, der negativere Pol gibt positive Ionen an den Elektrolyten ab und wird damit zur Anode des galvanischen Elementes, d. h., er wird aufgelöst. Die Auflösung des Metalls findet an denjenigen Stellen statt, an denen der Strom in den Elektrolyten übertritt.

Ein Korrosionsstrom kann auch durch ein Konzentrationselement (**Bild 5.5.7.2.2**) entstehen. Hierbei tauchen zwei Elektroden aus demselben Metall in verschiedene Elektrolyten. Die

	Bezeichnung	Zeichen	Kupfer	Blei	Zinn	Eisen	Zink
1	Freies Korrosionspotential im Erdboden[1] [V]	$U_{M\text{-}Cu/CuSO4}$	0 bis -0,1	-0,5 bis -0,6	-0,4 bis -0,6[2]	-0,5 bis -0,8[3]	-0,9 bis -1,1[5]
2	Kathodisches Schutzpotential im Erdboden[1] [V]	$U_{M\text{-}Cu/CuSO4}$	-0,2	-0,65	-0,65[2]	-0,85[4]	-1,2[5]
3	Elektrochemisches Äquivalent [kg/(A · Jahr)]	$K = \frac{\Delta m}{I\ t}$	10,4	33,9	19,4	9,1	10,7
4	Lineare Abtragerate bei J = 1 mA/dm² [mm/Jahr]	$W_{lin} = \frac{\Delta s}{t}$	0,12	0,3	0,27	0,12	0,15

1) Gemessen gegen gesättigte Kupfer- / Kupfersulfat-Elektrode ($Cu/CuSo_4$).

2) Das Potential von verzinntem Kupfer hängt von der Dicke der Zinnauflage ab und liegt bei den bisher üblichen Zinnauflagen von wenigen µm zwischen den Werten von Zinn und Kupfer im Erdboden.

3) Diese Werte gelten auch für niedrig legierte Stähle. Das Potential von Stahl in Beton (Bewehrungseisen von Fundamenten) hängt stark von äußeren Einflüssen ab. Gemessen gegen eine gesättigte Kupfer / Kupfersulfat-Elektrode beträgt es im Allgemeinen -0,1 bis -0,4 V. Bei einer metallenleitenden Verbindung mit großflächigen unterirdischen Anlagen aus Metallen mit negativeren Potentialen wird es kathodisch polarisiert und erreicht dann Werte bis zu etwa -0,5 V.

4) In anaeroben Böden sollte das Schutzpotential -0,95 V betragen.

5) Feuerverzinkter Stahl, mit einer Zinkauflage nach obiger Tabelle, weist eine geschlossene äußere Reinzinkschicht auf. Das Potential von feuerverzinktem Stahl im Erdboden entspricht deshalb etwa dem angegebenen Wert von Zink im Erdboden. Bei einem Verlust der Zinkschicht wird das Potential positiver und kann bei deren völligem Abgang den Wert von Stahl erreichen. Für das Potential von feuerverzinktem Stahl in Beton ergeben sich etwa dieselben Anfangswerte. Im Laufe der Zeit kann das Potential positiver werden. Positivere Werte als etwa -0,75 V wurden jedoch bisher nicht festgestellt. Stark feuerverzinktes Kupfer mit einer Zinkauflage von mindestens 70 µm besitzt ebenfalls eine geschlossene äußere Reinzinkauflage. Das Potential von feuerverzinktem Kupfer im Erdboden entspricht deshalb etwa dem angegebenen Wert von Zink im Erdboden. Bei einer dünneren Zinkschicht oder bei einem Abtrag der Zinkschicht wird das Potential positiver. Die Grenzwerte sind z. Z. noch unsicher.

Tabelle 5.5.7.2.1 Potentialwerte und Abtragsraten gebräuchlicher Metalle (entsprechend Tabelle 2 der VDE 0151)

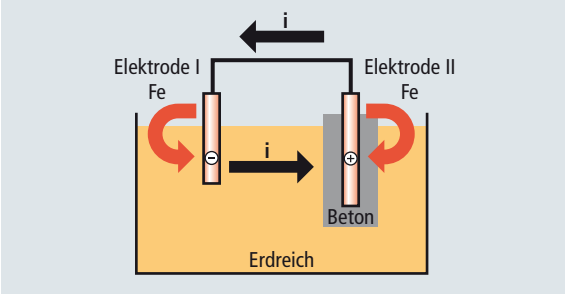


Bild 5.5.7.2.3 Konzentrationselement: Eisen im Erdreich / Eisen im Beton

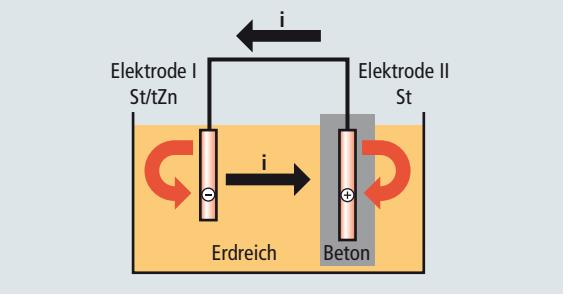


Bild 5.5.7.2.4 Konzentrationselement: Stahl verzinkt im Erdreich / Stahl (schwarz) im Beton

Elektrode im Elektrolyten II mit der größeren Metall-Ionen-Konzentration wird elektrisch positiver als die andere.

Dieser Vorgang wird auch als Polarisation bezeichnet. Durch die Verbindung der beiden Elektroden kommt es zum Stromfluss i, und die elektrochemisch negativere Elektrode löst sich auf.
Ein solches Konzentrationselement kann z. B. durch zwei Eisenelektroden, von denen die eine in eisenbewehrtem Beton eingegossen ist und die andere im Erdreich liegt, gebildet werden (**Bild 5.5.7.2.3**).
Bei der Verbindung dieser Elektroden wird das Eisen im Beton zur Kathode des Konzentrationselementes und das im Erdreich befindliche zur Anode. Das Letztere wird also durch Ionenabgabe zerstört.
Allgemein gilt für die elektrochemische Korrosion, dass mit dem Stromfluss i ein umso größerer Metalltransport stattfindet, je größer die Ionen sind und je kleiner ihre Ladung ist (d. h., i ist proportional zur Atommasse des Metalls).

In der Praxis rechnet man mit Stromstärken, die über einen bestimmten Zeitraum fließen, z. B. über ein Jahr. In **Tabelle 5.5.7.2.1** sind Werte angegeben, die die Wirkung des Korrosionsstromes (Stromdichte) durch die Menge des aufgelösten Metalls ausdrücken. Korrosionsstrommessungen machen es also möglich vorauszuberechnen, um wieviel Gramm ein Metall in einer bestimmten Zeit abgetragen wird.
Für die Praxis interessanter jedoch ist die Vorhersage, ob und in welcher Zeit in Erdern, Stahlbehältern, Rohren usw. Löcher oder Mulden durch Korrosion entstehen. Es ist also von Bedeutung, ob ein flächenmäßiger oder ein punktueller Angriff des Stromes zu erwarten ist.
Für den Korrosionsangriff ist nicht die Größe des Korrosionsstromes allein maßgebend, sondern besonders seine Dichte, also der Strom je Flächeneinheit der Austrittsfläche.
Diese Stromdichte lässt sich oft nicht direkt bestimmen. Man behilft sich in diesen Fällen mit Potentialmessungen, an denen man die Höhe der vorhandenen „Polarisation" ablesen kann.

Es sei hier nur kurz auf das Polarisationsverhalten von Elektroden eingegangen.
Bei dem Fall, dass ein im Erdreich befindliches verzinktes Stahlband mit der (schwarzen) Stahlbewehrung eines Betonfundamentes verbunden ist (**Bild 5.5.7.2.4**), treten nach unseren Messungen dabei folgende Potentialdifferenzen gegen die Kupfersulfat-Elektrode auf:

- Stahl, (schwarz) im Beton: -200 mV bis -400 mV
- Stahl, verzinkt, im Sand: -800 mV bis -900 mV
- Stahl, verzinkt, neuwertig: ca. -1000 mV.

Zwischen diesen beiden Metallen besteht also eine Potentialdifferenz von 600 mV. Werden sie nun außerhalb des Erdreiches verbunden, so fließt ein Strom i im äußeren Kreis vom Betonstahl zum Stahl im Sand und im Erdreich vom Stahl im Sand zum Bewehrungsstahl.
Die Größe des Stromes i hängt nun von der Spannungsdifferenz, vom Leitwert des Erdreiches und von der Polarisation der beiden Metalle ab.
Allgemein ist festzustellen, dass der Strom i im Erdreich unter stofflichen Veränderungen erzeugt wird.
Eine stoffliche Veränderung bedeutet aber auch, dass sich die Spannung der einzelnen Metalle gegen das Erdreich verändert. Diese Potentialverschiebung durch den Korrosionsstrom i heißt Polarisation. Die Stärke der Polarisation ist direkt proportional zur Stromdichte. Polarisationserscheinungen treten nun an der negativen und an der positiven Elektrode auf. Allerdings sind die Stromdichten an beiden Elektroden meistens erheblich verschieden.

Zur Veranschaulichung sei folgendes Beispiel betrachtet:
Eine gut isolierte Gasleitung aus Stahl im Erdreich ist mit Erdern aus Kupfer verbunden.
Wenn die isolierte Leitung nur wenige kleine Fehlstellen aufweist, dann herrscht an diesen eine hohe Stromdichte, und eine schnelle Korrosion des Stahls ist die Folge. Bei der weitaus

größeren Stromeintrittsfläche der Kupfererder hingegen ist die Stromdichte nur gering. Demzufolge wird bei der negativeren, isolierten Stahlleitung eine größere Polarisation auftreten als bei den positiven Kupfererdern. Es findet eine Verschiebung des Potentials der Stahlleitung zu positiveren Werten statt. Damit nimmt dann auch die Potentialdifferenz zwischen den Elektroden ab. Die Größe des Korrosionsstromes hängt also auch von den Polarisationseigenschaften der Elektroden ab.
Die Stärke der Polarisation kann durch das Messen der Elektroden-Potentiale bei aufgetrenntem Stromkreis abgeschätzt werden. Man trennt den Kreis auf, um den Spannungsfall im Elektrolyten zu vermeiden. Meistens werden für derartige Messungen schreibende Instrumente verwendet, da oft sofort nach der Unterbrechung des Korrosionsstromes eine rasche Depolarisation eintritt.
Wird nun eine starke Polarisation an der Anode (der negativeren Elektrode) gemessen (liegt also eine deutliche Verschiebung zu positiveren Potentialen vor), so besteht eine hohe Korrosionsgefahr für die Anode.
Kehren wir nun zu unserem Korrosionselement Stahl (schwarz) im Beton / Stahl, verzinkt im Sand, zurück (**Bild 5.5.7.2.4**). Gegen eine weit entfernte Kupfersulfat-Elektrode kann man je nach Verhältnis der anodischen zur kathodischen Fläche und der Polarisierbarkeit der Elektroden ein Potential des zusammengeschalteten Elementes zwischen -200 mV und -800 mV messen.
Ist z. B. die Fläche des armierten Betonfundamentes sehr groß gegen die Oberfläche des verzinkten Stahldrahtes, dann tritt am Letzteren eine hohe anodische Stromdichte auf, sodass er bis nahe an das Bewehrungsstahl-Potential polarisiert ist und in relativ kurzer Zeit zerstört wird.
Eine hohe positive Polarisation deutet also immer auf eine erhöhte Korrosionsgefahr hin.
Für die Praxis ist es natürlich wichtig, die Grenze zu kennen, ab welcher eine positive Potentialverschiebung eine akute Korrosionsgefahr bedeutet. Leider lässt sich hierfür kein eindeutiger Wert angeben, der in jedem Fall gilt; dafür sind allein schon die Einflüsse durch die Bodenbeschaffenheit zu groß. Potentialverschiebungsbereiche hingegen können für natürliche Böden festgelegt werden.

Eine Polarisation unter +20 mV ist im Allgemeinen ungefährlich. Potentialverschiebungen, die über +100 mV hinausgehen, sind sicher gefährlich. Zwischen 20 mV und 100 mV wird es immer Fälle geben, bei denen die Polarisation deutliche Korrosionserscheinungen auslöst.
Zusammenfassend kann also festgestellt werden: Voraussetzung für die Bildung von Korrosionselementen (galvanischen Elementen) ist immer das Vorhandensein von metallen und elektrolytisch leitend verbundenen Anoden und Kathoden.
Anoden und Kathoden entstehen aus:

➡ **Werkstoffen**

- Unterschiedliche Metalle oder unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheit eines Metalls (Kontaktkorrosion),
- unterschiedliche Gefügebestandteile (selektive oder interkristalline Korrosion).

➡ **Elektrolyten**

- Unterschiedliche Konzentration (z. B. Salzgehalt, Belüftung).

Bei den Korrosionselementen haben die anodischen Bereiche stets ein negativeres Metall- / Elektrolyt-Potential als die kathodischen Bereiche.
Die Metall- / Elektrolyt-Potentiale werden mit einer gesättigten Kupfersulfat-Elektrode gemessen, die in unmittelbarer Nähe des Metalls im oder auf dem Erdreich aufgesetzt wird. Die Potentialdifferenz bewirkt bei einer metallen leitenden Verbindung zwischen Anode und Kathode im Elektrolyten einen Gleichstrom, der aus der Anode unter Metallauflösung in den Elektrolyten übertritt und dann in die Kathode wieder eintritt.

Zur Abschätzung der mittleren anodischen Stromdichte J_A wird oft die „Flächenregel" angewendet:

$$J_A = \frac{U_K - U_A}{\varphi_K} \cdot \frac{A_K}{A_A} \text{ in A/m}^2$$

J_A mittlere anodische Stromdichte
U_A, U_K Anoden- bzw. Kathoden-Potentiale in V
φ_K spezifischer Polarisationswiderstand Kathode in Ωm^2
A_A, A_K Anoden- bzw. Kathoden-Oberflächen in m^2.

Der Polarisationswiderstand ist der Quotient aus der Polarisationsspannung und dem Summenstrom einer Mischelektrode (einer Elektrode, an der mehr als eine Elektrodenreaktion abläuft).
In der Praxis können zwar zur Abschätzung der Korrosionsgeschwindigkeit die treibende Elementspannung $U_K - U_A$ und die Größe der Flächen A_K und A_A annähernd ermittelt werden, die Werte für φ_A (spezifischer Polarisationswiderstand der Anode) und φ_K liegen aber nicht mit hinreichender Genauigkeit vor. Sie sind abhängig von den Elektrodenwerkstoffen, den Elektrolyten und den anodischen bzw. kathodischen Stromdichten. Aus bisher vorliegenden Untersuchungsergebnissen kann geschlossen werden, dass φ_A viel kleiner als φ_K ist.

Für φ_K gilt:

Stahl im Erdboden	ca.	1 Ωm^2
Kupfer im Erdboden	ca.	5 Ωm^2
Stahl im Beton	ca.	30 Ωm^2.

Aus der Flächenregel erkennt man jedoch deutlich, dass sowohl an umhüllten Stahlleitungen und Behältern mit kleinen Fehlstellen in der Umhüllung in Verbindung mit Kupfererdern als auch an Erdungsleitungen aus verzinktem Stahl in Verbindung mit ausgedehnten Erdungsanlagen aus Kupfer oder sehr großen Stahlbetonfundamenten starke Korrosionserscheinungen auftreten.
Durch die Wahl geeigneter Werkstoffe können Korrosionsgefährdungen für Erder vermieden oder verringert werden. Zur Erzielung einer ausreichenden Lebensdauer müssen Werkstoff-Mindestabmessungen eingehalten werden (**Tabelle 5.5.8.1**).

5.5.7.3 Auswahl der Erderwerkstoffe

In **Tabelle 5.5.8.1** sind heute übliche Erderwerkstoffe und Mindestabmessungen zusammengestellt.

Feuerverzinkter Stahl

Feuerverzinkter Stahl ist auch für die Einbettung in Beton geeignet. Fundamenterder, Erdungs- und Potentialausgleichsleitungen aus verzinktem Stahl in Beton dürfen mit Bewehrungseisen verbunden werden.

Stahl mit Kupfermantel

Bei Stahl mit Kupfermantel gelten für den Mantelwerkstoff die Bemerkungen für blankes Kupfer. Eine Verletzung des Kupfermantels bewirkt jedoch eine starke Korrosionsgefahr für den Stahlkern. Deshalb muss immer eine lückenlose geschlossene Kupferschicht vorhanden sein.

Blankes Kupfer

Blankes Kupfer ist aufgrund seiner Stellung in der elektrochemischen Spannungsreihe sehr beständig. Hinzu kommt, dass es beim Zusammenschluss mit Erdern oder anderen Anlagen im Erdboden aus „unedleren" Werkstoffen (z. B. Stahl) zusätzlich kathodisch geschützt wird, allerdings auf Kosten der „unedleren" Metalle.

Nichtrostende Stähle

Bestimmte hochlegierte nichtrostende Stähle nach DIN EN 10088-1 sind im Erdboden passiv und korrosionsbeständig. Das freie Korrosionspotential von hochlegierten nichtrostenden Stählen in üblich belüfteten Böden liegt in den meisten Fällen in der Nähe des Kupfer-Wertes. Da Erderwerkstoffe aus nichtrostenden Stählen innerhalb weniger Wochen an der Oberfläche passivieren, verhalten sich diese zu anderen (edleren und unedleren) Werkstoffen neutral. Edelstähle sollten mindestens 16 % Chrom, 5 % Nickel und 2 % Molybdän enthalten. Aufgrund von umfangreichen Messungen hat sich ergeben, dass nur ein hochlegierter Edelstahl, z. B. mit der Werkstoff-Nr. 1.4571 / 1.4404, im Erdboden ausreichend korrosionsbeständig ist. Edelstähle ohne Molybdän sind als Erderwerkstoff nicht geeignet und normativ nicht erlaubt.

Sonstige Werkstoffe

Sonstige Werkstoffe können verwendet werden, wenn sie in bestimmten Umgebungen besonders korrosionsbeständig oder den in der **Tabelle 5.5.8.1** aufgeführten Werkstoffen mindestens gleichwertig sind.

5.5.7.4 Zusammenschluss von Erdern aus verschiedenen Werkstoffen

Die bei einem elektrisch leitenden Zusammenschluss von zwei verschiedenen erdverlegten Metallen auftretende Elementstromdichte führt zur Korrosion des als Anode wirkenden Metalls (**Tabelle 5.5.7.4.1**). Sie ist im Wesentlichen vom Verhältnis der Größe der kathodischen Fläche A_K zu der Größe der anodischen Fläche A_A abhängig.
Das Forschungsvorhaben „Korrosionsverhalten von Erderwerkstoffen" hat für die Auswahl der Erderwerkstoffe besonders im Hinblick auf den Zusammenschluss verschiedener Werkstoffe das Ergebnis erbracht, dass mit stärkerer Korrosion erst bei Flächenverhältnissen

$$\frac{A_K}{A_A} > 100$$

zu rechnen ist.
Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass der Werkstoff mit dem positiveren Potential zur Kathode wird. Die Anode eines tatsächlich vorliegenden Korrosionselementes kann daran erkannt werden, dass diese nach Auftrennen der metallenleitenden Verbindung das negativere Potential aufweist. Beim Zusammenschluss mit erdverlegten Anlagen

Werkstoff mit kleiner Fläche	Werkstoff mit großer Fläche			
	Stahl verzinkt	Stahl	Stahl in Beton	Kupfer
Stahl verzinkt	+	+ Zinkabtrag	–	–
Stahl	+	+	–	–
Stahl in Beton	+	+	+	+
Stahl mit Cu-Mantel	+	+	+	+
Kupfer/ Edelstahl	+	+	+	+
+ zusammenschließbar			– nicht zusammenschließbar	

Tabelle 5.5.7.4.1 Werkstoff-Kombinationen von Erdungsanlagen bei unterschiedlichen Flächenverhältnissen ($A_K > 100 \times A_A$)

aus Stahl verhalten sich in (deckschichtbildenden) Böden die Erdermaterialien blankes Kupfer, verzinntes Kupfer und hochlegierter Edelstahl immer kathodisch.

Stahlbewehrung von Betonfundamenten

Die Stahlbewehrung von Betonfundamenten kann ein sehr positives Potential (ähnlich wie Kupfer) aufweisen. Erder und Erdungsleitungen, die mit der Bewehrung von großen Stahlbetonfundamenten unmittelbar verbunden werden, sollten deshalb aus nichtrostendem Stahl oder Kupfer sein.
Dies gilt vor allem auch für kurze Verbindungsleitungen in unmittelbarer Nähe der Fundamente oder Erdungsfestpunkte.

Einbau von Trennfunkenstrecken

Wie bereits erwähnt, ist es möglich, die leitende Verbindung zwischen erdverlegten Anlagen mit stark unterschiedlichen Potentialen durch den Einbau von Trennfunkenstrecken zu unterbrechen. Dann kann im Normfall kein Korrosionsstrom mehr fließen. Beim Auftreten einer Überspannung spricht die Trennfunkenstrecke an und verbindet die Anlagen für die Dauer der Überspannung miteinander. Bei Schutz- und Betriebserdern dürfen allerdings keine Trennfunkenstrecken installiert werden, weil diese Erder mit den Betriebsanlagen immer verbunden sein müssen.

5.5.7.5 Sonstige Korrosionsschutzmaßnahmen

Verbindungsleitungen / Anschlussfahnen von Fundamenterdern zu Ableitungen

Verbindungsleitungen aus verzinktem Stahl von Fundamenterdern zu Ableitungen sollen in Beton oder Mauerwerk bis oberhalb der Erdoberfläche geführt werden.

Werkstoff	Form	Mindestmaße		
		Staberder Ø [mm]	Erdleiter [mm²]	Plattenerder [mm]
Kupfer, verzinntes Kupfer	Seil		50	
	massives Rundmaterial	15	50	
	massives Flachmaterial		50	
	Rohr	20		
	massive Platte			500 x 500
	Gitterplatte [c)]			600 x 600
feuerverzinkter Stahl	massives Rundmaterial	14	78	
	Rohr	25		
	massives Flachmaterial		90	
	massive Platte			500 x 500
	Gitterplatte [c)]			600 x 600
	Profile	[d)]		
blanker Stahl [b)]	Seil		70	
	massives Rundmaterial		78	
	massives Flachmaterial		75	
kupferüberzogener Stahl	massives Rundmaterial	14	50	
	massives Flachmaterial		90	
rostfreier Stahl	massives Rundmaterial	15	78	
	massives Flachmaterial		100	

a) Mechanische und elektrische Eigenschaften sowie das Verhalten des Korrosionswiderstands müssen den Anforderungen der EN 50164 (Reihe) entsprechen.
b) Sie sollen im Beton in einer Tiefe von mindestens 50 mm eingelassen sein.
c) Gitterbleche sollen mit einer Gesamtlänge der Leitungen von mindestens 4,8 m errichtet werden.
d) Verschiedene Profile sind erlaubt, wenn ein Querschnitt von 290 mm² und eine Mindestdicke von 3 mm gegeben sind.
e) Im Fall eines Fundamenterdungssystems der Erderanordnung Typ B muss der Erder mit dem Bewehrungsstahl mindestens alle 5 m korrekt verbunden werden.
Hinweis: Nach DIN 18014 ist der Erder mit der Bewehrung im Abstand ≤ 2 m zu verbinden.

Tabelle 5.5.8.1 Werkstoff, Form und Mindestmaße von Erdern [a) e)] nach Tabelle 7 der DIN EN 62305-3

Falls die Verbindungsleitungen durch das Erdreich geführt werden, sind Anschlussfahnen z. B. mit Kabel NYY, 1 x 16 mm² Cu, nichtrostendem Stahl, NIRO (V4A) oder Erdungsfestpunkte zu verwenden.
Innerhalb des Mauerwerks können die Erdleitungen auch ohne Korrosionsschutz hochgeführt werden.

Erdeinführungen aus verzinktem Stahl

Erdeinführungen aus verzinktem Stahl müssen von der Erdoberfläche ab nach oben und nach unten mindestens auf 0,3 m gegen Korrosion geschützt werden.
Bitumen-Anstriche sind im Allgemeinen nicht ausreichend. Schutz bietet eine die Feuchtigkeit nicht aufnehmende Umhüllung, z. B. Butyl-Kautschuk-Band, Schrumpfschlauch oder besser nichtrostender Stahl.

Unterirdische Anschlüsse und Verbindungen

Schnittflächen und Verbindungsstellen im Erdboden müssen so ausgeführt sein, dass sie in ihrer Korrosionsbeständigkeit der Korrosionsschutzschicht des Erderwerkstoffes gleichwertig sind. Daher sind Verbindungsstellen im Erdreich mit einer geeigneten Beschichtung zu versehen, also z. B. mit einer Korrosionsschutzbinde zu umhüllen.

Aggressive Abfälle

Beim Verfüllen von Gräben und Gruben, in denen Erder verlegt sind, dürfen Schlacke- und Kohleteile nicht unmittelbar mit dem Erderwerkstoff in Berührung kommen. Gleiches gilt für Bauschutt.

5.5.8 Werkstoffe und Mindestmaße für Erder

In **Tabelle 5.5.8.1** sind Mindestquerschnitte, Form und Werkstoff von Erdern dargestellt.

5.6 Elektrische Isolierung des äußeren Blitzschutzes – Trennungsabstand

Eine Gefahr des unkontrollierten Überschlages zwischen Teilen des äußeren Blitzschutzes und metallenen Installationen sowie elektrischen Anlagen im Inneren des Gebäudes besteht dann, wenn der Abstand zwischen der Fangeinrichtung oder Ableitung einerseits und metallenen und elektrischen Installationen innerhalb der zu schützenden baulichen Anlage andererseits nicht ausreichend ist.
Durch metallene Installationen, z. B. Wasser-, Klima- und Elektroleitungen, ergeben sich Induktionsschleifen im Gebäude, in die durch das rasch veränderliche magnetische Blitzfeld Stoßspannungen induziert werden. Es muss verhindert werden, dass es durch diese Stoßspannungen zu einem unkontrollierten Überschlag kommt, der gegebenenfalls auch einen Brand verursachen kann. Durch einen Überschlag z. B. auf Elektroleitungen können enorme Schäden an der Installation und bei den angeschlossenen Verbrauchern entstehen. **Bild 5.6.1** zeigt das Prinzip des Trennungsabstands.
Die Formel für die Berechnung des Trennungsabstands ist für den Praktiker oft schwierig zu handhaben:

$$s = k_i \frac{k_c}{k_m} \cdot l \quad [m]$$

wobei

k_i von der gewählten Schutzklasse (LPS) der Blitzschutzanlage abhängt (Induktionsfaktor),

k_c von der geometrischen Anordnung abhängt (Stromaufteilungskoeffizient),

k_m vom Material in der Näherungsstelle abhängt (Materialfaktor) und

l [m] die Länge entlang der Fangeinrichtung oder der Ableitung von dem Punkt, an dem der Trennungsabstand ermittelt werden soll, bis zum nächstliegenden Punkt des Potentialausgleichs oder der Erdung ist.

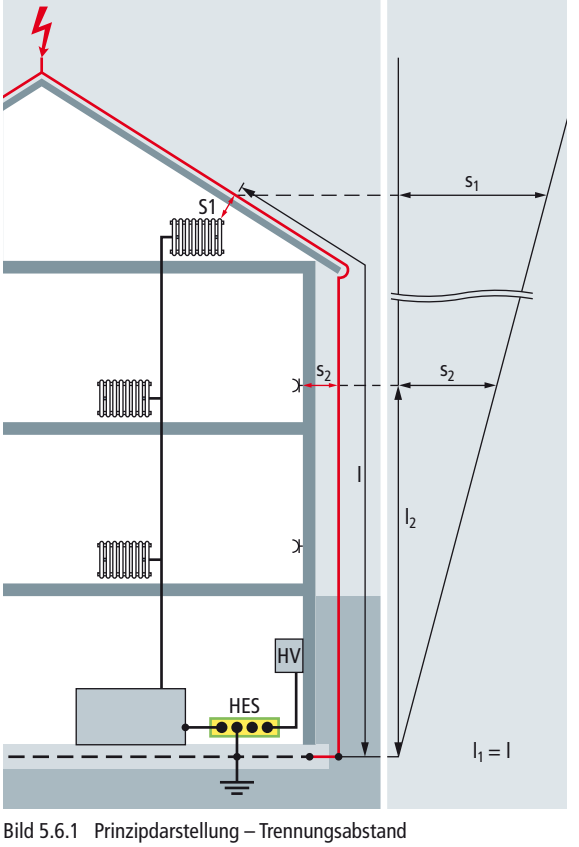


Bild 5.6.1 Prinzipdarstellung – Trennungsabstand

Koeffizient k_i

Der Koeffizient k_i (Induktionsfaktor) der jeweiligen Schutzklasse steht für die Bedrohung durch die Stromsteilheit. Er ist abhängig von der LPS-Schutzklasse und wird in der DIN EN 62305-3, Tabelle 10, vorgegeben (**Tabelle 5.6.1**).

Materialfaktor k_m

Der Materialfaktor k_m berücksichtigt die Isolationseigenschaften der Umgebung. Die elektrischen Isolationseigenschaften der Luft werden mit dem Faktor 1 angenommen. Alle anderen festen Werkstoffe, die im Bauwesen verwendet werden (Mauerwerk, Holz etc.) haben eine um die Hälfte schlechtere Isoliereigenschaft als Luft. Auch bei einer installierten Fangstange auf einer Dachfläche gilt es dies zu unterscheiden. Wie in **Bild 5.6.2** dargestellt, ist am Fußpunkt der Fangstange zum Dachaufbau ein fester Werkstoff (k_m = 0,5) und zwischen Oberkante Dachaufbau zur Fangstange eine Isolationsstrecke aus Luft (k_m = 1).
Weitere Materialfaktoren neben k_m 0,5 sowie 1 sind normativ nicht genannt. Abweichende Werte müssen prüftechnisch oder rechnerisch nachgewiesen werden. Für das verwendete Material GFK (glasfaserverstärkter Kunststoff) wird bei den Produkten für getrennte Fangeinrichtungen von DEHN (DEHNiso-Distanzhalter, DEHNiso-Combi) der Faktor 0,7 spezifiziert. Dieser Faktor kann wie die anderen Materialfaktoren in die Berechnung eingesetzt werden.

Entsprechend der DIN EN 62305-3, Beiblatt 1, kann bei einer mehrschaligen Mauerwerkskonstruktion der Faktor k_m rechnerisch ermittelt werden. Dieser setzt sich zusammen aus den Materialstärken sowie den Isolationseigenschaften der Materialien (**Bild 5.6.3**). Die Formel für die Berechnung des k_m-Faktors lautet:

$$k_{m\,gesamt} = \frac{(l_1 \cdot k_{m1} + l_2 \cdot k_{m2} \ldots + lx \cdot k_{mx})}{l_g}$$

wobei

$k_{m\,gesamt}$	den Gesamtmaterialfaktor darstellt,
$l_1, l_2 \ldots l_x$	die Materialstärken angeben,
l_g	die Gesamtmaterialstärke angibt,
$k_{m\,1,2} \ldots k_{mx}$	die Isolationseigenschaft des jeweiligen Materials definieren.

Bei einem Wandaufbau wie im **Bild 5.6.3** dargestellt, ist der Materialfaktor $k_{m\,gesamt}$ wie folgt zu berechnen:

$$k_{m\,gesamt} = \frac{(0{,}35\,m \cdot 0{,}5 + 0{,}08\,m \cdot 1 + 0{,}12\,m \cdot 0{,}5)}{0{,}55\,m}$$

$k_{m\,gesamt}$ = 0,573

LPS Schutzklasse	k_i
I	0,08
II	0,06
III und IV	0,04

Tabelle 5.6.1 Induktionsfaktor k_i

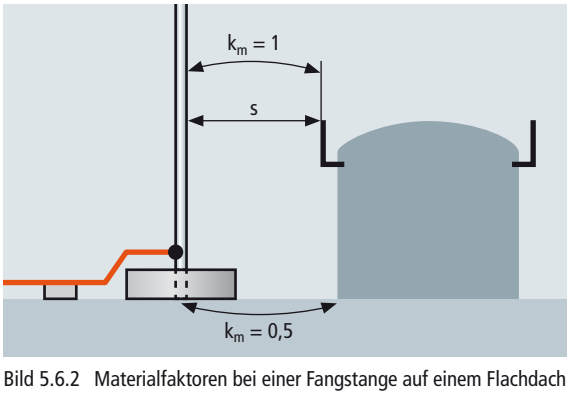


Bild 5.6.3 k_m bei unterschiedlichen Materialien mit Luftstrecke

Bild 5.6.2 Materialfaktoren bei einer Fangstange auf einem Flachdach

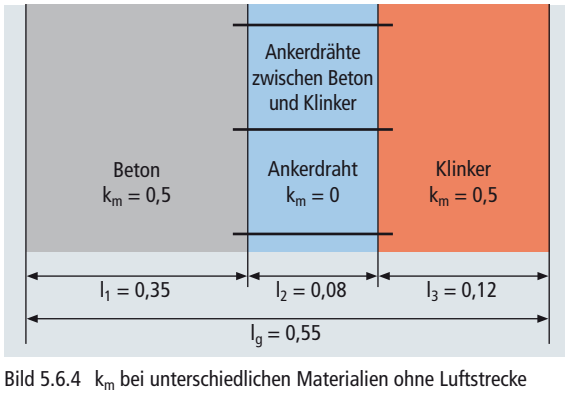


Bild 5.6.4 k_m bei unterschiedlichen Materialien ohne Luftstrecke

Meist werden jedoch bei mehrschaligen Mauerwerkskonstruktionen Verbindungselemente zwischen den Materialien (z. B. Beton, Klinker, Wärmedämmung-Verbundsystem) verwendet (**Bild 5.6.4**). Somit kann nicht von einer Luftstrecke zwischen den beiden Materialien ausgegangen werden. Der Gesamtmaterialfaktor für diese Konstellation ist entsprechend niedriger:

$$k_{m\,gesamt} = \frac{(0{,}35\,m \cdot 0{,}5 + 0{,}08\,m \cdot 0 + 0{,}12\,m \cdot 0{,}5)}{0{,}55\,m}$$

$k_{m\ gesamt} = 0{,}427$

Generell empfiehlt es sich, von der schlechtesten Situation auszugehen und den Materialfakror $k_m = 0{,}5$ zu verwenden.

Länge l

Die Länge l (**Bild 5.6.1**) ist die reale Länge entlang der Fangeinrichtung oder der Ableitung vom Punkt, an dem der Trennungsabstand ermittelt werden soll, bis zur nächsten Blitzschutz-Potentialausgleichsebene (Nullpotentialebene) oder der Erdungsanlage.
Jedes Gebäude mit dem Blitzschutz-Potentialausgleich hat in der Nähe der Erdoberfläche eine Äquipotentialfläche des Fundamenterders oder Erders. Diese Fläche ist die Bezugsebene für die Ermittlung der Länge l.
Soll bei hohen Gebäuden eine Blitzschutz-Potentialausgleichsebene geschaffen werden, so muss z. B. bei einer Höhe von 20 m der Blitzschutz-Potentialausgleich für alle elektrischen und elektronischen Leitungen sowie alle metallenen Installationen durchgeführt werden. Der Blitzschutz-Potentialausgleich auf dieser Höhe ist mit **Überspannungsschutzgeräten des Typs I** zu erstellen.
Ansonsten ist auch bei hohen Gebäuden, als Basis für die Länge l, die Äquipotentialfläche des Fundamenterders / Erders als Bezugspunkt zu verwenden. Bei großen Höhen von Gebäuden wird es schwieriger, die geforderten Trennungsabstände einzuhalten.

Stromaufteilungskoeffizient k_c

Der Faktor k_c berücksichtigt die Stromaufteilung im Ableitungssystem des äußeren Blitzschutzes. In der Norm sind verschiedene Berechnungsformeln für k_c angegeben. Um vor allem bei höheren Gebäuden in der Praxis noch realisierbare Trennungsabstände zu erreichen, wird die Installation von Ringleitungen empfohlen. Durch diese Vermaschung wird eine Symmetrierung des Stromflusses erreicht, was sich reduzierend auf den notwendigen Trennungsabstand auswirkt.
Der Potentialunterschied zwischen den Installationen des Gebäudes und den Ableitungen ist nahe der Erdoberfläche gleich Null. Mit zunehmender Höhe wird die Potentialdifferenz größer. Diesen Potentialtrichter kann man sich wie einen auf der Spitze stehenden Kegel vorstellen (**Bild 5.6.1**). Somit ist der einzuhaltende Trennungsabstand auf der Spitze des Gebäudes oder auf der Dachfläche am größten und wird in Richtung Erdungsanlage immer geringer. Dadurch kann es erforderlich werden, den Abstand zu den Ableitungen mehrfach zu berechnen, mit einer unterschiedlichen Länge l.

Die Berechnung des Stromaufteilungskoeffizienten k_c ist häufig aufgrund der unterschiedlichen Bauwerke nicht einfach.

Stromaufteilungskoeffizient k_c, einzelne Fangstange

Wird ein einzelner Fangmast z. B. neben dem Gebäude errichtet, fließt in dieser einen Fang- und Ableitung der gesamte Blitzstrom. Der Faktor k_c ist also gleich 1. Der Blitzstrom kann sich hier nicht aufteilen. Dadurch wird es oftmals schwierig, den Trennungsabstand einzuhalten. Im **Bild 5.6.5** kann dies erreicht werden, wenn der Fangmast (z. B. Tele-Blitzschutzmast) weiter vom Gebäude entfernt aufgestellt wird.

Stromaufteilungskoeffizient k_c, vereinfachter Ansatz

Um einfach und schnell k_c abschätzen zu können, kann der Wert in Abhängigkeit der Anzahl der Ableitungen, wie in **Tabelle 5.6.2** dargestellt, angenommen werden. Der vereinfachte Ansatz ist nur dann möglich, wenn die größte horizontale

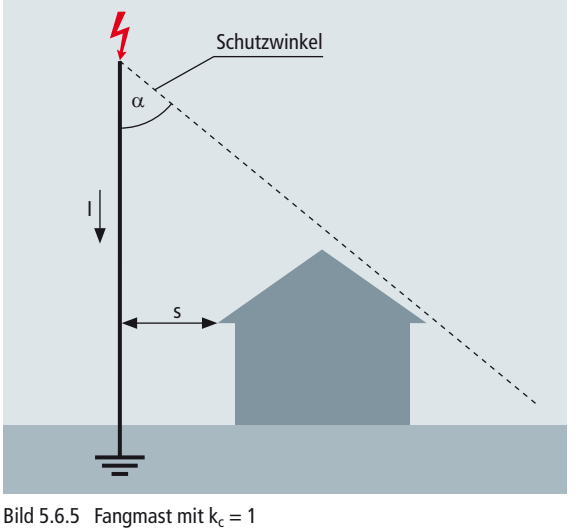


Bild 5.6.5 Fangmast mit $k_c = 1$

Anzahl der Ableitungen n	k_c
1 (nur im Fall eines getrennten Blitzschutzsystems)	1
2	0,66
3 und mehr	0,44

Tabelle 5.6.2 Stromaufteilungskoeffizient k_c, vereinfachter Ansatz

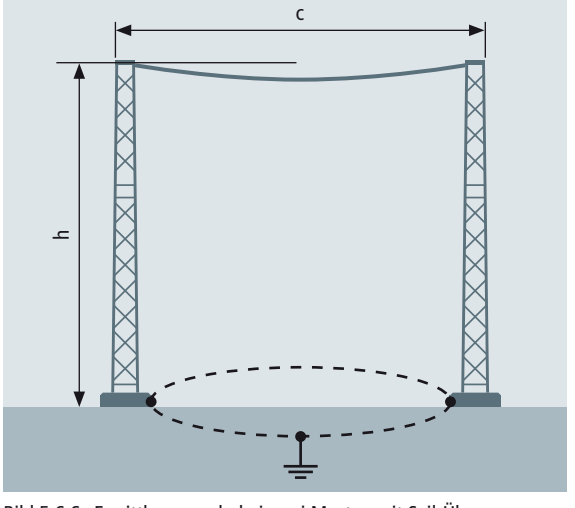


Bild 5.6.6 Ermittlung von k_c bei zwei Masten mit Seil-Überspannung und Erder Typ B

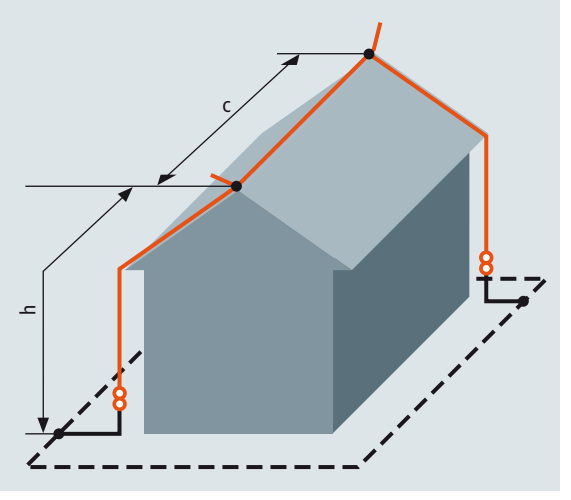


Bild 5.6.7 Ermittlung von k_c beim Satteldach mit 2 Ableitungen

Ausdehnung der baulichen Anlage (Länge oder Breite) nicht viermal größer als die Höhe ist.

Die k_c-Werte gelten für Erder des Typs B. Bei Erdern des Typs A, bei denen die Erdwiderstände der benachbarten Erderelektroden (Tiefenerder) sich nicht um mehr als einen Faktor 2 voneinander unterscheiden, können auch diese k_c-Werte verwendet werden. Weichen jedoch die Erdwiderstände von einzelnen Elektroden um mehr als einen Faktor 2 voneinander ab, so sollte $k_c = 1$ angenommen werden.

Stromaufteilungskoeffizient k_c, zwei Fangstangen / Ableitungen miteinander verbunden

Werden zwei Fangstangen oder Fangmaste überspannt, so kann sich der Blitzstrom auf zwei Strompfade aufteilen (**Bild 5.6.6**). Die Aufteilung findet allerdings aufgrund der unterschiedlichen Längen (Impedanzen) nicht 50 % zu 50 % statt, da der Blitz nicht immer genau die Mitte der Anordnung trifft (gleiche Impedanzen), sondern auch im Verlauf der Fangeinrichtung einschlagen kann. Dieser ungünstigste Fall wird mit der Berechnung des Faktors k_c bei nachfolgender Formel berücksichtigt:

$$k_c = \frac{h + c}{2h + c}$$

h Länge der Ableitung

c Abstand der Fangstangen oder der Fangmaste zueinander.

Eine Erdungsanlage des Typs B wird in dieser Berechnung vorausgesetzt. Sind Einzelerder des Typs A vorhanden, so sind diese untereinander zu verbinden.

Nachfolgendes Beispiel zeigt die Berechnung des Koeffizienten k_c bei einem Satteldach mit zwei Ableitungen (**Bild 5.6.7**). Es ist eine Erdungsanlage vom Typ B (Ring- oder Fundamenterder) vorhanden:

$$k_c = \frac{9 + 12}{2 \cdot 9 + 12} = 0{,}7$$

Stromaufteilungskoeffizient k_c und Trennungsabstand s bei Satteldach oder Flachdach mit ≥ 4 Ableitungen

Die Anordnung der Ableitungen nach **Bild 5.6.7** sollte auch bei einem Einfamilienhaus nicht mehr errichtet werden. Durch zwei weitere Ableitungen, also in Summe 4 wird der Stromaufteilungskoeffizient k_c wesentlich verbessert (**Bild 5.6.8**). Zur Berechnung wird folgende Formel angesetzt:

$$k_c = \frac{1}{2n} + 0{,}1 + 0{,}2 \sqrt[3]{\frac{c}{h}}$$

h Länge der Ableitung bis zur Dachrinne des Gebäudes, als ungünstigster Punkt für eine Blitzeinkopplung

c Abstand der Ableitungen zueinander

n ist die Gesamtzahl der Ableitungen.

$$k_c = \frac{1}{2 \cdot 4} + 0{,}1 + 0{,}2 \sqrt[3]{\frac{12}{4}}$$

Ergebnis: **$k_c \approx 0{,}51$**.

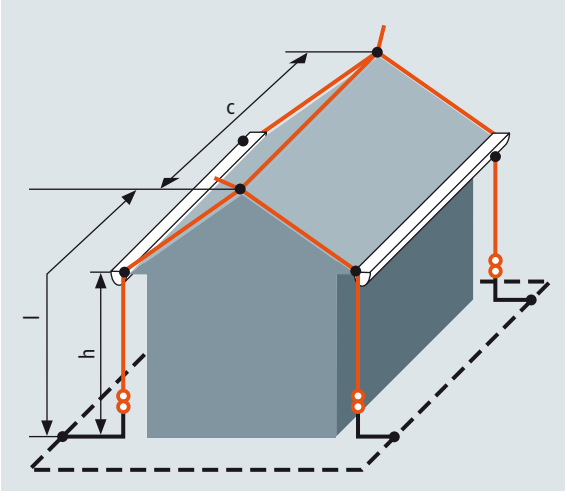


Bild 5.6.8 Satteldach mit 4 Ableitungen

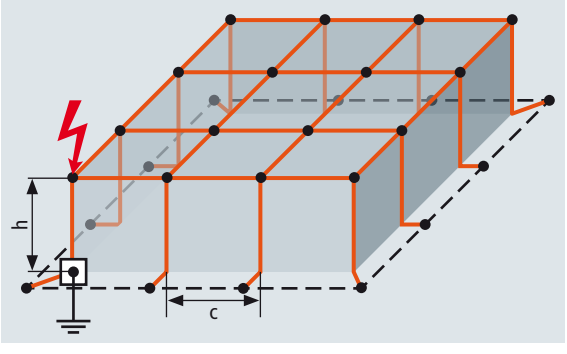


Bild 5.6.9 Werte des Koeffizienten k_c im Falle eines vermaschten Fangleitungsnetzes und einer Erderanordnung Typ B

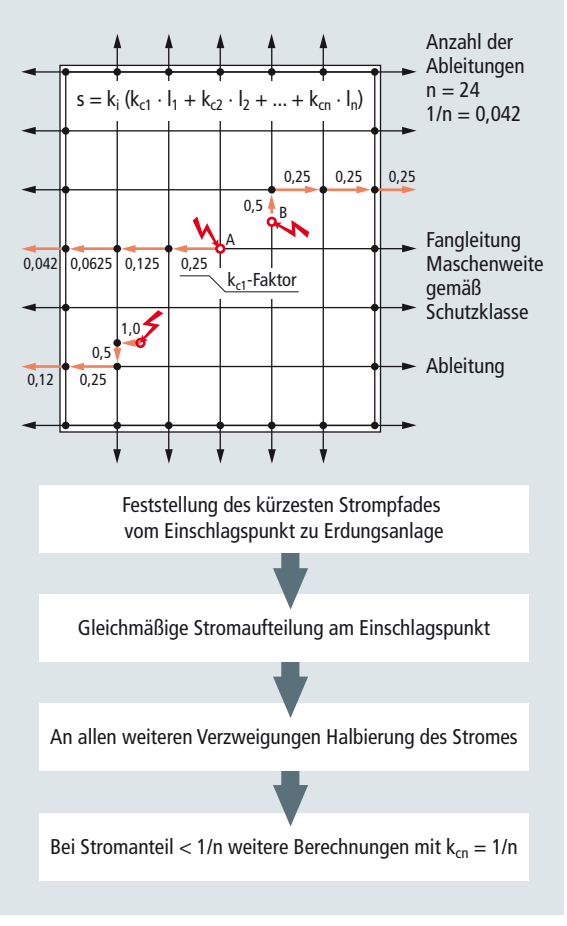


Bild 5.6.10 Werte des Koeffizienten k_c beim System aus mehreren Ableitungen entsprechend Bild C.5 der DIN EN 62305-3

Die Gleichung ist eine Annäherung für räumliche Strukturen und für n ≥ 4. Die Werte von h und c werden im Bereich 3 m bis 20 m angenommen. Wenn innere Ableitungen vorhanden sind, sollen sie bei der Anzahl n berücksichtigt werden.
Bei baulichen Anlagen mit Flachdächern, wird der Stromaufteilungskoeffizient k_c wie folgt berechnet. Eine Erderanordnung Typ B wird dabei vorausgesetzt (**Bild 5.6.9**):

$$k_c = \frac{1}{2n} + 0{,}1 + 0{,}2\sqrt[3]{\frac{c}{h}}$$

h Abstand oder Höhe zwischen Ringleitern

c Abstand einer Ableitung zur nächsten Ableitung

n die Gesamtzahl der Ableitungen.

Die Abstände der Ableitungen basieren auf der Schutzklasse (Tabelle 6 der DIN EN 62305-3). Eine Abweichung von +/- 20 % ist akzeptabel. Der Abstand c definiert somit den größten Abstand zwischen den symmetrisch angeordneten Ableitungen.

Detaillierter Ansatz zur Bestimmung des Trennungsabstands s

Neben den oben erläuterten Möglichkeiten zur Bestimmung des Stromaufteilungskoeffizienten k_c sowie des Trennungsabstands s, gibt es noch ein detailliertes Berechnungsverfahren. Bei Gebäuden mit vermaschten Blitzschutzsystem erhält man aufgrund der Vielzahl von Strompfaden, welche durch Flachdachleitungen sowie Ableitungen entstehen, eine gute Stromaufteilung. Dies wirkt sich positiv vor allem auf die Höhe des Trennungsabstands aus. Bei einem, wie in **Bild 5.6.10** dargestellten Dachaufbau auf einem Gebäude, kann mittels ei-

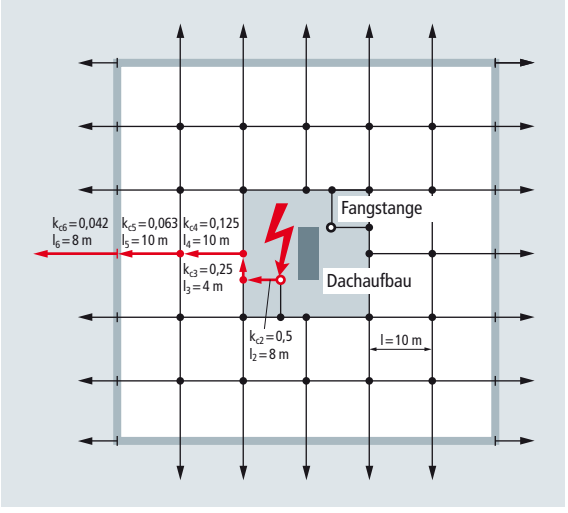


Bild 5.6.11 Stromaufteilung bei mehreren Ableitungen

nes detaillierten Ansatzes der Trennungsabstand s möglichst genau berechnet werden. Die allgemeine Berechnungsformel hierfür lautet:

$$s = \frac{k_i}{k_m}\left(k_{c1} \cdot l_1 + k_{c2} \cdot l_2 + \ldots + k_{cn} \cdot l_n\right)$$

k_{c1}, k_{cn} Stromaufteilungskoeffizient entsprechend der Anzahl der Strompfade

l_1, l_n Leitungslänge bis zum nächsten Knotenpunkt.

Die k_c-Werte sind abhängig von der Anzahl der Strompfade. Somit ergibt sich folgende Regelung:

➡ $k_c = 1$ Von der Näherungsstelle bis zum 1. Knotenpunkt.

Ab dem 1. Knotenpunkt bis zum nächsten Knotenpunkt ist der k_{c2} abhängig von der Anzahl der Fortleitungen:

➡ $k_c = 0{,}5$ bei zwei Fortleitungen

➡ $k_c = 0{,}33$ bei drei Fortleitungen

➡ $k_c = 0{,}25$ bei vier Fortleitungen.

In jedem weiteren Knotenpunkt wird der vorhergehende k_c-Wert halbiert. Der geringstmögliche k_c-Wert sollte „1/Anzahl der Ableitungen" nicht unterschreiten.

Beispiel: Zur Verdeutlichung ist nachfolgend der Trennungsabstand s für ein Flachdach mit Dachaufbau beschrieben.
Auf dem Dach eines Gebäudes (**Bild 5.6.11 und 5.6.12**) mit Schutzklasse (LPS) II wurde eine Klimaanlage errichtet.

Daten des Gebäudes:

➡ Blitzschutzklasse II

➡ Induktionsfaktor k_i 0,06

➡ Länge 60 m

➡ Breite 60 m

➡ Höhe 7 m

➡ Anzahl der Ableitungen 24

➡ Kleinster k_c-Wert (1/Anzahl der Ableitungen) $k_{cmin} = 0{,}042$

➡ Erdungsanlage, Fundamenterder Typ B -1,0 m.

Die Klimaanlage soll mit zwei diagonal angeordneten Fangstangen in den einschlagsgeschützten Bereich (LPZ 0_B) gebracht werden. Der Trennungsabstand soll am Fußpunkt der Fangstange ermittelt werden. Auf Grund der engmaschigen Leitungsverlegung auf der Dachfläche bilden sich Strompfade

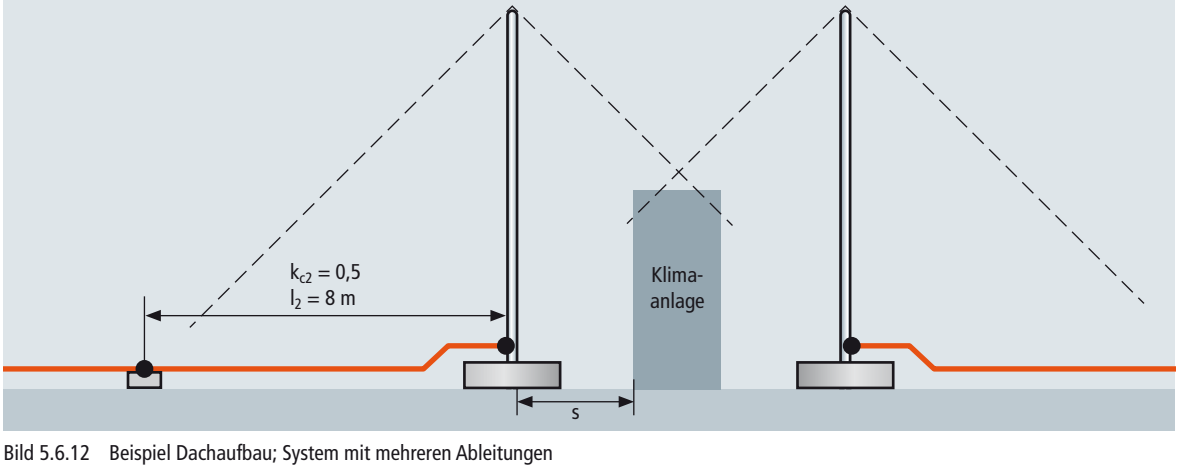


Bild 5.6.12 Beispiel Dachaufbau; System mit mehreren Ableitungen

mit unterschiedlichen Leitungslängen aus. Zudem teilt sich der Blitzstrom entsprechend der Knotenpunkte wie folgt auf:

- 1. Fußpunkt Fangstange (zwei Fortleitungen)
  k_{c1} = 0,5 mit einer Leitungslänge l_1 von 8,0 m
- 2. Knotenpunkt 1 (zwei Fortleitungen)
  k_{c2} = 0,25 mit einer Leitungslänge l_2 von 4,0 m
- 3. Knotenpunkt 2 (zwei Fortleitungen)
  k_{c3} = 0,125 mit einer Leitungslänge l_3 von 10,0 m
- 4. Knotenpunkt 3 (drei Fortleitungen)
  k_{c4} = 0,063 mit einer Leitungslänge l_4 von 10,0 m
- 5. Knotenpunkt 4 (drei Fortleitungen)
  k_{c5} = 0,042 mit einer Leitungslänge l_5 von 8,0 m.

Der Trennungsabstand wird wie folgt berechnet:

$$s = \frac{k_i(k_{c1} \cdot l_1 + k_{c2} \cdot l_2 + \ldots + k_{cn} \cdot l_n)}{k_m}$$

$$s = \frac{0,06(0,5 \cdot 8m + 0,25 \cdot 4m + 0,125 \cdot 10m + 0,063 \cdot 10m + 0,042 \cdot 8m)}{0,5}$$

s = 0,87 m bei festem Baustoff

Am Fußpunkt des Klimagerätes ist ein Trennungsabstand von 0,87 m in festem Baustoff einzuhalten.

Bestimmung der Nullpotentialebene

Wichtig für die Trennungsabstandsberechnung ist die Festlegung der Nullpotentialebene. Diese liegt bei Gebäuden in Höhe des Fundament- bzw. Ringerders. Somit ist die Festlegung der Nullpotentialebene ausschlaggebend für die Höhe des Trennungsabstands s.

Bei Gebäuden, welche eine blitzstromtragfähige durchverbundene Bewehrung von Wänden sowie Decken aufweisen, kann diese als Ableitungseinrichtung verwendet werden. Somit hat man aufgrund des durchgängigen gleichbleibenden Potentials keine Trennungsabstände, die es einzuhalten gilt. In der Regel sind jedoch auf den Dachflächen als Dacheindeckungen Isolierungen sowie Dachfolien aufgebracht, auf welchen Fangeinrichtungen in Form von Maschen installiert werden. Diese sind im Bereich der Attika an die Bewehrung angebunden. Bei einem Blitzeinschlag bilden sich somit im Bereich der Masche sowie des Leitungsverlaufs Trennungsabstände aus, welche einzuhalten sind. Daher empfiehlt es sich, hier die Leitungsverlegung unter Berücksichtigung der Trennungsabstände isoliert auszuführen.

Bei Gebäuden mit durchverbundenem Stahlskelett sowie Metalldach kann die Höhe der Nullpotentialebene gleich der Gebäudehöhe angenommen werden. Hier sind keine Trennungsabstände vorhanden.

Generell gilt es die Anforderungen entsprechend der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) zu berücksichtigen. Eine einfache Möglichkeit der Trennungsabstandsberechnung bietet das DEHN Distance Tool der Software DEHNsupport. Die Berechnung basiert auf dem in Kapitel 3.3.2.1 beschriebenen Knotenpunkt-Potential-Verfahren.

5.7 Schritt- und Berührungsspannung

In der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) wird darauf hingewiesen, dass in besonderen Fällen außerhalb eines Gebäudes die Berührungsspannung oder die Schrittspannung in der Nähe der Ableitungen lebensgefährlich werden kann, obwohl das Blitzschutzsystem nach dem Stand der Normung geplant wurde.
Besondere Fälle sind beispielsweise die Eingangsbereiche oder Unterstellbereiche von baulichen Anlagen mit hoher Besucherfrequenz, wie Theater, Kinos, Einkaufszentren, Kindergärten, bei denen blanke Ableitungen und Erder in unmittelbarer Nähe vorhanden sind.
Bei besonders exponierten (blitzgefährdeten) baulichen Anlagen, die dem öffentlichen Personenverkehr frei zugänglich sind, können ebenfalls Maßnahmen gegen unzulässig hohe Schritt- und Berührungsspannungen erforderlich sein.
Diese Maßnahmen (z. B. Potentialsteuerung) werden in erster Linie bei Kirchen, Aussichtstürmen, Schutzhütten, Flutlichtmasten in Sportanlagen und Brücken angewendet.
Personenansammlungen können örtlich unterschiedlich sein (z. B. im Eingangsbereich von Einkaufszentren oder im Aufstiegsbereich von Aussichtstürmen). Somit sind nur in diesen besonders gefährdeten Bereichen Maßnamen zur Reduzierung der Schritt- und Berührungsspannungen notwendig.

Hier werden Potentialsteuerung, Isolierung des Standortes oder weitere, nachfolgend beschriebene Maßnahmen angewendet. Die einzelnen Maßnahmen können auch untereinander kombiniert werden.

Definition der Berührungsspannung

Die Berührungsspannung ist die Spannung, die auf einen Menschen zwischen seiner Standfläche auf der Erde und bei einer Berührung der Ableitung einwirkt. Der Stromweg führt von der Hand über den Körper zu den Füßen (**Bild 5.7.1**).

Die Gefahr der unzulässig hohen Berührungsspannung besteht nicht bei einer Stahlskelett- oder Stahlbetonbauweise, voraus-

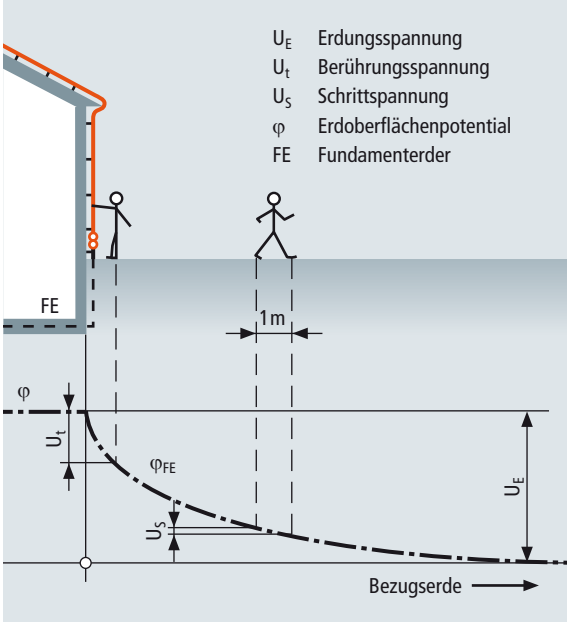


Bild 5.7.1 Prinzipdarstellung Schritt- und Berührungsspannung

gesetzt, dass die Bewehrung sicher durchverbunden ist oder die Ableitungen im Beton verlegt sind.
Weiterhin kann bei metallenen Fassaden die Berührungsspannung vernachlässigt werden, wenn diese in den Potentialausgleich eingebunden sind und/oder als natürliche Bestandteile der Ableitung verwendet werden.

Ist in den gefährdeten Bereichen außerhalb der baulichen Anlage bereits unterhalb der Erdoberfläche ein bewehrter Beton mit einer sicheren Anbindung der Bewehrung an den Fundamenterder vorhanden, verbessert diese Maßnahme bereits den Verlauf des Potentialtrichters und wirkt als Potentialsteuerung. Somit kann die Schrittspannung in der Betrachtung vernachlässigt werden.
Die Gefahr, dass eine Person durch Berührung der Ableitung Schaden nimmt, kann durch folgende Maßnahmen reduziert werden:

- Die Ableitung wird mit Isolierstoff ummantelt (min. 3 mm vernetzes Polyethylen mit einer Stehstoßspannungsfestigkeit von 100 kV, 1,2/50 µs).
- Die Position der Ableitungen kann verändert werden, sodass sie sich z. B. nicht im Eingangsbereich der baulichen Anlage befinden.
- Die Wahrscheinlichkeit der Häufung von Personen kann durch Hinweisschilder oder Verbotstafeln reduziert werden. Auch Absperrungen sind denkbar.
- Der Übergangswiderstand der oberflächlichen Bodenschicht ist innerhalb von 3 m um die Ableitungen nicht kleiner als 100 kΩ.
  Anmerkung: Eine Schicht Isolierstoff, z. B. Asphalt, mit einer Dicke von 5 cm (oder eine Schicht Kies mit einer Dicke von 15 cm) reduziert im Allgemeinen die Gefahr auf ein annehmbares Maß (DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3), Kapitel 8.1).
- Verdichtung des Maschennetzes der Erdungsanlage durch Potentialsteuerung.

Anmerkung: Ein Regenfallrohr – auch wenn dieses Rohr nicht als Ableitung definiert ist – kann für Personen bei Berührung eine Gefahr darstellen. In diesem Fall ist z. B. das metallene Rohr durch ein PVC-Rohr zu ersetzen (Höhe: 3 m).

Definition der Schrittspannung

Die Schrittspannung ist ein Teil der Erdungsspannung, der vom Mensch mit einem Schritt von 1 m Länge überbrückt werden kann, wobei der Stromweg über den menschlichen Köper von Fuß zu Fuß verläuft (**Bild 5.7.1**).
Die Schrittspannung hängt von der Form des Potentialtrichters ab. Wie aus der Darstellung ersichtlich, wird die Schrittspannung mit zunehmender Entfernung zum Gebäude geringer. Somit wird das Risiko für Personen mit zunehmenden Abstand zur baulichen Anlage verringert.

Für die Reduzierung der Schrittspannung können folgende Maßnahmen angewendet werden:

- Der Zugang von Personen zu den gefährdeten Bereichen kann verhindert werden (z. B. durch Absperrungen oder Zäune).
- Verringerung der Maschenweite des Erdungsnetzes – Potentialsteuerung.
- Der Übergangswiderstand der oberflächlichen Bodenschicht ist innerhalb von 3 m um die Ableitungen nicht kleiner als 100 kΩ (DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3), Kapitel 8.2).

Wenn sich viele Personen häufig in einem gefährdeten Bereich in der Nähe der zu schützenden baulichen Anlage aufhalten, sollte eine Potentialsteuerung zum Schutze dieser Personen vorgesehen werden.

Ausreichend ist die Potentialsteuerung, wenn das Widerstandsgefälle auf der Erdoberfläche im zu schützenden Bereich nicht mehr als 1 Ω/m beträgt.
Hierzu sollte zu einem bestehenden Fundamenterder ein zusätzlicher Ringerder im Abstand von 1 m und einer Tiefe von 0,5 m eingebracht werden. Ist für die bauliche Anlagen eine Er-

	Abstand zum Gebäude	Tiefe
1. Ring	1 m	0,5 m
2. Ring	4 m	1,0 m
3. Ring	7 m	1,5 m
4. Ring	10 m	2,0 m

Tabelle 5.7.1 Ringabstände und Tiefen der Potentialsteuerung

dungsanlage in Form eines Ringerders vorhanden, so ist dieser bereits „der erste Ring" der Potentialsteuerung.
Weitere Ringerder sollten im Abstand von 3 m zum ersten und den weiteren Ringerdern installiert werden. Mit zunehmender Entfernung zum Gebäude soll die Tiefe (jeweils 0,5 m) vergrößert werden (siehe **Tabelle 5.7.1**).

Wird eine Potentialsteuerung für eine bauliche Anlage realisiert, ist diese z. B. wie folgt zu installieren (**Bilder 5.7.2 und 5.7.3**):

- Die Ableitungen sind mit allen Ringen der Potentialsteuerung zu verbinden.
- Eine Verbindung der einzelnen Ringe ist jedoch mindestens zweimal herzustellen (**Bild 5.7.4**).

Können Ringerder (Steuererder) nicht kreisförmig ausgeführt werden, so sind diese an den Enden mit den anderen Enden der Ringerder zu verbinden. Es sollten mindestens zwei Verbindungen innerhalb der einzelnen Ringe erstellt werden (**Bild 5.7.5**).

Bei der Auswahl der Werkstoffe für die Ringerder muss die mögliche Korrosionsbelastung beachtet werden (Kapitel 5.5.7).

Unter der Berücksichtigung der galvanischen Elementebildung zwischen Fundamenterder und Ringerder hat sich der Werkstoff NIRO (V4A), z. B. Werkstoff-Nr. 1.4571, bewährt.
Ringerder können als Runddraht Ø 10 mm oder als Band 30 mm x 3,5 mm ausgeführt werden.

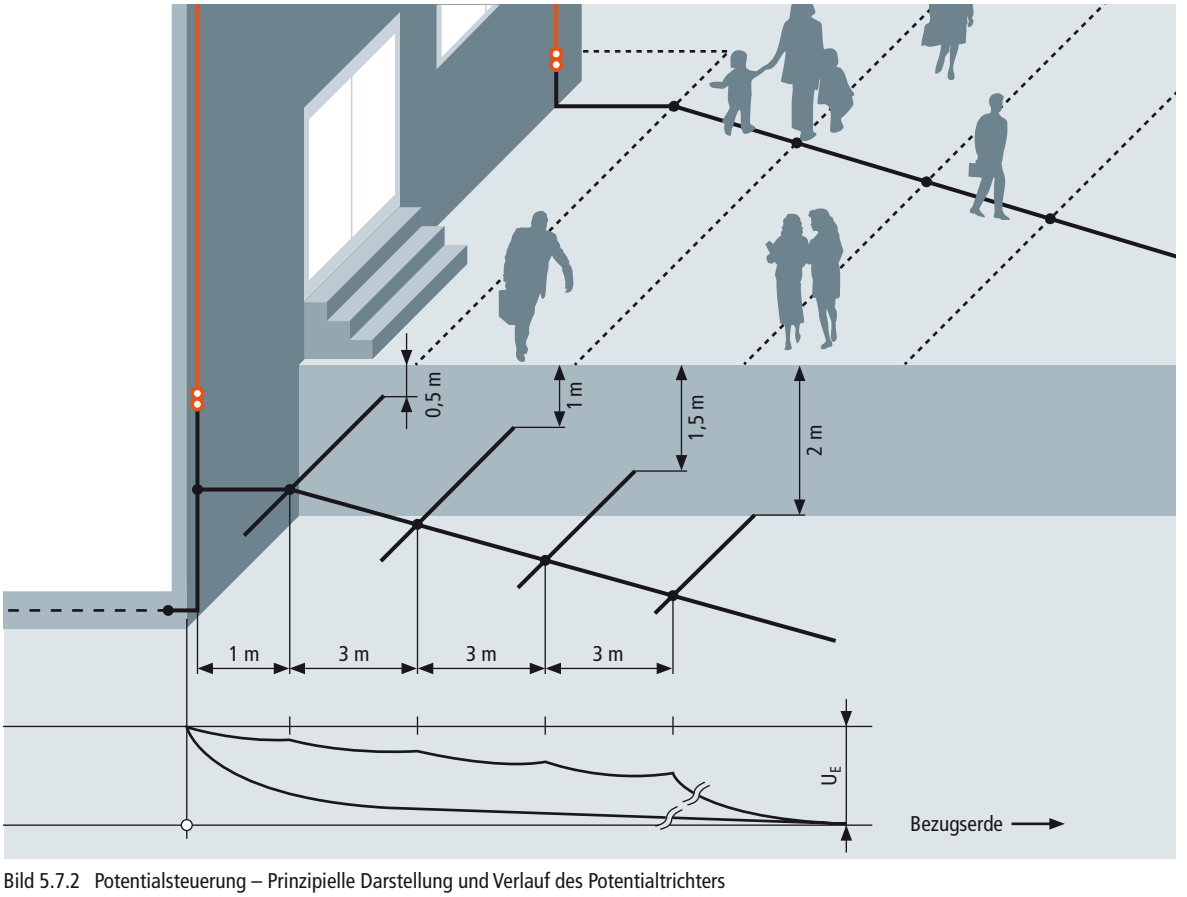


Bild 5.7.2 Potentialsteuerung – Prinzipielle Darstellung und Verlauf des Potentialtrichters

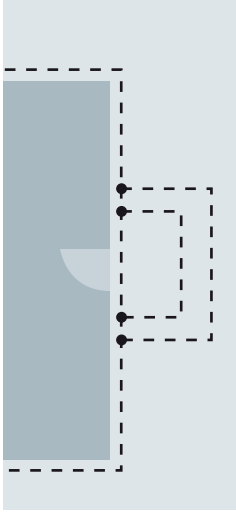


Bild 5.7.3 Mögliche Potentialsteuerung im Bereich des Eingangs einer baulichen Anlage

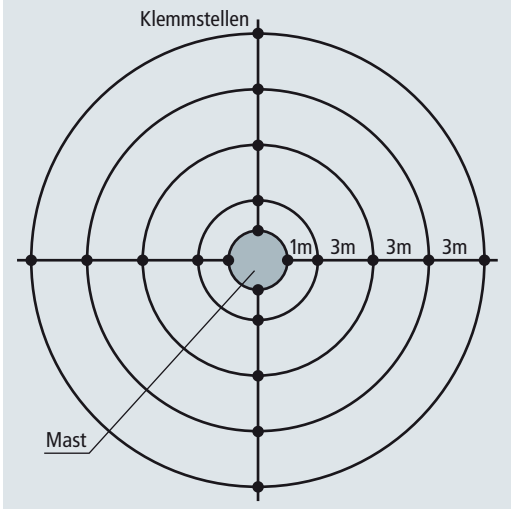


Bild 5.7.4 Ausführung der Potentialsteuerung für einen Flutlicht- oder Mobilfunkmast

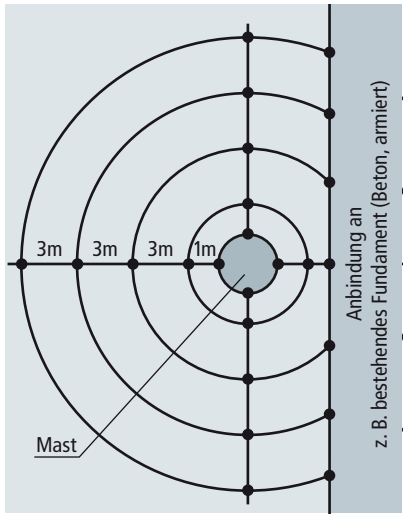


Bild 5.7.5 Anschlusssteuerung am Ringerder/ Fundamenterder

5.7.1 Beherrschung der Berührungsspannung bei Ableitungen von Blitzschutzanlagen

Der Gefahrenbereich von Berührungs- und Schrittspannungen für Personen, die sich außerhalb eines Gebäudes aufhalten, liegt innerhalb eines Abstandes von 3 m zum Gebäude und einer Höhe von 3 m. Dieser zu schützende Bereich entspricht in seiner Höhe der maximalen Griffhöhe eines Menschen mit hochgestreckter Hand und einem zusätzlichen Trennungsabstand s (**Bild 5.7.1.1**).

Spezielle Anforderungen an Schutzmaßnahmen sind beispielsweise für Eingangsbereiche oder Unterstellbereiche von baulichen Anlagen mit hoher Besucherfrequenz gegeben wie Theater, Kinos, Einkaufszentren, Kindergärten, bei denen keine isolierten Ableitungen und Blitzschutzerder in unmittelbarer Nähe vorhanden sind.
Bei besonders exponierten (blitzgefährdeten) baulichen Anlagen, die dem öffentlichen Personenverkehr frei zugänglich sind, wie z. B. Schutzhütten, können ebenfalls Maßnahmen gegen unzulässig hohe Berührungsspannungen erforderlich sein. Weiterhin wird bei der Risikoanalyse einer baulichen Anlage nach DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2) die Personengefährdung als Parameter L1 (Verletzung oder Tod von Personen) mit beachtet.

Die Gefahr durch Berührungsspannung kann dabei durch folgende Maßnahmen reduziert werden:

- Die Ableitung wird mit Isolierstoff ummantelt (mind. 3 mm vernetztes Polyethylen; mit einer Stehstoßspannungsfestigkeit von 100 kV (1,2/50 µs)).
- Die Position der Ableitungen wird verändert (z. B. keine Ableitungen im Eingangsbereich der baulichen Anlage).
- Der spezifische Widerstand der Oberflächenschicht der Erde im Abstand bis zu 3 m um die Ableitung beträgt mindestens 100 kΩ (DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3)).

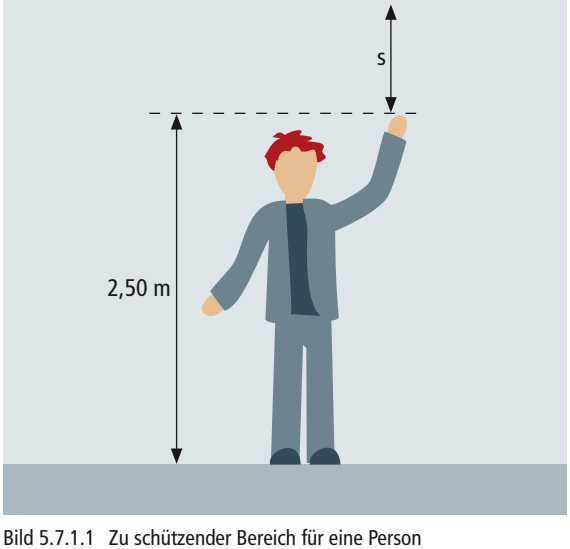


Bild 5.7.1.1 Zu schützender Bereich für eine Person

➡ Die Wahrscheinlichkeit der Häufung von Personen kann durch Hinweisschilder oder Verbotstafeln verringert werden. Auch Absperrungen sind denkbar.

Die Maßnahmen zum Schutz gegen Berührungsspannung sind für einen wirksamen Personenschutz nicht in jedem Fall ausreichend. So genügt z. B. die Forderung nach Ummantelung einer exponierten Ableitung mit einer hochspannungsfesten Isolierung nicht, wenn nicht gleichzeitig Maßnahmen zum Schutz gegen Gleitüberschläge an der Oberfläche der Isolierung getroffen werden. Dies ist von besonderer Bedeutung, wenn Umwelteinflüsse wie z. B. Regen (Feuchtigkeit) mitberücksichtigt werden müssen.
Wie bei einem blanken Ableiter baut sich auch bei einer isolierten Ableitung im Falle eines Blitzeinschlages eine hohe Spannung auf. Diese Spannung wird jedoch durch die Isolation vom Menschen getrennt gehalten. Da der menschliche Körper im Vergleich zum Isolierstoff als sehr gut leitfähig angenommen werden kann, wird die Isolierschicht mit nahezu der gesamten Berührungsspannung beansprucht. Hält die Isolation der Spannung nicht stand, kann ein Teil des Blitzstromes wie bei der blanken Ableitung über den menschlichen Körper zur Erde abfließen. Für einen sicheren Personenschutz gegen Berührungsspannungen ist es deshalb unbedingt erforderlich, sowohl einen Durchschlag durch die Isolierung als auch einen Gleitüberschlag über die Isolierstrecke zu verhindern.
Eine abgestimmte Systemlösung, wie die der CUI-Leitung, erfüllt diese Anforderung der Durch- und Gleitüberschlagsfestigkeit zum Schutz vor Berührungsspannung.

Aufbau der CUI-Leitung

Die CUI-Leitung besteht aus einem Innenleiter aus Kupfer mit einem Querschnitt von 50 mm^2 und ist mit einer Isolationsschicht aus stoßspannungsfestem vernetztem Polyethylen (VPE) mit einer Dicke von ca. 6 mm ummantelt (**Bild 5.7.1.2**).

Zum Schutz vor äußeren Einflüssen ist die isolierte Leitung zusätzlich mit einer dünnen Schicht aus Polyethylen (PE) umhüllt. Die isolierte Ableitung wird im gesamten Gefahrenbereich verlegt, d. h. oberhalb der Erdoberfläche werden 3 m der CUI-Leitung senkrecht installiert. Das obere Ende der Leitung wird an die von der Fangeinrichtung kommende Ableitung, das untere Ende an die Erdungsanlage angeschlossen.
Neben der Durchschlagsfestigkeit der Isolierung muss auch die Gefahr von Gleitüberschlägen zwischen dem Anschlusspunkt an der blanken Ableitung und der Hand der berührenden Personen in Betracht gezogen werden. Diese in der Hochspannungstechnik bekannte Problematik der Gleitentladungen wird mit einer Fremdschicht, z. B. in Form von Regen, noch zusätzlich verschärft. In Versuchen konnte nachgewiesen werden, dass eine isolierte Ableitung ohne zusätzliche Maßnahmen auf einer Strecke von mehr als 1 m bei Beregnung überschlagen werden kann. Durch das Aufbringen eines geeigneten Schirmes an die isolierte Ableitung wird bei der CUI-Leitung eine ausreichende Trockenzone geschaffen, welche einen Gleitüberschlag entlang der Isolationsoberfläche verhindert. Mit den Stehspannungsprüfungen unter Beregnung nach VDE 0432-1 wurde die Betriebssicherheit der CUI-Leitung sowohl bezüglich der Durchschlagsfestigkeit als auch hinsichtlich der Gleitüberschlagsfestigkeit bei Impulsspannungen bis 100 kV (1,2/50 µs) nachgewiesen. Bei diesen Regenprüfungen wird eine definierte Menge Wasser mit einer bestimmten Leitfähigkeit und einem Strahlwinkel von ca. 45° auf die Leitung gesprüht (**Bild 5.7.1.3**).

Die CUI-Leitung ist bereits vorkonfektioniert, mit Element für den Anschluss an die Ableitung (Trennstelle), und kann gegebenenfalls auch für den Anschluss an die Erdungsanlage vor Ort gekürzt werden. Das Produkt kann mit der Länge 3,5 m und 5 m und mit den notwendigen abgestimmten Leitungs-

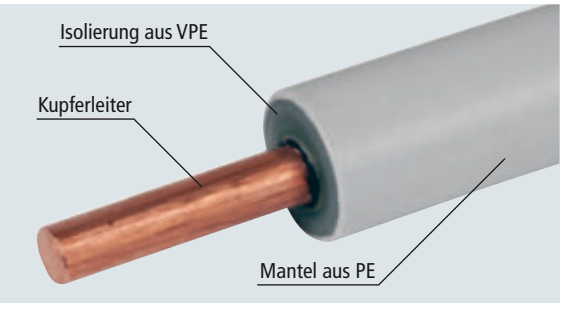


Bild 5.7.1.2 Aufbau der CUI-Leitung

Bild 5.7.1.3 Stehspannungsprüfung unter Beregnung

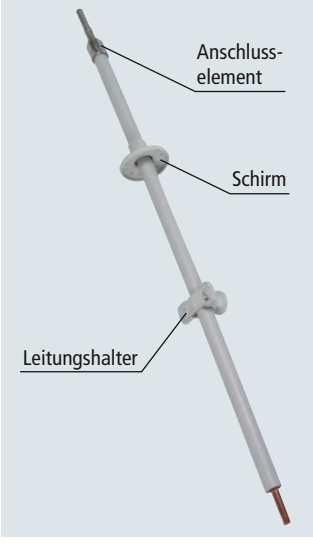


Bild 5.7.1.4 Produktbild CUI-Leitung

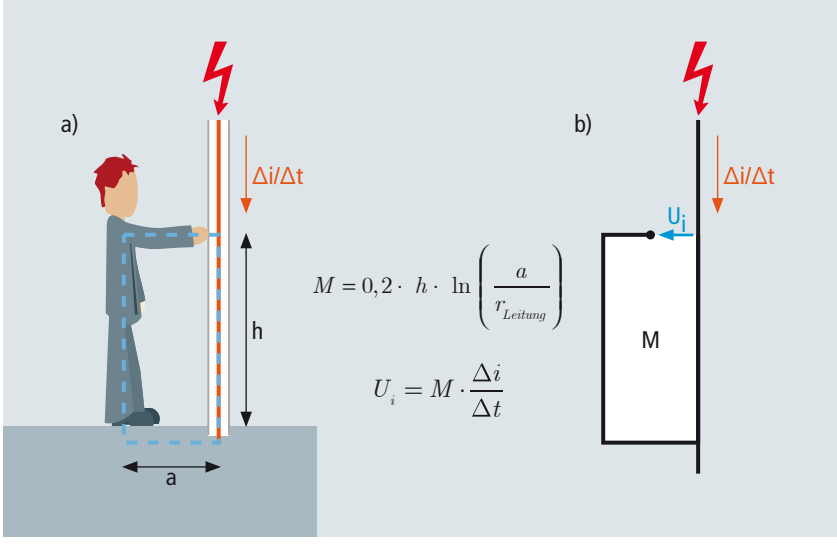


Bild 5.7.1.5 (a) Schleife Ableitung-Person; (b) Gegeninduktivität M und induzierte Spannung U_i

haltern aus Kunststoff oder aus Metall bezogen werden (**Bild 5.7.1.4**).
Durch die spezielle CUI-Leitung kann mit einfachen Maßnahmen und geringem Installationsaufwand die Berührungsspannung an Ableitungen beherrscht werden. Dadurch wird die Gefahr für Personen in den besonders gefährdeten Bereichen wesentlich reduziert.

Induktive Einkopplung bei sehr großen Stromsteilheiten

Im Zusammenhang mit der Gefährdung von Personen muss auch das magnetische Feld der Anordnung mit seinen Auswirkungen auf die nähere Umgebung der Ableitung berücksichtigt werden. In ausgedehnten Installationsschleifen beispielweise können in der Nähe der Ableitung Spannungen von mehreren 100 kV auftreten, was zu großen wirtschaftlichen Schäden führen kann. Auch der menschliche Körper bildet aufgrund seiner leitenden Eigenschaft zusammen mit der Ableitung und dem leitfähigen Erdreich eine Schleife mit einer Gegeninduktivität M, in der hohe Spannungen U_i induziert werden können (**Bilder 5.7.1.5a und 5.7.1.5b**). Das System Ableiter-Person wirkt dabei wie ein Transformator.
Diese eingekoppelte Spannung liegt an der Isolation an, da der menschliche Körper und das Erdreich zunächst als leitfähig angenommen werden können. Wird die Spannungsbelastung zu groß, führt dies zu einem Durch- oder Gleitüberschlag der Isolation. Die induzierte Spannung treibt dann durch diese Schleife einen Strom, dessen Größe von den Widerständen und der Eigeninduktivität der Schleife abhängt und für die betroffene Person lebensgefährlich werden kann. Die Isolation muss somit dieser Spannungsbeanspruchung standhalten.
Die normative Vorgabe von 100 kV bei 1,2/50 µs schließt die hohen, aber sehr kurzen Spannungsimpulse, welche nur während der Dauer des Stromanstiegs (0,25 µs bei negativen Folgeblitz) anliegen, mit ein. Mit steigender Eingrabtiefe der isolierten Ableitungen vergrößert sich die Schleife und damit die Gegeninduktivität. Dadurch nimmt die induzierte Spannung und die Beanspruchung der Isolation in entsprechendem Maße zu, was bei dieser Betrachtung bezüglich der induktiven Einkopplung miteinbezogen werden muss.

5.7.2 Optimierung der Blitzschutzerdung unter Schrittspannungsaspekten

Die unter 5.7.1 beschriebenen Anordnungen von Ringerdern sind nicht immer realisierbar. Deren Ausführung stellt sowohl einen erheblichen baulichen als auch finanziellen Aufwand dar und ist zum Beispiel in dicht bebauten Gebieten aus Platzgründen nicht immer umsetzbar. Nachstehend wird erläutert, welche Optimierungsmöglichkeiten mit den heute zur Verfügung stehenden modernen Simulationswerkzeugen und deren Anwendung auf reale Anordnungen bestehen.
Mit den vorgestellten Grundsatzuntersuchungen und einer umfangreichen Analyse der Literatur steht jetzt ein Werkzeug zur Verfügung, das eine 3-D-Simulation ausgedehnter Erdungsanlagen ermöglicht und darüber hinaus auch den Effekt der Bodenionisierung berücksichtigt. Dies führt zu einer deutlichen Verbesserung gegenüber früheren, vereinfachen-

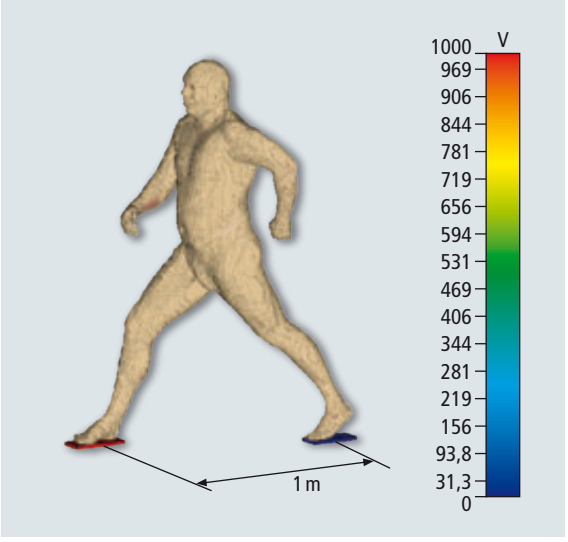


Bild 5.7.2.1 Das Hugo-Modell in Schrittposition mit Kontaktierungsflächen an den Füßen (Quelle: TU Darmstadt)

den analytischen Ansätzen. Außerdem lässt sich hier auch die Rückwirkung eines Menschen auf die sich einstellenden Schritt-Körperspannungen in die Simulation miteinbeziehen. Die Durchführung von Simulationen nur mit unbelasteten Schrittspannungen führt dagegen zu zu hohen und vermeintlich nicht akzeptablen Spannungswerten.

Zur Bewertung der Simulationsergebnisse liegt ein Schrittspannungsgrenzwert vor, der durch eine umfangreiche Literaturrecherche abgesichert ist.
Voraussetzung für eine Optimierung von Erdungsanlagen unter Schrittspannungsaspekten ist die Festlegung einer zulässigen Schritt-Körperspannung, bei der noch nicht mit gesundheitlichen Schäden zu rechnen ist.

Schrittspannungsgrenzwerte

Aus der Literatur sind Angaben zu technischen Wechselspannungen und Stromwegen wie Hand-Hand und Hand-Fuß bekannt. Das Thema der Schrittspannungssteuerung bei kurzzeitig wirksamen Impulsen einerseits und einem Stromweg Fuß-Fuß andererseits wird nicht betrachtet. Bei Zugrundelegung der Zeitparameter eines Erstblitzes mit der Impulsform 10/350 µs sind aus der DIN IEC/TS 60479-1 (VDE V 0140-479-1): 2007-05 „Wirkungen des elektrischen Stromes auf Menschen und Nutztiere – Teil 1: Allgemeine Aspekte" und der IEC/TS 60479-2 „Wirkungen des elektrischen Stromes auf Menschen und Nutztiere – Teil 2: Spezielle Aspekte", dem Band 44 der VDE-Schriftenreihe „Neuhaus, H.: Blitzschutzanlagen – Erläuterungen zu DIN 57185/VDE 0185" und der sogenannten „electrocution equation" von C. F. Dalziel und W. R. Lee,

Quelle	U_k
IEC 60479-1 und -2	25 kV
Neuhaus	15 kV
Dalziel	32 kV
Körperstromsimulation (Hugo)	26,6 kV

Tabelle 5.7.2.1 Schritt-Körperspannungsgrenzwerte nach unterschiedlichen Quellen

„Reevaluation of Lethal Electric Currents. IEEE Transactions on industry Applications", mögliche Grenzwerte abzuleiten. Um diese Angaben abzusichern und auch nachvollziehbar zu machen, wurden zusätzlich die Strömungsfelder im menschlichen Körper beim Auftreten einer Schrittspannung mit einem Rechner mittels einer FEM-Software und des sogenannten Hugo-Modells simuliert. Beim Hugo-Modell wird der menschliche Körper inklusive aller Organe dreidimensional bei einer räumlichen Auflösung von max. 1 mm × 1 mm × 1 mm nachgebildet. Es basiert auf dem „Visible Human Project" der National Library of Medicine in Bethesda/USA und ist auch für die Simulation elektrischer Felder im Körper geeignet.

Schrittspannungssimulation

Zur Simulation wird an den Füßen des Hugo-Modells in Schrittposition (Schrittweite 1 m) eine Schrittspannung von 1 kV angelegt (**Bild 5.7.2.1**). In dieser Anordnung ergeben sich eine maximale Stromdichte im Herzen von ca. 1,2 A/m^2 und ein Gesamtstrom durch das Herz von etwa 7,5 mA. Bei einem 10/350-µs-Impuls darf der maximale Herzstrom einen Wert von 200 mA nicht überschreiten. Damit kann auf einen maximal zulässigen Wert der Schritt-Körperspannung von 26,6 kV zurückgerechnet werden. Die so errechneten Grenzwerte der Schritt-Körperspannung sind in **Tabelle 5.7.2.1** nach Quellen zusammengefasst.
Nach Auswertung aller theoretischen Überlegungen sowie der jeweiligen Hintergründe der aufgestellten Grenzwerte wurde der IEC-Grenzwert von 25 kV für die Simulationen herangezogen. Um Erdungsanlagen auch unter dem Aspekt möglichst geringer Kosten untersuchen und variieren zu können, wurden verschiedene Konfigurationen simuliert.

Referenzmodell

Zur Minimierung des Einflusses von Randeffekten erfolgt die Berechnung für alle Erdungsanlagen in einer Halbkugel mit 100 m Radius. Die Kugeloberfläche wird als Ground („Nullpotential") festgelegt. Die Kugelschnittfläche fungiert als Äquivalent zur Erdoberfläche, wenn man sie als elektrische Isolation definiert. Die Berechnungen erfolgen im stationären Strömungsfeld. Als Blitzstromamplitude wird stets ein Wert von 100 kA angenommen.

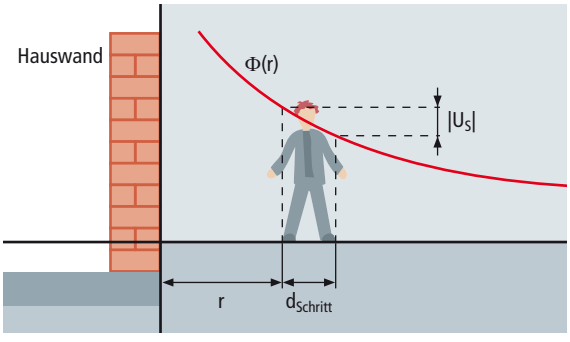


Bild 5.7.2.2 Bezugssystem für die Schrittspannungsangaben

Der Erdboden wurde mit zwei verschiedenen Modellen simuliert:

- Modell 1: Boden, dessen elektrische Eigenschaften unabhängig von weiteren elektrischen Größen sind („linear"). Sofern nicht anders angegeben, wird eine elektrische Leitfähigkeit von 0,001 S/m gewählt, was einem spezifischem Widerstand von 1000 Ωm entspricht. Dies repräsentiert einen Boden mit relativ schlechter elektrischer Leitfähigkeit.
- Modell 2: Boden, der seine elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit der elektrischen Feldstärke ändert („nichtlinear"). Dieses Modell wurde gewählt, um den Effekt der Bodenionisierung nachzubilden. Hierzu wird eine Leitfähigkeitskennlinie definiert, die unterhalb einer elektrischen Feldstärke von 300 kV/m eine elektrische Leitfähigkeit von 0,001 S/m und oberhalb von 500 kV/m eine elektrische Leitfähigkeit von 0,01 S/m aufweist und zwischen diesen Werten näherungsweise linear ansteigt.

Zur Vergleichbarkeit verschiedener Erdungsanlagen wurde zunächst ein Referenzmodell definiert:

- kleines Gebäude mit einer Grundfläche von 10 m × 10 m und einer Kellertiefe von 2 m
- Gebäude wird zunächst als ideal isolierend angenommen.

Für die Simulation wird der Blitzstrom in eine Anschlussfahne der Erdungsanlage eingeprägt. Er breitet sich von dort durch die Erdungsanlage und den Erdboden bis zur Ground-Fläche aus. Auf der Erdoberfläche bestimmt man das sich einstellende elektrische Potential und berechnet daraus den Betrag der Schrittspannung $|U_S|$ bei einer Schrittweite $d_{Schritt}$ = 1 m. Dies geschieht entlang einer Geraden auf der Erdoberfläche, die von einer der Hauswände bis zum Rand des Berechnungsgebiets verläuft. Der angegebene Ort r entspricht der Entfernung zur Hauswand (**Bild 5.7.2.2**).

Simulationen am Referenzmodell

Am Referenzmodell erfolgten zunächst Simulationen mit einer steigenden Zahl von Ringerdern, die entsprechend der gängigen Praxis im Abstand von 1 m, 4 m, 7 m und 10 m von den Hauswänden und in einer Tiefe von 0,5 m, 1 m, 1,5 m und 2 m verlegt wurden (**Bild 5.7.2.3**).

Beim Vergleichen der Ergebnisse fallen mehrere Aspekte unmittelbar ins Auge: Es ist festzustellen, dass eine Berücksichtigung der Bodenionisation im Vergleich zu einem linearen Boden zu deutlich reduzierten Schrittspannungen führt. Während bei der Berücksichtigung von Bodenionisation an einem einzelnen Ringerder eine maximale Schrittspannung von ca. 325 kV zu beobachten ist, tritt bei einem linearen Boden an einem einzelnen Erder eine Spannung von ca. 750 kV auf. Mit zunehmender Anzahl an Erderringen schrumpft dieser Abstand jedoch. So treten bei zwei Ringerdern nur noch ca. 200 kV bzw. 225 kV auf.

Weitere hinzugefügte Erderringe führen erwartungsgemäß zu einer deutlichen Verringerung der jeweils auftretenden Schritt-

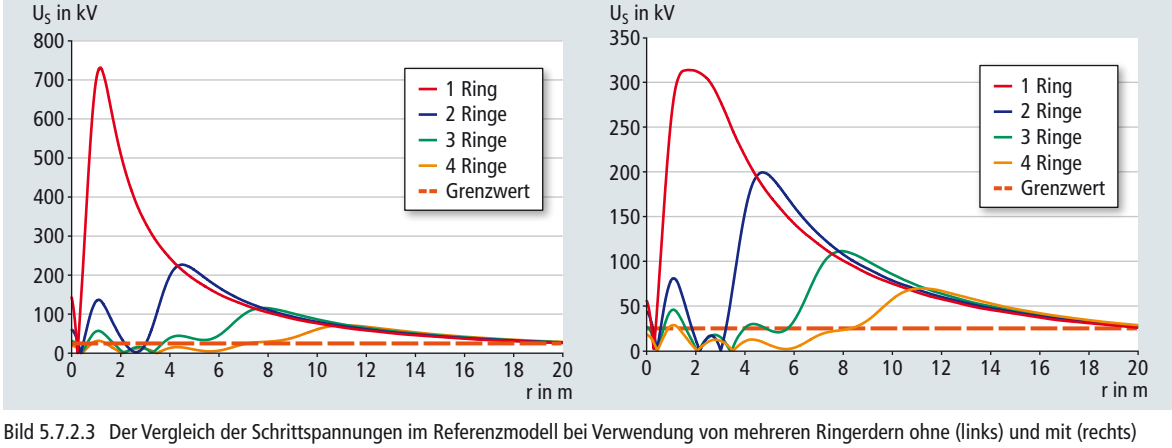


Bild 5.7.2.3 Der Vergleich der Schrittspannungen im Referenzmodell bei Verwendung von mehreren Ringerdern ohne (links) und mit (rechts) Berücksichtigung der Bodenionisierung

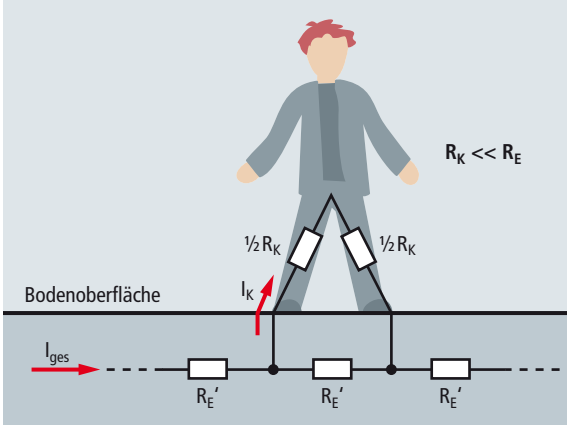


Bild 5.7.2.4 Belasten der Schrittspannung auf der Bodenoberfläche durch einen Menschen

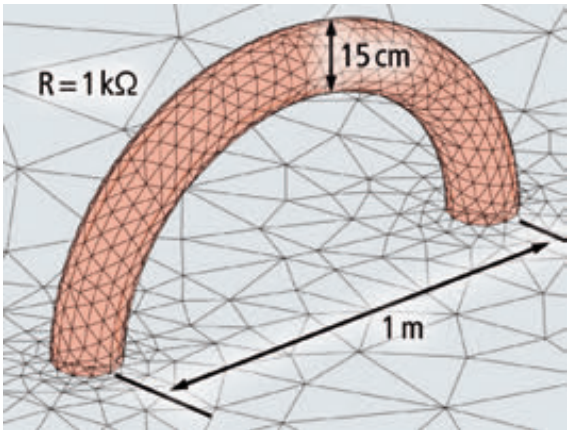


Bild 5.7.2.5 Stark vereinfachte Modellierung eines Menschen zur Untersuchung der Rückwirkung auf die Schrittspannung (rot eingefärbt)

spannungen. Es ist jedoch zu beachten, dass diese Verringerung vor allem innerhalb der Erdungsanlage auftritt. An ihrem Rand, an dem das durch die Ringerder gesteuerte Strömungsfeld in ungesteuerte elektrische Felder im Boden übergeht, kommt es grundsätzlich zu einem Anstieg der Schrittspannungen.
In diesem Zusammenhang ist bemerkenswert, dass die Schrittspannungen, die sich außerhalb der Erdungsanlage einstellen, einem einheitlichen Verlauf folgen und von der Anzahl der Ringe in der Erdungsanlage praktisch unabhängig sind. Dies ist in **Bild 5.7.2.3** für r > 11 m deutlich zu erkennen. Bemerkenswert ist auch, dass die ermittelten Schrittspannungen selbst bei einer sehr aufwendigen Vier-Ringe-Anordnung und unter Berücksichtigung einer Bodenionisierung noch deutlich über dem Grenzwert von 25 kV liegen.

Rückwirkung durch den Menschen

Da die sich einstellenden Schrittspannungen z. T. deutlich über dem angenommenen Grenzwert liegen, stellt sich die Frage, ob der gegenwärtig anerkannte Stand der Technik und die gängige Praxis geeignet sind, einen angemessenen Schutz vor zu hohen Schrittspannungen zu ermöglichen. Berücksichtigt man jedoch die Tatsache, dass besonders bei schlecht leitfähigem Boden ein Mensch gegenüber dem Erdboden einen wesentlich niedrigeren elektrischen Widerstand darstellt, ergibt sich eine Rückwirkung auf die sich einstellende Schrittspannung, analog zur Belastung einer Spannungsquelle mit hohem Innenwiderstand (**Bild 5.7.2.4**).

In „H. Neuhaus: Blitzschutzanlagen – Erläuterungen zu DIN 57185/VDE 0185" wird ein ähnliches Konzept in Form von Erdungswiderständen der Füße eingeführt, die eine Art Übergangswiderstand zwischen Erdboden und Füßen darstellen. Diese sind jedoch nicht mit Fremdwiderständen, wie Schuhsohlen, zu verwechseln. Nach Neuhaus wirken diese Erdungswiderstände in Reihe zum Körperinnenwiderstand, bilden einen Spannungsteiler und setzen die Schritt-Körperspannung, die tatsächlich an einer Person anliegt, gegenüber der reinen Schrittspannung auf dem Boden herab.
Um diese Rückwirkung des Menschen auch in der Simulation überprüfen zu können, entstand ein stark vereinfachtes Objekt in Form eines Bogens, dessen beide Grundflächen der von Neuhaus angenommenen Fläche eines Fußes (D = 0,15 m) entsprechen. Die elektrische Leitfähigkeit wird so gewählt, dass sich ein Widerstand des Bogens von 1 kΩ ergibt. Dieser Wert stellt, als Ergebnis umfangreicher Untersuchungen, den kritischsten realistisch anzunehmenden Fall bzgl. der resultierenden Körperdurchströmung dar. Der Bogen wird an der Erdoberfläche über einer Vier-Ringe-Erderanlage platziert und diejenige Schrittspannung berechnet, die sich durch die Rückwirkung des Objekts auf die Schrittspannung ergibt (**Bild 5.7.2.5**).
Stellvertretend für die Modelle des Bodens ohne Ionisierungseffekt sowie mit einer elektrischen Leitfähigkeit von σ = 0,001 S/m sind in **Bild 5.7.2.6** die sich einstellenden Schrittspannungen $U_{S,\ mit}$ mit Rückwirkung durch den Menschen, die Schrittspannungen $U_{S,\ ohne}$ ohne Rückwirkung sowie der Quotient aus beiden Werten einander gegenübergestellt. Die **Tabelle 5.7.2.2** vergleicht die Ergebnisse weiterer Simulationen untereinander mit den von Neuhaus analytisch abgeschätzten Faktoren.
Aus **Bild 5.7.2.6** ist zu erkennen, dass der Faktor $U_{S,\ ohne}/U_{S,\ mit}$ bei einer gegebenen Bodenleitfähigkeit über den gesamten Berechnungsraum näherungsweise konstant ist. Bei einer Variation der Bodenleitfähigkeit ändert sich laut **Tabelle 5.7.2.2** erwartungsgemäß auch der Faktor $U_{S,\ ohne}/U_{S,\ mit}$. Die in der Simulation ermittelten Faktoren stimmen gut mit den

ρ in Ωm	σ in S/m	$U_{S,\,ohne}$ / $U_{S,\,mit}$	Faktor nach Neuhaus
100	0,01	1,64	1,66
200	0,005	2,3	2,3
500	0,002	4,1	4,3
1000	0,001	7,2	7,6
–	0,001 ... 0,01 (nichtlinear)	7	–

Tabelle 5.7.2.2 Simulationsergebnisse mit und ohne Berücksichtigung der Rückwirkung des Menschen auf die Schrittspannung

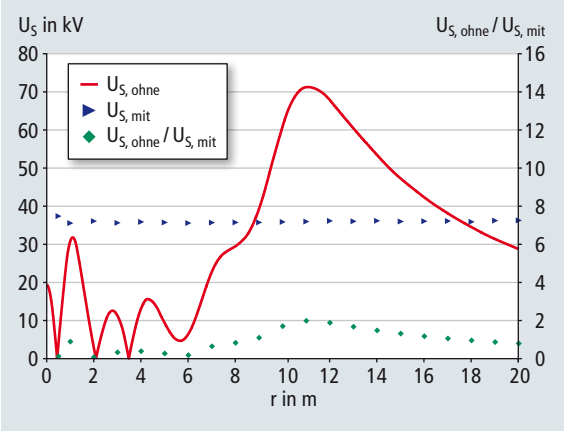


Bild 5.7.2.6 Die Rückwirkung eines Menschen auf die sich einstellende Schrittspannung

von Neuhaus analytisch abgeschätzten Faktoren überein. Aus diesen Gründen sind die genannten Faktoren dazu geeignet, die Simulationsergebnisse von Schrittspannungen direkt in die sich einstellenden Schritt-Körperspannungen umzurechnen, ohne für jede zu simulierende Erderkonfiguration aufwendige Einzelsimulationen mit einem Ersatzkörper vornehmen zu müssen. Entsprechend umgerechnete Schrittspannungswerte werden für unterschiedliche Erderkonfigurationen im **Bild 5.7.2.7** gezeigt. Hierbei wird deutlich, dass bei einer Ringerderanlage, bestehend aus drei oder vier Ringen, die zulässigen Schrittspannungen innerhalb und außerhalb der Anlage eingehalten werden.

Es zeigt sich, dass unter den beschriebenen Annahmen mit den derzeit üblichen Erderkonfigurationen die zulässigen Schrittspannungen eingehalten werden können. Grundsätzlich ist zu beachten, dass am Rande jedes Erdersystems wesentlich höhere Schrittspannungen als innerhalb des Erderbereichs auftreten können.

Weitere Untersuchungen haben das Ziel, Optimierungsmöglichkeiten bei der Planung und Ausführung von Blitzschutzerdungsanlagen zu finden. Darüber hinaus gilt es zu klären, inwieweit stationäre Rechnungen die tatsächlichen Verhältnisse richtig wiedergeben und welche zusätzlichen Effekte sich bei transienten Berechnungen einstellen.

5.8 Herstellerprüfung von Blitzschutzbauteilen

Metallene Blitzschutzbauteile wie Klemmen, Leitungen, Fangstangen oder Erder, die der freien Bewitterung ausgesetzt sind, müssen vor der Herstellerprüfung einer künstlichen Alterung

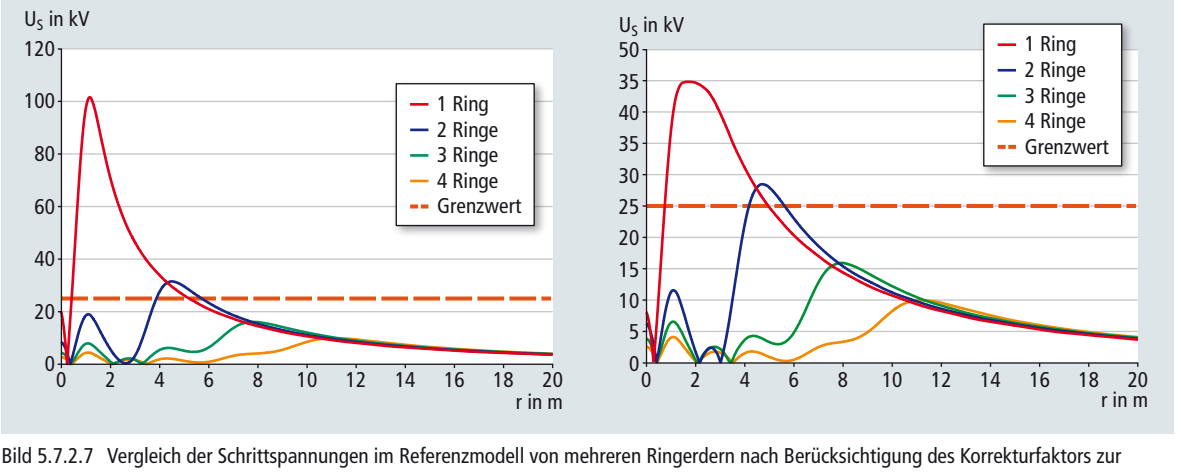


Bild 5.7.2.7 Vergleich der Schrittspannungen im Referenzmodell von mehreren Ringerdern nach Berücksichtigung des Korrekturfaktors zur Rückwirkung durch Menschen ohne (links) und mit (rechts) Berücksichtigung der Bodenionisierung

bzw. Konditionierung unterzogen werden, um ihre tatsächliche Einsatzfähigkeit für diese Anwendungsfälle nachzuweisen.

Natürliche Bewitterung und Korrosionsbeanspruchung

Die künstliche Alterung und die Prüfung metallener Bauteile erfolgt entsprechend DIN EN 60068-2-52 und DIN EN ISO 6988 in zwei Schritten.

Schritt 1: Salznebelbehandlung

Diese Prüfung ist zur Anwendung bei Bauteilen oder Geräten vorgesehen, die konstruiert wurden, um Beanspruchungen in salzhaltiger Atmosphäre zu widerstehen. Die Prüfeinrichtung (**Bild 5.8.1**) besteht aus einer Feuchteprüfkammer, in welcher die Prüflinge über drei Tage dem Schärfegrad 2 ausgesetzt werden. Schärfegrad 2 besteht aus drei Sprühphasen von je 2 Stunden mit einer 5-prozentigen Natriumchloridlösung (NaCl) bei einer Temperatur zwischen 15 °C und 35 °C, mit jeweils anschließender Feuchtelagerung zwischen 20 und 22 Stunden bei einer relativen Luftfeuchte von 93 % sowie einer Temperatur von 40 °C.

Bild 5.8.1 Prüfung mit Salzsprühtruhe

Bild 5.8.2 Prüfung mit Kesternichgerät

Schritt 2: Behandlung unter feuchter schwefeliger Atmosphäre

Diese Prüfung ist ein Verfahren zur Beurteilung der Beständigkeit von Werkstoffen oder Gegenständen gegenüber kondensierter, schwefeldioxidhaltiger Feuchtigkeit. Die Prüfeinrichtung (**Bild 5.8.2**) besteht aus einer Prüfkammer, in welcher die Prüflinge in sieben Zyklen behandelt werden.

Jeder Zyklus hat eine Dauer von 24 Stunden. Er besteht aus einer Erwärmungszeit von 8 Stunden bei einer Temperatur von 40 ± 3 °C in feuchter gesättigter Atmosphäre und einer Ruhezeit von 16 Stunden. Danach wird die feuchte schwefeldioxidhaltige Atmosphäre ersetzt.

Die Alterung / Konditionierung gilt sowohl für Bauteile, die im Außenbereich eingesetzt werden, als auch für Bauteile, die ins Erdreich eingebracht werden. Bei Bauteilen zur Anwendung im Erdreich sind jedoch noch zusätzliche Vorgaben und Maßnahmen zu berücksichtigen. Generell sollten keine Klemmen oder Leitungen aus Al im Erdreich verlegt werden. Kommt hier Edelstahl zum Einsatz, so muss dieser hochlegiert sein, wie z. B. NIRO (V4A). Die Edelstahlsorte NIRO (V2A) ist nach DIN VDE 0151 nicht zulässig. Für Bauteile, die nur für Innenraumanwendungen vorgesehen sind, ist eine Alterung / Konditionierung nicht gefordert (z. B. für Potentialausgleichsschienen). Für Bauteile, die in den Beton eingebracht werden, kann dies ebenso entfallen. Diese bestehen daher häufig aus unverzinktem (schwarzem) Stahl.

Fangeinrichtungen und -stangen

Als Fangeinrichtung setzt man überwiegend Fangstangen von 1 m Länge (z. B. im Betonsockel für Flachdachbauten) bis hin zu 25 m langen Ausführungen (z. B. bei Biogasanlagen).

Die Norm DIN EN 50164-2 (VDE 0185-202) legt die Werkstoffkombinationen von Fangeinrichtungen und Ableitungen untereinander und mit Konstruktionsteilen, Mindestquerschnitte und die zulässigen Werkstoffe fest, einschließlich ihrer elektrischen und mechanischen Eigenschaften. Bei Fangstangen für größere Höhen ist die Festigkeit der Fangstange gegen Einknicken und auch die Standfestigkeit kompletter Systeme (Fangstange im Dreibeinstativ) über eine statische Berechnung nachzuweisen. Entsprechend dieser Berechnungen sind dann die notwendigen Querschnitte und Materialien auszuwählen. Als Berechnungsgrundlage dienen auch die Anforderungen / Parameter der jeweiligen Windzone.

Prüfung der Verbindungsbauteile

Verbindungsbauteile – häufig einfach nur als Klemmen bezeichnet – verwendet man im Blitzschutzbau, um Leiter (Ableitung, Fangleitung, Erdeinführung) untereinander zu verbinden oder an eine Installation anzuschließen. Je nach Klemmentyp und Klemmenwerkstoff sind dabei etliche Klemmkombinationen möglich. Entscheidend hierfür sind die Art der Leiterführung und die entsprechenden Materialkombinationen. Unter der Art der Leiterführung ist zu verstehen, ob die Klemme den oder die Leiter in einer Kreuzanordnung oder in einer Parallelanordnung verbindet. Bei einer Blitzstrombelastung entstehen elektrodynamische und thermische Kräfte, welche auf die Klemme wirken und von ihr aufgenommen werden müssen. Die resultierenden Kräfte hängen stark ab von der Art der Leiterführung und der Klemmverbindung. **Tabelle 5.8.1** zeigt Materialien, die man kombinieren kann, ohne dass es zu einer Kontaktkorrosion kommt. Die Kombination verschiedener Werkstoffe untereinander sowie deren differierende mechanische Festigkeiten und thermische Eigenschaften wirken sich bei Blitzstrombelastung unterschiedlich auf die Verbindungsbauteile aus. Dies zeigt sich insbesondere bei Verbindungsbauteilen aus Edelstahl (NIRO (V4A)), wo aufgrund der geringen spezifischen Leitfähigkeit hohe Temperaturen bei einem Blitzstromdurchgang entstehen. Deshalb müssen alle Klemmen einer Blitzstromprüfung im Labor gemäß DIN EN 50164-1 (VDE 0185-201) unterzogen werden.

Der Ablauf der Prüfungen soll nachfolgend am Beispiel einer MV-Klemme demostriert werden. Zunächst ist zu ermitteln, wie viele Prüfkombinationen durchzuführen sind. Die hier betrachtete MV-Klemme besteht aus Edelstahl (NIRO (V4A)) und kann mit Leitungen aus Stahl, Al, NIRO (V4A) und Kupfer kombiniert werden. Des Weiteren kann die Verbindung in Kreuz- und Parallelanordnung erfolgen, was ebenfalls zu prüfen ist. Damit ergeben sich für die betrachtete MV-Klemme acht mögliche Prüfkombinationen (**Bilder 5.8.3 und 4**).

Nach DIN EN 50164-1 (VDE 0185-201) muss jede dieser Prüfkombinationen mit drei entsprechenden Prüflingen / Prüfaufbauten geprüft werden. Somit müssen 24 Prüflinge dieser einen MV-Klemme getestet werden, um das ganze Spektrum abzudecken. Jeder einzelne Prüfling wird nach Normvorgaben mit dem adäquaten Anzugsdrehmoment montiert und, wie bereits oben beschrieben, mittels Salznebelbehandlung und einer

	Stahl	Aluminium	Kupfer	NIRO (V4A)	Titan	Zinn
Stahl (StZn)	ja	ja	**nein**	ja	ja	ja
Aluminium	ja	ja	**nein**	ja	ja	ja
Kupfer	**nein**	**nein**	ja	ja	**nein**	ja
NIRO (V4A)	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Titan	ja	ja	**nein**	ja	ja	ja
Zinn	ja	ja	ja	ja	ja	ja

Tabelle 5.8.1 Vereinbare Werkstoffkominationen von Fangeinrichtungen und Ableitungen untereinander und mit Konstruktionsteilen

Bild 5.8.3 Bauteile im Neuzustand und nach der künstlichen Alterung

Bild 5.8.4 Prüfkombinationen für MV-Klemme (Parallel- und Kreuzanordnung)

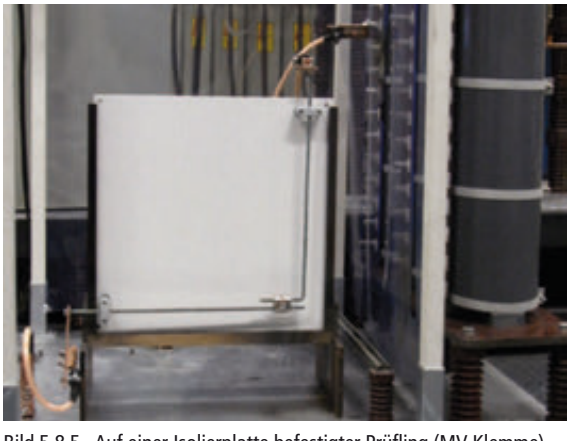


Bild 5.8.5 Auf einer Isolierplatte befestigter Prüfling (MV-Klemme) für den Test im Stoßstromlabor

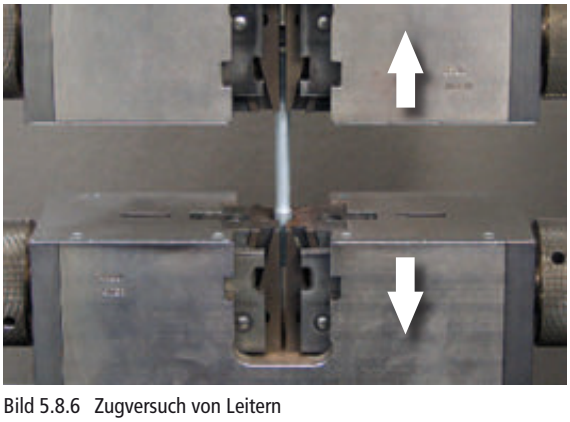


Bild 5.8.6 Zugversuch von Leitern

feuchten schwefeligen Atmosphäre einer künstlichen Alterung unterworfen. Für die anschließende elektrische Prüfung kommen die Prüflinge auf eine Isolierplatte (**Bild 5.8.5**).

Je drei Blitzstromimpulse der Wellenform 10/350 µs mit 50 kA (normale Belastung) und 100 kA (hohe Belastung) werden auf jeden Prüfling aufgebracht. Nach der Blitzstrombelastung dürfen die Prüflinge keine erkennbaren Schäden aufweisen. Der Übergangswiderstand – gemessen über der Klemme – darf bei Klemmen aus Aluminium, Kupfer oder Stahl nicht mehr als 1 mΩ und bei Klemmen aus Edelstahl nicht mehr als 2,5 mΩ betragen. Ebenso muss das geforderte Lösedrehmoment noch gegeben sein. Für jede Prüfkombination wird ein Herstellerprüfbericht erstellt, der Kunden in ausführlicher Form von den Herstellern auf Anfrage zur Verfügung gestellt wird oder in vereinfachter Ausführung über das Internet heruntergeladen werden kann (z. B. unter www.dehn.de ➡ Produktdaten).
Als Konsequenz für den Errichter von Blitzschutzanlagen bedeutet dies, dass die Verbindungsbauteile für die zu erwartende Belastung (H oder N) am Installationsort ausgewählt werden müssen. So ist z. B. bei einer Fangstange (voller Blitzstrom) eine Klemme für die Belastung H (100 kA) und z. B. in einer Masche oder an einer Erdeinführung (Blitzstrom bereits aufgeteilt) eine Klemme mit der Belastung N (50 kA) einzusetzen.

Anforderungen an Leitungen

Auch an Leitungen (Fang- und Ableitungen oder z. B. Ringerder) stellt DIN EN 50164-2 (VDE 0185-202) konkrete Anforderungen, wie z. B.:

- ➡ mechanische Eigenschaften (Mindestzugfestigkeit und -bruchdehnung),
- ➡ elektrische Eigenschaften (max. spezifischer Widerstand) und
- ➡ korrosionsschützende Eigenschaften (künstliche Alterung, wie bereits beschrieben).

Das **Bild 5.8.6** zeigt den Aufbau für die Prüfung der Zugfestigkeit von Rundleitern (z. B. Al). Speziell bei beschichteten Werkstoffen wie verzinktem Stahl (St/tZn) sind die Güte der Beschichtung sowie die Mindestdicke und die Haftung auf dem Grundwerkstoff wichtig und zu prüfen.
Weiterhin wird an die Leitungsmaterialien die Anforderung nach leichter und einfacher Verarbeitung beim Errichten von Blitzschutzsystemen gestellt. So sollen z. B. Drähte oder Bänder leicht mittels eines Drahtrichtgeräts (Richtrollen) oder durch Tordieren (in sich drehen) gerade zu richten sein. Diese Anforderungen aus der Norm sind relevante Produktmerkmale, die in den Unterlagen dokumentiert werden müssen. Diese Informationen können aus den Produktdatenblättern der Hersteller entnommen werden.

Erder und Tiefenerder

Die Norm DIN EN 50164-2 (VDE 0185-202) legt Anforderungen an Erder fest, d. h. an den Werkstoff, die Geometrie, die Mindestmaße sowie die mechanischen und elektrischen Eigenschaften. Als Schwachstellen bei den Tiefenerdern gelten die Kupplungsstellen, über die die einzelnen Erderstäbe verbunden werden. Aus diesem Grund schreibt DIN EN 50164-2 (VDE 0185-202) vor, die Qualität dieser Kupplungen noch zusätzlich durch mechanische und elektrische Prüfungen zu testen. Die Prüfung erfolgt in einer Stabführung mit einer Stahlplatte als Aufschlagfläche. In diese Prüfvorrichtung wird der Prüfling, bestehend aus zwei zusammengesetzten Stabteilen von jeweils 500 mm Länge, aufgenommen. Für jeden Erdertyp sind drei dieser Prüflinge notwendig. Am oberen Ende des Prüflings wird über einen Vibrationshammer eine Schlagbeanspruchung über die Dauer von 2 Minuten auf den Prüfling aufgebracht. Die Schlagzahl des Hammers muss dabei 2000 ± 1000 min^{-1} und die Schlagenergie des Einzelschlages 50 ± 10 [Nm] betragen.
Haben die Kupplungen die Schlagprüfung ohne erkennbare Mängel bestanden, so folgt auch hier die künstliche Alterung durch Salznebelbehandlung und feuchte schwefelige Atmosphäre. Anschließend werden die Kupplungen mit je drei Blitzstromimpulsen der Wellenform 10/350 ms mit 50 kA und 100 kA belastet. Der Übergangswiderstand (gemessen über der Kupplung) darf bei Tiefenerdern aus Edelstahl nicht mehr als 2,5 mΩ betragen.
Um zu prüfen, ob die Verbindung auch nach der Blitzstrombelastung noch ausreichend fest ist, wird die Kuppelkraft mit einer Zugprüfmaschine getestet.

Blitzschutzbauteile aus GFK

Dachaufbauten, wie Lichtkuppeln, Antennen, Klimaanlagen, Werbeschilder, Sirenen usw., befinden sich heute meistens auf den Dächern großer Büro- und Industriebauten. Diese Dachaufbauten werden in der Regel elektrisch betrieben oder weisen eine leitfähige Verbindung in das Innere des Gebäudes auf. Nach dem aktuellen Stand der Blitzschutztechnik schützt man diese Dachaufbauten mit getrennten Fangeinrichtungen gegen direkte Blitzeinschläge. Dadurch wird vermieden, dass Blitzteilströme in das Gebäudeinnere gelangen können.

Getrennte Fangeinrichtungen

Fangeinrichtungen können freistehend im Betonsockel oder Dreibeinstativ (ohne zusätzliche mechanische Befestigung) installiert werden. Ab einer Fangstangenhöhe von 2,5 m bis 3,0 m müssen die Fangstangen im Betonsockel errichtet und – bedingt durch die Windlast – mechanisch mit Distanzhaltern aus elektrisch isolierendem Material (Isolierstrecke aus GFK – glasfaserverstärktem Kunststoff) an dem zu schützenden Objekt befestigt werden.
Hohe Impulsspannungen verursachen ohne zusätzliche Maßnahmen Überschläge an Isolierstoffoberflächen. Dieser Effekt ist als Gleitüberschlag bekannt. Ist die sogenannte Gleitentladungs-Einsetzspannung überschritten, wird eine Oberflächenentladung initiiert, die problemlos eine Strecke von einigen Metern zu geerdeten Teilen überschlagen kann. Mit Einhaltung des errechneten notwendigen Trennungsabstands nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) kann der ungewollte Überschlag zu metallenen Installationen am oder innerhalb des zu schützenden Objektes vermieden werden. Der Trennungsabstand s wird allgemein wie folgt berechnet:

$$s = \frac{k_i \cdot k_C}{k_m} \cdot l$$

s	Trennungsabstand
k_i	Faktor in Abhängigkeit von dem gewählten Gefährdungspegel des Blitzschutzsystems
k_c	Faktor in Abhängigkeit von der Blitzstromaufteilung
k_m	Faktor in Abhängigkeit vom Werkstoff der elektrischen Isolation
l	Länge entlang der Fangleitung oder Ableitung vom Punkt, an dem der Trennungsabstand s ermittelt werden soll, bis zum nächstliegenden Punkt des Potentialausgleichs oder der Erdung.

Es ist ersichtlich, dass die Größe des Trennungsabstands durch die Länge der Ableitung, den gewählten Gefährdungspegel, die Aufteilung des Blitzstromes auf verschiedene Ableitungen und das Isolationsmaterial in der Trennstrecke bestimmt wird. So ist neben den Faktoren k_i, k_c und der Länge l auch der Faktor k_m zu betrachten. Für feste Baustoffe sowie für den Isolator Luft sind die k_m-Werte bereits ausreichend bestimmt und nachgewiesen worden.

Die DEHNiso-Distanzhalter und DEHNiso-Combi-Stützrohre wurden experimentell mit Impulsstoßspannung ausreichend untersucht und mit einem k_m-Faktor von 0,7 spezifiziert. Dieser wird nun zur Berechnung des Trennungsabstands s herangezogen. Somit kann bei der Berechnung des notwendigen Trennungsabstands für das jeweilige Objekt (nach Norm Luft oder fester Baustoff) auch der k_m-Faktor von 0,7 berücksichtigt werden. Der errechnete Trennungsabstand muss ≤ der Isolierstrecke des eingesetzten Produkts sein, um den im **Bild 5.8.7** dargestellten Überschlag zu vermeiden, welcher die Funktion der gesamten getrennten Fangeinrichtung außer Kraft setzen würde.
Wird der Trennungsabstand jedoch korrekt berechnet, und werden die dafür erforderlichen Bauteile richtig ausgewählt sowie vor Ort korrekt montiert, kann ein wirksames und effektives getrenntes Blitzschutzsystem für die bauliche Anlage realisiert werden.

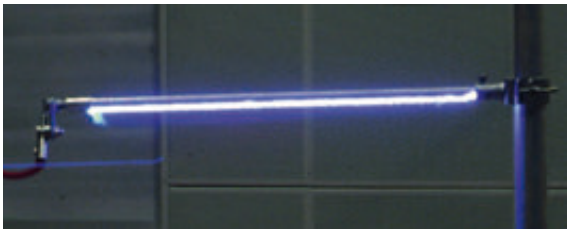


Bild 5.8.7 Überschlag entlang des GFK-Distanzhalters DEHNiso

Um ein funktionales Blitzschutzsystem errichten zu können, ist es notwendig, normenkonform geprüfte Komponenten und Bauteile zu verwenden. Der Errichter von Blitzschutzanlagen muss die Bauteile entsprechend den Anforderungen am Installationsort auswählen und korrekt einsetzen. Neben den mechanischen Anforderungen sind die elektrischen Kriterien in der derzeitigen Blitzschutztechnik zu beachten und einzuhalten. Dies ist, wie im Beitrag gezeigt, ebenso notwendig für die im Blitzschutz eingesetzten Bauteile aus GFK.
Weiterführend zu den beschriebenen Normen sind auf internationaler Ebene Bauteilenormen z. B. für Trennstellen oder Leitungshalter in der Erstellung oder bereits in der Umsetzung.

5.9 Dimensionierung von Erdungsanlagen an Transformtatorstationen

Erdungsanlagen und Erdungssysteme sind eine wichtige Basis für eine funktionierende Stromversorgung. Die Bildung von Hochspannungsschutz- und Niederspannungsbetriebserde, die Gewährleistung der Schutzmaßnahmen und die Spannungsbegrenzung auf zulässige Höchstwerte auch im Fehlerfall, die Grundlage aller Potentialausgleichs- und Blitzschutzmaßnahmen sowie die Sicherstellung des Personen- und Sachschutzes zählen zu den zentralen Anforderungen an eine ordnungsgemäße Erdungsanlage. Ungeachtet dessen, gerieten die Erfahrung und die Diskussion über Erdungsanlagen ein wenig in den Hintergrund. Funktionierende Erdungen werden oftmals, ohne zu hinterfragen, als gegeben vorausgesetzt. Deshalb werden die wichtigsten physikalischen und normativen Hintergründe beleuchtet und technische Lösungsansätze aufgezeigt.

Normative Grundlagen

Üblicherweise greifen in einer Transformatorenstation die technischen Belange der Hoch- und Niederspannungstechnik ineinander. Normative Hintergründe finden sich daher in:

- DIN EN 61936-1 (VDE 0101-1), Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV,
- DIN EN 50522 (VDE 0101-2), Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV,
- DIN EN 62271-202 (VDE 0671-202), Fabrikfertige Stationen für Hoch- Niederspannung,
- DIN VDE 0100 Teil 410 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 4-41: Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag),
- DIN VDE 0100 Teil 540 (Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 5-54: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Erdungsanlagen, Schutzleiter und Schutzpotentialausgleichsleiter),
- DIN VDE 0185-305-3 (Blitzschutz-Schutz von baulichen Anlagen und Personen),
- DIN 18014 (Fundamenterder-Allgemeine Planungsgrundlagen)
- und DIN VDE 0151 (Werkstoffe und Mindestmaße von Erdern bezüglich der Korrosion).

Wichtige Begriffe

Nicht isolierte mit Erde in Kontakt stehende Leiter sind als Erder definiert. Ein örtlich begrenztes System von leitend miteinander verbundenen Erdern wird zur Erdungsanlage. Diese ist über den Erdungsleiter, die Haupterdungsschiene mit dem zu erdenden Anlagenteil verbunden. Abhängig vom spezifischen Erdwiderstand ρ ergibt sich gegenüber ferner Erde der Erdausbreitungswiderstand R_E. Als Schutzerdung wird die Erdung eines nicht spannungsführenden Teiles bezeichnet. Die Erdung eines Punktes des Betriebsstromkreises (z. B. Transformatorsternpunkt) ist die Betriebserdung. Fließt im Fehlerfall ein Strom in die Erdungsanlage, so ergibt sich die Erdungsspannung:

$$U_E = I_E \cdot Z_E$$

U_E Erdungsspannung,

I_E Erdungsstrom,

Z_E Erdungsimpedanz.

Zwischen Erdungsanlage und ferner Erde stellt sich abstandsabhängig das Erdoberflächenpotential φ ein. Eine sich der Fehlerstelle annähernde Person greift dabei die Schrittspannung und beim Berühren des fehlerbehafteten Anlagenteiles die Berührspannung U_T ab. Zur Verringerung der möglichen Schrittspannung werden im Bedarfsfall Maßnahmen zur Potentialsteuerung angewandt. Innerhalb der elektrischen Anlage werden alle leitfähigen Teile in den Potentialausgleich einbezogen.
Abschließend ist noch der Begriff der Potentialverschleppung zu definieren. Durch einen mit der Erdungsanlage verbundenen Leiter (z. B. Kabelschirm, PEN-Leiter) in Gebiete mit anderer oder keiner Potentialanhebung kann es zur Verschleppung von Potentialen kommen. Wichtig ist die Begriffsdefinition des globalen Erdungssystems. Als solches wird ein Gebiet ge-

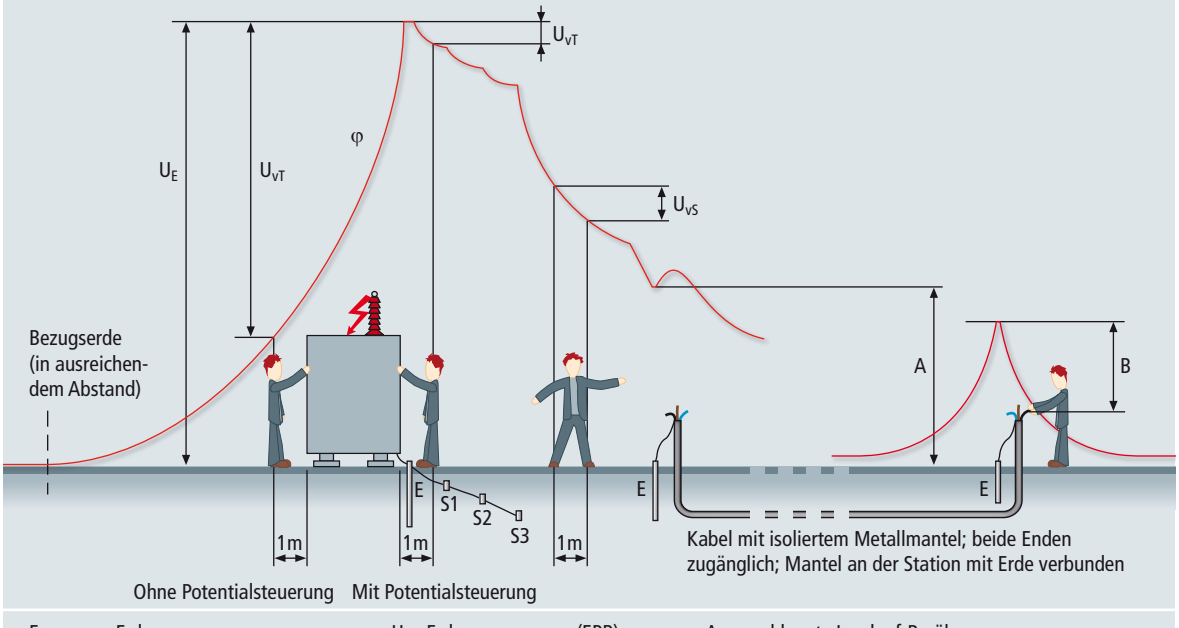
schlossener Bebauung angenommen, in dem die Gesamtheit aller dort vorhandenen Erdungsanlagen wie ein gemeinsamer großflächiger Maschenerder wirkt. In der Regel kann ein globales Erdungssystem (Industrieanlagen, Wohngebiete) als gegeben angenommen werden, wenn mehr als zehn vermaschte Erdungsanlagen vorhanden sind. Hier entsteht im Fehlerfall eine weiträumige Quasi-Äquipotentialfläche, innerhalb dieser es per Definition keine gefährlichen Berührspannungen mehr gibt (**Bild 5.9.1**). Als maximal zulässige länger anstehende Berührspannung ist im Fehlerfall in Hochspannungsnetzen U_{TP} = 80 V festgelegt (Abschaltzeit > 10 s). Im Niederspannungsnetz gilt als höchste noch zulässige Berührspannung 50 V AC. Diese Werte sind in allen Fällen zu garantieren.

Netzformen und zugehörige Erdungsströme

Mittelspannungsnetze können als Netzgebilde mit isoliertem, niederohmig, starr geerdetem oder mit induktiv geerdetem Sternpunkt (gelöschtes Netz) betrieben werden. Letztere Variante bietet die Möglichkeit, im Falle eines Erdschlusses den an der Fehlerstelle fließenden kapazitiven Strom mittels einer Kompensationsspule (Löschspule mit Induktivität $L = 1/3\ \omega\ C_E$) auf den Erdschluss-Reststrom I_{Rest} zu begrenzen, und ist daher weit verbreitet. Nur noch dieser Reststrom (typisch bis max. 10 % des unkompensierten Erdschlussstromes) belastet im Fehlerfall in die Erdungsanlage. Eine zusätzliche Reduktion ergibt sich durch die Verbindung der lokalen Erdungsanlage mit weiteren Erdungen (beispielsweise durch die verbindende Wirkung der Kabelschirmung der Mittelspannungskabel). Hier wird ein Reduktionsfaktor r definiert. Weist etwa ein Netzgebilde prospektiv (unbeeinflusst) einen kapazitiven Erdschlussstrom von 150 A auf, so wird im kompensierten Fall maximal ein Erdschluss-Reststrom von ca. 15 A angenommen, durch den die Erdungsanlage „vor Ort" beansprucht werden würde. Bei der Verbindung mit weiteren Erdungsanlagen würde dieser Strom noch weiter reduziert werden. Die Erdungsspannung beträgt dabei dann:

$$U_E = I_E \cdot Z_E$$

I_E	Erdungsstrom
I_C	kapazitiver Erdschlussstrom
I_L	Bemessungsstrom der Erdschluss-Löschspule
I_{RES}	Erdschlussreststrom
I''_{kEE}	Doppelerdschlussstrom
I'_{k1}	einpoliger Erdkurzschluss
I_N	Nennstrom
r	Reduktionsfaktor (z. B. für Kabelschirme).



E	Erder	U_E	Erdungsspannung (EPR)	A	verschleppte Leerlauf-Berührungsspannung, wenn der Mantel am entfernten Ende nicht geerdet ist
S1, S2, S3	Potentialsteuererder (z. B. Ringerder), die mit dem Erder E verbunden sind	U_{vS}	Leerlauf-Schrittspannung	B	verschleppte Leerlauf-Berührungsspannung, wenn der Mantel am entfernten Ende ebenfalls geerdet ist
		U_{vT}	Leerlauf-Berührungsspannung		
		φ	Erdoberflächenpotential		

Bild 5.9.1 Begriffsdefinitionen entsprechend DIN EN 50522 (VDE 0101-2), Bild 1

Dimensionierung von Erdungsanlagen hinsichtlich der Erderspannung

Bei der Dimensionierung der Erdungsmaßnahmen für eine Mittelspannungsanlage ist zunächst die mögliche Erdungsspannung U_E zu bestimmen. Ist $U_E < 2 \times U_{TP}$, so ist die Ausführung richtig bemessen. Ist $U_E < 4 \times U_{TP}$, so sind Ersatzmaßnahmen (z. B. Potentialsteuerung) zu realisieren. In Sonderfällen sind darüber hinaus noch weitere Maßnahmen zu treffen, das genaue Verfahren beschreibt die DIN EN 50522 in Bild 5. Per Definition gibt es keine unzulässig hohe Spannungsanhebung, wenn die betreffende Anlage Teil eines globalen Erdungssystems ist. Im Niederspannungsverteilnetz sind die Netzformen TN und TT am gebräuchlichsten. Andere Netzformen werden deshalb an dieser Stelle nicht betrachtet. Im Fehlerfall kann dabei eine Spannung zur Kundenanlage verschleppt werden. Besondere Beachtung findet dies in TN-Netzen. Die Spannungserhöhung am PEN-Leiter darf 50 V hierbei nicht überschreiten. Bei TT-Netzen gelten 250 V als Höchstgrenze der Spannungsbeanspruchung. DIN VDE 0100-410 verweist dazu auf die sogenannte Spannungswaage. Wird das Verhältnis

$$\frac{R_B}{R_E} \leq \frac{U_B}{(U_0 - U_B)}$$

eingehalten, wobei

R_B der Gesamtwiderstand aller Betriebserder,

R_E der Erdübergangswiderstand an einer möglichen Fehlerstelle,

U_0 die Nennspannung gegen Erde 230 V und

U_B die vereinbarte maximale Berührspannung 50 V ist,

so ist dies sichergestellt.

Es muss also gelten: $R_B/R_E \leq 0{,}27$. Bei Annahme des zufälligen Übergangswiderstandes an der Fehlerstelle von 10 Ω (typischer Erfahrungswert) ergibt sich die Forderung nach $R_B \leq 2.7\ \Omega$. In der Praxis wird daher im Netzbetrieb oft die Grenze R_B max. = 2 Ω zitiert. Dieser Gesamtausbreitungswiderstand der Stationserde ist vor der Inbetriebnahme zu protokollieren und danach wiederkehrend zu überprüfen.

Dimensionierung von Erdungsanlagen hinsichtlich der Strombelastbarkeit

Zur Dimensionierung der Strombelastbarkeit von Erdungsleitern und Erdern müssen verschiedene Worst-Case-Szenarien überprüft werden. Innerhalb der Mittelspannungsanlage wäre ein Doppel-Erdkurzschluss der kritischste Fall. Durch einen ersten Erdschluss (beispielsweise am Transformator) könnte möglicherweise ein zweiter Erdschluss in einer anderen Phase (z. B. innerhalb der MS-Anlage, defekter Kabelendverschluss) eingeleitet werden. Gemäß **Tabelle 5.9.1** fließt in diesem Fall über die Erdungsleiter der sogenannte Doppelerdschlussstrom I''_{kEE}, welcher nach Tabelle 1 der DIN EN 50522 (VDE 0101-2) wie folgt dimensioniert wird:

$$I''_{kEE} \sim 0{,}85 \cdot I_k''$$

I_k'' = dreipoliger Anfangskurzschlusswechselstrom.

In einer 20-kV-Anlage mit einem Anfangskurzschlusswechselstrom I_k' von 16 kA, bei einer Abschaltzeit von 1 Sekunde, würde dies einem Strom von 13,6 kA entsprechen. Entspre-

Art des Hochspannungsnetzes	Maßgebend für die thermische Belastung		Maßgebend für Erdungs- und Berührungsspannungen
	Erder	Erdungsleiter	
Netze mit isoliertem Sternpunkt			
	I''_{kEE}	I''_{kEE}	$I_E = r \cdot I_C$
Netze mit Erdschlusskompensation einschließlich Kurzzeit-Erdung zur Fehlerortung			
Anlagen ohne Erdschlussspule	I''_{kEE}	I''_{kEE}	$I_E = r \cdot I_{RES}$
Anlagen mit Erdschlussspule	I''_{kEE}	I''_{kEE} a)	$I_E = r \cdot \sqrt{I_L^2 + I_{RES}^2}$
Netze mit Niederohmiger Sternpunkterdung einschließlich Kurzzeit-Erdung zur Abschaltung			
Anlagen ohne Sternpunkterdung	I''_{k1}	I''_{k1}	$I_E = r \cdot I''_{k1}$
Anlagen ohne Sternpunkterdung	I''_{k1}	I''_{k1}	$I_E = r \cdot (I''_{k1} - I_N)$ b)

a) Erdungsleiter an Erdschlussspulen sind nach dem größten Strom der Spulen auszulegen.
b) Es ist zu prüfen, ob außenliegende Fehler maßgeblich sind.

Tabelle 5.9.1 Maßgebende Ströme für die Messung von Erdungsanlagen entsprechend Tabelle 1 der DIN EN 50522 (VDE 0101-2)

Zeit [s]	St/tZn [A/mm²]	Kupfer [A/mm²]	NIRO (V4A) [A/mm²]
0,3	129	355	70
0,5	100	275	55
1	70	195	37
3	41	112	21
5	31	87	17

Tabelle 5.9.2 Kurzschluss-Stromdichte G (Temperatur max. 200 °C)

chend diesem Wert ist die Strombelastbarkeit der Erdungsleiter und der Erdsammelleiter innerhalb des Stationsgebäudes zu bemessen. Dabei kann bei einer Ausführung im Ring die Aufteilung des Stromes berücksichtigt werden (in der Praxis wird der Faktor 0,65 verwendet). Nach **Tabelle 9.5.1** ist der Erder gleich dem Erdungsleiter zu dimensionieren (bis auf Anlagen mit Erdschlussspule (Umspannwerke)). In der Erdungsanlage teilt sich der Fehlerstrom häufig auf. Es ist deshalb zulässig, jeden Erder und Erdungsleiter nur für einen Teil des Fehlerstroms zu bemessen. Bei der Planung sind immer die tatsächlichen Netzdaten zugrunde zu legen. **Tabelle 5.9.2** zeigt die Strombelastbarkeit verschiedener Querschnitte und Werkstoffe Der Querschnitt eines Leiters ergibt sich aus dem Werkstoff und der Abschaltzeit. Für verschiedene Werkstoffe wird in der DIN EN 50522 (VDE 0101-2) (**Bild 5.9.1**) die maximale Kurzschlussstromdichte G (A/mm²) spezifiziert. Die Erdungsanlage selbst (also der erdfühlig verlegte Teil) wird, z. B. beim kompensierten Netz, mit einem deutlich geringeren Strom beansprucht. Das ist im kompensierten Netz nur der um den Faktor r reduzierte Erdschluss-Reststrom $I_E = r \times I_{RES}$ (**Tabelle 5.9.1**). Dieser Strom liegt maximal im Bereich von einigen 10 Ampere und kann mittels der üblichen Querschnitte für Erdermaterial problemlos und dauerhaft geführt werden. Innerhalb der Niederspannungsanlage wäre ein einpoliger Fehler gegen Erde zwischen Transformator und Niederspannungshauptschalter ein möglicher kritischer Fehlerfall. So fließt im Falle eines Erdschlusses einer Transformator-Unterspannungswicklung (z. B. über den geerdeten Transformatorkessel) ein einpoliger Kurzschlussstrom I_{k1}'' zur Haupterdungsschiene. Von dort schließt sich der Fehlerstromkreis über den angeschlossenen Schutzleiter der Niederspannungsverteilung und über den PEN-Leiter zurück zum Transformator-Sternpunkt. Eine Abschaltung würde in diesem Fall auf der Oberspannungsseite durch den Transformator-Leistungsschalter oder die zugeordnete Lastschalter-Sicherungskombination erfolgen. Bemessen wird der Erdungsleiter / Schutzleiter innerhalb des Anlagenraumes hier gemäß der DIN VDE 0100-540, Absatz 543.1.2. Der Querschnitt ist mit der Beziehung

$$S = \frac{I}{k} \cdot \sqrt{t}$$

zu berechnen, wobei der Materialfaktor k (isoliert, Thermoplast) gemäß Tabelle A 54.2 der Norm im Falle einer Cu-Leitung gleich 143 gesetzt wird, I der Kurzschlussstrom und t die Stromflussdauer ist (**Bild 5.9.2**). Der tatsächlich fließende Fehlerstrom ist nur sehr aufwendig zu berechnen, da dieser abhängig ist von der Trafonennleistung S_N, der treibenden Spannung, der Kurzschlussspannung u_k und der jeweiligen Schleifenimpedanz (welche nur messtechnisch ermittelbar ist). Eine schnelle Abschätzung ist nur eingeschränkt durch Betrachtung des Anfangskurzschlusswechselstromes I_k'' möglich (~3-poliger Kurzschluss als definierter Zustand). Dieser kann aus Trafonennleistung, Nenn- und Kurzschlussspannung gemäß dem Zusammenhang

$$I_k'' = \frac{S_N}{(\sqrt{3} \cdot U_N \cdot u_k)}$$

errechnet werden.

Bei einem 630-kVA Transformator mit $u_k = 4$ % und $U_N = 400$ V wären dies z. B. 22,7 kA. Oberspannungsseitig, im Beispiel 20 kV, wäre der Transformator mittels HH-Sicherungen mit Nennstrom 31,5 ... 50 A zu schützen. Gemäß dem Übersetzungsverhältnis n von 50 würde der Kurzschlussstrom sich mit rd. 450 A auf die Oberspannungsseite übertragen und entsprechend der Sicherungskennlinie die HH-Sicherungen bei Nennstrom 31,5 A in ca. 25 ms (allpolig) auslösen. Gemäß genannter Gleichung $S = I/k \times \sqrt{t}$ wäre für die Schutzleiter / Schutzpotentialausgleichsleiter in der Station hier der Mindestquerschnitt $S_{min} = 25$ mm² Cu. In der Praxis wird auf 50 mm² aufgerundet. Ausdrücklich zu beachten ist, dass sich bei größeren Transformatoren und damit höheren Strömen, verbunden mit den jeweiligen Abschaltzeiten, sinngemäß deutlich größere Querschnitte für Schutz und Erdungsleiter ergeben können. Die Erdungsanlage selbst (also der erdfühlige Teil) wird bei dieser Fehlerart nicht belastet. Ein Strom durch die Erdungsanlage fließt in der Niederspannung nur bei einem Erdfehler außerhalb der Station. An der Fehlerstelle wird sich der Strom $I_E = U/(R_E + R_B)$ einstellen, der über die Stations-Erdungsanlage in den Transformatorsternpunkt zurückfließt. Bei einer Leiter-Erdspannung von 230 V und einem Widerstand R_E von einigen Ohm sowie einem Stationserdungswiderstand R_B von ca. 2 Ω, ist dies von der Strombelastbarkeit unkritisch. Der Strom wird einige 10 A nicht überschreiten können, sodass bei Einhaltung des maximalen Erdausbreitungswiderstandes eine Überbeanspruchung in keinerlei Hinsicht zu erwarten ist.

Praktische Ausführung von Erdungsanlagen an Transformatorenstationen

Die Erdungsanlage einer Transformatorenstation (**Bild 5.9.3**) ist unter Berücksichtigung der örtlichen Netzdaten des Verteilnetzbetreibers (VNB) entsprechend der DIN EN 61936-1 (VDE 0101-1) und DIN EN 50522 (VDE 0101-2)

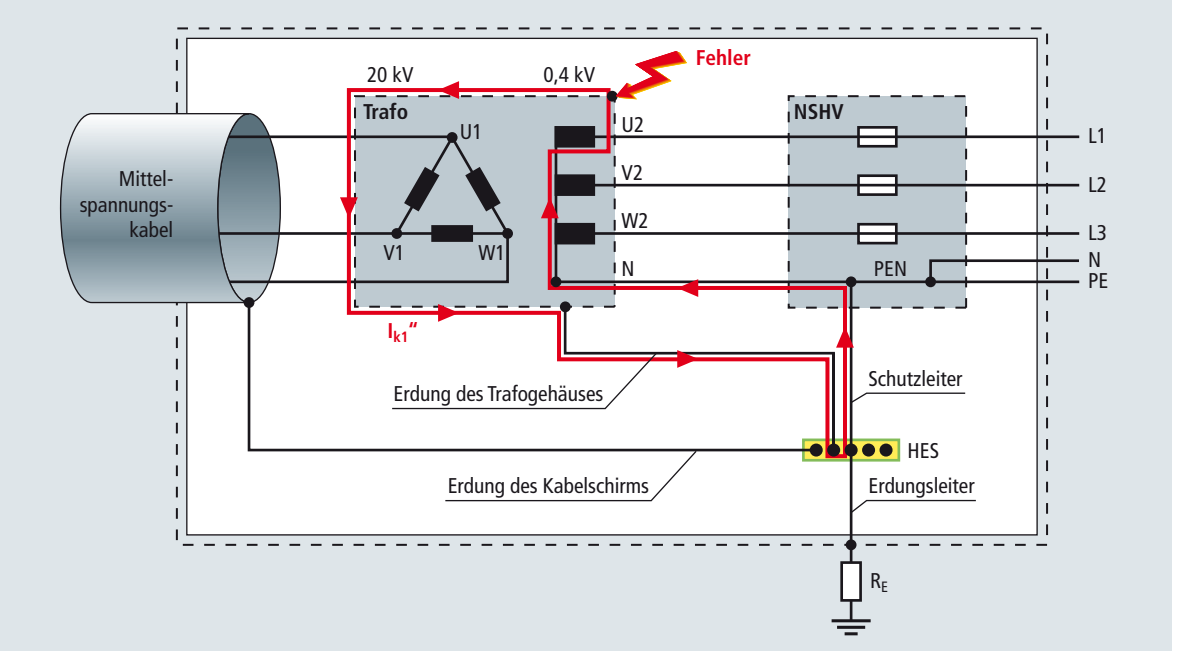


Bild 5.9.2 Einpoliger Fehler in einer Transformatorenstation mit integrierter Niederspannungs-Hauptverteilung

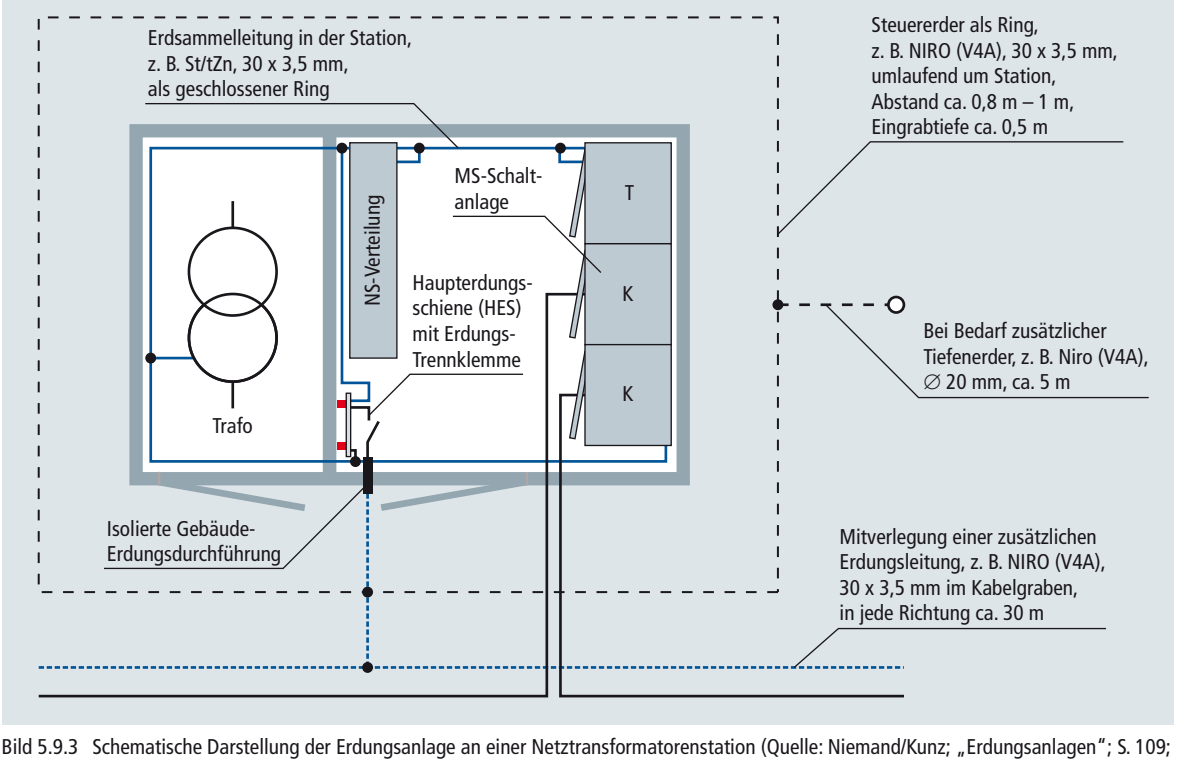


Bild 5.9.3 Schematische Darstellung der Erdungsanlage an einer Netztransformatorenstation (Quelle: Niemand/Kunz; „Erdungsanlagen"; S. 109; VDE-Verlag)

auszulegen. Eine Erdungsanlage wird im Allgemeinen aus mehreren waagrecht, senkrecht oder schräg in die Erde eingegrabenen oder eingetriebenen Erdern zusammengestellt. Die Verwendung von Chemikalien, um den Erdwiderstand zu verbessern, ist in Deutschland nicht üblich und wird auch nicht empfohlen. Oberflächenerder sollten üblicherweise 0,5 m bis 1 m tief im Erdreich verlegt werden. Dies bietet einen ausreichenden mechanischen Schutz und auch Schutz vor Frost. Bei Tiefenerdern liegt der Anschluss üblicherweise unter der Erdoberfläche (**Bild 5.9.4**). Senkrecht oder schräg eingetriebene Stäbe von Tiefenerdern sind besonders von Vorteil, denn mit der Tiefe sinkt üblicherweise der spezifische Erdwiderstand. Typische Werte für den spezifischen Erdwiderstand nach Bodenart sind in Kapitel 5.5, **Bild 5.5.4** aufgeführt. In der Regel wird um das Stationsgebäude herum im Abstand von rd. 1 m in einer Tiefe von ca. 0.5 m ein sogenannter Ringerder (Steuererder) eingebracht. Vielfach wird der Erdungswiderstand durch das Eintreiben eines Tiefenerders (Länge typischerweise rd. 6 m) verbessert. Zusätzlich wird häufig entlang der Kabeltrassen im Kabelgraben ein Banderder von einigen 10 m mitgeführt. In der Praxis ist immer eine gemeinsame Erdung für Hoch- sowie Niederspannung anzustreben. Dabei sind die in DIN EN 61936-1 (VDE 0101-1), Tabelle 2 genannten Anforderungen hinsichtlich Berührspannung und Spannungsanhebung im Niederspannungsnetz einzuhalten. In besonderen Fällen, vor allem in Freileitungsnetzen oder bei Netzausläufern, können deshalb getrennte Erdungsanlagen erforderlich werden. In solchen Fällen ist eine individuelle Betrachtung notwendig. Diese beschriebene Außenerdung wird isoliert in die Station eingeführt, um nicht die Gebäudearmierung zu berühren und dadurch ein Messergebnis zu verfälschen. Die Außenerdung wird mittels Trennklemme an die Haupterdungsschiene angeschlossen. Bei geschlossener Trennklemme kann messtechnisch der Gesamtausbreitungswiderstand ermittelt werden. Bei geöffneter Trennstelle ist eine Messung der Erdungsverhältnisse der betreffenden Anlage möglich. Wie bereits geschildert, gilt ein

Bild 5.9.4 Verbindung eines Tiefenerders mit dem Ringerder der Station

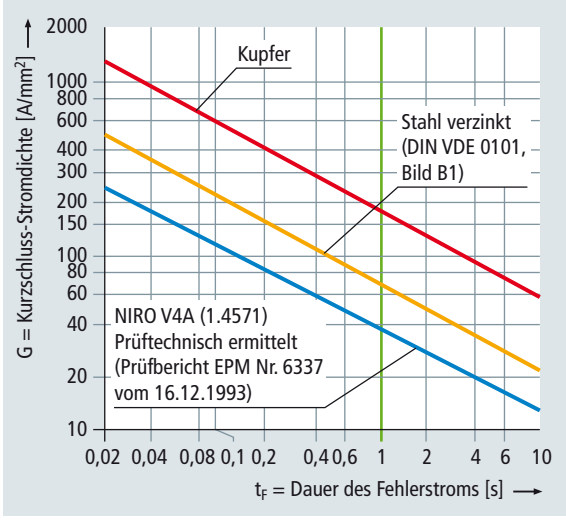


Bild 5.9.5 Strombelastbarkeit von Erderwerkstoffen

Gesamterdungswiderstand der Stationserde RBB von rd. 2 Ω als ausreichend. Auch die Verteilnetzbetreiber VNB verweisen in ihren örtlichen Anschlussbedingungen der TAB meist auf diesen Wert. Sehr häufig ist es deshalb hilfreich, vor dem Bau der Erdungsanlage den Gesamterdausbreitungswiderstand überschlägig zu bestimmen. In Kapitel 5.5, **Tabelle 5.5.1** sind „Faustformeln" zur überschlägigen Ermittlung des Erdausbreitungswiderstandes verschiedener Erder im Erdreich zu finden. Bei der Auswahl der Erderwerkstoffe ist neben der Strombelastbarkeit (**Bild 5.9.5**) auch deren Korrosionsverhalten zu berücksichtigen, welches nachfolgend beschrieben wird.

Auswahl der Erderwerkstoffe unter Berücksichtigung des Korrosionsverhalten

Durch die Wahl geeigneter Werkstoffe können Korrosionsgefährdungen für Erder verringert oder sogar vermieden werden. Zur Erzielung einer ausreichenden Lebensdauer müssen Werkstoff-Mindestabmessungen eingehalten werden. Genaue Werte können der DIN VDE 0151, Tabelle 3 entnommen werden.

Blankes Kupfer

Blankes Kupfer ist aufgrund seiner Stellung in der elektrolytischen Spannungsreihe sehr beständig. Hinzu kommt, dass es beim Zusammenschluss mit Erdern oder anderen Anlagen im Erdboden aus „unedleren" Werkstoffen (z. B. Stahl) zusätzlich kathodisch geschützt wird, allerdings auf Kosten der „unedleren" Metalle.

Feuerverzinkter Stahl

Bei der Verwendung von verzinktem Material als Erderwerkstoff im Erdreich ist das Korrosionsverhalten besonders zu

Bild 5.9.6 korrosionsbeurteilung verzinkter Tiefenerder, Einbauzeit: 7 Jahre

Bild 5.9.7 Korrosionsbeurteilung Tiefenerder verzinkt (unten) und Tiefenerder Edelstahl (oben), Einbauzeit: 2,5 Jahre

berücksichtigen. In der Regel wird bei den Transformatorstationen bereits verzinkter Stahl im Beton (in der Fundamentplatte des Gebäudes) eingebracht. Diese im Beton befindliche Erderinstallation wird mit dem außen eingebrachten Ringerder verbunden. Durch diese direkte Verbindung entsteht ein „Konzentrationselement". Der im Beton befindliche Stahl wirkt höherwertiger (wie Kupfer) und somit wird das unedlere Metall (Stahl verzinkt im Erdreich) angegriffen. Dies stellt ein Funktionsprinzip wie eine „Batterie im Erdreich" dar. Ausschlaggebend für diese elektrochemische Korrosion ist das Flächenverhältnis der beiden Erdungsanlagen. Dies kann detailliert im Kapitel 5.5.7 nachgelesen werden.

Nichtrostende Stähle

Bei der Verwendung von hochlegierten nichtrostenden Stählen kann der vorher genannte Effekt so gut wie ausgeschlossen werden. Hochlegierte nichtrostende Stähle nach DIN EN 10088-3 sind im Erdboden passiv und korrosionsbeständig. Das freie Korrosionspotential von hochlegierten nichtrostenden Stählen in üblich belüfteten Böden liegt in den meisten Fällen in der Nähe des Wertes von Kupfer. Da Erderwerkstoffe aus nichtrostenden Stählen innerhalb weniger Wochen an der Oberfläche passivieren, verhalten sich diese zu anderen (edleren und unedleren) Werkstoffen neutral. Edelstähle sollten mindestens 16 % Chrom, 5 % Nickel und 2 % Molybdän enthalten. Aufgrund von umfangreichen Messungen hat sich ergeben, dass nur ein hochlegierter Edelstahl NIRO (V4A), z. B. mit der Werkstoff-Nr. 1.457, im Erdboden ausreichend korrosionsbeständig ist.

Eine Vielzahl von Energieanlagen wird heute 50 Jahre und länger betrieben; oftmals also weit länger als die Lebensdauer der ihr aus konventionellen Materialien bestehenden zugeordneten Erdungsanlagen beträgt. Für diese Betriebszeit ist auch die Erdungsanlage zu dimensionieren. Deshalb empfiehlt sich langfristig der Einsatz von nichtrostenden Stählen (NIRO V4A). **Bild 5.9.6** zeigt deutlich den punktuellen Lochfraß an einem Tiefenerderstab nach einer Einbauzeit von nur sieben Jahren. **Bild 5.9.7** macht im Vergleich deutlich, dass hochlegierter Edelstahl von der Korrosion im Erdreich nicht betroffen ist.

Zuverlässige, richtig dimensionierte Erdungsanlagen sind für eine funktionierende Stromversorgung von fundamentaler Bedeutung hinsichtlich der Personen- und Betriebssicherheit. Deren einwandfreie Funktion wird jedoch oftmals, ohne zu hinterfragen, als gegeben vorausgesetzt. Bei Erdungsanlagen von Transformatorenstationen sind sowohl die technischen Belange der Hochspannungs- als auch die der Niederspannungstechnik vernetzt zu betrachten. Hinsichtlich des Gefährdungspotentiales durch eine mögliche Erderspannung U_E bietet die Existenz eines globalen Erdungsnetzes enorme Vorteile. Die Entstehung einer gefährlichen Berührungsspannung für Personen wird in diesem Fall normativ generell ausgeschlossen. Damit die Forderungen des Personenschutzes in den mit der Erdungsanlage verbundenen Netzteilen auch im Fehlerfall eingehalten werden, hat es sich in der Praxis bewährt, einen Gesamterdungswiderstand R_B der einzelnen Erdungsanlagen von 2 Ω nicht zu überschreiten. Im Hinblick auf die Strombelastbarkeit bei möglichen Fehlern innerhalb der Station ist ein besonderes Augenmerk auf die Berechnung und Einhaltung der Mindestquerschnitte des Erdungsleiters und der Erdungssammelleiter der Anlage zu richten. Die Erdungsanlage wird im Fehlerfall, in Abhängigkeit von der Sternpunktbehandlung (z. B. kompensiertes Netz), geringer belastet. In der praktischen Ausführung gilt es, die Grundsätze der genannten DIN-VDE-Normen sowie die wichtigen Hinweise der örtlichen Verteilnetzbetreiber einzubeziehen. Bei der Planung und Dimensionierung der Erdungsanlage ist es häufig sinnvoll, vorab einen möglichen Gesamterdausbreitungswiderstand abzuschätzen, um alle nötigen Maßnahmen bereits vor dem Bau der Anlage festzulegen. Äußerst wichtig ist es, auf die richtige Materialauswahl für den Erder der Erdungsanlage hinsichtlich der Korrosion zu achten. Die hier aufgeführten Beispiele sowie die Erfahrung der letzten Jahrzehnte mit vielen Anlagen im Betrieb zeigen deutlich, dass sich nur ein hochlegierter Edelstahl (NIRO V4A, z. B. Werkstoff Nr.1.4571) im Erdreich als korrosionsbeständig erweist. Im Sinne eines langfristig sicheren Betriebes einer Netzstation sollte daher nur hochwertiges Edelstahlmaterial für den Einsatz in der Erdungsanlage Verwendung finden.

Innerer Blitzschutz

6.1 Potentialausgleich für metallene Installationen

Potentialausgleich nach DIN VDE 0100-410 und DIN VDE 0100-540

Der Potentialausgleich wird für alle errichteten elektrischen Verbraucheranlagen gefordert. Der Potentialausgleich nach DIN VDE 0100 beseitigt Potentialunterschiede, d. h. verhindert gefährliche Berührungsspannungen z. B. zwischen dem Schutzleiter der Niederspannungsverbraucheranlage und metallenen Wasser-, Gas- und Heizungsrohrleitungen.

Nach der DIN VDE 0100-410 besteht der Potentialausgleich aus dem **Schutzpotentialausgleich** und dem **zusätzlichen Schutzpotentialausgleich**.

Jedes Gebäude muss nach den oben genannten Normen einen Schutzpotentialausgleich erhalten (**Bild 6.1.1**).

Der zusätzliche Schutzpotentialausgleich ist für die Fälle vorgesehen, für welche die Abschaltbedingungen nicht erfüllt werden können oder für besondere Bereiche nach der VDE Reihe 0100 Gruppe 700.

Schutzpotentialausgleich

Folgende fremde leitfähige Teile sind **direkt** in den Schutzpotentialausgleich einzubeziehen:

- Leiter für den Schutzpotentialausgleich nach DIN VDE 0100-410 (zukünftig: Erdungsleiter)
- Fundamenterder bzw. Blitzschutzerder
- Zentrale Heizungsanlage
- metallene Wasserverbrauchsleitung
- leitende Teile der Gebäudekonstruktion (z. B. Aufzugsschienen, Stahlskelett, Lüfter- / Klimakanäle)

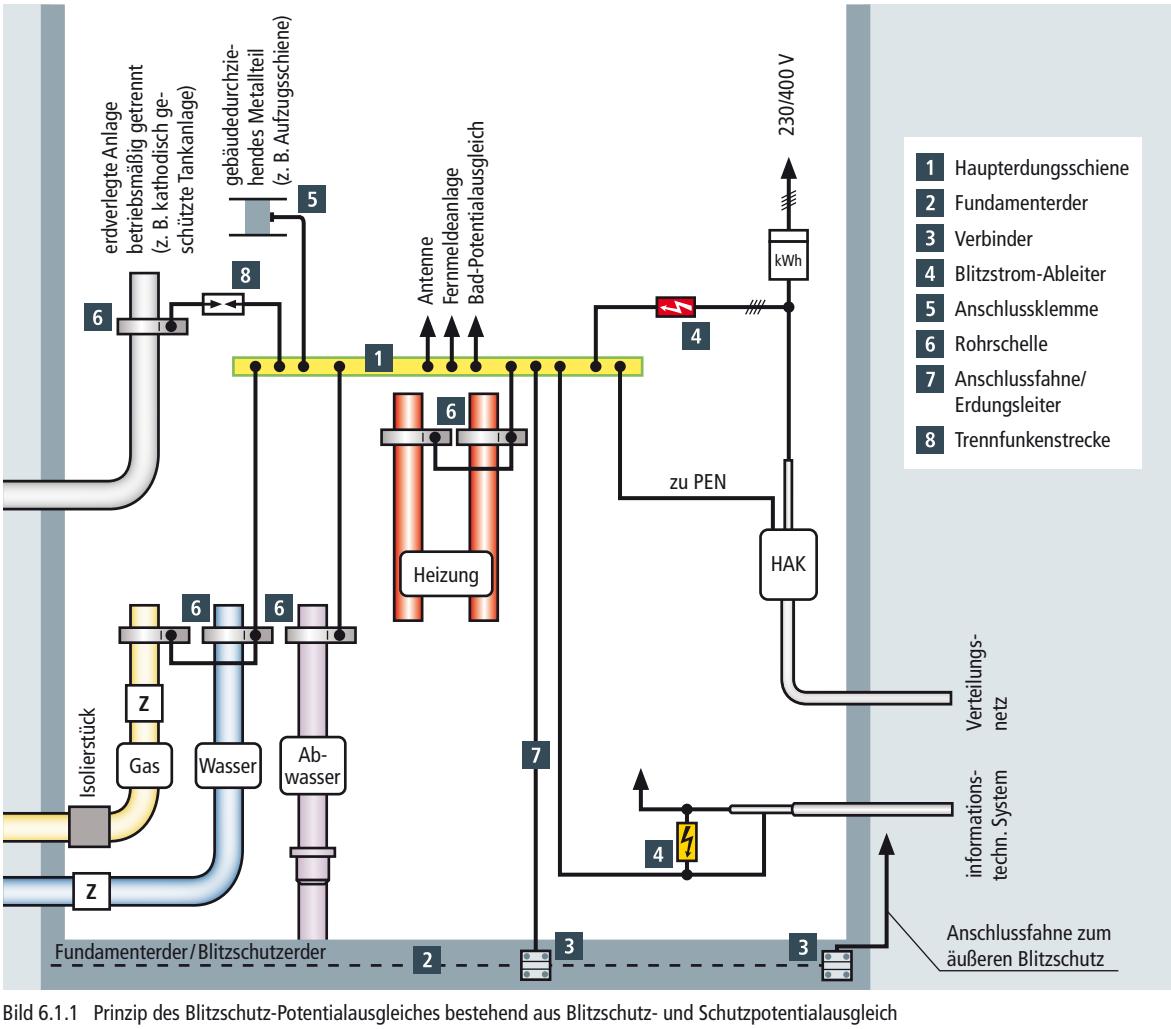


Bild 6.1.1 Prinzip des Blitzschutz-Potentialausgleiches bestehend aus Blitzschutz- und Schutzpotentialausgleich

- metallene Abwasserleitung
- Gasinnenleitung
- Erdungsleitung für Antennen (nach DIN VDE 0855)
- Erdungsleitung für Fernmeldeanlagen (nach DIN VDE 0800)
- Schutzleiter der Elektroanlage nach DIN VDE 0100 (PEN-Leiter bei TN-System und PE-Leiter bei TT- bzw. IT-Systemen)
- metallene Schirme von elektrischen und elektronischen Leitungen
- Metallmäntel von Starkstromkabeln bis 1000 V
- Erdungsanlagen von Starkstromanlagen über 1 kV nach DIN VDE 0101, wenn keine unzulässig hohe Erdungsspannung verschleppt werden kann.

Normative Definition in der DIN VDE 0100-200 eines fremden leitfähigen Teiles: Ein Teil, das nicht zur elektrischen Anlage gehört, das jedoch ein elektrisches Potential, einschließlich des Erdpotentials, einführen kann.

Anmerkung: Zu den fremden leitfähigen Teilen gehören auch leitfähige Fußböden und Wände, wenn über diese gleichfalls ein elektrisches Potential, einschließlich des Erdpotentials, eingeführt werden kann.

Folgende Anlageteile sind **indirekt** über Trennfunkenstrecken in den Schutzpotentialausgleich einzubeziehen:

- Anlagen mit kathodischem Korrosionsschutz und Streustromschutzmaßnahmen nach DIN EN 50162 (VDE 0150)
- Erdungsanlagen von Starkstromanlagen über 1 kV nach DIN VDE 0101, wenn unzulässig hohe Erdungsspannungen verschleppt werden können (Ausnahmefall)
- Bahnerde bei Wechselstrom- und Gleichstrombahnen nach DIN VDE 0115 (Gleise von Bahnen der DB dürfen nur mit schriftlicher Genehmigung angeschlossen werden)
- Messerde für Laboratorien, sofern sie von den Schutzleitern getrennt ausgeführt wird.

In **Bild 6.1.1** sind die Anschlüsse und die jeweiligen Komponenten des Schutzpotentialausgleichs sowie des Blitzschutz-Potentialausgleichs dargestellt.

Ausführung der Erdungsanlage für den Potentialausgleich

Da die elektrische Niederspannungsverbraucheranlage bestimmte Erdungswiderstände (Abschaltbedingungen der Schutzorgane) erforderlich macht und der Fundamenterder gute Erdungswiderstände bei wirtschaftlicher Verlegung bietet, stellt der Fundamenterder eine optimale und wirkungsvolle Ergänzung zum Potentialausgleich dar. Für die Ausführung des Fundamenterders ist die DIN 18014 maßgebend, die z. B. Anschlussfahnen für die Potentialausgleichschiene fordert. Genauere Beschreibungen und Ausführungen des Fundamenterders sind in Kapitel 5.5 enthalten.

Bei der Verwendung des Fundamenterders als Blitzschutzerder sind ggf. zusätzliche Anforderungen zu beachten. Diese können ebenso dem Kapitel 5.5 entnommen werden.

Schutzpotentialausgleichsleiter nach DIN VDE 0100-540

Die Potentialausgleichsleitungen sollen, sofern sie Schutzfunktion haben, wie Schutzleiter, d. h. grün/gelb, gekennzeichnet werden.
Potentialausgleichsleitungen führen keinen Betriebsstrom und können daher blank, aber auch isoliert sein.
Der Mindstquerschnitt von Schutzpotentialausgleichsleitern zum Anschluss an die Haupterdungschiene ist:

- 6 mm ^{2} Kupfer oder
- 16 mm^2 Aluminium oder
- 50 mm^2 Stahl.

Für Erdungsleitungen von Antennen (nach DIN EN 60728-11 (VDE 0855-1)) beträgt der Mindestquerschnitt 16 mm^2 Cu, 25 mm^2 Al oder 50 mm^2 Stahl.

Potentialausgleichsschienen

Die Potentialausgleichsschiene ist ein zentrales Bauelement des Potentialausgleiches und muss alle in der Praxis vorkommenden Anschlussleitungen und Querschnitte kontaktsicher klemmen, muss stromtragsicher sein und der Korrosionsfestigkeit genügen.
In der DIN VDE 0618-1 sind Anforderungen an die Potentialausgleichsschienen für den Schutzpotentialausgleich beschrieben. Darin werden folgende Anschlussmöglichkeiten als Minimum definiert:

- 1 x Flachleiter 4 mm x 30 mm oder Rundleiter Ø 10 mm
- 1 x 50 mm^2
- 6 x 6 mm^2 bis 25 mm^2
- 1 x 2,5 mm^2 bis 6 mm$^{2.}$

Diese Anforderungen an eine Potentialausgleichsschiene werden von der K12 und R15 (**Bild 6.1.2 und 6.1.3**) erfüllt.

Mit in dieser Norm enthalten ist die Prüfung der Blitzstromtragfähigkeit für Klemmenstellen ab einen Querschnitt von 16 mm^2. Darin wird auf die Prüfung der Blitzschutzbauteile nach der DIN EN 50164-1 (VDE 0185-201) Bezug genommen.
Werden die Anforderungen in der vorher genannten Norm erfüllt, kann dieses Bauteil auch für den Blitzschutz-Potentialausgleich nach der DIN EN 62305-1 bis 4 (VDE 0185-305-1 bis 4) eingesetzt werden.

Bild 6.1.2 Potentialausgleichsschiene K12, Art.-Nr. 563 200

Bild 6.1.3 Potentialausgleichsschiene R15, Art.-Nr. 563 010

Bild 6.1.4 Erdungsrohrschelle, Art.-Nr. 407 114

Anschlüsse für den Potentialausgleich

Anschlüsse für den Potentialausgleich müssen einen guten und dauerhaften Kontakt geben.

Einbeziehen von Rohrleitungen in den Potentialausgleich

Zum Einbinden von Rohrleitungen in den Potentialausgleich werden Erdungsrohrschellen für die entsprechenden Durchmesser der Rohre verwendet (**Bild 6.1.4**).

Enorme Montagevorteile bieten Erdungsbandrohrschellen aus NIRO mit Spannbandtechnik, die universell dem Rohrdurchmesser angepasst werden können (**Bild 6.1.5**).
Mit diesen Erdungsbandrohrschellen können unterschiedliche Werkstoffe der Rohre (z. B. Stahl, Kupfer und Edelstahl) geklemmt werden. Eine Durchgangsverdrahtung ist mit diesen Bauteilen ebenfalls möglich.
Bild 6.1.6 zeigt einen Potentialausgleich von Heizungsrohren mit Durchgangsverdrahtung.

Prüfung und Überwachung des Potentialausgleichs

Vor Inbetriebsetzung der elektrischen Verbraucheranlage sind die Verbindungen auf ihre einwandfreie Beschaffenheit und ihre Wirksamkeit zu überprüfen.
Ein niederohmiger Durchgang zu den verschiedenen Anlagenteilen und dem Potentialausgleich wird empfohlen. Ein Richtwert von < 1 Ω wird für die Verbindungen beim Potentialausgleich als ausreichend erachtet. Bei dieser Durchgangsprüfung nach VDE 0100-600 sind Messgeräte mit einem Prüfstrom von 200 mA nach VDE 0413-4 zu verwenden.

Zusätzlicher Schutzpotentialausgleich

Können Abschaltbedingungen der jeweiligen Netzform für eine Anlage oder einen Teil der Anlage nicht eingehalten werden, ist ein zusätzlicher örtlicher Schutzpotentialausgleich erforderlich. Hintergedanke ist, alle gleichzeitig berührbaren Körper sowie ortsfeste Betriebsmittel untereinander wie auch fremde leitfähige Teile zu verbinden. Das Ziel ist es, eine eventuell auftretende Berührungsspannung möglichst klein zu halten.
Weiterhin ist der zusätzliche Schutzpotentialausgleich bei Anlagen oder Anlagenteilen von IT-Systemen mit Isolationsüberwachung anzuwenden.
Erforderlich ist der zusätzliche Schutzpotentialausgleich zudem bei besonderer Gefährdung aufgrund der Umgebungsbedingungen in speziellen Anlagen oder Anlageteilen.
In der VDE-Reihe 0100 Gruppe 700 wird auf den zusätzlichen Schutzpotentialausgleich für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art hingewiesen.
Dies sind z. B.:

- DIN VDE 0100-701 Räume mit Badewanne oder Dusche (nicht mehr allgemein gefordert)

Bild 6.1.5 Erdungsbandrohrschelle, Art.-Nr. 540 910

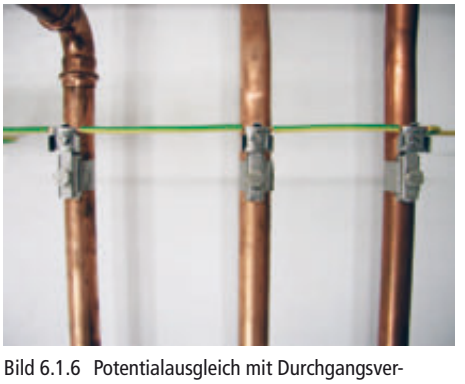


Bild 6.1.6 Potentialausgleich mit Durchgangsverdrahtung

- DIN VDE 0100-702 Becken von Schwimmbädern und andere Becken
- DIN VDE 0100-705 für landwirtschaftliche und gartenbauliche Betriebsstätten.

Als Mindestquerschnitte für den zusätzlichen Schutzpotentialausgleich werden bei geschützter Verlegung 2,5 mm² Cu und bei ungeschützter Verlegung 4 mm² Cu gefordert.
Der Unterschied zum Schutzpotentialausgleich besteht darin, dass die Querschnitte der Leitungen kleiner gewählt werden dürfen und dieser zusätzliche Potentialausgleich örtlich begrenzt sein kann.

6.1.1 Mindestquerschnitt für Potentialausgleichsleiter nach EN 62305-3 (VDE 0185-305-3)

Die Querschnitte von Leitern, welche im Rahmen des Blitzschutzes eingesetzt werden, sind für höhere Belastungen zu dimensionieren, da sie in der Lage sein müssen, Blitzströme zu führen. Deshalb ergeben sich aus der Sicht des Blitzschutzes vielfach größere Querschnitte.

Unabhängig von der Schutzklasse sind für die Verbindung von Potentialausgleichsschienen und für Verbindungen zur Erdungsanlage die Mindestquerschnitte nach **Tabelle 6.1.1.1** anzuwenden.
Die Mindestquerschnitte von Potentialausgleichsleitern, die innere metallene Installationen mit der Potentialausgleichschiene verbinden können geringer sein, da über diese Leiter nur geringe Blitzteilströme zum Fließen kommen (**Tabelle 6.1.1.2**).

Schutzklasse des LPS	Werkstoff	Querschnitt
I bis IV	Kupfer	16 mm²
	Aluminium	25 mm²
	Stahl	50 mm²

Tabelle 6.1.1.1 Mindestmaße von Leitern, die verschiedene Potentialausgleichsschienen miteinander oder mit der Erdungsanlage verbinden (nach DIN EN 62305-3, Tabelle 8)

Schutzklasse des LPS	Werkstoff	Querschnitt
I bis IV	Kupfer	6 mm²
	Aluminium	10 mm²
	Stahl	16 mm²

Tabelle 6.1.1.2 Mindestmaße von Leitern, die innere metallene Installationen mit der Potentialausgleichsschiene verbinden (nach DIN EN 62305-3, Tabelle 9)

Bild 6.2.1 DEHNbloc M für die Installation entsprechend dem Blitzschutzzonen-Konzept an den Grenzen 0_A – 1

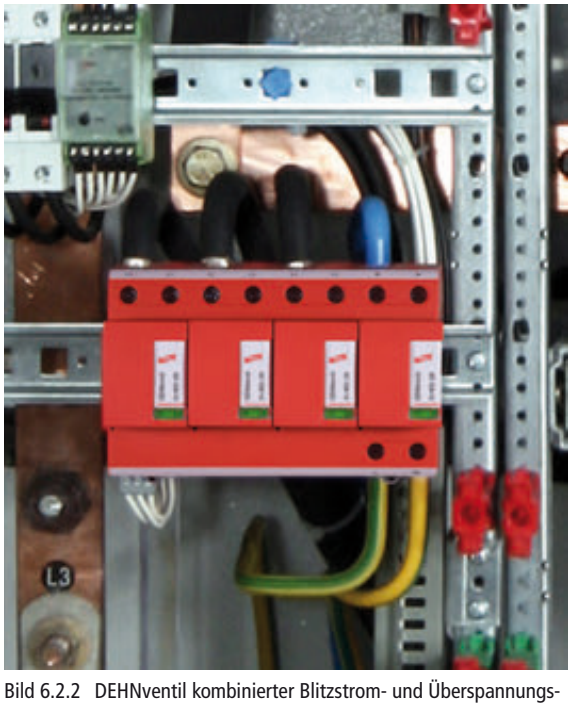


Bild 6.2.2 DEHNventil kombinierter Blitzstrom- und Überspannungs-Ableiter für die Installation entsprechend dem Blitzschutzzonen-Konzept an den Grenzen 0_A – 2

Anmerkung: Werden in unterschiedlichen Normen verschiedene Angaben zu Mindestquerschnitten von Leitern gemacht, so sind im Blitzschutzfall die Querschnitte entsprechend der DIN EN 62305 anzuwenden.

6.2 Potentialausgleich für Energieversorgungsanlagen

Der Potentialausgleich für Niederspannungsverbraucheranlagen im Rahmen des inneren Blitzschutzes stellt eine Erweiterung des Schutzpotentialausgleichs (früher: Hauptpotentialausgleich) nach DIN VDE 0100-410 dar (**Bild 6.1.1**).
Zusätzlich zu allen leitfähigen Systemen werden dabei auch die Zuleitungen der Niederspannungsverbraucheranlage in den Potentialausgleich einbezogen. Die Besonderheit dieses Potentialausgleichs liegt darin, dass eine Anbindung an den Potentialausgleich nur über entsprechende Überspannungsschutzgeräte erfolgen kann. Die Anforderungen, die an derartige Überspannungsschutzgeräte gestellt werden, sind in DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4) im Abschnitt 7 und den Anhängen C und D näher beschrieben.
Analog zum Potentialausgleich mit metallenen Installationen (s. Kapitel 6.1) soll der Potentialausgleich für die Zuleitungen der Niederspannungsverbraucheranlage ebenfalls unmittelbar an der Einführungsstelle im Objekt durchgeführt werden. Für die Installation der Überspannungsschutzgeräte im ungezählten Bereich der Niederspannungsverbraucheranlage (Hauptstromversorgungssystem) gelten die in der VDN-Richtlinie „Überspannungsschutzeinrichtung Typ 1 – Richtlinie für den Einsatz im Hauptstromversorgungssystemen" beschriebenen Anforderungen (s. hierzu auch Kapitel 7.5.2 und 8.1) (**Bilder 6.2.1 und 6.2.2**).

6.3 Potentialausgleich für Anlagen der Informationstechnik

Der Blitzschutz-Potentialausgleich fordert, dass alle metallenen leitenden Teile wie Leitungsadern und Schirme am Gebäudeeintritt möglichst niederimpedant in den Potentialausgleich einbezogen werden. Dazu gehören beispielsweise Antennenleitungen (**Bild 6.3.1**), Telekommunikationsleitungen mit metallenen Leitern, aber auch Lichtwellenleiteranlagen mit metallenen Elementen. Die Leitungen werden mit Hilfe von blitzstromtragfähigen Elementen (Ableiter und Schirmanschlusstechnik) angeschlossen. Ein günstiger Installationsort ist der Übergabepunkt von gebäudeüberschreitender auf gebäudeinterne Verkabelung. Sowohl die Ableiter, als auch die Schirmanschlusstechnik sind entsprechend der zu erwartenden Blitzstromparameter auszuwählen.

Um innerhalb von Gebäuden Induktionsschleifen zu minimieren, empfehlen sich zusätzlich folgende Schritte:

- Eintritt von Leitungen und Metallrohren an der gleichen Stelle
- Räumlich gemeinsame, jedoch abgeschirmte, Verlegung von Energie- und Datenleitungen
- Vermeidung unnötiger Kabellängen durch direkte Leitungsverlegung

Antennenanlagen

Antennenanlagen sind in der Regel aus funktechnischen Gründen exponiert angebracht und unterliegen einer erhöhten Beeinflussung durch Blitzströme und Überspannungen, insbesondere bei direktem Blitzeinschlag. Sie sind gemäß DIN VDE 0855-300 in den Potentialausgleich zu integrieren und müssen durch ihre Konstruktion (Kabelaufbau, Steckverbinder und Armaturen) oder geeignete zusätzliche Maßnahmen die Gefahr einer Beeinflussung reduzieren. Antennenelemente, die aus Funktionsgründen nicht direkt mit dem Potentialausgleich verbunden werden können und an eine Antennen-Speiseleitung angeschlossen sind, sollten durch blitzstromtragfähige Ableiter geschützt werden.
Vereinfacht kann angenommen werden, dass 50 % des Direktblitzstroms über die Schirme aller Antennenleitungen fließt. Ist eine Antennenanlage für Blitzströme bis 100 kA (10/350 µs) dimensioniert (Gefährdungspegel III (LPL III)), ergibt sich eine Aufteilung des Blitzstromes von 50 kA über die Erdungsleitung und 50 kA über die Schirme aller Antennenkabel. Nicht blitzstromtragfähige Antennenanlagen sind deshalb mit Fangeinrichtungen auszurüsten, in deren Schutzbereich die Antennen liegen. Bei der Auswahl eines geeigneten Kabels ist der jeweilige Anteil am Blitzteilstrom für jede an der Ableitung beteiligte Antennenleitung zu ermitteln. Die erforderliche Kabel-Spannungsfestigkeit kann aus dem Kopplungswiderstand, der Länge der Antennenleitung und der Amplitude des Blitzstroms ermittelt werden.

Nach der aktuellen Blitzschutz-Norm DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) sollten Antennenanlagen auf Gebäuden durch

- Fangstangen,
- erhöht geführte Drähte
- oder gespannte Seile

unter Einhaltung des Trennungsabstands **s** in den einschlagsgeschützten Bereich gebracht werden.

Durch die elektrische Isolation der Blitzschutzanlage gegenüber leitenden Teilen der Gebäudekonstruktion (metallene Konstruktionsteile, Armierung usw.) und gleichzeitige Isolation der Blitzschutzanlage gegenüber elektrischen Leitungen im Gebäude wird das Eindringen von Blitzteilströmen in Steuer-

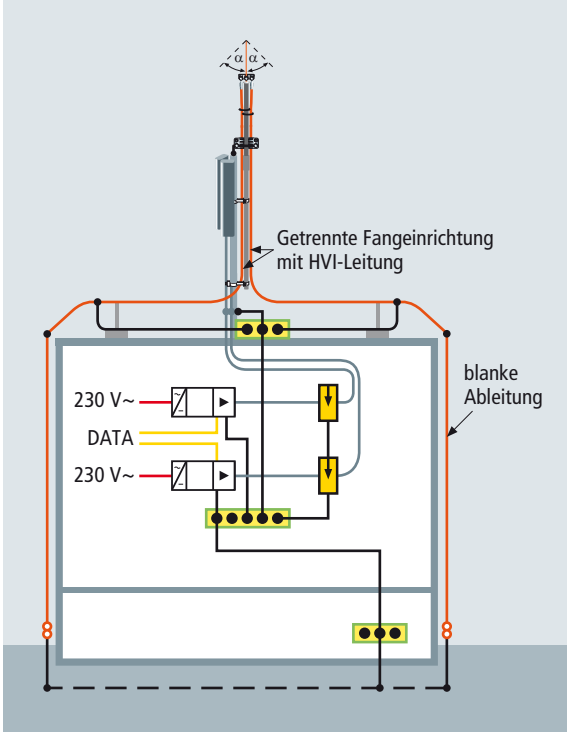


Bild 6.3.1 Blitzschutz-Potentialausgleich mit getrennter Fangeinrichtung und HVI-Leitung für professionelle Antennenanlagen gemäß DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3)

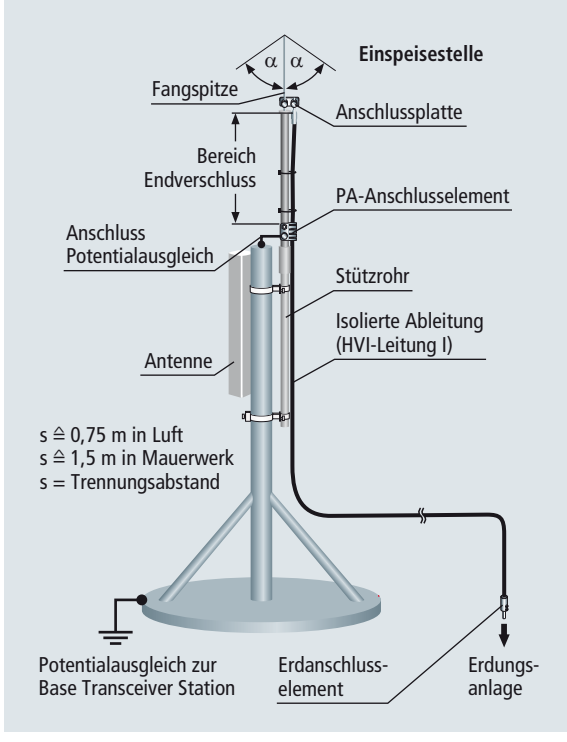


Bild 6.3.2 Isolierter Aufbau von Blitzschutzanlage und Mobilfunkantenne

und Versorgungsleitungen und damit die Beeinflussung/Zerstörung von empfindlichen elektrischen und elektronischen Einrichtungen verhindert (**Bild 6.3.1 und 6.3.2**).

Lichtwellenleiteranlagen

Lichtwellenleiteranlagen mit metallenen Elementen lassen sich üblicherweise in folgende Typen einteilen:

- Kabel mit metallfreier Seele, aber mit einem Metallmantel (z. B. einer metallenen Dampfsperre) oder metallenen Tragelementen
- Kabel mit metallenen Elementen in der Seele und mit einem Metallmantel oder metallenen Tragelementen
- Kabel mit metallenen Elementen in der Seele, aber ohne Metallmantel.

Für alle Kabeltypen mit metallenen Elementen muss der minimale Scheitelwert des Blitzstroms ermittelt werden, der zu einer Beeinträchtigung der Übertragungseigenschaften der Lichtwellenleiter führt. Blitzstromtragfähige Kabel sind auszuwählen, und die metallenen Elemente sind direkt oder über ein SPD an die Potentialausgleichsschiene anzuschließen.

- Metallmantel: Anschluss mit Schirmanschlusstechnik z. B. SAK, am Gebäudeeintritt
- Metallene Seele: Anschluss mit Erdungsklemme z. B. SLK, Nähe Spleißbox
- Vermeiden von Ausgleichsströmen: Anschluss nicht direkt, sondern indirekt über Funkenstrecke z. B. DEHNgap CS, BLITZDUCTOR XT mit indirekter Schirmerdung (**Bild 6.3.3**).

Telekommunikationsleitungen

Telekommunikationsleitungen mit metallenen Leitern bestehen üblicherweise aus Kabeln mit symmetrischen oder koaxialen Verseilelementen folgender Typen:

- Kabel ohne zusätzliche Metallelemente
- Kabel mit Metallmantel (z. B. eine metallene Dampfsperre) und/oder metallenen Tragelementen
- Kabel mit Metallmantel und zusätzlicher Blitzschutzbewehrung.

Die Aufteilung des Blitzteilstroms auf informationstechnischen Leitungen lässt sich ermitteln, wenn nach Anhang E der

Bild 6.3.3 EMV-Federklemmen für die geschützte und ungeschützte Seite eines BLITZDUCTOR XT zur dauerhaften, niederimpedanten Schirmkontaktierung einer geschirmten Signalleitung; mit steckbarer Isolierkappe für die indirekte Schirmerdung, mit Kabelbindern und Isolierstreifen.

DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1) vorgegangen wird. Die einzelnen Kabel sind wie folgt in den Potentialausgleich einzubeziehen:

- a) Ungeschirmte Kabel sind mit blitzteilstromtragfähigen Ableitern zu beschalten: Blitzteilstrom der Leitung dividiert durch die Anzahl der Einzeladern = Blitzteilstrom pro Ader.
- b) Ist der Kabelschirm blitzstromtragfähig, fließt der Blitzstrom über den Schirm. Jedoch gelangen kapazitive / induktive Störeinkopplungen auf die Adern und machen Überspannungs-Ableiter erforderlich. Vorraussetzungen:
  - Der Schirm an beiden Leitungsenden muss blitzstromtragfähig mit dem Hauptpotentialausgleich verbunden sein (**Bild 6.3.4**).
  - In beiden Gebäuden, in denen das Kabel endet, muss das Blitzschutzzonen-Konzept angewendet und der Anschluss der aktiven Adern in der gleichen Blitzschutzzone (üblicherweise LPZ 1) durchgeführt werden.
  - Wird ein ungeschirmtes Kabel in einem Metallrohr verlegt, ist dieses wie ein Kabel mit blitzstromtragfähigem Kabelschirm zu behandeln.
- c) Ist der Kabelschirm nicht blitzstromtragfähig, dann gilt:
  - Bei beidseitigem Schirmanschluss ist ebenso wie mit der Signalader einer ungeschirmten Leitung zu verfahren. Blitzteilstrom der Leitung dividiert durch die Anzahl der Einzeladern + 1 Schirm = Blitzteilstrom pro Ader.
  - Ist der Schirm nicht beidseitig aufgelegt, gilt er als nicht vorhanden: Blitzteilstrom der Leitung dividiert durch die Anzahl der Einzeladern = Blitzteilstrom pro Ader.

Lässt sich die genaue Aderbelastung nicht ermitteln, ist es sinnvoll, die Bedrohungsparameter aus IEC 61643-22 heranzuziehen. Daraus ergibt sich für eine Telekommunikationsleitung eine maximale Blitzstrom-Belastung pro Leitungsader mit einem Impuls der Kategorie D1 von 2,5 kA (10/350 µs).

Bild 6.3.4 Blitzstromtragfähiges Schirmanschlusssystem SAK

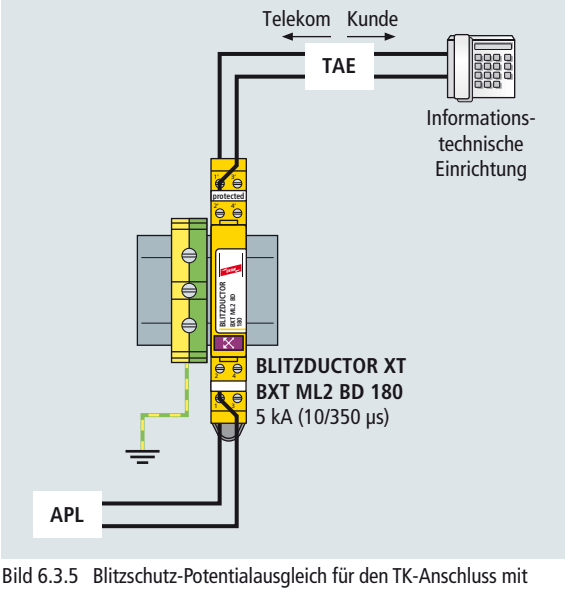


Bild 6.3.5 Blitzschutz-Potentialausgleich für den TK-Anschluss mit BLITZDUCTOR XT (Einsatz von Deutscher TELEKOM erlaubt)

Natürlich müssen nicht nur die eingesetzten SPDs (**Bild 6.3.5**) der zu erwartenden Blitzstrombelastung widerstehen können, sondern auch der Ableitpfad zum Potentialausgleich.
Dies lässt sich am angenommenen Beispiel einer vieladrigen Telekommunikationsleitung verdeutlichen:

- In einem LSA-Gebäudeverteiler ist ein Telekommunikationskabel mit 100 Doppeladern aufgelegt, das aus der LPZ 0_A kommt und mit Ableitern beschaltet werden soll.
- Die Blitzstrombelastung für das Kabel wurde mit 30 kA (10/350 µs) angenommen.
- Es ergibt sich eine symmetrische Blitzstromaufteilung auf die Einzeladern: 30 kA/200 Adern = 150 A/Ader.

Dies bedeutet zunächst, dass keine besonderen Anforderungen an das Ableitvermögen der einzusetzenden Schutzelemente gestellt werden. Nach dem Durchfließen der Ableitelemente addieren sich die Teilströme aller Adern wieder zu 30 kA und belasten im weiteren Ableitpfad beispielsweise Klemmgehäuse, Erdungsklemmen oder Blitzschutz-Potentialausgleichsleitungen. Um sicherzugehen, dass es im Ableitpfad zu keinen Zerstörungen kommt, können blitzstromgeprüfte Gehäusesysteme eingesetzt werden (**Bild 6.3.6**).

Bild 6.3.6 Blitzstromtragfähige DEHN-Potentialausgleich-Gehäuse (DPG LSA) für LSA-2/10-Technik

Schutz von elektrischen und elektronischen Systemen gegen LEMP

7.1 Blitzschutzzonen-Konzept

Elektrische und elektronische Systeme, die empfindlich auf kurzzeitige, energiereiche Überspannungen infolge der Blitzentladung reagieren, halten in Form von Gebäudemanagement-, Telekommunikations-, Steuerungs- und Sicherheitssystemen mit sehr hohen Wachstumsraten Einzug in nahezu alle Bereiche der Wohn- und Zweckbauten. Die Anforderungen, die durch den Eigentümer / Betreiber an die permanente Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit derartiger Systeme gestellt werden, sind sehr hoch.

Der Schutz von elektrischen und elektronischen Systemen in baulichen Anlagen gegen Überspannungen, die durch den elektromagnetischen Blitzimpuls (LEMP) verursacht werden, beruht auf dem Prinzip der Blitzschutzzonen (LPZ – **L**ightning **P**rotection **Z**one). Nach diesem Prinzip ist die zu schützende bauliche Anlage in innere Blitzschutzzonen unterschiedlicher LEMP-Bedrohungswerte zu unterteilen (**Bild 7.1.1**). Damit können Bereiche unterschiedlicher LEMP-Bedrohungswerte der Festigkeit des elektronischen Systems angepasst werden.

Nach diesem flexiblen Konzept sind abhängig von Zahl, Art und Empfindlichkeit der elektronischen Geräte / Systeme geeignete LPZ definierbar, und zwar von kleinen lokalen Zonen bis zu großen integralen Zonen, die das gesamte Gebäudevolumen umfassen können. Abhängig von der Art der Blitzbedrohung sind innere und äußere Blitzschutzzonen entsprechend DIN EN 62305-4 definiert.

Äußere Zonen:

LPZ 0 Zone, die durch das ungedämpfte elektromagnetische Feld des Blitzes gefährdet ist und in der die inneren Systeme dem vollen oder anteiligen Blitzstrom ausgesetzt sein können.

LPZ 0 wird unterteilt in:

LPZ 0_A Zone, die durch direkte Blitzeinschläge und das volle elektromagnetische Feld des Blitzes gefährdet ist. Die inneren Systeme können dem vollen Blitzstrom ausgesetzt sein.

LPZ 0_B Zone, die gegen direkte Blitzeinschläge geschützt, aber durch das volle elektromagnetische Feld des Blitzes gefährdet ist. Die inneren Systeme können anteiligen Blitzströmen ausgesetzt sein.

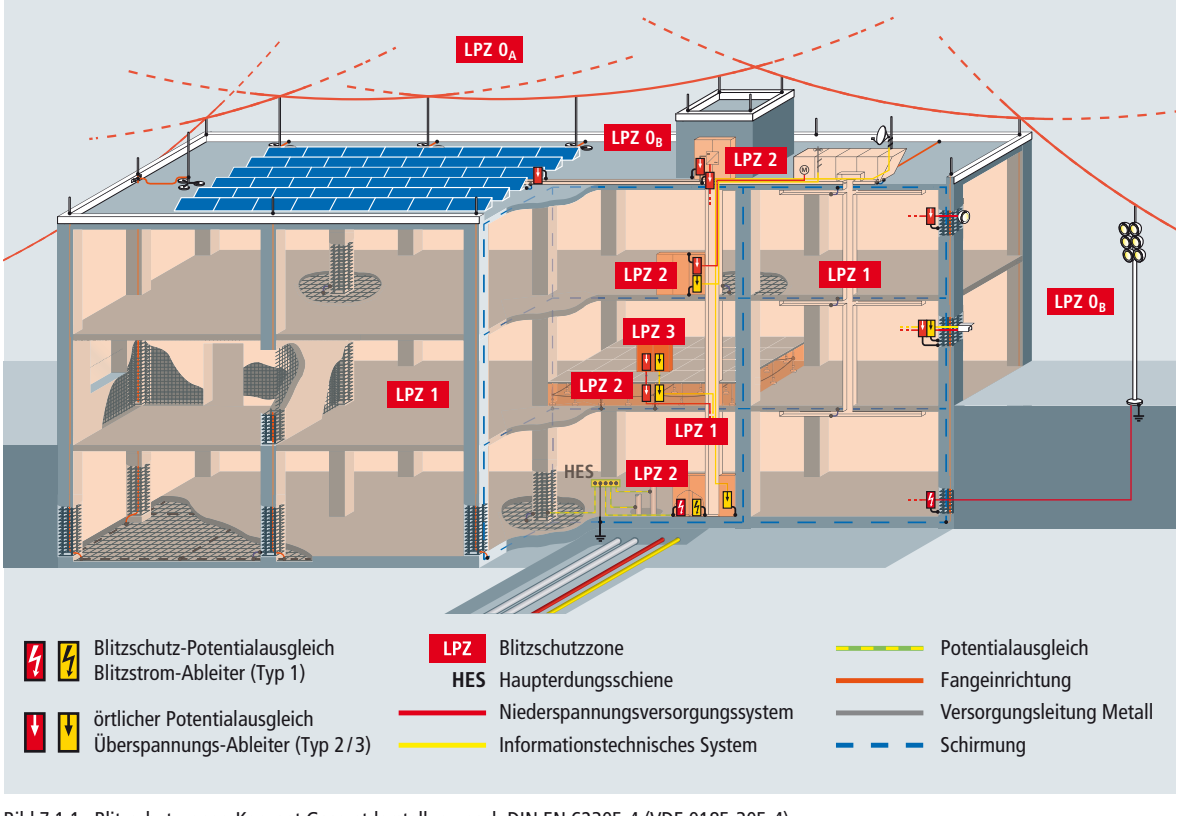


Bild 7.1.1 Blitzschutzzonen-Konzept Gesamtdarstellung nach DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4)

Innere Zonen (geschützt gegen direkte Blitzeinschläge):

LPZ 1 Zone, in der Stoßströme durch Stromaufteilung und durch isolierende Schnittstellen und/oder durch SPDs an den Zonengrenzen begrenzt werden. Das elektromagnetische Feld des Blitzes kann durch räumliche Schirmung gedämpft sein.

LPZ 2...n Zone, in der Stoßströme durch Stromaufteilung und durch isolierende Schnittstellen und/oder durch zusätzliche SPDs an den Zonengrenzen weiter begrenzt werden können. Das elektromagnetische Feld des Blitzes kann zudem durch eine zusätzliche räumliche Schirmung weiter gedämpft sein.

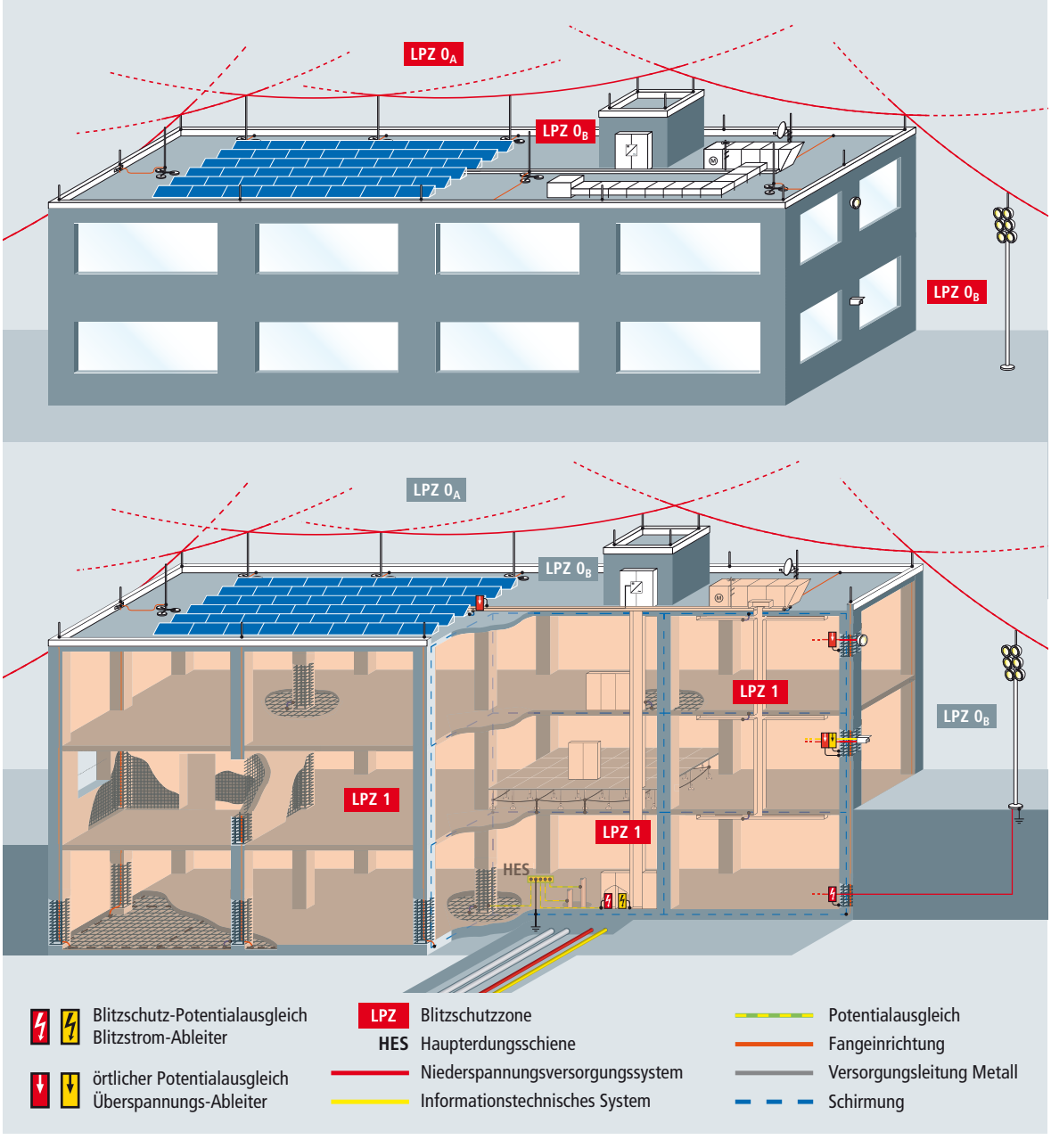
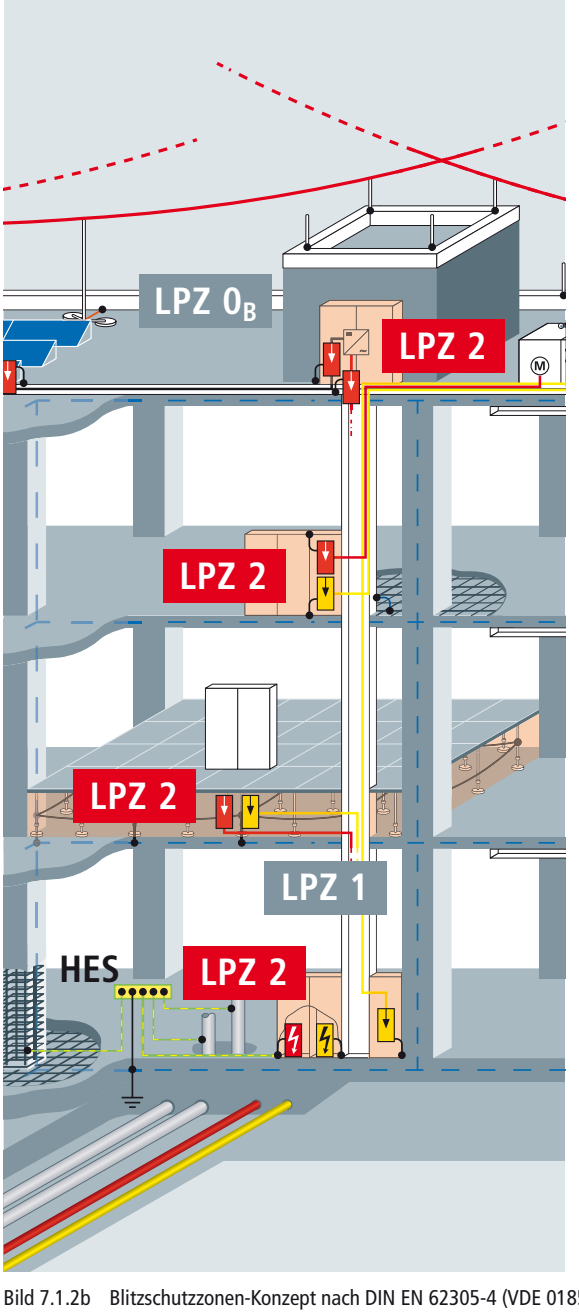


Bild 7.1.2a Blitzschutzzonen-Konzept nach DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4)

Die Anforderungen für die inneren Zonen müssen entsprechend der Spannungsfestigkeit 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. Dieser erfolgt direkt oder durch geeignete SPDs. Die Zonengrenze wird durch die Schirmungsmaßnahmen gebildet. Die Umsetzung des Blitzschutzzonen-Konzeptes ist eine wichtige Voraussetzung für den späteren sicheren und störungsfreien Betrieb.
Für ein umfassendes Gesamtschutzsystem müssen viele Informationen (z. B. über Gebäudenutzung, Erdungsanlage, Elekt-



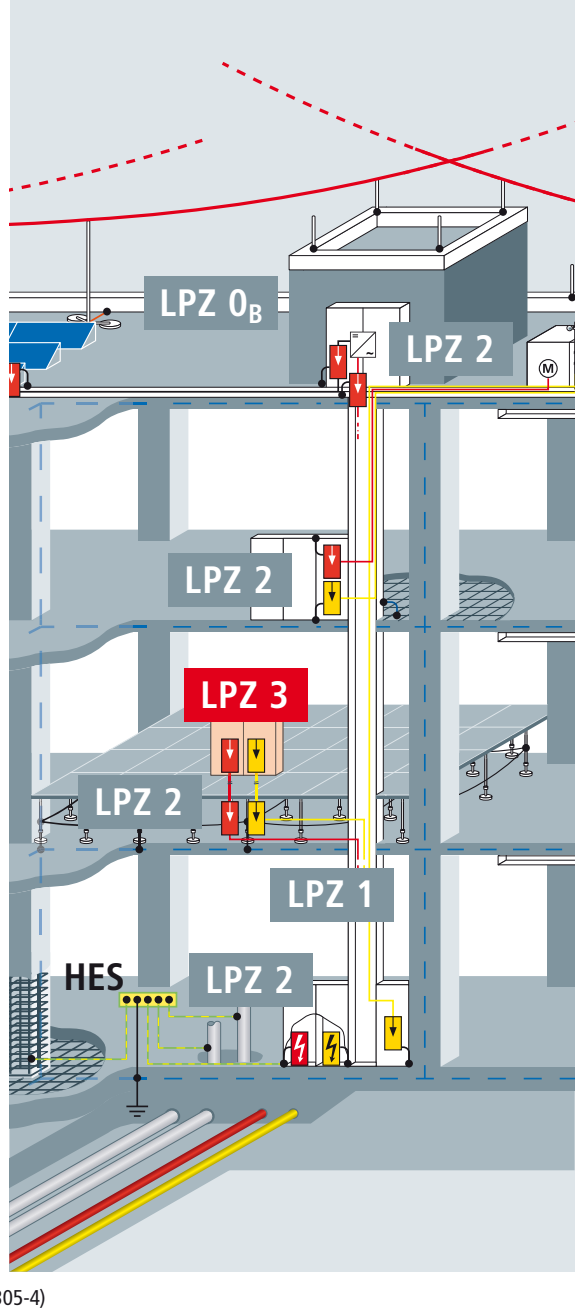


Bild 7.1.2b Blitzschutzzonen-Konzept nach DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4)

roanlage, EDV-System) gesammelt und zentral bewertet werden, um die gewünschte Anlagenverfügbarkeit sicherstellen zu können.

Die Bilder 7.1.2 und 7.1.3 zeigen Umsetzungsbeispiele der beschriebenen Maßnahmen für das Blitzschutzzonen-Konzept.

7.2 Management der SPM (Surge Protection Measures)

Für neue bauliche Anlagen kann der optimale Schutz von elektronischen Systemen mit einem Minimum an Kosten nur erreicht werden, wenn die elektronischen Systeme gemeinsam mit dem Gebäude und vor dessen Errichtung geplant werden. Auf diese Weise können Komponenten des Gebäudes, wie z. B. die Bewehrung, Metallträger und metallene Stützpfeiler, in das LEMP-Schutz-Management einbezogen werden.
Für bestehende bauliche Anlagen sind die Kosten für den LEMP-Schutz meist höher als bei neuen baulichen Anlagen. Werden jedoch die LPZ geeignet gewählt und bestehende Installationen genutzt oder aufgerüstet, so können Kosten reduziert werden.
Wird durch die Risikoanalyse nach DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2) der LEMP-Schutz gefordert, so kann dieser nur erreicht werden, wenn:

➡ die Maßnahmen von einer Blitzschutz-Fachkraft mit fundierter Kenntnis der EMV geplant werden,

Schritt	Ziel	Maßnahme ist durchzuführen von (soweit betroffen)
Erste Risikoanalyse [a]	Prüfung der Notwendigkeit eines LEMP-Schutzes. Falls erforderlich, ist ein geeignetes Lemp-Schutzsystems (LPMS) anhand einer Risikobewertung auszuwählen.	• Blitzschutz-Fachkraft [b] • Eigentümer
Abschließende Risikoanalyse [a]	Das Kosten-Nutzen-Verhältnis für die ausgewählten Schutzmaßnahmen sollte noch einmal durch eine Risikobewertung optimiert werden. Als Ergebnis werden bestimmt: • Gefährdungspegel (LPL) und die Blitzparameter • LPZs und deren Grenzen	• Blitzschutz-Fachkraft [b] • Eigentümer
Planung des Lemp-Schutzsystems (LPMS)	Definition des LPMS: • Maßnahmen für räumliche Schirmung • Potentialausgleichsnetzwerke • Erdungsanlagen • Leitungsführung und -schirmung • Schirmung eingeführter Versorgungsleitungen • Überspannungsschutzgeräte-System	• Blitzschutz-Fachkraft [b] • Eigentümer • Architekt • Planer der inneren Systeme • Planer maßgeblicher Installationen
Auslegung des LPMS	• Allgemeine Zeichnungen und Beschreibungen • Vorbereitung der Ausschreibungsunterlagen • Detailzeichnungen und Zeitpläne für die Installation	• Ingenieurbüro oder gleichwertig
Installation und Überprüfung des LPMS	• Qualität der Installation • Dokumentation • Mögliche Revision von Detailzeichnungen	• Blitzschutz-Fachkraft [b] • Errichter des LPMS • Ingenieurbüro • Prüfungsbeauftragter
Abnahme des LPMS	Prüfung und Dokumentation des System-Zustands	• Unabhängige Blitzschutz-Fachkraft [b] • Prüfungsbeauftragter
Wiederkehrende Prüfungen	Sicherstellung eines angemessenen LPMS	• Blitzschutz-Fachkraft [b] • Prüfungsbeauftragter

[a] Siehe DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2)
[b] Mit fundierten Kenntnissen der EMV und der Installationspraxis

Tabelle 7.2.1 SPM Managementplan für neue Gebäude und für umfassende Änderungen der Konstruktion oder der Nutzung von Gebäuden nach DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4)

- zwischen den Experten für den Bau und für den LEMP-Schutz (z. B. Bau- und Elektroingenieuren) eine enge, gewerkeübergreifende Koordination erfolgt und
- dem Managementplan nach **Tabelle 7.2.1** (DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4) Abschnitt 8.1) gefolgt wird.

Eine abschließende Risikoanalyse muss nachweisen, dass das verbleibende Risiko kleiner als das akzeptierbare Risiko ist.

7.3 Berechnung der magnetischen Schirmdämpfung von Gebäude-/Raumschirmen

Die vorrangigen Störquellen für zu schützende Geräte und Anlagen in einem Objekt sind der Blitzstrom und das damit verbundene elektromagnetische Feld. Im **Bild 7.3.1** ist die prinzipielle Wirkungsweise von Gitterstrukturen dargestellt. Die Berechnungsgrundlagen sind in der Norm DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4) beschrieben.

Berechnungsgrundlagen fußen auf Annahmen und Abschätzungen. Mit einer ersten Näherung soll die komplexe Verteilung des magnetischen Feldes innerhalb von gitterförmigen Schirmen bestimmt werden. Die Formeln für die Bestimmung des magnetischen Feldes basieren auf numerischen Berechnungen des magnetischen Feldes. Bei der Berechnung wurde die magnetische Feldkopplung jedes Stabes des gitterförmigen Schirmes mit allen anderen Stäben, einschließlich des simulierten Blitzkanals, berücksichtigt.

Für die Aussage, ob die Wirkung des elektromagnetischen Feldes des ersten Teilblitzes oder die des Folgeblitzes für die zu schützende elektrische Einrichtung die kritischere Störgröße ist, müssen Berechnungen mit dem Maximalwert des Stromes des ersten positiven Teilblitzes ($i_{f/max}$) sowie des ersten negativen Teilblitzes ($i_{fn/max}$) und mit dem Maximalwert des Stromes der Folgeblitze ($i_{s/max}$) entsprechend des Gefährdungspegels nach Tabelle 3 aus DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1) durchgeführt werden.

Die Schirmwirkung von gitterförmigen Schirmen bei direkten Blitzeinschlägen kann durch die in den **Bildern 7.3.2a und b**

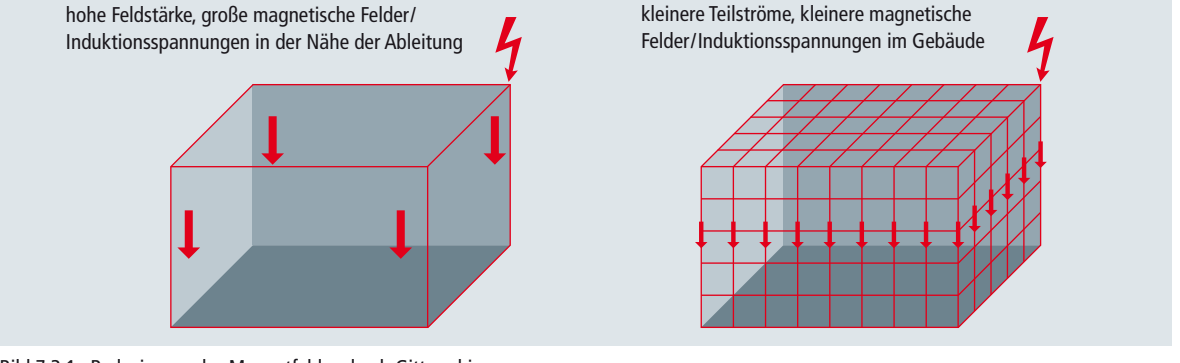


Bild 7.3.1 Reduzierung des Magnetfeldes durch Gitterschirme

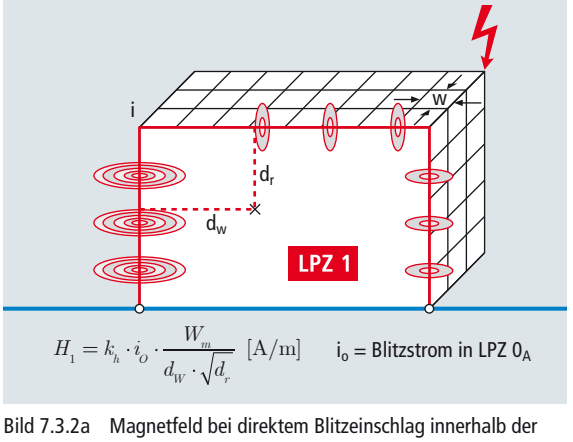


Bild 7.3.2a Magnetfeld bei direktem Blitzeinschlag innerhalb der LPZ 1 (LEMP) DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4)

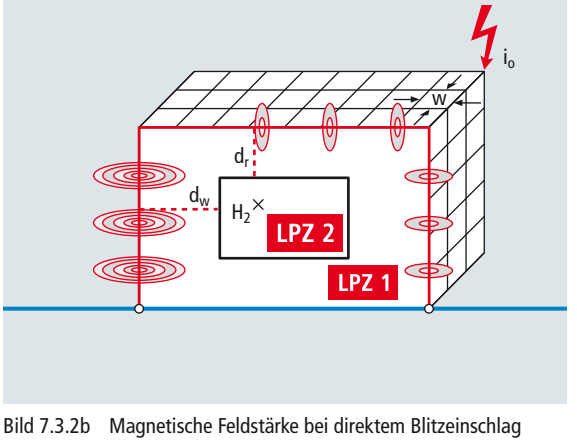


Bild 7.3.2b Magnetische Feldstärke bei direktem Blitzeinschlag innerhalb der LPZ 2

dargestellte Formel berechnet werden. Dieser Betrachtung liegt zugrunde, dass die Blitzstromeinkopplung an einer beliebigen Stelle des Daches erfolgt.

Die nachfolgend aufgeführten Berechnungen beschreiben den Stand in der aktuellen EN 62305-4 von Oktober 2011.
Bei der Berechnung der Sicherheitsabstände ist in Ergänzung zu den Aussagen, die in der aktuellen EN 62305-4 getroffen werden, noch Folgendes zu beachten:
Innere elektronische Systeme dürfen nur innerhalb eines Sicherheitsvolumens installiert werden, das einen Sicherheitsabstand vom Schirm der LPZ enthält. Die bisherigen Definitionen dieser Sicherheitsabstände $d_{s/1}$ und $d_{s/2}$ wurden oft fälschlicherweise LPZ 1 und LPZ 2 zugeordnet.

$d_{s/1}$ Sicherheitsabstand im Falle eines räumlichen Schirmes von LPZ 1, wenn ein Blitzstrom in diesem räumlichen Schirm fließt. (Der räumliche Schirm von LPZ 1 erzeugt ein magnetisches Feld. Es kann dann kein Schirmfaktor zugeordnet werden:

- ➡ gültig nur im Falle eines direkten Blitzeinschlags (S1) in den Schirm von LPZ 1.)

$d_{s/2}$ Sicherheitsabstand im Falle von räumlichen Schirmen, wenn kein Blitzstrom in diesen räumlichen Schirmen fließt (der Schirmfaktor definiert die Dämpfung von H_n auf H_{n+1}):

- ➡ gültig für alle räumlichen Schirme von LPZ 1 oder höher bei nahen Einschlägen (S2)

oder

- ➡ gültig für alle inneren räumlichen Schirme von LPZ 2 oder höher bei einem direkten Blitzeinschlag (S1) oder bei nahen Einschlägen.

Von Deutschland wurden deshalb für die zukünftige Überarbeitung der Blitzschutznorm EN 62305-4 entsprechende Klarstellungen vorgeschlagen, die vor allem redaktioneller Art sind. Es sollen zukünftig folgende neue Bezeichnungen verwendet werden:

- ➡ $d_{s/1}$ wird d_{DF} bei direkten Blitzeinschlägen in den Schirm von LPZ 1;
- ➡ $d_{s/2}$ wird d_{SF} bei Anwendung des Schirmungsfaktors SF.

Die Berechnungsformeln der Sicherheitsabstände sind demnach entsprechend anzupassen.

Berechnung der magnetischen Feldstärke bei Direkteinschlag

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

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

d_r der kürzeste Abstand zwischen dem betrachteten Punkt und dem Dach der geschirmten LPZ 1 in m;

d_w der kürzeste Abstand zwischen dem betrachteten Punkt und der Wand der geschirmten LPZ 1 in m;

I_0 der Blitzstrom in LPZ 0_A in A;

k_h der Geometriefaktor, typischer Wert $k_h = 0{,}01$ in $1/\sqrt{m}$;

w_m die Maschenweite des gitterförmigen Schirms von LPZ 1 in m.

Daraus folgt für den Höchstwert des magnetischen Feldes in LPZ 1 (Anmerkungen 1 und 2 beachten):

➡ bedingt durch den positiven ersten Teilblitz:

$$H_{1/f/\max} = \frac{k_h \cdot I_{f/\max} \cdot w_m}{\left(d_w \cdot \sqrt{d_r}\right)} \quad \text{in A/m}$$

➡ bedingt durch den negativen ersten Teilblitz:

$$H_{1/fn/\max} = \frac{k_h \cdot I_{fn/\max} \cdot w_m}{\left(d_w \cdot \sqrt{d_r}\right)} \quad \text{in A/m}$$

➡ bedingt durch die Folgeblitze:

$$H_{1/s/\max} = \frac{k_h \cdot I_{s/\max} \cdot w_m}{\left(d_w \cdot \sqrt{d_r}\right)} \quad \text{in A/m}$$

Dabei ist

$I_{f/max}$ der Höchstwert des positiven ersten Teilblitzstroms entsprechend dem Gefährdungspegel in A;

$I_{fn/max}$ der Höchstwert des negativen ersten Teilblitzstroms entsprechend dem Gefährdungspegel in A;

$I_{s/max}$ der Höchstwert der Folgeblitzströme entsprechend dem Gefährdungspegel in A.

Anmerkung: Das magnetische Feld vermindert sich um den Faktor 2, wenn ein vermaschtes Potentialausgleichsnetzwerk nach DIN EN 62305, Teil 4 5.2 installiert ist.

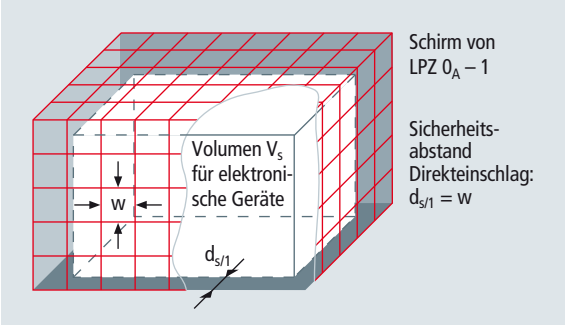


Bild 7.3.3 Volumen für elektronische Geräte innerhalb LPZ 1

Diese Werte des magnetischen Feldes gelten nur im Sicherheitsvolumen vs innerhalb des gitterförmigen Schirms mit dem Sicherheitsabstand $d_{s/1}$ zum Schirm (**Bild 7.3.3**):

$$d_{s/1} = \frac{w_m \cdot SF}{10} \quad \text{für SF} \geq 10 \text{ in m}$$

$$d_{s/1} = w_m \quad \text{für SF} < 10 \text{ in m}$$

Dabei ist

SF der aus den Gleichungen der **Tabelle 7.3.1** bestimmte Schirmfaktor in dB;

wm die Maschenweite des gitterförmigen Schirms in m.

Material	Schirmfaktor SF (dB)	
	25 kHz erster Teilblitz	1 Mhz Folgeblitze
Kupfer oder Aluminium	$20 \cdot \log (8{,}5/w_m)$	$20 \cdot \log (8{,}5/w_m)$
Stahl	$20 \cdot \log \frac{(8{,}5 / w_m)}{\sqrt{1 + 18 \cdot 10^{-6} / r_c^2}}$	$20 \cdot \log (8{,}5/w_m)$
w_m = Maschenweite [m] ($w_m \leq 5$ m); r_c = Stabradius [m]; μr ≈ 200 (Permeabilität)		

Beispiel: Stahl-Gitter			
w_m (m)	r (m)	dB bei 25 kHz	dB bei 1 Mhz
0,012	0,0010	44	57
0,100	0,0060	37	39
0,200	0,0090	32	33
0,400	0,0125	26	27

Tabelle 7.3.1 Magnetische Dämpfung von Gittern bei Naheinschlag nach DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4)

Anmerkung: Experimentelle Ergebnisse für das magnetische Feld innerhalb eines gitterförmigen Schirms um die LPZ 1 zeigen, dass die magnetische Feldstärke nahe dem Schirm kleiner ist als die nach obigen Gleichungen berechnete Feldstärke.

Bestimmung des magnetischen Feldes bei nahem Blitzeinschlag

Das einfallende Magnetfeld H_0 ist zu berechnen mit:

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

Dabei ist

I_0 der Blitzstrom in LPZ 0_A in A;

s_a der Abstand zwischen dem Einschlagpunkt und dem Mittelpunkt des geschirmten Volumens in m.

Daraus ergibt sich für den Höchstwert des magnetischen Feldes in LPZ 0:

➡ bedingt durch den positiven ersten Teilblitz:

$$H_{0/f/\max} = \frac{I_{f/\max}}{(2 \cdot \pi \cdot s_a)} \quad \text{in A/m}$$

➡ bedingt durch den negativen ersten Teilblitz:

$$H_{0/fn/\max} = \frac{I_{fn/\max}}{(2 \cdot \pi \cdot s_a)} \quad \text{in A/m}$$

➡ bedingt durch die Folgeblitze:

$$H_{0/s/\max} = \frac{I_{s/\max}}{(2 \cdot \pi \cdot s_a)} \quad \text{in A/m}$$

Dabei ist

$I_{f/max}$ der Höchstwert des positiven ersten Teilblitzstroms entsprechend dem Gefährdungspegel in A;

$I_{fn/max}$ der Höchstwert des negativen ersten Teilblitzstroms entsprechend dem Gefährdungspegel in A;

$I_{s/max}$ der Höchstwert der Folgeblitzströme entsprechend dem Gefährdungspegel in A.

Die Verringerung von H_0 zu H_1 innerhalb von LPZ 1 kann aus den SF-Werten nach **Tabelle 7.3.1** abgeleitet werden:

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

Dabei ist

SF der aus den Gleichungen der **Tabelle 7.3.1** bestimmte Schirmfaktor in dB;

H_0 das magnetische Feld in LPZ 0 in A/m.

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

➡ bedingt durch den positiven ersten Teilblitz:

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

➡ bedingt durch den negativen ersten Teilblitz:

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

➡ bedingt durch die Folgeblitze:

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

Diese Werte des magnetischen Feldes gelten nur für ein Sicherheitsvolumen V_s innerhalb der gitterförmigen Schirmung mit einem Sicherheitsabstand ds/2 vom Schirm (**Bild 7.3.3**):

$$d_{s/2} = w_m^{SF/20} \quad \text{für SF} \geq 10 \text{ in m}$$

$$d_{s/2} = w_m \quad \text{für SF} < 10 \text{ in m}$$

Dabei ist

SF der Schirmungsfaktor, berechnet nach den Gleichungen in **Tabelle 7.3.1** in dB;

w_m die Maschenweite des gitterförmigen Schirms in m.

Zu weiteren Angaben für die Berechnung der magnetischen Feldstärke innerhalb gitterförmiger Schirmungen bei nahen Blitzeinschlägen siehe DIN EN 62305 Teil 4 A.4.3.

Die berechneten Werte für das magnetische Feld gelten für das Sicherheitsvolumen V_s innerhalb von gitterförmigen Schirmen, die durch den Sicherheitsabstand $d_{s/...}$ definiert sind (**Bild 7.3.3**).

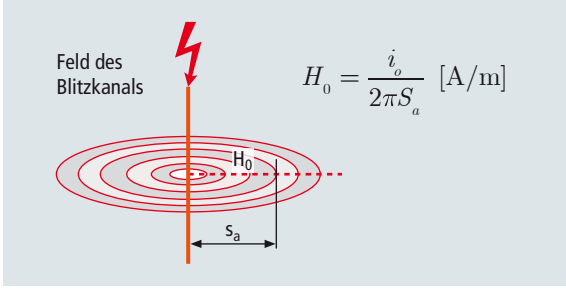


Bild 7.3.4 Magnetfeld bei nahem Blitzeinschlag (LEMP) DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4)

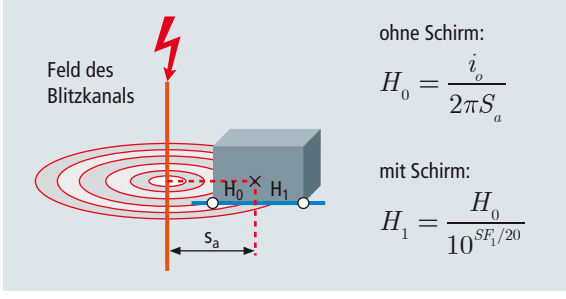


Bild 7.3.5 Magnetfeld bei nahem Blitzeinschlag (LEMP) DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4)

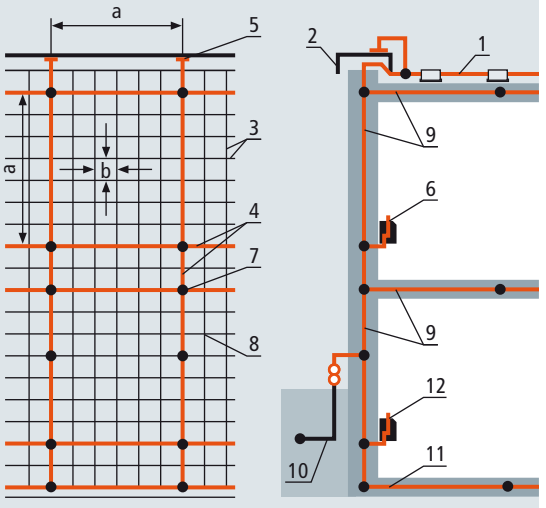
Dieses Sicherheitsvolumen berücksichtigt Maximalwerte der magnetischen Feldstärke unmittelbar an der Gitterstruktur, welche die Näherungsformel nur ungenügend berücksichtigt. Informationstechnische Geräte dürfen nur innerhalb des Volumens V_s installiert werden.

Die Berechnungsgrundlage der Schirmwirkung von gitterförmigen Schirmen bei nahen Blitzeinwirkungen wird durch die **Bilder 7.3.4 und 7.3.5** näher erläutert.

Bild 7.3.4 zeigt die Ausbildung des elektromagnetischen Feldes als eine ebene Welle, deren Feldstärke sich indirekt proportional durch den Abstand s_a reduziert. Die Größe des magnetischen Feldes innerhalb eines geschützten Volumens, z. B. Blitzschutzzone 1 (**Bild 7.3.5**), lässt sich durch die Qualität der Schirmung beschreiben.

Realisierung der magnetischen Schirmdämpfung von Gebäude-/Raumschirmen

Besonders wichtig zur Abschirmung magnetischer Felder, und damit für die Errichtung von Blitzschutzzonen, sind bauseits vorhandene, ausgedehnte metallene Komponenten, wie z. B.



1 Leiter der Fangeinrichtung
2 metallene Abdeckung der Attika
3 Bewehrungsstäbe aus Stahl
4 der Bewehrung überlagertes Maschengitter
5 Anschluss an das Gitter
6 Anschluss für ein interne Potentialausgleichsschiene
7 Verbindung durch Schweißen oder Klemmen
8 willkürliche Verbindung
9 Stahlbewehrung 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 Bewehrung
(Typische Maße: a ≤ 5 m, b ≤ 1 m)

Bild 7.3.6 Verwendung der Armierungsstäbe einer baulichen Anlage zur Schirmung und zum Potentialausgleich

Metalldächer und -fassaden, Stahlarmierungen in Beton, Streckmetalle in Wänden, Gitter, metallene Tragkonstruktionen und Rohrsysteme. Durch den vermaschten Zusammenschluss entsteht eine effektive elektromagnetische Schirmung.

Bild 7.3.6 zeigt im Prinzip, wie eine Stahlarmierung zu einem elektromagnetischen Käfig (Löcherschirm) ausgebildet werden kann. In der Praxis wird es jedoch bei großen baulichen Anlagen nicht möglich sein, jeden Knotenpunkt zu verschweißen oder zusammenzuklemmen. In der Praxis ist es üblich in die Armierung ein vermaschtes Leitersystem einzulegen mit einem typischen Maß a ≤ 5 m. Dieses Maschennetz ist an den Kreuzungspunkten elektrisch sicher verbunden, z. B. durch Klemmen. An dieses Maschennetz wird die Armierung in einem Abstand von typisch b ≤ 1 m „elektrisch angehängt". Dies geschieht bauseits z. B. durch Rödelverbindungen.

Bild 7.3.7a Verzinkte Baustahlmatten zur Gebäudeschirmung

Bild 7.3.7b Nutzung verzinkter Baustahlmatten zur Schirmung, z. B. bei einem begrünten Dach

Baustahlmatten in Beton sind für Abschirmzwecke geeignet. Bei der Nachrüstung bestehender Anlagen werden derartige Baustahlmatten auch nachträglich verlegt. Für diese Ausführungsform ist es notwendig, die Baustahlmatten aus Korrosionsschutzgründen zu verzinken. Diese verzinkten Baustahlmatten werden dann z. B. auf Dächern überlappend aufgelegt oder für die Gebäudeschirmung an der Außenwand außen oder innen aufgebracht.

Die **Bilder 7.3.7a** und **7.3.7b** zeigen die nachträgliche Installation von verzinkten Baustahlmatten auf dem Dach eines Gebäudes.

Zum Überbrücken von Dehnungsfugen, zum Anschluss der Armierung von Betonfertigteilen und für Anschlüsse an die außenliegende Erdungsanlage oder das innenliegende Potentialausgleichsystem ist es erforderlich, bereits bauseitig eine ausreichende Anzahl von Erdungsfestpunkten vorzusehen.

Bild 7.3.8 zeigt eine derartige Installation, die in der Rohbauplanung berücksichtigt werden muss.

Das magnetische Feld innerhalb der baulichen Anlage wird über einen breiten Frequenzbereich durch Reduktionsschleifen verringert, die durch das vermaschte Potentialausgleichsnetzwerk entstehen. Typische Maschenweiten sind a ≤ 5 m.

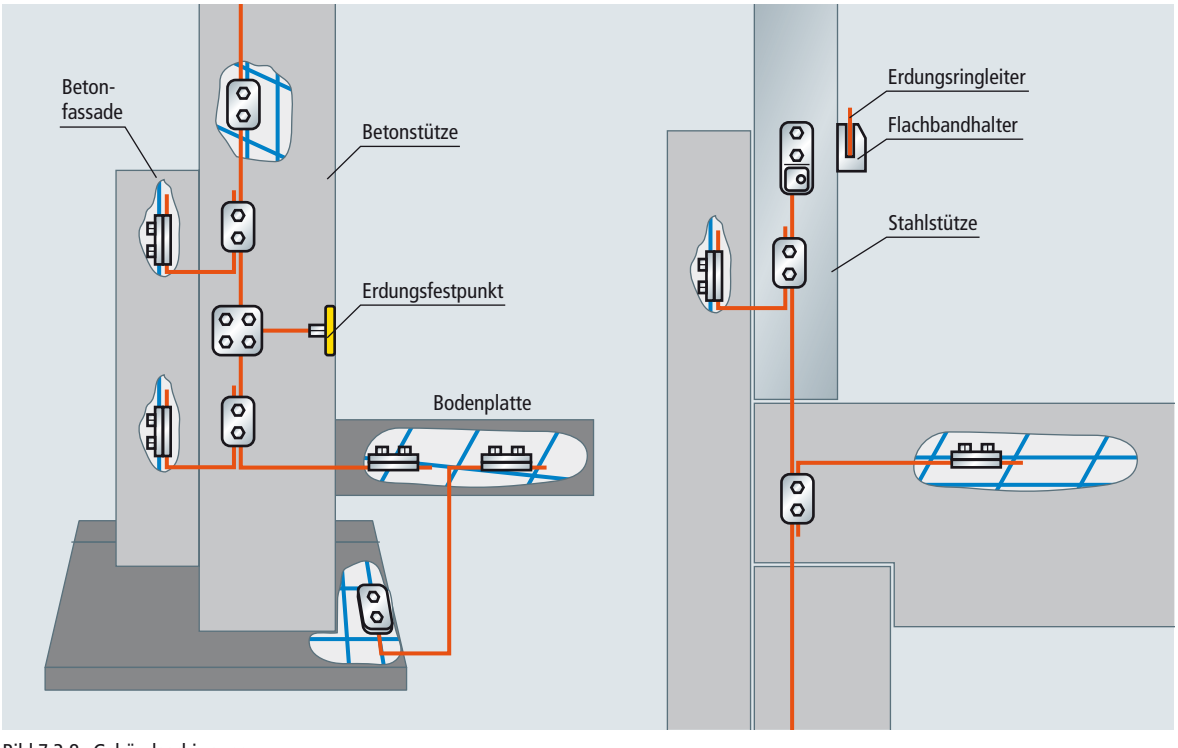


Bild 7.3.8 Gebäudeschirmung

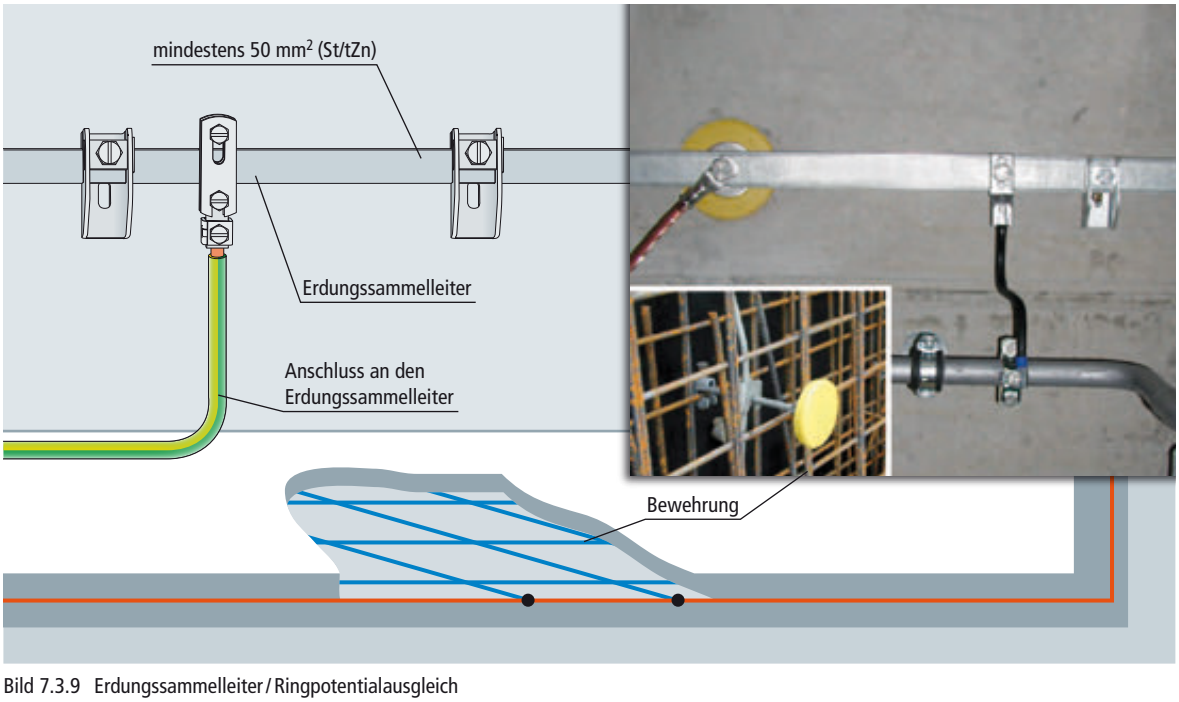


Bild 7.3.9 Erdungssammelleiter / Ringpotentialausgleich

Durch die vielfache Verbindung aller metallenen Komponenten innerhalb und auch auf der baulichen Anlagen wird ein dreidimensionales, vermaschtes Potentialausgleichsnetzwerk geschaffen. **Bild 7.3.9** zeigt ein vermaschtes Potentialausgleichsnetzwerk mit den entsprechenden Anschlüssen.
Wird ein Potentialausgleichsnetzwerk in den Blitzschutzzonen installiert, so wird das magnetische Feld, welches entsprechend den oben angegebenen Formeln berechnet wurde, typisch um einen Faktor 2 (entspricht 6 dB) weiter reduziert.

7.3.1 Kabelschirmung

Kabelschirme werden eingesetzt, um die Störungseinwirkung auf die aktiven Adern und die Störungsaussendung der aktiven Adern zu benachbarten Systemen zu verringern. Aus Sicht des Blitz- und Überspannungsschutzes sind folgende Anwendungsfälle geschirmter Leitungen zu beachten:

Keine Schirmerdung

Es gibt Installationssysteme, die zwar ein geschirmtes Kabel empfehlen, jedoch die Schirmerdung verbieten (z. B. KNX). Ohne Schirmanschluss wirkt der Schirm nicht gegen äußere Störbeeinflussungen und ist als nicht vorhanden zu betrachten (**Bild 7.3.1.1**).

Beidseitige Schirmerdung

Ein Leitungsschirm muss entlang der gesamten Verbindungsstrecke gut leitend durchverbunden und mindestens an beiden Enden geerdet sein. Nur ein beidseitig aufgelegter Schirm kann induktive und kapazitive Einkopplungen mindern (**Bild 7.3.1.2**).

Zur Vermeidung von gefährlicher Funkenbildung müssen in ein Gebäude eingeführte Kabelschirme einen bestimmten Mindestquerschnitt aufweisen. Ist dies nicht der Fall, sind die Schirme als nicht blitzstromtragfähig zu betrachten.
Der Mindestquerschnitt eines Leitungsschirmes (S_{cmin}), der isoliert gegen Erde oder Luft verlegt ist, hängt von seinem spezifischen Schirmwiderstand (ρ_c) (**Tabelle 7.3.1.1**), dem fließenden Blitzstrom (I_f), der Stehstoßspannung des Systems (U_W) und von der Leitungslänge (L_c) ab:

$$S_{cmin} = \frac{I_f \cdot \rho_c \cdot L_c \cdot 10^6}{U_w} \, [mm^2]$$

I_f kann nach DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1) berechnet werden. Da die Schirmanschlusstechnik üblicherweise mit Blitzströmen bis 10 kA (10/350 µs) geprüft wird, kann dieser Wert in einer ersten Näherung auch als Maximalwert herangezogen werden.

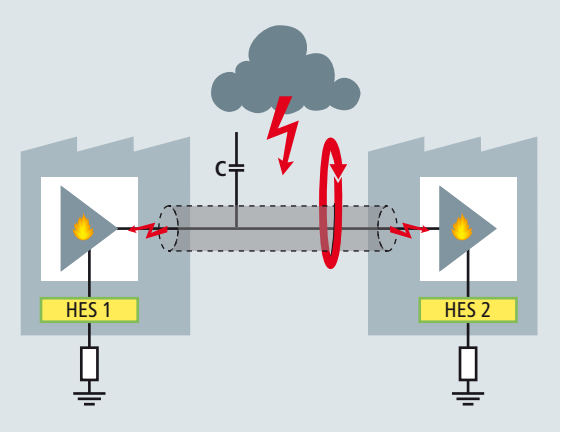


Bild 7.3.1.1 Kein Schirmanschluss – keine Abschirmung gegen kapazitive / induktive Einkopplung

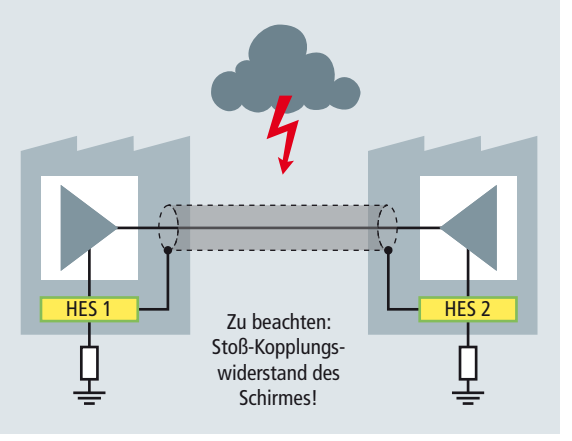


Bild 7.3.1.2 Beidseitiger direkter Schirmanschluss – Abschirmung gegen kapazitive / induktive Einkopplung

Schirmmaterial	ρ_c in Ωm
Kupfer	$17{,}241 \cdot 10^{-9}$
Aluminium	$28{,}264 \cdot 10^{-9}$
Blei	$214 \cdot 10^{-9}$
Stahl	$138 \cdot 10^{-9}$

Tabelle 7.3.1.1 Spezifischer Schirmwiderstand ρ_c für unterschiedliche Materialien

U_W kann sehr unterschiedlich interpretiert werden. Wird der Kabelschirm entfernt vom inneren System am Gebäudeeintritt abgesetzt, dann kommt die Stehspannungsfestigkeit des Kabels zum Tragen. Wird der Kabelschirm jedoch bis zum Endge-

Beispiele	Spannungsfestigkeit
NS-Kabel	15 kV
TK-Kabel	5 kV
TK-Teilnehmerseite	1,5 kV
MSR-Einrichtung	0,5 – 1 kV

Tabelle 7.3.1.2 Spannungsfestigkeit

rät durchgängig verlegt, dann ist die Spannungsfestigkeit des Endgerätes zu beachten (**Tabelle 7.3.1.2**).

Der Unterschied lässt sich anhand von zwei Beispielen verdeutlichen:

- TK-Kabelschirm bis Gebäudeeintritt, Al, belastet mit 10 kA, Länge 100 m, Spannungsfestigkeit 5 kV
  - $S_{cmin} \approx 6\ mm^2$
  - Daneben ist zu beachten, dass auch die Schirmanbindung an die HES entsprechend blitzstromtragfähig auszuführen ist.
- Busleitungsschirm bis Endgerät, Cu, belastet mit 5 kA, Länge 100 m, Spannungsfestigkeit 0,5 kV
  - $S_{cmin} \approx 17\ mm^2$
  - Derartige Kabelschirme für Busleitungen sind jedoch nicht praxisgerecht. Aus diesem Grund ist die beschriebene Leitung als nicht blitzstromtragfähig zu betrachten.

Einseitige indirekte Schirmerdung

Aus betriebstechnischen Gründen kann es vorkommen, dass Leitungsschirme nur einseitig aufgelegt werden. Eine gewisse Dämpfung gegen kapazitive Störfelder ist dadurch zwar gegeben, jedoch kein Schutz gegen die elektromagnetische Induktion, wie sie bei Blitzeinwirkung auftritt. Der Grund für die einseitige Schirmerdung ist die Furcht vor niederfrequenten Ausgleichsströmen. In ausgedehnten Anlagen erstreckt sich beispielsweise eine Busleitung oft mehrere hundert Meter zwischen Gebäuden. Gerade bei älteren Anlagen kommt es vor, dass ein Teil der Erdungsanlagen nicht mehr intakt oder kein vermaschter Potentialausgleich vorhanden ist. Hier können Störungen durch mehrfache Schirmerdung auftreten. Potentialdifferenzen unterschiedlicher Gebäudeerdungssysteme können niederfrequente Ausgleichsströme (n x 50 Hz) und diesen überlagerte Transienten fließen lassen. Dabei sind Stromstärken bis zu einigen Ampere möglich, was im Extremfall zu Kabelbränden führen kann. Daneben kann es zu Signalstörungen durch Übersprechen kommen, wenn die Signalfrequenz in einem ähnlichen Frequenzbereich wie das Störsignal liegt.

Ziel ist es, die Forderungen der EMV zu realisieren und Ausgleichströme zu vermeiden. Möglich ist dies durch die Kombination von einseitig direkter mit indirekter Schirmerdung. An einer zentralen Stelle, etwa der Leitwarte, werden alle Schirme mit dem lokalen Potentialausgleich direkt verbunden. An den fernen Leitungsenden schließt man die Schirme indirekt über Trennfunkenstrecken am Erdpotential an. Da der Widerstand einer Funkenstrecke bei etwa 10 GΩ liegt, werden im überspannungsfreien Betrieb Ausgleichsströme verhindert. Treten EMV-Störungen wie Blitzeinwirkungen auf, so zündet die Funkenstrecke und leitet den Störimpuls zerstörungsfrei ab. Dadurch wird der Restimpuls auf den aktiven Leitungsadern verringert, und die Endgeräte werden noch weniger belastet. Durch den Einsatz von 2-poligen BLITZDUCTOR XT-Ableitern ist eine wahlweise direkte oder indirekte Schirmerdung möglich. Bei entsprechender Belegung der Ansschlussklemmen kann einseitig zwischen Leitungsschirm und Potentialausgleich ein Gasableiter zur indirekten Schirmerdung geschaltet werden, der Störimpulse über den Leitungsschirm eliminiert (**Bild 7.3.1.3**). Durch die Kombina-

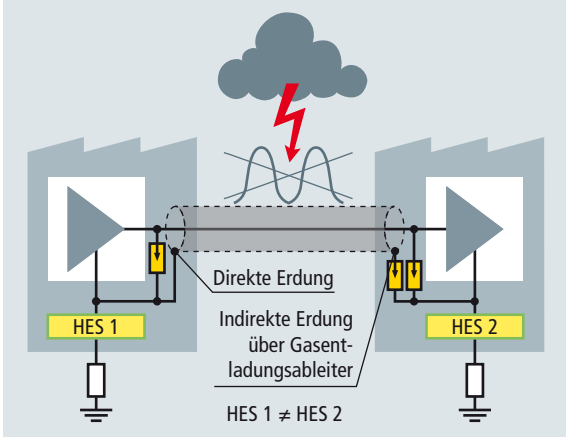


Bild 7.3.1.3 Beidseitiger Schirmanschluss – Lösung: Direkte und indirekte Schirmerdung

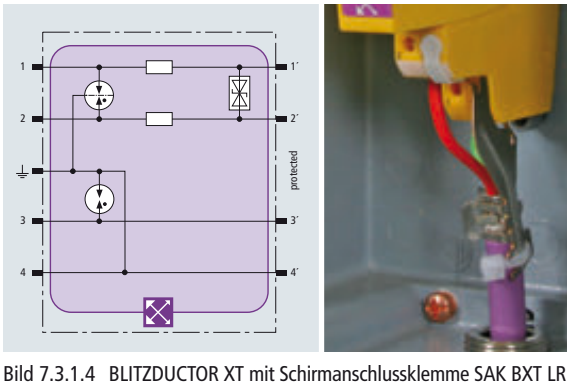


Bild 7.3.1.4 BLITZDUCTOR XT mit Schirmanschlussklemme SAK BXT LR mit wahlweise direkter oder indirekter Schirmerdung

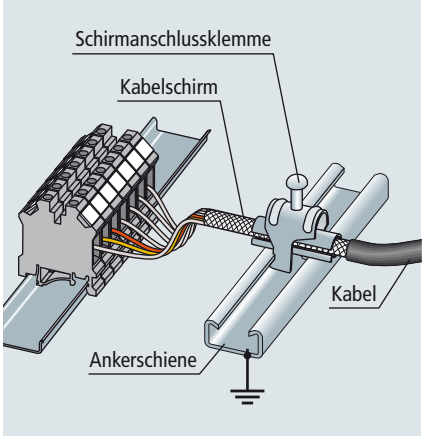


Bild 7.3.1.5 Schirmanschluss

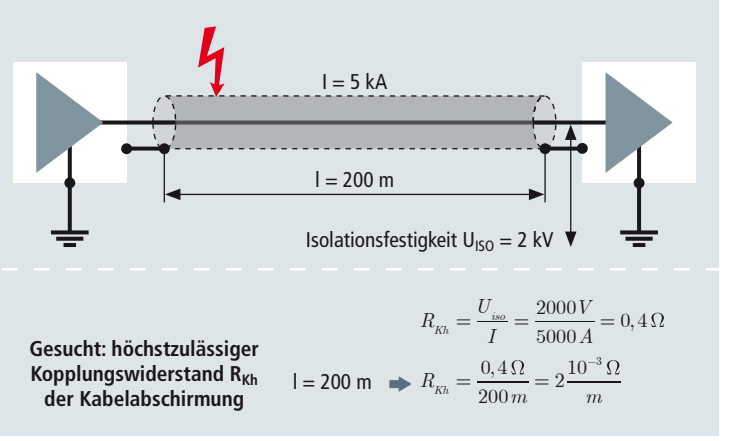


Bild 7.3.1.6 Beidseitiger Schirmanschluss – Abschirmung gegen kapazitive / induktive Einkopplung

tion einer blitzstromtragfähigen Schirmanschlussklemme SAK BXT LR mit BLITZDUCTOR XT kann durch Anschlusskodierung an den Klemmenanschlüssen einfach zwischen direkter und indirekter Schirmerdung gewechselt werden (**Bild 7.3.1.4**).

Niederimpedante Schirmerdung

Leitungsschirme können Stoßströme bis zu mehreren kA führen. Die Stoßströme fließen beim Ableitvorgang durch den Schirm und die Schirmanschlussklemme gegen Erde ab. Durch die Impedanz des Leitungsschirmes und des Schirmanschlusses entstehen Spannungsdifferenzen zwischen Schirmpotential und Erde. In diesem Fall können Spannungen bis zu einigen kV auftreten und die Isolation von Leitern oder angeschlossenen Geräten zerstören. Besonders kritisch sind großmaschige Schirme sowie das Verdrillen des Leitungsschirmes (Pig-Tail) zum Anschluss in einer Reihenklemme. Die Qualität des verwendeten Leitungsschirmes beeinflusst die notwendige Anzahl der Schirmerdungen. Unter Umständen ist eine Erdung in Abschnitten von wenigen 10 Metern nötig, um eine ausreichende Schirmwirkung zu erzielen. Für den Schirmanschluss empfehlen sich geeignete großflächig kontaktierende Klemmen, mit nachsetzenden Federeigenschaften. Dies ist wichtig zur Kompensation des Fließverhaltens der Kunststoffisolierung der Leiter (**Bild 7.3.1.5**).

Maximale Länge geschirmter Leitungen

Leitungsschirme besitzen einen sogenannten Kopplungswiderstand, der in etwa dem Gleichstromwiderstand entspricht, der vom Kabelhersteller ausgewiesen wird. Durch diesen Widerstand entsteht auf dem Leitungsschirm ein Spannungsfall, wenn er von einem Störimpuls durchflossen wird. In Abhängigkeit von der Spannungsfestigkeit des Endgerätes und des Kabels sowie der Leitungslänge lässt sich der zulässige Kopplungswiderstand für den Leitungsschirm bestimmen. Wichtig dabei ist, dass der Spannungsfall geringer ist als die Isolationsfestigkeit des Systems (**Bild 7.3.1.6**). Wenn nicht, ist der Einsatz von Ableitern notwendig.

Ausdehnen von LPZs mit Hilfe geschirmter Leitungen

Gemäß DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4) kann bei Verwendung einer geschirmten Leitung zwischen zwei gleichen LPZ auf den Einsatz von Ableitern verzichtet werden. Diese Aussage trifft für Störungen zu, die aus dem räumlichen Umfeld der geschirmten Leitung zu erwarten sind (z. B. elektromagnetische Felder) und bei normgemäß vermaschtem Potentialausgleich. Doch ist Vorsicht geboten, denn in Abhängigkeit von den Installatinsbedingungen kann es trotzdem zu Gefährdungen kommen, die den Einsatz von Ableitern erforderlich machen. Typische Gefahrenpotenziale sind: die Speisung der Endgeräte aus verschiedenen Niederspannungs-Hauptverteilern (NSHV), TN-C-Systeme, hohe Kopplungswiderstände der Leitungsschirme oder unzureichende Erdung des Schirmes. Weitere Vorsicht ist bei Leitungen mit schlechter Schirmbedeckung geboten, die häufig aus wirtschaftlichen Gründen eingesetzt werden. Reststörungen auf den Signaladern sind die Folge. Solche Störungen können jedoch durch ein hochwertig geschirmtes Kabel oder durch den Einsatz von Überspannungsschutzgeräten beherrscht werden.

7.4 Potentialausgleichsnetzwerk

Die Hauptaufgabe des Potentialausgleichsnetzwerks ist es, in den inneren LPZ gefährliche Potentialdifferenzen zwischen allen Geräten / Anlagen zu vermeiden und das magnetische Feld des Blitzes zu reduzieren. Das erforderliche niederinduktive

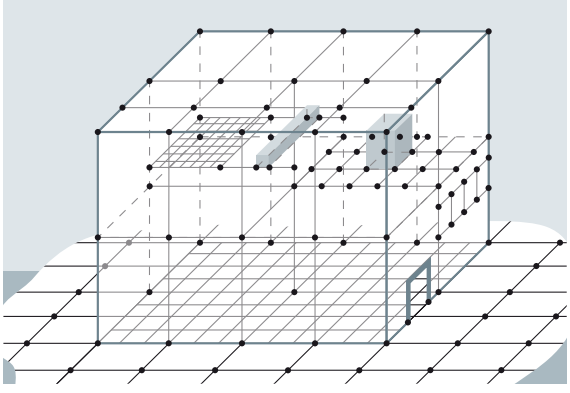


Bild 7.4.1 Potentialausgleichsnetzwerk in einer baulichen Anlage

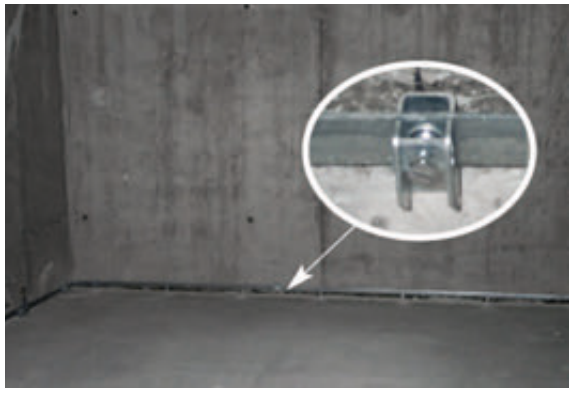


Bild 7.4.2 Ring-Potentialausgleichsschiene in einem Computer-Raum

Potentialausgleichsnetzwerk wird durch vielfache Verbindungen aller metallenen Komponenten mit Hilfe von Potentialausgleichsleitern innerhalb der LPZ der baulichen Anlage erreicht. Dadurch entsteht ein dreidimensionales vermaschtes Netzwerk (**Bild 7.4.1**). Typische Komponenten des Netzwerks sind:

- alle metallenen Installationen (z. B. Rohrleitungen, Kessel)
- Armierungen im Beton (in Böden, Wänden und Decken)
- Gitterroste (z. B. Zwischenböden)
- Kabelkanäle
- Lüftungskanäle
- Aufzugsschienen
- metallene Böden
- Versorgungsleitungen.

Bild 7.4.3 Verbindung der Ring-Potentialausgleichsschiene mit dem Potentialausgleichsnetzwerk über Erdungsfestpunkt

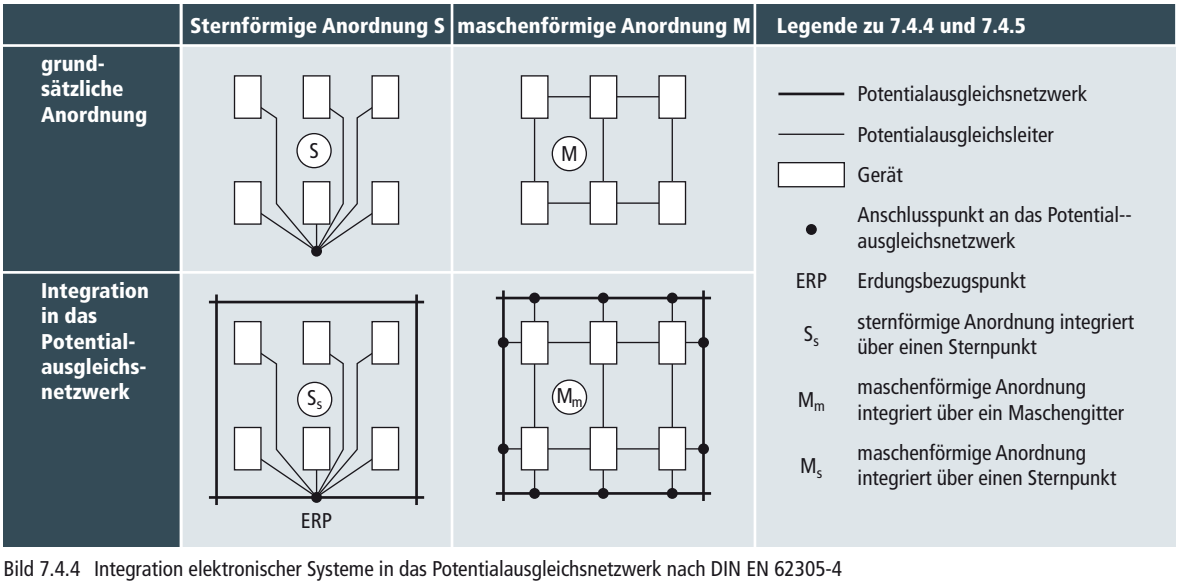


Bild 7.4.4 Integration elektronischer Systeme in das Potentialausgleichsnetzwerk nach DIN EN 62305-4

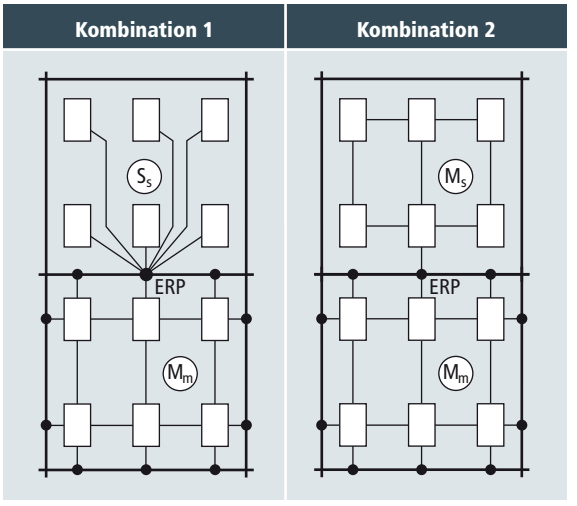


Bild 7.4.5 Kombination der Integrationsmethoden nach Bild 7.4.4 Integration in das Potentialausgleichsnetzwerk nach DIN EN 62305-4

Anzustreben ist eine Gitterstruktur des Potentialausgleichsnetzwerks von etwa 5 m x 5 m. Dadurch wird das elektromagnetische Blitzfeld innerhalb einer LPZ typisch um einen Faktor 2 (entsprechend 6 dB) vermindert.

Gehäuse und Racks elektronischer Geräte und Systeme sollen mit kurzen Verbindungen in das Potentialausgleichsnetzwerk integriert werden. Dazu sind in der baulichen Anlage Potentialausgleichsschienen und/oder Ring-Potentialausgleichsschienen (**Bild 7.4.2**) in genügender Anzahl vorzusehen, die wiederum mit dem Potentialausgleichsnetzwerk zu verbinden sind (**Bild 7.4.3**).
Schutzleiter (PE) und Kabelschirme der Datenleitungen elektronischer Geräte und Systeme müssen in das Potentialausgleichsnetzwerk entsprechend der Vorgaben des Systemherstellers integriert werden. Die Verbindung kann maschen- oder sternförmig erfolgen (**Bild 7.4.4**).
Anmerkung: Das hier beschriebene Potentialausgleichsnetzwerk nach DIN EN 62305-4 zur Verringerung der gefährlichen Potentialdifferenzen in den inneren LPZ bindet auch die vermaschte Potentialausgleichsanlage nach VDE 0100-444 in die Struktur ein. SPDs an den Zonengrenzen der LPZ werden auf kürzestem Weg an diese Potentialausgleichsstruktur angebunden.

Bei Verwendung einer Sternpunkt-Anordnung S müssen alle metallenen Komponenten des elektronischen Systems gegenüber dem Potentialausgleichsnetzwerk in geeigneter Weise isoliert sein. Eine sternförmige Anordnung ist deshalb in den meisten Fällen auf die Anwendung in kleinen, lokal begrenzten Systemen beschränkt. Dabei müssen alle Leitungen an einer einzigen Stelle in die bauliche Anlage oder einen Raum innerhalb der baulichen Anlage eintreten. Die Sternpunkt-Anordnung S darf an das Potentialausgleichsnetzwerk nur an einem einzigen Erdungsbezugspunkt (ERP) angeschlossen werden. Dadurch ergibt sich die Anordnung S_S.

Bei Verwendung der Maschen-Anordnung M müssen die metallenen Komponenten des elektronischen Systems gegenüber dem Potentialausgleichsnetzwerk nicht isoliert sein. Alle metallenen Komponenten sollen an möglichst vielen Potentialausgleichspunkten in das Potentialausgleichsnetzwerk integriert werden. Die sich daraus ergebende Anordnung M_m wird für ausgedehnte und offene Systeme verwendet werden, bei denen es viele Leitungen zwischen den einzelnen Geräten gibt. Ein weiterer Vorteil dieser Anordnung ist, dass die Leitungen des Systems an unterschiedlichen Stellen in eine bauliche Anlage oder einen Raum eintreten können.

In komplexen elektronischen Systemen können auch Kombinationen von Sternpunkt- und Maschen-Anordnung (**Bild 7.4.5**) realisiert werden, um die Vorteile beider Anordnungen miteinander zu verbinden.

7.5 Potentialausgleich an der Grenze von LPZ 0_A und LPZ 1

7.5.1 Potentialausgleich für metallene Installationen

An der Schnittstelle zwischen den EMV-Blitzschutzzonen sind Maßnahmen für die Reduzierung des eingestrahlten elektromagnetischen Feldes zu realisieren und ausnahmslos alle die Schnittfläche durchdringenden metallenen und elektrischen Leitungen / Systeme in den Potentialausgleich einzubeziehen.
Diese Forderung des Potentialausgleiches entspricht im Grunde denen des Schutzpotentialausgleiches nach der DIN VDE 0100-410, 444 und 540.
Weiterführend zum Schutzpotentialausgleich ist der Blitzschutz-Potentialausgleich zudem für elektrische und elektronische Leitungen (s. auch Kapitel 7.5.2) an dieser Schnittstelle der Zonen zu realisieren. Dieser Potentialausgleich ist möglichst nahe an der Eintrittstelle der Leitungen und metallenen Installationen in die bauliche Anlage zu realisieren. Die Leitungsführung sollte möglichst kurz (niederimpedant) ausgeführt sein.

Für den Potentialausgleich sind die in **Tabelle 7.5.1** angegebenen Mindestquerschnitte für die Anbindung der Potentialausgleichschiene an das Erdungssystem, die Verbindung von verschiedenen Potentialausgleichschienen untereinander und

Werkstoff	Querschnitt
Cu	16 mm²
Al	25 mm²
Fe	50 mm²

Tabelle 7.5.1 Mindestquerschnitte entsprechend DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3), Tabelle 8

Bild 7.5.1.1 Anschluss PAS an Erdungsfestpunkt

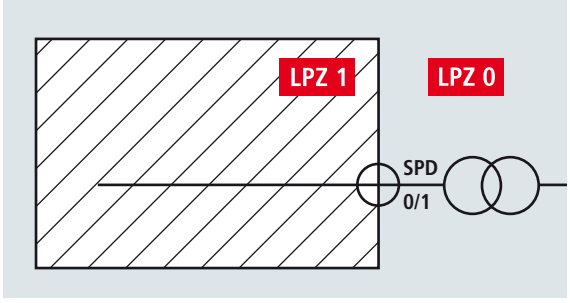


Bild 7.5.2.1 Transformator außerhalb der baulichen Anlage

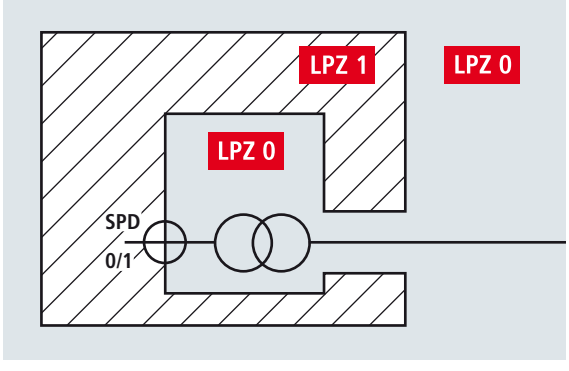


Bild 7.5.2.2 Transformator innerhalb der baulichen Anlage (LPZ 0 eingestülpt in LPZ 1)

die Anbindung von den metallenen Installationen an die Potentialausgleichsschiene zu beachten.

Folgende metallenen Installationen sind in den Potentialausgleich einzubinden:

- metallene Kabelkanäle
- geschirmte Kabel und Leitungen
- Bewehrung des Gebäudes
- metallene Wasserverbrauchsleitungen
- metallene Schutzrohre für Leitungen
- sonstige metallenen Rohrsysteme oder leitfähige Teile (z. B. Druckluft).

Der Erdanschluss kann einfach und korrosionsfrei mittels Erdungsfestpunkten erstellt werden. Hierbei kann gleichzeitig die Armierung mit den Potentialausgleich verbunden werden. Die Anbindung der Potentialausgleichsschiene an den Erdungsfestpunkt und der Anschluss von Rohrleitungen in den Potentialausgleich ist in **Bild 7.5.1.1** dargestellt.
Die Anbindung von Kabelschirmen in den Potentialausgleich wird im Kapitel 7.3 behandelt.

7.5.2 Potentialausgleich für Energieversorgungsanlagen

Analog zu metallenen Installationen sind alle elektrischen Energie- und Datenleitungen am Gebäudeeintritt (Blitzschutzzonen (LPZ)-Übergang 0_A auf 1) in den Potentialausgleich einzubeziehen. Während die Ausführung für Datenleitungen in Abschnitt 7.5.3 beschrieben wird, soll im Folgenden auf die Ausführung des Potentialausgleichs mit elektrischen Energieleitungen näher eingegangen werden. Die Schnittstellen für den Potentialausgleich an der LPZ- Grenze 0_A auf 1 definieren sich anhand der spezifischen baulichen Ausführung des zu schützenden Objektes. Für Anlagen mit Einspeisung vom Niederspannungssystem orientiert sich die LPZ-Grenze 0_A/1 meist an der Gebäudegrenze (**Bild 7.5.2.1**).
Bei Objekten, welche direkt aus dem Mittelspannungsnetz gespeist werden, wird die Blitzschutzzone LPZ 0_A bis zur Sekundärseite des Transformators ausgestülpt. Der Blitzschutz-Potentialausgleich erfolgt auf der 230/400 V-Seite des Transformators (**Bild 7.5.2.2**).
Um Beschädigungen des Transformators zu verhindern, empfiehlt sich der zusätzliche Einsatz von Überspannungsschutzgeräten auf der Hochspannungsseite des Transformators.

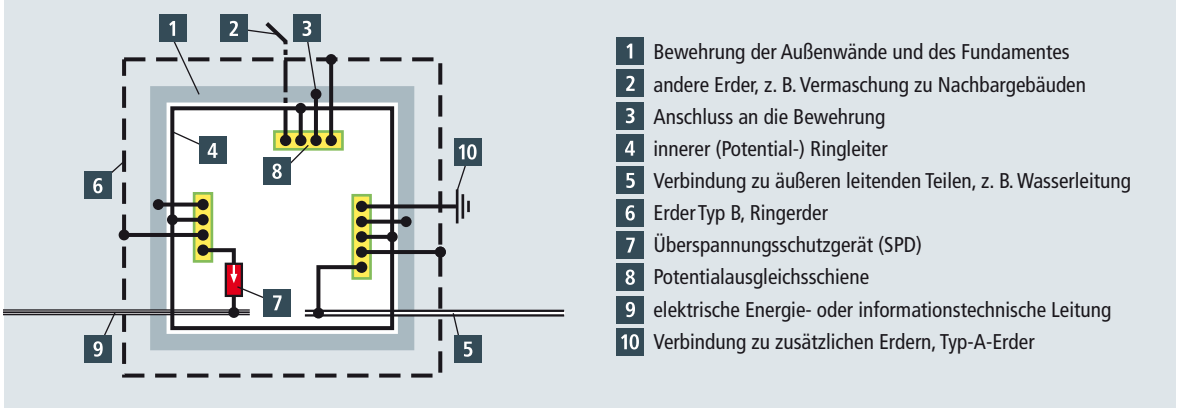


Bild 7.5.2.3 Beispiel des Potentialausgleichs in einer baulichen Anlage mit mehreren Einführungsstellen der äußeren leitenden Teile und mit einem inneren Ringleiter als Verbindung der Potentialausgleichsschienen

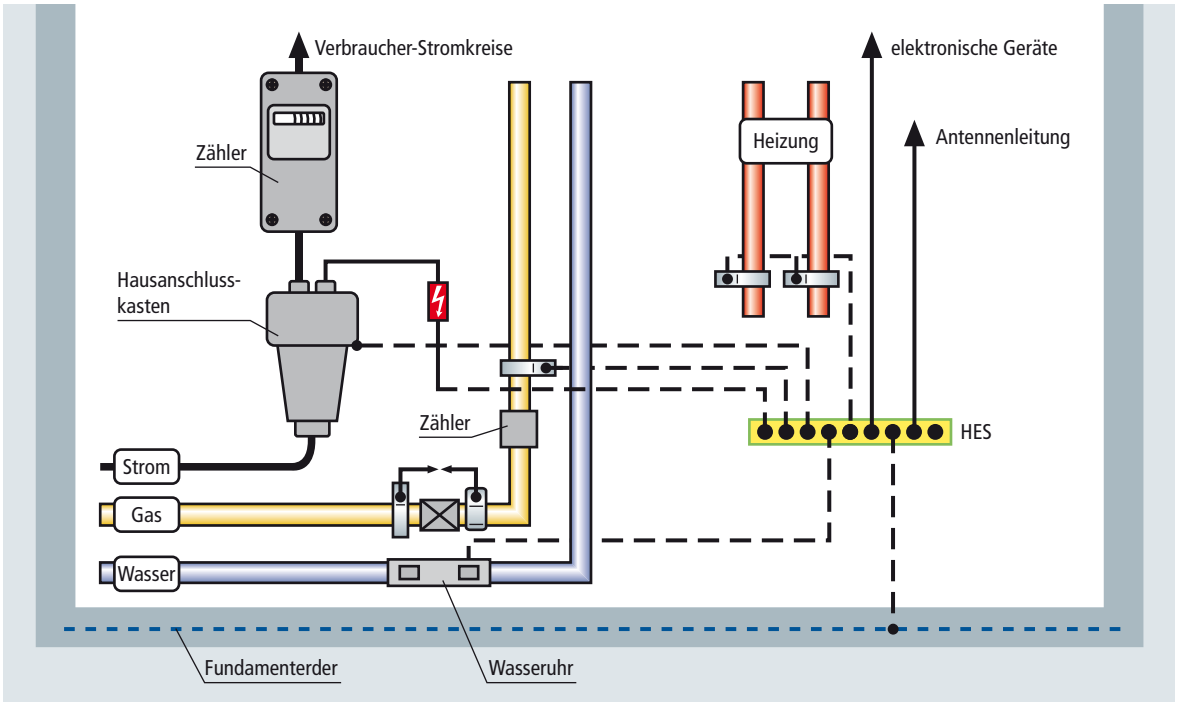


Bild 7.5.2.4 Ausführung des inneren Blitzschutzes mit einer gemeinsamen Einführungsstelle aller Versorgungsleitungen

Eine Beeinflussung aufgrund des Fließens von Blitzteilströmen in der LPZ 0 auf Anlagenteile / Systeme in der LPZ 1 wird durch zusätzliche Schirmungsmaßnahmen der eingeführten Mittelspannungsleitung verhindert.

Um Ausgleichsströme zwischen den verschiedenen Potentialausgleichspunkten in einer elektrischen Anlage zu verhindern, wird empfohlen, den Blitzschutz-Potentialausgleich aller eingeführten metallenen Leitungen und elektrischen Energie- und Datenleitungen zentral an einer Stelle vorzunehmen. Sollte dies aus örtlichen Gegebenheiten nicht möglich sein, dann empfiehlt sich der Einsatz einer Ring-Potentialausgleichsschiene (**Bilder 7.5.2.3 und 7.5.2.4**).

Das Ableitvermögen der eingesetzten Blitzstrom-Ableiter (SPD, Typ 1) muss den Belastungen am Einsatzort unter Zugrunde-

Gefährdungspegel (alt: Blitzschutzklasse)	Blitzstoßstromtragfähigkeit		
	im TN-System	im TT-System (L – N)	im TT-System (N – PE)
I	≥ 100 kA/m	≥ 100 kA/m	≥ 100 kA
II	≥ 75 kA/m	≥ 75 kA/m	≥ 75 kA
III / IV	≥ 50 kA/m	≥ 50 kA/m	≥ 50 kA
m: Anzahl der Leiter, z. B. bei L1, L2, L3, N und PE ist m = 5			

Tabelle 7.5.2.1 Geforderte Blitzstoßstromtragfähigkeit von Überspannungs-Schutzeinrichtungen SPD Typ 1 in Abhängigkeit des Gefährdungspegels und der Art der Niederspannungsverbraucheranlage (s. auch VDN Richtlinie 2004-08: „Überspannungs-Schutzeinrichtungen Typ 1. Richtlinie für den Einsatz von Überspannungs-Schutzeinrichtungen (ÜSE) Typ1 in Hauptstromversorgungssystemen" und DIN VDE 0100-534)

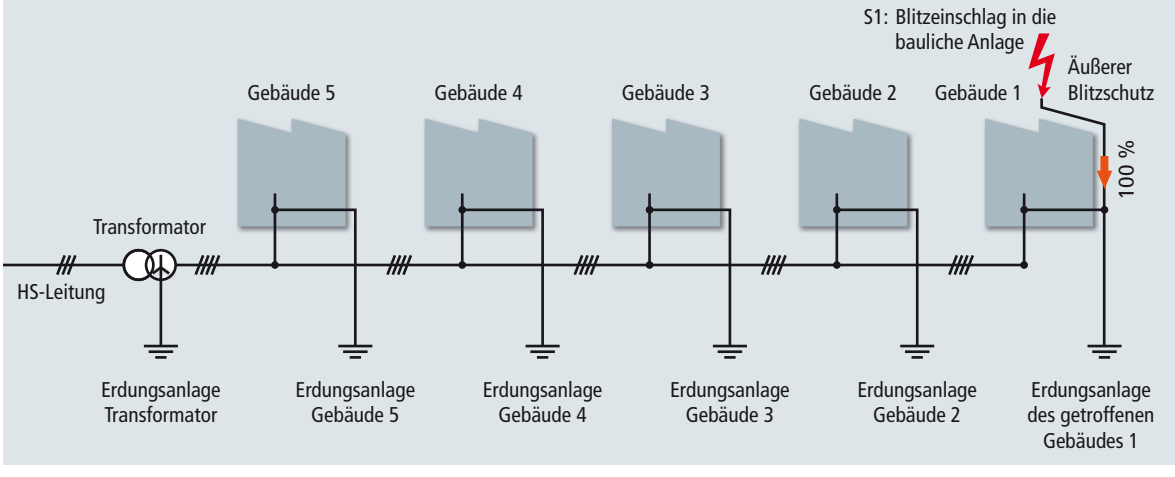


Bild 7.5.2.5 Modell für die Blitzstromverteilung bei mehreren parallelen Verbrauchersystemen – Strangtopologie

legung des für das Objekt festgesetzten Gefährdungspegels entsprechen. Der für die jeweilige bauliche Anlage geeignete Gefährdungspegel ist aufgrund einer Risikoabschätzung auszuwählen. Liegt keine Risikoabschätzung vor oder können keine detaillierten Aussagen über die Blitzstromaufteilung an der LPZ-Grenze 0_A auf 1 gemacht werden, ist es ratsam, die Schutzklasse mit den höchsten Anforderungen (Gefährdungspegel I) zugrunde zu legen. Die sich ergebende Blitzstrombelastung der einzelnen Ableitpfade ist in **Tabelle 7.5.2.1** dargestellt. Dabei wird angenommen, dass sich der Gesamtstrom (z. B. 150 kA bei LPL II) zu gleichen Teilen auf die Erdungsanlage des betroffenen Gebäudes und über die Anzahl der Leiter (m) der eingesetzten SPDs Typ 1 in das Niederspannungsnetz aufteilt. Daher beträgt die minimale Blitzstromtragfähigkeit eines SPD Typ 1 bei z. B. LPL II 75 kA/m.

Das Beiblatt 1 der DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4) beschreibt zudem die Blitzstromverteilung in Abhängigkeit von unterschiedlichen Installationsbedingungen. So sind beispielsweise bei mehreren parallelen Verbrauchersystemen erhöhte Belastungen für das vom Blitzeinschlag betroffene Gebäude möglich. Aus **Bild 7.5.2.5** wird ersichtlich, dass der resultierende Erdungswiderstand des Niederspannungssystems (bestehend aus mehreren Nachbargebäuden und dem Trans-

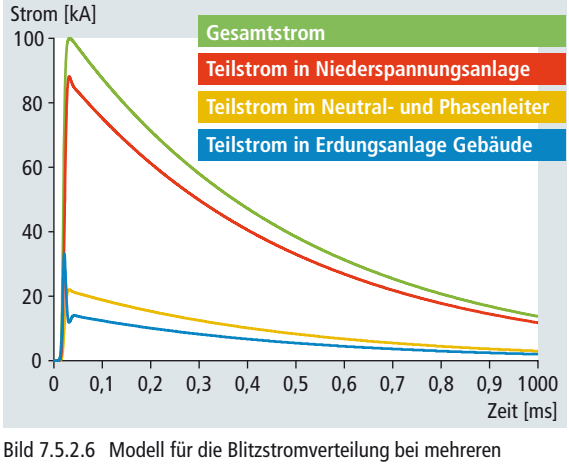


Bild 7.5.2.6 Modell für die Blitzstromverteilung bei mehreren parallelen Verbrauchersystemen – Strangtopologie

formator) im Vergleich zum Einzelerdungswiderstand des vom Blitzeinschlag betroffenen Gebäudes niedrig ist. **Bild 7.5.2.6** zeigt, dass der Strom sich nicht zu gleichen Teilen auf die Niederspannungsanlage und die Erdungsanlage aufteilt. Im betroffenen Gebäude müssen die SPDs Typ 1 in der Niederspannungsanlage den deutlich größeren Strom im Vergleich zur Erdungsanlage ableiten.
Das Beiblatt 1 der DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4) bestätigt jedoch, dass entsprechend dimensionierte SPD Typ-1 (geprüft mit der Wellenform 10/350 µs) die Niederspannungsinstallation bei unterschiedlichen Anwendungen und Blitzbedrohungsszenarien auch bei direkten Blitzeinschlägen zuverlässig schützen.

Bei der Installation von Blitzstrom-Ableitern an der LPZ-Grenze 0_A auf 1 ist weiterhin zu beachten, dass der empfohlene Einsatzort unmittelbar am Hausanschluss oftmals nur in Übereinstimmung mit dem Energieversorgungsunternehmen (neu: Verteilungsnetzbetreiber) realisiert werden kann. Die Anforderungen an Blitzstrom-Ableiter in Hauptstromversorgungssystemen ergeben sich aus der VDN Richtlinie 2004-08: „Überspannungs-Schutzeinrichtungen Typ 1. Richtlinie für den Einsatz von Überspannungs-Schutzeinrichtungen (ÜSE) Typ 1 in Hauptstromversorgungssystemen" und der DIN VDE 0100-534 (**Bilder 7.5.2.7 bis 7.5.2.9**).

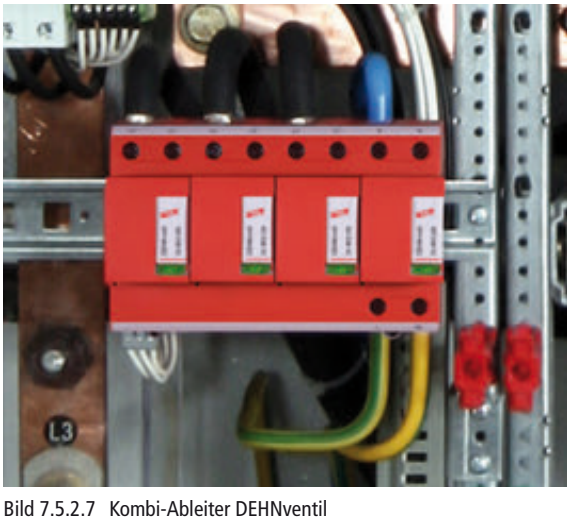


Bild 7.5.2.7 Kombi-Ableiter DEHNventil

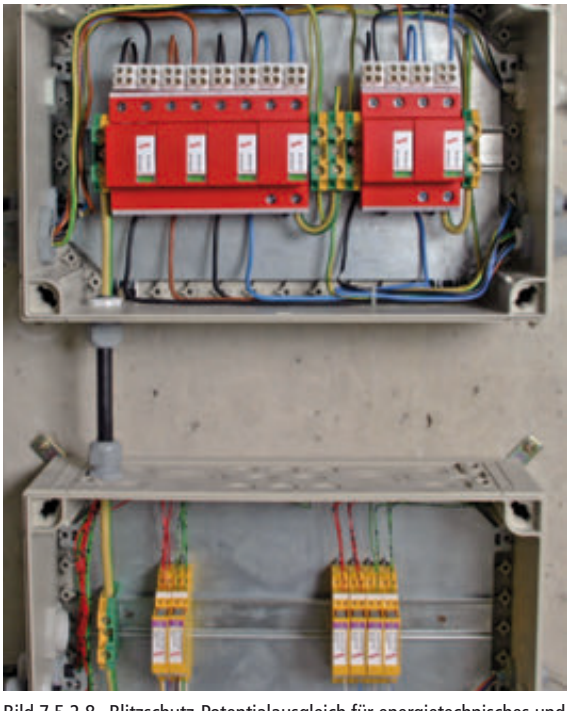


Bild 7.5.2.8 Blitzschutz-Potentialausgleich für energietechnisches und informationstechnisches System zentral an einer Stelle

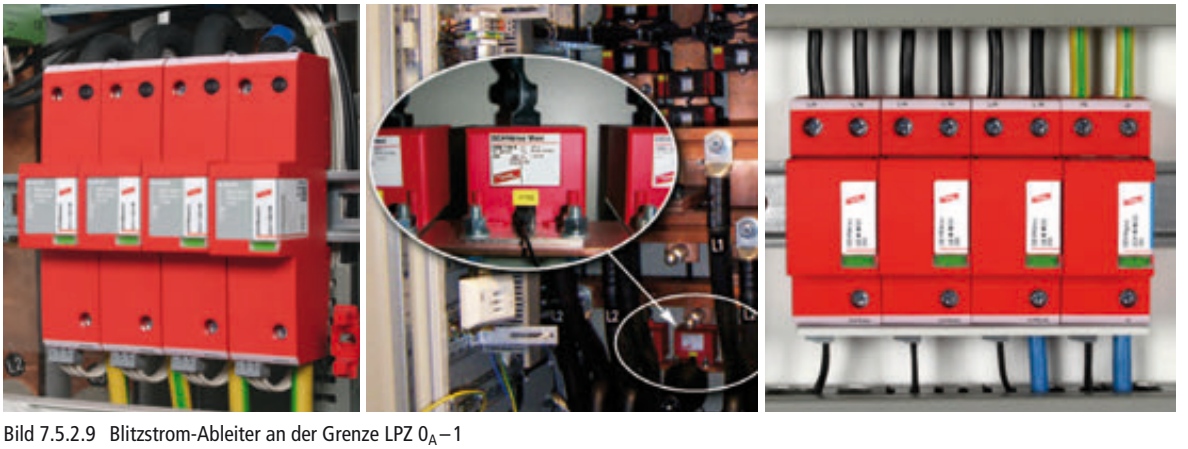


Bild 7.5.2.9 Blitzstrom-Ableiter an der Grenze LPZ 0_A – 1

7.5.3 Potentialausgleich für Anlagen der Informationstechnik

LPZ 0_A–1

Der Blitzschutz-Potentialausgleich von LPZ 0_A auf 1 ist für alle metallenen Systeme durchzuführen, die in ein Gebäude eingeführt werden. Für informationstechnische Leitungen gilt, dass diese möglichst nahe am Eintrittspunkt mit blitzstromtragfähigen Ableitern zu beschalten sind, die ein geeignetes Energie-Ableitvermögen besitzen. Für informationstechnische Leitungen wird pauschal ein Ableitvermögen bis 2,5 kA (10/350 µs) pro Ader beim Übergang von LPZ 0_A auf 1 gefordert. Von dem pauschalisierten Ansatz wird jedochbei der Auslegung des Ableitvermögens für Anlagen mit einer Vielzahl von informationstechnischen Leitern abgesehen. Nach der Berechnung des zu erwartenden Blitzteilstromes für ein informationstechnisches Kabel (s. DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1)) ist dann der Blitzstrom durch die Anzahl der verwendeten Einzeladern im Kabel zu dividieren, um den Stoßstrom pro Ader zu erhalten. Bei sehr vieladrigen Kabeln wird die Blitzteilstrombelastung pro Ader niedriger ausfallen als bei Kabeln mit wenigen Einzeladern. Zusätzliche Informationen sind im Kapitel 6.3 enthalten.

Deshalb können nur Überspannungsschutzgeräte eingesetzt werden, die auch mit einem Ableitstoßstrom (10/350 µs) ausgewiesen sind (**Bild 7.5.3.1**).

Wird der Potentialausgleich für Leitungen am LPZ-Übergang 0_B auf 1 durchgeführt, ist der Einsatz von Überspannungsschutzgeräten mit einem Ableitvermögen von Stoßströmen bis 20 kA (8/20 µs) ausreichend, da keine galvanisch eingekoppelten Blitzteilströme zum Fließen kommen.

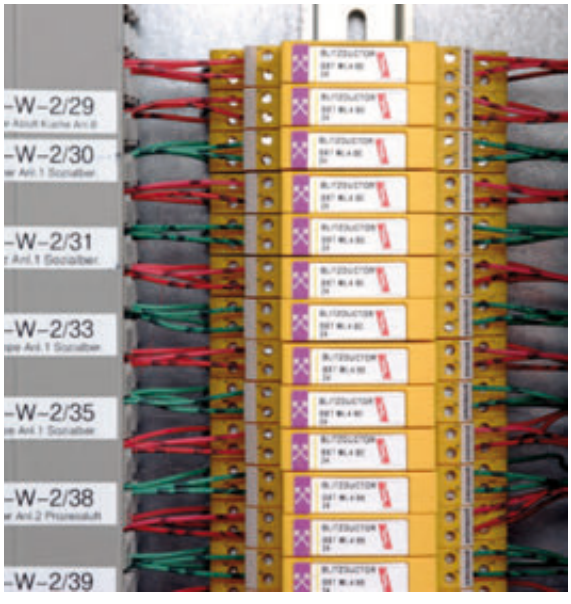


Bild 7.5.3.1 Einsatz von kombinierten Blitzstrom- und Überspanungs-Ableitern vom Typ BLITZDUCTOR XT

7.6 Potentialausgleich an der Grenze von LPZ 0_A und LPZ 2

7.6.1 Potentialausgleich für metallene Installationen

Siehe Kapitel 7.5.1.

7.6.2 Potentialausgleich für Energieversorgungsanlagen

LPZ 0_A–2

Bedingt durch die Ausführung der baulichen Anlage ist es besonders bei kompakten Anlagen oftmals unumgänglich, an einer Grenze den LPZ-Übergang von 0_A auf 2 zu realisieren (**Bild 7.6.2.1**).

Die Realisierung eines solchen LPZ-Übergangs stellt hohe Ansprüche an die eingesetzten Überspannungsschutzgeräte und deren Installationsumgebung. Neben den Parametern,

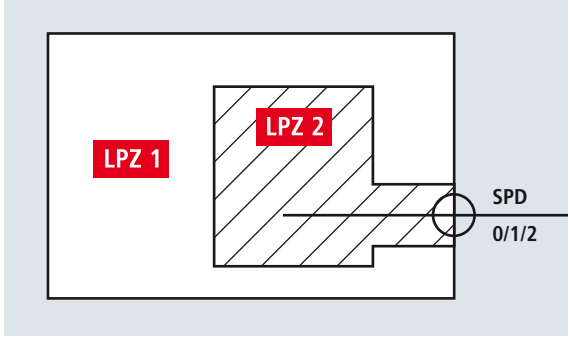


Bild 7.6.2.1 Nur ein SPD (0/1/2) nötig (LPZ 2 ausgestülpt in LPZ 1)

Bild 7.6.2.2 DEHNventil M TT 255

wie sie bereits im Abschnitt 7.5.2 beschrieben wurden, ist ein Schutzniveau zu erreichen, welches das sichere Betreiben von Betriebsmitteln und Systemen der Blitzschutzzone LPZ 2 gewährleistet. Ein niedriger Schutzpegel und eine hohe Begrenzung der vom Ableiter noch durchgelassenen Störenergie sind dabei die Grundlage für eine sichere energetische Koordination zu Überspannungsschutzgeräten in der Blitzschutzzone LPZ 2 oder zu überspannungsbegrenzenden Bauelementen in den Eingangsschaltungen der zu schützenden Betriebsmittel. Die Kombi-Ableiter auf Funkenstreckenbasis der Gerätefamilie DEHNventil und DEHNvenCI sind mit ihrem Schutzpegel von ≤ 1,5 kV ideal für diese Anwendungsfälle ausgelegt. Sie bieten selbst bei empfindlichen Betriebsmitteln mit einer Bemessungs-Stehstoßspannung von 1,5 kV (Überspannungskategorie I nach DIN VDE 0100-534) den optimalen Endgeräteschutz. Somit ermöglichen sie dem Anwender die Kombination von Blitzschutz-Potentialausgleich und koordiniertem Endgeräteschutz, d. h. die energetisch koordinierte Schutzwirkung eines Typ 1-, Typ 2- und Typ 3-Ableiters innerhalb der ersten 5 m in nur einem Gerät (**Bild 7.6.2.2**).

Da bei dem LPZ-Übergang 0 auf 2 zwangsläufig die beiden Blitzschutzzonen direkt aneinandergrenzen, ist eine hohe Schirmung an den Zonengrenzen unbedingt notwendig. Grundsätzlich wird empfohlen, die Fläche der direkt aneinandergrenzenden Blitzschutzzonen LPZ 0 und 2 so klein wie möglich auszuführen. Sofern es die bauliche Anlage zulässt, sollte die LPZ 2 mit einem zusätzlichen Zonenschirm ausgerüstet sein, der getrennt vom blitzstromdurchflossenen Zonenschirm an der Zonengrenze 0 aufgebaut ist, sodass, wie in **Bild 7.6.2.1** ersichtlich, die LPZ 1 für einen weiten Bereich der Anlage aufgebaut wird. Die mit dieser Maßnahme realisierte Abschwächung des elektromagnetischen Feldes in der LPZ 2 vermeidet die sonst notwendige konsequente Schirmung aller Leitungen und Systeme innerhalb der LPZ 2.

7.6.3 Potentialausgleich für Anlagen der Informationstechnik

LPZ 0_A–2

Ein Blitzstrom-Ableiter von der LPZ 0 auf 1 leitet einen großen Teil der Störenergie ab und schützt so die Installation im Gebäude vor Schäden. Oft ist jedoch der Reststörpegel noch zu hoch für den Endgeräteschutz. In einem weiteren Schritt am LPZ-Übergang von 1 auf 2 werden dann zusätzlich Überspannungsschutzgeräte installiert, die Störgrößen auf einen Restspannungspegel begrenzen, der an die Spannungsfestigkeit des Endgerätes angepasst ist (siehe auch **Bild 7.8.2.1**).

Wird der Potentialausgleich von der LPZ 0 auf 2 durchgeführt, so ist zunächst bei der Wahl des Installationsortes und der Bestimmung des Blitzteilstromes der Einzeladern und Schirme genau so vorzugehen, wie unter 6.3 beschrieben.
Allerdings ändert sich die Anforderung an ein einzusetzendes SPD am LPZ-Übergang und die Anforderung an die Verdrah-

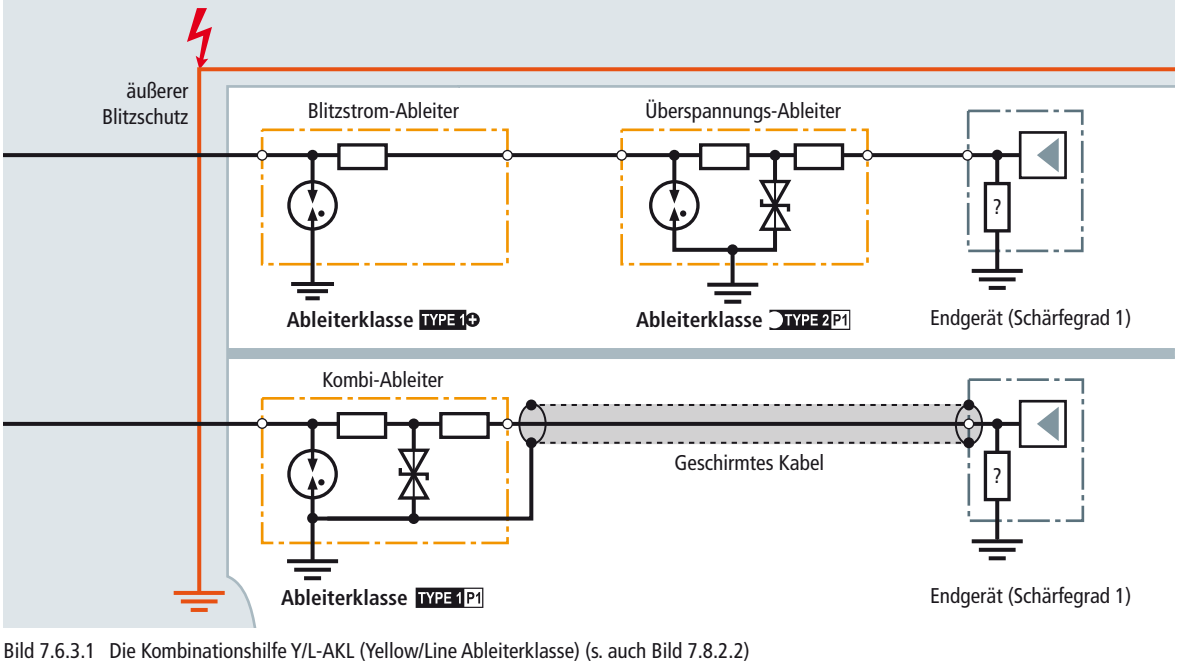


Bild 7.6.3.1 Die Kombinationshilfe Y/L-AKL (Yellow/Line Ableiterklasse) (s. auch Bild 7.8.2.2)

tung nach diesem Übergang. Das Schutzgerät muss als Kombi-Ableiter ausgeführt und zum Endgerät energetisch koordiniert sein (**Bild 7.6.3.1**). Kombi-Ableiter besitzen einerseits ein sehr hohes Ableitvermögen und andererseits eine geringen Reststörpegel zum Schutz der Endgeräte. Zusätzlich ist zu beachten, dass zum Schutz gegen eingekoppelte Störgrößen die abgehende Leitung vom Schutzgerät zum Endgerät geschirmt und der Leitungsschirm an beiden Enden in den Potentialausgleich einzubeziehen ist.

Der Einsatz von Kombi-Ableitern wird empfohlen, wenn

- die Endgeräte nahe am Gebäudeeintritt der Kabel sind,
- sich ein niederimpedanter Potentialausgleich von Schutzgerät zu Endgerät herstellen lässt,
- die Leitung vom Schutzgerät zum Endgerät durchgehend geschirmt und an beiden Enden geerdet ist,
- eine besonders wirtschaftliche Lösung gesucht wird.

Der Einsatz von Blitzstrom-Ableiter und Überspannungs-Ableiter wird empfohlen, wenn

- vom Schutzgerät zum Endgerät große Leitungslängen vorhanden und Störeinkopplungen zu erwarten sind,
- die Erdung von energietechnischem und informationstechnischem Schutzgerät auf verschiedene Potentialausgleichsschienen geführt wird,
- ungeschirmte Leitungen verwendet werden,
- große Störungen innerhalb der LPZ 1 auftreten können.

7.7 Potentialausgleich an der Grenze von LPZ 1 und LPZ 2 und höher

7.7.1 Potentialausgleich für metallene Installationen

Dieser Potentialausgleich ist möglichst nahe an der Eintrittstelle der Leitungen und metallenen Installationen in die Zone zu realisieren (Zonenübergang).
Es müssen ebenfalls alle Systeme und leitfähigen Teile, wie im Kapitel 7.5.1 beschrieben, angeschlossen werden.
Die Leitungsführung sollte möglichst kurz (niederimpedant) ausgeführt werden.
Ein Ringpotentialausgleich in diesen Zonen ermöglicht eine niederimpedante Anbindung der Systeme an den Potentialausgleich.
Bild 7.7.1.1 zeigt die Vorbereitung zur Anbindung einer Kabelrinne in den Ringpotentialausgleich beim Zonenübergang.

Bild 7.7.1.1 Ringpotentialausgleich und Erdungsfestpunkt für die Anbindung von metallenen Installationen

Werkstoff	Querschnitt
Cu	6 mm²
Al	10 mm²
Fe	16 mm²

Tabelle 7.7.1.1 Mindestquerschnitte für innere Potentialausgleichsverbindungen

Folgende metallenen Installationen sind an den Potentialausgleich einzubinden:

- metallene Kabelkanäle
- geschirmte Kabel und Leitungen
- Bewährung des Gebäudes
- metallene Wasserverbrauchsleitungen
- metallene Schutzrohre für Leitungen
- sonstige metallenen Rohrsysteme oder leitfähige Teile (z. B. Druckluft).

Hierbei sind die gleichen Querschnitte für die Verbindungsleitungen der Potentialausgleichschiene an die Erdungsanlagen und an andere Potentialausgleichsschienen, wie im Kapitel 6.2 beschrieben, zu verwenden.
Bei den Anbindungen der metallenen Installationen an den Potentialausgleich können bei diesen Zonenübergängen reduzierte Querschnitte verwendet werden (**Tabelle 7.7.1.1**).

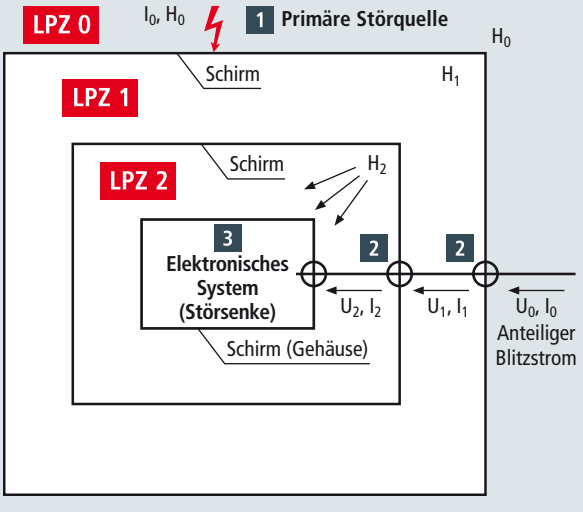
7.7.2 Potentialausgleich für Energieversorgungsanlagen

LPZ 1 – 2 und höher

Auch bei den LPZ-Übergängen 1 auf 2 und höher wird eine Überspannungsbegrenzung und Feldabschwächung dadurch erreicht, dass parallel zu allen metallenen Systemen, die elektrischen Energie- und Datenleitungen konsequent an jeden

LPZ-Übergang in den Potentialausgleich einbezogen werden (**Bild 7.7.2.1**). Durch die Realisierung einer Raum- und Geräteschirmung wird eine Abschwächung der elektromagnetischen Beeinflussung erreicht.

Die Überspannungsschutzgeräte, welche an den LPZ-Übergängen 1 auf 2 oder an den höherwertigen LPZ-Übergängen eingesetzt werden, haben die Aufgabe, die Restgrößen vorgelagerter Überspannungsschutzgeräte weiter zu minimieren. Sie müssen induzierte Überspannungen, die auf die in der LPZ verlegten Leitungen einwirken, und die in der LPZ selbst erzeugten Überspannungen abbauen. Das Ableitvermögen der hier einzusetzenden SPDs lässt sich aus Tabelle E.2 der DIN EN 62305-1 erschließen. Die SPDs vom Typ 2 sollten somit in der Lage sein, mindestens 5 kA der Wellenform 8/20 µs pro Phase zerstörungsfrei abzuleiten. Je nachdem, an welcher Stelle die Schutzmaßnahmen getroffen werden, lassen sie sich entweder einem Gerät zuordnen (Geräteschutz) (**Bild 7.7.2.2**), oder sie stellen in der Installation die infrastrukturelle Grundlage für das Funktionieren eines Gerätes oder Systems dar (**Bild 7.7.2.3**). Die Ausführungsformen des Überspannungsschutzes an den LPZ-Grenzen 1 auf 2 und höher können somit sehr unterschiedlich ausgeführt sein.



1 Primäre Störquelle definiert entsprechend dem gewählten Gefährdungspegel durch:

DIN EN 62305-1 (VDE 185-305-1):
I_0 und H_0: Impuls 10/350 µs, 1/200 µs und 0,25/100 µs

2 Stromversorgungsinstallation mit Störfestigkeit definiert durch IEC 60604-1: Überspannungskategorien I bis IV; Telekommunikationsinstallation mit Störfestigkeit definiert durch ITU-T-Empfehlungen K.20:2008, K.21:2003 und K.45:2003.

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

IEC 61000-4-5: U: Impuls 1,2/50 µs, I: Impuls 8/20 µs

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

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

Bild 7.7.2.1 Blitzschutzsystem mit Raumschirmung und koordiniertem Überspannungsschutz nach Bild A1 der DIN EN 62305-4

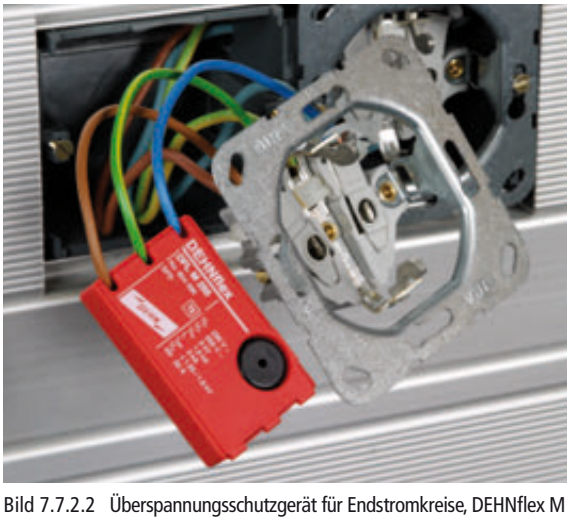


Bild 7.7.2.2 Überspannungsschutzgerät für Endstromkreise, DEHNflex M

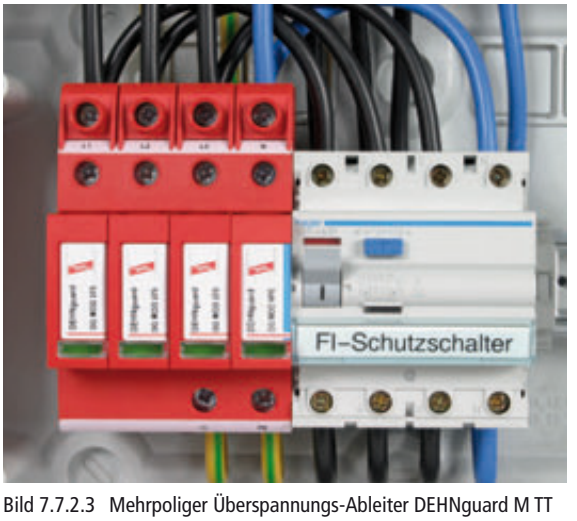


Bild 7.7.2.3 Mehrpoliger Überspannungs-Ableiter DEHNguard M TT

7.7.3 Potentialausgleich für Anlagen der Informationstechnik

LPZ 1 – 2 und höher

An den LPZ-Übergängen innerhalb von Gebäuden sind weitere Maßnahmen zu treffen, die eine Verminderung des Störpegels zur Folge haben (**Bild 7.7.3.1**). Da in der LPZ 2 oder höher in der Regel Endgeräte installiert sind, müssen die Schutzmaßnahmen einen Reststörpegel sicherstellen, der unterhalb endgeräteverträglicher Werte liegt. Dies erreicht man durch:

- Einsatz von Überspannungsschutzgeräten in der Nähe von Endgeräten
- Einbeziehen der Leitungsschirme in den Potentialausgleich
- Niederimpedanten Potentialausgleich des informationstechnischen SPD zu Endgerät und energietechnischem SPD
- Beachtung der energetischen Koordination von vorgelagertem SPD zu SPD und zu Endgerät
- Einhalten des Installationsabstandes zwischen Telekommunikationsleitungen und Gasentladungslampen von mindestens 130 mm
- Unterbringen von Elektroinstallationsverteiler und Datenverteiler in verschiedenen Schränken
- Kreuzung von Niederspannungsleitungen und Telekommunikationsleitungen im 90 ° Winkel
- Ausführung von Kabelkreuzungen auf dem kürzesten Weg.

Bild 7.7.3.1 Schutz für Geräte der Industrieelektronik (z. B. SPS) mit BLITZDUCTOR XT und SPS-Protector

7.8 Koordination der Schutzmaßnahmen an unterschiedlichen LPZ-Grenzen

7.8.1 Energieversorgungsanlagen

Während einem Überspannungsschutz im Gerät (oder diesem unmittelbar vorgelagert) eine ausgesprochene Geräteschutzfunktion zukommt, ist die Funktion von Überspannungsschutzgeräten in der umgebenden Installation zweigeteilt. Sie stellt zum einen den Schutz der Installation dar und bildet zum anderen das Schutzglied zwischen den Gefährdungsparametern des Gesamtsystems und der Gerätefestigkeit der zu schützenden Betriebsmittel und Systeme. Die Gefährdungsparameter des Systems und die Störfestigkeit des zu schützenden Gerätes sind somit Dimensionierungsfaktoren für die zu errichtende Schutzkaskade. Damit diese Schutzkaskade, beginnend vom Blitzstrom-Ableiter bis hin zum Endgeräteschutz, funktionieren kann, muss sichergestellt werden, dass die einzelnen Schutzgeräte selektiv wirksam werden; d. h., dass jede Schutzstufe nur den Anteil der Störenergie übernimmt, für den sie ausgelegt ist. Diese Abstimmung zwischen den Schutzstufen wird allgemein als Koordination bezeichnet und ist in DIN CLC/TS 61643-12, Anhang J näher erläutert. Um die beschriebene Selektivität im Wirken des Schutzgerätes zu erreichen, sind die Parameter der einzelnen Ableiterstufen so aufeinander abzustimmen, dass bei einer drohenden energetischen Überbelastung einer Schutzstufe der vorgelagerte leistungsstärkere Ableiter „anspricht" und somit die Störenergieableitung übernimmt. Bei der Auslegung der Koordination ist darauf zu achten, dass die Impuls-Wellenform mit der größten Impulsdauer als Bedrohung für die gesamte Ableiterkette angenommen werden muss. Um die Gefahren einer fehlerhaften Koordination und der daraus resultierenden Überlastung energieschwächerer Schutzstufen zu verhindern, wurde die energetisch koordinierte Red/Line-Produktfamilie geschaffen. Diese sowohl miteinander als auch mit dem zu schützenden Gerät koordinierten Überspannungsschutzgeräte bieten dem Anwender ein Höchstmaß an Sicherheit. Durch die Ausführungen als Blitzstrom-, Überspannungs- und Kombi-Ableiter ist eine ideale Anpassung an die Anforderungen der entsprechenden LPZ-Übergänge gegeben (**Bilder 7.8.1.1 bis 7.8.1.3**).

Vorallem bei der Verwendung als Typ 1-Ableiter oder Kombi-Ableiter ist ein besonderes Augenmerk auf die verwendete Ableitertechnologie zu legen.

Typ 1-Ableiter müssen in der Lage sein, die elektrische Anlage gegen Blitzströme der Wellenform 10/350 µs zu schützen. Charakteristisch für diesen Impulsstrom ist die sehr lange Rückenhalbwertszeit von 350 µs. Im Nachfolgenden ist das

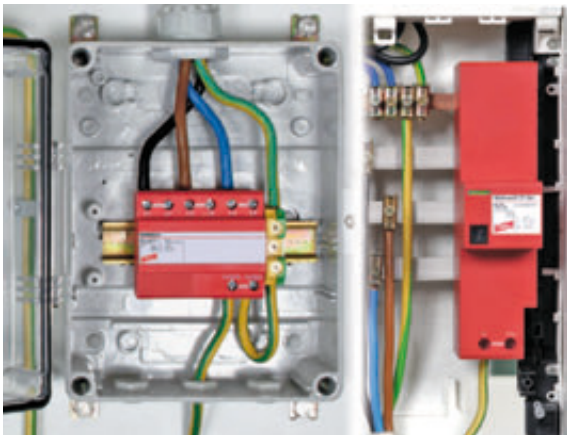


Bild 7.8.1.1 Blitzstrom-Ableiter – DEHNbloc 3-polig und Kombi-Ableiter DEHNventil ZP

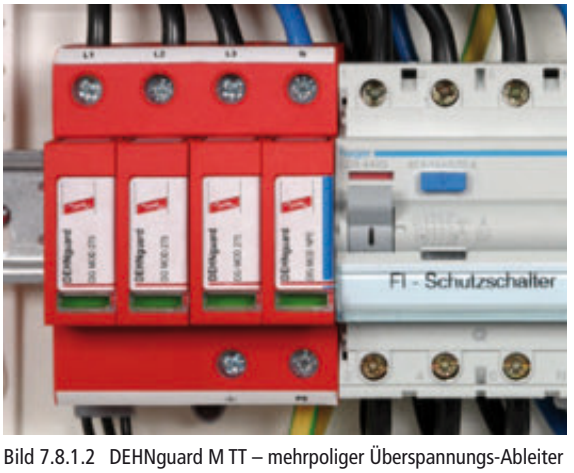


Bild 7.8.1.2 DEHNguard M TT – mehrpoliger Überspannungs-Ableiter

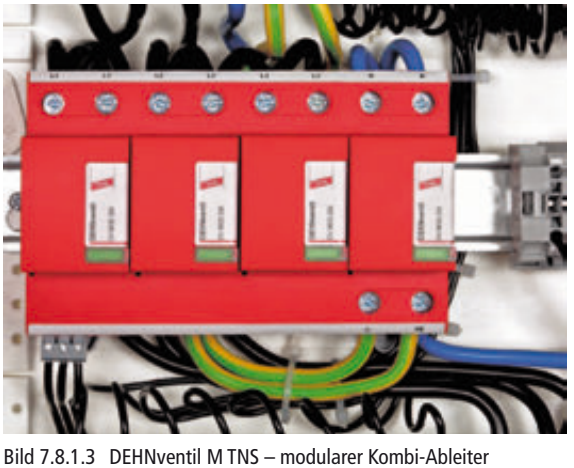


Bild 7.8.1.3 DEHNventil M TNS – modularer Kombi-Ableiter

unterschiedliche Verhalten bei dieser Beanspruchung für Funkenstrecken und Varistoren dargestellt.

Funkenstrecke

- Bei Funkenstrecken bricht die Spannung nach sehr kurzer Zeit auf die sogenannte Bogenbrennspannung zusammen, die bei einer modernen folgestrombegrenzenden Funkenstrecke typischerweise in der Größenordnung der Versorgungsspannung liegt.
- Die spannungsschaltende Charakteristik der Funkenstrecke entspricht einer „Wellenbrecher"-Funktion. Die Blitzstoßstrom-Welle wird „geschalten" und damit die Impulsdauer deutlich verkürzt. Durch diese Impulszeitverkürzung wird die verbleibende Spannungs-Zeit-Fläche, welche für die Belastung der nachfolgenden Schutzstufen und Endgeräte ausschlaggebend ist, auf sehr kleine Werte reduziert.

Varistor

- Ein Varistor begrenzt die Spannung länger andauernd auf ein Niveau, welches üblicherweise deutlich höher als die Bogenbrennspannung einer Funkenstrecke und auch deutlich höher als die Nennspannung des Versorgungssystems liegt.
- Die Spannungs-Zeit-Fläche ist daher bei einem Varistor deutlich größer als bei einer Funkenstrecke. Während der gesamten Impulsdauer liegt diese hohe Spannung an. Deshalb werden die nachfolgenden Geräte und Installationen bei einem Varistor deutlich stärker belastet als bei einer Funkenstrecke, was dann eine Zerstörung oder eine reduzierte Lebensdauer dieser Geräte zur Folge hat.

Zur Verifizierung dieser theoretischen Betrachtungen wurden Koordinationsprüfungen nach DIN CLC/TS 61643-12 Anhang J mit handelsüblichen Typ 1-Ableitern auf Funkenstreckenbasis und auf Varistorbasis durchgeführt, welche nach Herstellerangaben zum Schutz von Endgeräten (sog. Kombi-Ableiter) geeignet sind. Dabei wurde jeweils die Koordination zu einem Referenzvaristor der Ausführung S20K275 geprüft, welcher eine typische Schutzbeschaltung in einem Endgerät bei einer Versorgungsspannung von 230 V darstellt.
Als Koordinationskriterium gilt die Durchlassenergie, die von einem SPD Typ 1 durchgelassen wird und bei den Endgeräten (Referenzvaristor) ankommt. Diese wurde bei verschiedenen Amplitudenwerten des 10/350 µs-Stoßstroms bis hin zum maximal in den Herstellerangaben ausgewiesenen Wert (12,5 kA) gemessen. Die Amplitudenwerte werden, startend bei 0 kA, in kleinen Schritten gesteigert, um bei spannungsschaltenden SPDs auch sogenannte Blind Spots abzudecken. Hierbei handelt es sich um niedrige Amplitudenwerte des 10/350 µs-Stoßstroms, bei dem ein spannungsschaltendes SPD

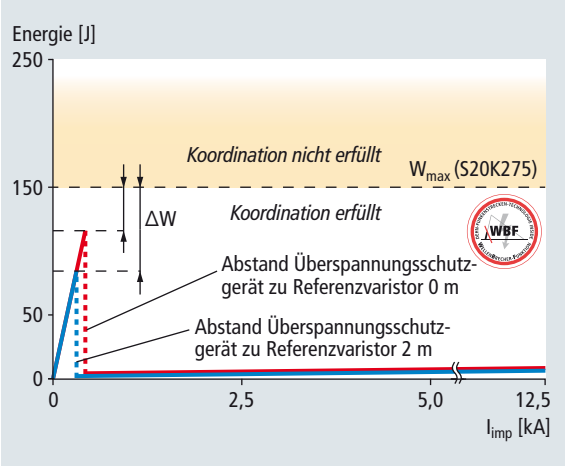


Bild 7.8.1.4 Verlauf der Durchlassenergie am Referenzvaristor mit vorgeschaltetem SPD Typ 1 auf Funkenstreckenbasis

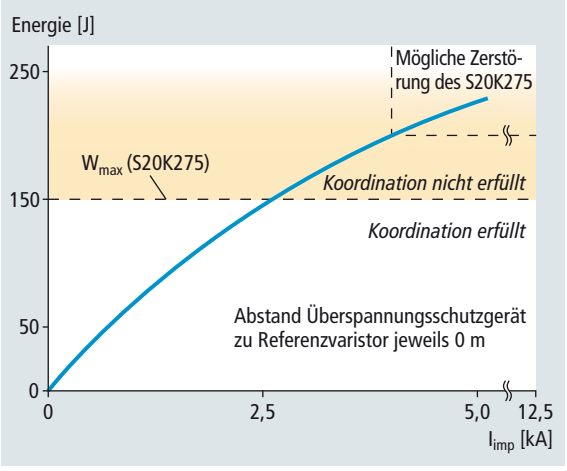


Bild 7.8.1.5 Verlauf der Durchlassenergie am Referenzvaristor mit vorgeschaltetem SPD Typ 1 auf Varistorbasis

gerade noch nicht anspricht und damit die energetische Belastung des Referenzvaristors am größten wäre.

Überspannungsschutzgerät: SPD Typ 1 auf Funkenstreckenbasis

Der Verlauf der Durchlassenergie in Abhängigkeit vom Stoßstrom 10/350 µs bei dieser Konfiguration ist dem Diagramm in **Bild 7.8.1.4** zu entnehmen.

Folgendes kann aus diesem Diagramm abgeleitet werden:

- Der maximal zulässige Energieeintrag von 150 J für den S20K275-Varistor wird bei keinem der beaufschlagten Stoßströme überschritten.
- Selbst bei einem Abstand von 0 m zwischen Überspannungsschutzgerät und Referenzvaristor (direkte Koordination) ist dort eine ausreichende „energetische Reserve" ΔW zur maximal zulässigen Energie im Referenzvaristor gegeben.
- Bei zusätzlichen Leitungslängen (exemplarisch 2 m) zwischen Überspannungsschutzgerät und Referenzvaristor lässt sich diese „energetische Reserve" ΔW sogar noch deutlich erhöhen.

Die Koordination zum Referenzvaristor ist über den gesamten Verlauf des betrachteten Stoßstroms 10/350 µs (Herstellerangabe: I_{imp} = 12,5 kA) uneingeschränkt sichergestellt.

Überspannungsschutzgerät: Varistorbasierendes SPD Typ 1

Es handelt sich dabei um ein Gerät, welches mit einer höchsten Dauerspannung U_c = 280 V vom Hersteller spezifiziert ist. Dies ist eine Bemessung, wie sie in 230/400 V-Niederspannungssystemen üblicherweise vorgenommen wird.

Das Diagramm im **Bild 7.8.1.5** zeigt den Verlauf der Durchlassenergie am Referenzvaristor bei dieser Geräteausführung. Folgende Erkenntnisse lassen sich aus dem Diagramm ableiten:

- Zu erkennen ist, dass ab ca. 2,5 kA 10/350 µs der nachfolgende Referenzvaristor energetisch überlastet wird. Ab ca. 4 kA 10/350 µs kann es zu einer Zerstörung des S20K275 kommen.
- Bei Geräten mit höherer Bemessungsspannung (z. B. U_e = 335 V) kann durch die noch ungünstigere Stoßstromaufteilung zwischen SPD und Referenzvaristor die energetische Überlastung und die Zerstörung bereits bei noch kleineren Stoßstromwerten erfolgen.
- Im Vergleich zum maximal ausgewiesenen Stoßstrom von 12,5 kA führen bereits sehr kleine Stoßströme zur energetischen Überlastung der nachfolgenden Schutzstufen oder Endgeräte. Dies entspricht in der Praxis einer Vorschädigung oder sogar einer möglichen Zerstörung dieser Baugruppen.

Der Vorgang zwischen Überspannungsschutzgerät und Referenzvaristor, bei einer zusätzlichen Leitungslänge (2 m), ist nicht dargestellt, da technologiebedingt hier kaum ein Unterschied zu den wiedergegebenen Werten vorhanden ist.

Die obigen Ergebnisse zeigen klar, dass eine funktionierende energetische Koordination zu nachgelagerten Schutzgeräten (Typ 2 und/oder Typ 3) und Endgeräten, ohne detaillierte Kenntnis von deren internem Aufbau, nur mit kombinierten Geräten für Blitz- und Überspannungsschutz (SPD Typ 1) erreicht werden kann, welche auf Funkenstreckentechnologie basieren. Durch die spannungsschaltende Charakteristik der Funkenstrecke, wird die einlaufende Energie des 10/350 µs-

Blitzstromes aufgrund des „Wellenbrecher"-Prinzips auf ein ausreichend niedriges Niveau heruntergebrochen. Nahezu die gesamte Energie wird von der Funkenstrecke übernommen, und die nachfolgenden Schutzstufen werden nur minimal energetisch belastet.
Bei einem SPD Typ 1 auf Varistorbasis ist dies nicht der Fall. Im ABB-Merkblatt 19 des „Ausschusses für Blitzschutz und Blitzforschung" des VDE (ABB) steht, dass bei spannungsbegrenzenden Komponenten (Varistor) als Typ 1 SPD eine generelle Koordination praktisch ausgeschlossen ist.
Da die Energie hier nicht „geschaltet", sondern nur begrenzt wird, ergibt sich auch nur eine bestimmte feste Verteilung der Energie zwischen den verschiedenen Schutzstufen und Endgeräten. Da in einem 230/400 V-Niederspannungssystem im Zweifelsfall immer davon ausgegangen werden muss, dass Schutzstufen und Endgeräte mit 275 V bemessen sind, werden diese deutlich höher energetisch belastet, was schon bei kleinen Blitzströmen zu einer Schädigung und Zerstörung von Komponenten oder Geräten innerhalb der Elektroinstallation führen kann.

7.8.2 Anlagen der Informationstechnik

Bei der Realisierung von Schutzmaßnahmen gegen Störgrößen aus Nah-, Fern- und direkten Blitzeinwirkungen innerhalb von Gebäuden ist es empfehlenswert eine Schutzgerätekonzeption in mehreren Schutzstufen auszuführen. Dadurch wird die energiereiche Störgröße (Blitzteilstrom) in Stufen reduziert, indem eine erste vorgeordnete, energieabsorbierende Stufe den Hauptanteil der Störgröße vom nachfolgenden System abhält (Wellenbrecher). Die nachgeordneten Stufen dienen der Reduzierung der Störgrößen auf systemverträgliche Werte. Je nach Installationsbedingungen können mehrere Schutzstufen mittels einer Kombinations-Schutzschaltung auch in einem Überspannungsschutzgerät realisiert werden (Kombi-Ableiter).
Die relevanten Schnittstellen, an denen die Schutzgeräte im Zuge einer Kaskade zum Einsatz kommen, sind z. B. die Zonenschnittstellen (LPZ) eines Blitzschutzzonen-Konzeptes nach DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4).

Eine Kaskadierung der Schutzgeräte hat unter der Berücksichtigung der Koordinationskriterien zu erfolgen.
Zur Ermittlung der Koordinationsbedingungen gemäß DIN EN 61643-22 gibt es verschiedene Methoden, die teilweise bestimmte Kenntnisse vom Aufbau der Schutzgeräte voraussetzen. Eine „Black box"-Methode ist die sogenannte „Let-Through-Energy"-(Durchlassenergie)-Methode, die auf Standard-Impuls-Parametern aufbaut und deshalb sowohl rechnerisch als auch praktisch nachvollzogen werden kann.
Die Kaskade nach **Bild 7.8.2.1** gilt als zueinander koordiniert, wenn jeweils die Restgrößen I_p bei kurzgeschlossenem Ausgang und U_p bei leerlaufendem Ausgang kleiner sind als die jeweiligen Eingangsgrößen I_{IN}/U_{IN}.
Diese Methoden sind jedoch für den Anwender nur schwer durchführbar, da sie sehr aufwendig sind. Um Zeit und Mühe zu sparen, erlaubt die Norm auch, Herstellerangaben zur Koordination zu benutzen.

Blitzstrom-Ableiter an der LPZ 0/1 oder höher werden in der Regel mit einem Ableitvermögen der Wellenform 10/350 µs ausgewiesen, Überspannungs-Ableiter dagegen nur mit der Wellenform 8/20 µs. Dies rührt daher, dass Überspannungs-Ableiter in erster Linie für Störungen induktiver und kapazitiver Einkopplung entwickelt wurden. Wird jedoch eine gebäudeüberschreitende Leitung mit einer Kaskade aus Blitzstrom-Ableiter und Überspannungs-Ableiter beschaltet, so ist aus den Koordinationsbedingungen Folgendes zu schließen:

- Als erstes spricht das empfindlichste Element an – der Überspannungs-Ableiter.
- Der Überspannungs-Ableiter muss also ebenfalls einen – wenn auch geringen – Anteil des Blitzteilstroms mit der Wellenform 10/350 µs tragen können.
- Bevor der Überspannungs-Ableiter überlastet wird, muss der Blitzstrom-Ableiter zünden und den Hauptanteil der Ableitenergie übernehmen.

Die Schutzgeräte der Yellow/Line-Familie sind durchgängig und sicher zueinander und auch zu Endgeräten koordiniert. Dazu tragen diese das jeweilige Symbol ihrer Ableiterklasse (**Tabellen 7.8.2.1 und 7.8.2.2, Bild 7.8.2.2**).

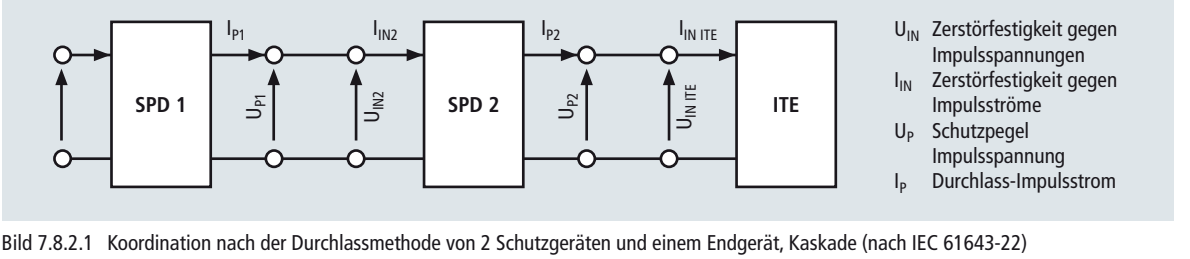


Bild 7.8.2.1 Koordination nach der Durchlassmethode von 2 Schutzgeräten und einem Endgerät, Kaskade (nach IEC 61643-22)

Eigenschaft	Einzel-Symbol	Erklärung
Ableitvermögen eines Ableiters (nach Kategorien aus DIN EN 61643-21)	TYPE 1	Impuls D1 (10/350 µs), Blitzstoßstrom ≥ 2,5 kA/Ader bzw. ≥ 5 kA gesamt • übertrifft das Ableitvermögen von TYPE 2 – TYPE 4
	TYPE 2	Impuls C2 (8/20 µs), erhöhte Stoßbelastung ≥ 1 kA/Ader bzw. ≥ 2 kA gesamt • übertrifft das Ableitvermögen von TYPE 3 – TYPE 4
	TYPE 3	Impuls C1 (8/20 µs), Stoßbelastung ≥ 0,25 kA/Ader bzw. ≥ 0,5 kA gesamt • übertrifft das Ableitvermögen von TYPE 4
	TYPE 4	Belastung < TYPE 3
Schutzwirkung eines Ableiters (Begrenzung unterhalb der Prüfschärfegrade nach DIN EN 61000-4-5)	P1	Geforderter Prüfschärfegrad des Endgeräts: 1 oder höher
	P2	Geforderter Prüfschärfegrad des Endgeräts: 2 oder höher
	P3	Geforderter Prüfschärfegrad des Endgeräts: 3 oder höher
	P4	Geforderter Prüfschärfegrad des Endgeräts: 4
Energetische Koordination (zu einem weiteren Ableiter der Yellow/Line)	⊕	Ableiter enthält eine Entkopplungsimpedanz und ist geeignet für die Koordination mit einem Ableiter, der mit ⊃ gekennzeichnet ist
	⊃	Ableiter, geeignet für die Koordination mit einem Ableiter, der eine Entkopplungsimpedanz enthält ⊕

Tabelle 7.8.2.1 Symbole der Ableiterklasse

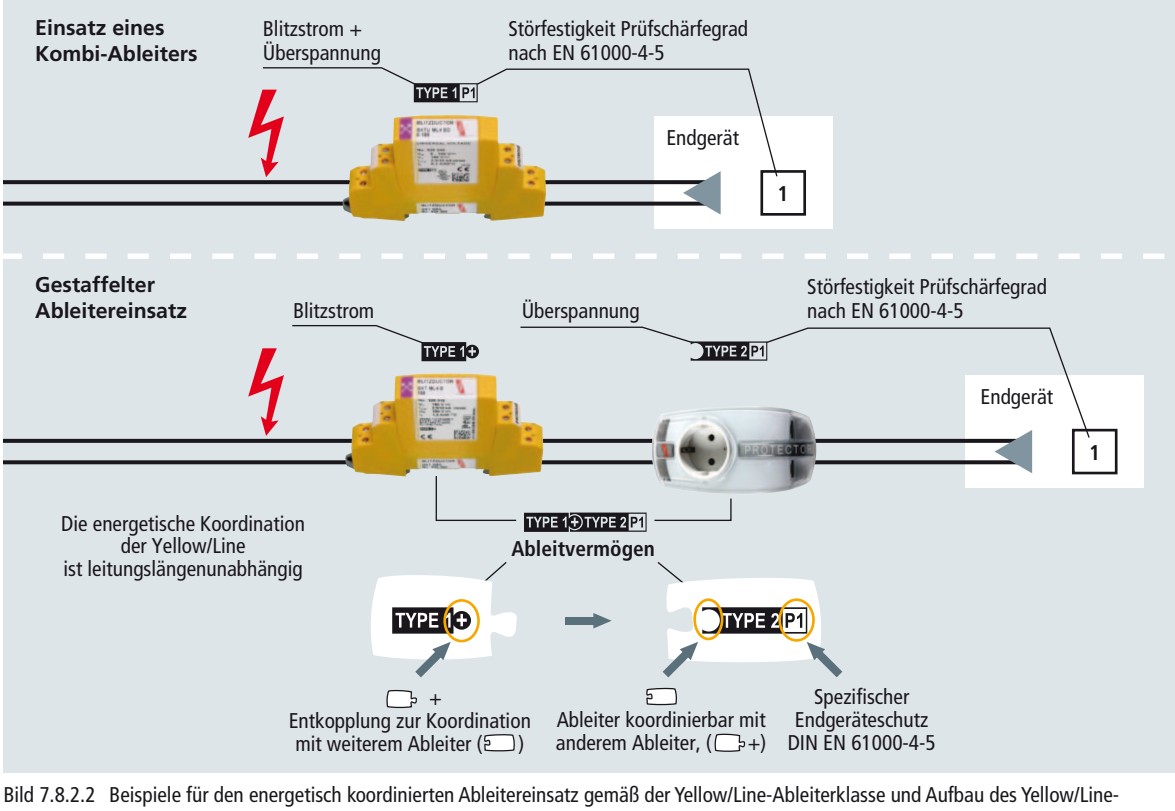


Bild 7.8.2.2 Beispiele für den energetisch koordinierten Ableitereinsatz gemäß der Yellow/Line-Ableiterklasse und Aufbau des Yellow/Line-Ableiterklassen-Symbols

Leitungs-verlegung	Ableiterlösung	Beispielhafte Zuordnung von Ableiterklassen zu LPZ-Übergängen		
		nach LPZ 1	nach LPZ 2	nach LPZ 3
Aus LPZ 0_A	Kombi-Ableiter	TYPE 1 P1		
	Kaskadierung	TYPE 1	TYPE 2 P1	
		TYPE 1	TYPE 3 P1	
Aus LPZ 0_B	Kombi-Ableiter	TYPE 1 P1		
	Überspannungs-Ableiter	TYPE 2 P1 oder TYPE 2 P1		
	Kaskadierung	TYPE 2	TYPE 3	
Aus LPZ 1	Kombi-Ableiter	–	TYPE 1 P1	
	Überspannungs-Ableiter	–	TYPE 2 P1 oder TYPE 2 P1	
Aus LPZ 2	Kombi-Ableiter	–	TYPE 1 P1	
	Überspannungs-Ableiter	–	–	TYPE 2 P1
		–	–	TYPE 3 P1
		–	–	TYPE 4 P1

Tabelle 7.8.2.2 Zuordnung der Ableiterklassen zu LPZ-Übergängen

7.9 Prüfung und Wartung des LEMP-Schutzes

Hinsichtlich der Prüfung und Wartung des LEMP-Schutzes gelten dieselben Grundlagen und Voraussetzungen wie für die Prüfung und Wartung von Blitzschutzsystemen, die bereits in Kapitel 3.4 beschrieben wurden.
Besondere Bedeutung kommt bei der Prüfung des LEMP-Schutzes den baubegleitenden Prüfungen zu, da eine Vielzahl von Komponenten des LEMP-Schutzes nach Abschluss der Bauarbeiten nicht mehr zugänglich sind. Die erforderlichen Maßnahmen (z. B. Verbindung und Anschluss der Armierung) sind fotografisch zu dokumentieren und dem Prüfungsbericht beizufügen.

Prüfungen sollen durchgeführt werden:

- während der Installation des LEMP-Schutzes,
- nach der Installation des LEMP-Schutzes,
- in periodischen Abständen,
- nach jeder Änderung von Komponenten, die für den LEMP-Schutz relevant sind,
- erforderlichenfalls nach einem Blitzeinschlag in die bauliche Anlage.

Nach Abschluss der Prüfung müssen alle festgestellten Mängel unverzüglich beseitigt werden. Wenn nötig, ist die technische Dokumentation zu aktualisieren.
Eine umfassende Inspektion des LEMP-Schutzes sollte im Zuge der Überprüfung der Elektroanlage gemäß Arbeitsstätten-Verordnung mindestens alle zwei bis vier Jahre durchgeführt werden.

Auswahl, Installation und Montage von Überspannungs-schutzgeräten (SPDs)

8.1 Energieversorgungsanlagen (im Rahmen des Blitzschutzzonen-Konzeptes nach DIN EN 62305-4)

Die Errichtung eines Blitz- und Überspannungsschutz-Systems für elektrische Anlagen repräsentiert den aktuellen Stand der Technik und ist eine unabdingbare infrastrukturelle Voraussetzung für den störungs- und zerstörungsfreien Betrieb komplexer elektrischer und elektronischer Systeme. Die Anforderungen an SPDs, die für die Errichtung eines derartigen Blitz- und Überspannungsschutz-Systems im Rahmen des Blitzschutzzonen-Konzeptes nach DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4) im Bereich der Energietechnik benötigt werden, sind in DIN VDE 0100-534 festgelegt.

SPDs, die im Bereich der festen Gebäudeinstallation eingesetzt sind, werden entsprechend den Anforderungen und Belastungen an den gewählten Installationsorten in Überspannungsschutzgeräte vom Typ 1, 2 und 3 unterteilt und nach DIN EN 61643-11 geprüft.

Die höchsten Anforderungen hinsichtlich ihres Ableitvermögens werden an SPDs vom Typ 1 gestellt. Diese werden im Rahmen des Blitz- und Überspannungsschutz-Systems an der Schnittstelle der Blitzschutzzone 0_A auf 1 und höher, gemäß **Bild 8.1.1**, eingesetzt. Diese Schutzgeräte müssen in der Lage sein, Blitzströme der Wellenform 10/350 µs mehrmals zerstörungsfrei zu führen. Diese SPDs vom Typ 1 werden Blitzstrom-Ableiter genannt. Aufgabe dieser Schutzgeräte ist es, ein Eindringen von zerstörenden Blitz-Teilströmen in die elektrische Anlage eines Gebäudes zu verhindern.

Am Übergang der Blitzschutzzone 0_B auf 1 und höher oder Blitzschutzzone 1 auf 2 und höher werden SPDs Typ 2 zum Schutz vor Überspannungen eingesetzt. Ihr Ableitvermögen liegt im Bereich von einigen 10 kA (8/20 µs).

Letztes Glied im Blitz- und Überspannungsschutz-System in Anlagen der Energietechnik stellt der Endgeräteschutz (Übergang Blitzschutzzone LPZ 2 auf LPZ 3 und höher) dar. Hauptaufgabe des an dieser Stelle installierten Schutzgerätes vom Typ 3 ist der Schutz gegen Überspannungen, die zwischen den Leitern eines elektrischen Systems auftreten. Hierbei handelt es sich insbesondere um Schaltüberspannungen.
Die verschiedenen Aufgaben, Anordnungen und Anforderungen an Ableiter zeigt die **Tabelle 8.1.1**.

8.1.1 Charakteristische Merkmale für SPDs

Höchste Dauerspannung U_c

Die höchste Dauerspannung (alt: Bemessungsspannung) ist der Effektivwert der max. Spannung, die betriebsmäßig an die

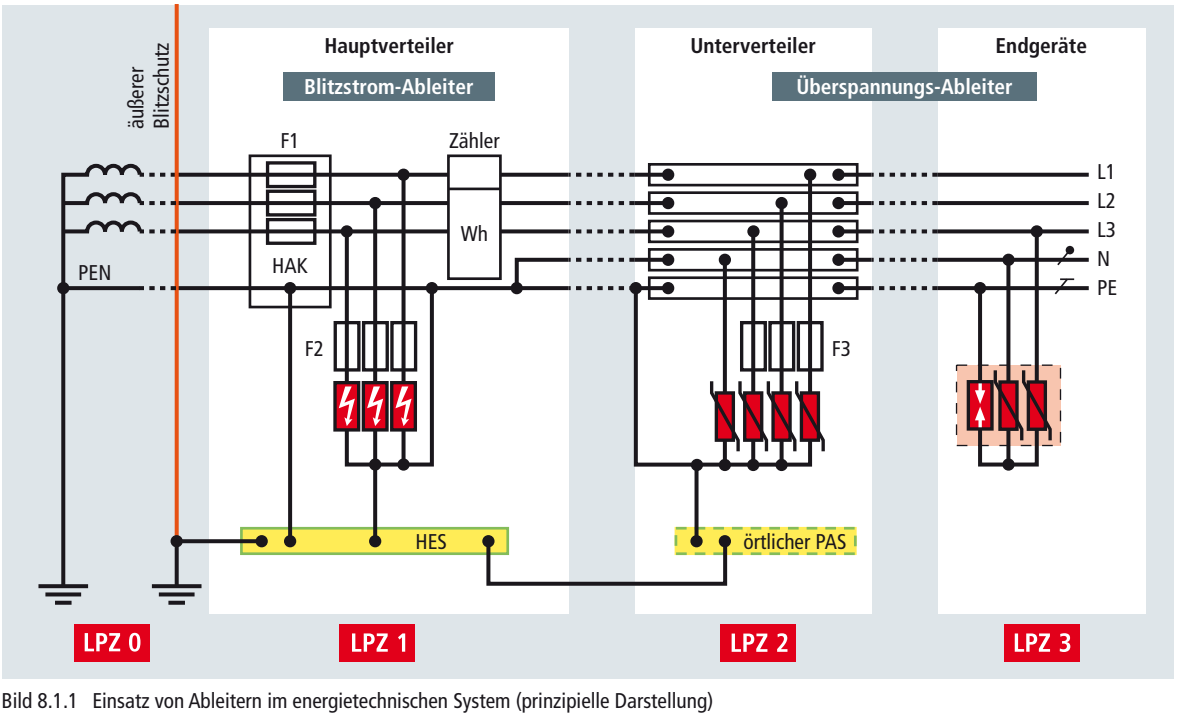


Bild 8.1.1 Einsatz von Ableitern im energietechnischen System (prinzipielle Darstellung)

Typ / Bezeichnung \ Norm	EN 61643-11:2012	IEC 61643-11:2011
Blitzstrom-Ableiter / Kombi-Ableiter	SPD Typ 1	SPD class I
Überspannungs-Ableiter für Verteilung, Unterverteilung, feste Installation	SPD Typ 2	SPD class II
Überspannungs-Ableiter für Steckdose / Endgerät	SPD Typ 3	SPD class III

Tabelle 8.1.1 Klassifizierung der Schutzgeräte nach VDE, IEC und EN

dafür gekennzeichneten Anschlussklemmen des Überspannungsschutzgerätes angelegt werden darf. Sie ist diejenige maximale Spannung, die am Ableiter im definierten, nichtleitenden Zustand liegt und nach seinem Ansprechen und Ableiten das Wiederherstellen dieses Zustandes sicherstellt.
Der Wert von U_c richtet sich nach der Nennspannung des zu schützenden Systems sowie den Vorgaben der Errichter-Bestimmungen (DIN VDE 0100-534). Für 230/400 V-Systeme ergibt sich unter Berücksichtigung einer 10 prozentigen Spannungstoleranz für TN- und TT-Systeme eine höchste Dauerspannung U_c von 253 V.

Blitzstoßstrom I_{imp}

Hierbei handelt es sich um einen standardisierten Stoßstromverlauf mit der Wellenform 10/350 µs, welcher auch als Impulsstrom bezeichnet wird. Er bildet mit seinen Parametern (Scheitelwert, Ladung, spezifische Energie) die Beanspruchung natürlicher Blitzströme nach.
Blitzstoßströme (10/350 µs) gelten für SPDs vom Typ 1. Sie müssen solche Blitzstoßströme mehrmals zerstörungsfrei ableiten können.

Nennableitstoßstrom I_n

Der Nennableitstoßstrom I_n ist der Scheitelwert des Stromes, der durch das Überspannungsschutzgerät (SPD) fließt. Er hat die Stoßstrom-Wellenform 8/20 µs und ist bemessen für die Klassifizierung der Prüfung von SPDs Typ 2.

Schutzpegel U_p

Mit dem Schutzpegel eines SPDs wird der höchste Momentanwert der Spannung an den Klemmen eines SPDs bezeichnet und gleichzeitig deren Fähigkeit charakterisiert, Überspannungen auf einen Restpegel zu begrenzen.

Je nach SPD-Typ wird der Schutzpegel aus folgenden Einzelprüfungen bestimmt:

- Ansprechstoßspannung 1,2/50 µs (100 %)
- Restspannung U_{res} bei Nennableitstoßstrom (nach DIN EN 61643-11).

Die Auswahl der Überspannungsschutzgeräte entsprechend ihres Einsatzortes erfolgt in Übereinstimmung der nach DIN EN 60664-1 (VDE 0110-1) beschriebenen Überspannungskategorien. Es ist zu beachten, dass der geforderte Mindestwert von 2,5 kV für ein 230/400 V Drehstromsystem nur für Betriebsmittel der festen elektrischen Installation gilt. Von ihr gespeiste Geräte in den Endstromkreisen bedürfen eines weitaus geringeren Schutzpegels als 2,5 kV.
Nach DIN VDE 0100-534 ist für eine 230/400 V-Niederspannungsverbraucheranlage – für Verbraucher nach der Überspannungs-Kategorie I – ein Mindestschutzpegel von 1,5 kV gefordert. Dieser Mindestschutzpegel kann durch einen koordinierten Aufbau von SPDs Typ 1 und SPDs Typ 2 oder durch den Einsatz eines Kombi-Ableiters vom Typ 1 realisiert werden.

Kurzschlussfestigkeit I_{SCCR}

Hierbei handelt es sich um den Wert des betriebsfrequenten, prospektiven Kurzschlussstromes, der von dem Überspannungsschutzgerät bei Vorschaltung seiner zugeordneten Vorsicherung (Backup-Schutzes) sicher beherrscht wird.

Folgestromlöschvermögen I_{fi} (bei U_c)

Das Folgestromlöschvermögen ist der unbeeinflusste (prospektive) Effektivwert des Netzfolgestromes, der vom Überspannungsschutzgerät beim Anliegen von U_c selbständig gelöscht werden kann.
Nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) und DIN VDE 0100-534 sollte das Folgestromlöschvermögen der SPDs dem maximal zu erwartenden Kurzschlussstrom am Einbauort der SPDs entsprechen. Im Falle von Industrieverteilungen mit zu hohen Kurzschlussströmen ist eine passende Vorsicherung für das Schutzgerät zu wählen, die den Netzfolgestrom durch das Schutzgerät unterbricht.
Nach DIN VDE 0100-534 und nach DIN EN 61643-11 (VDE 0675-6-11) müssen SPDs, die zwischen Neutralleiter und PE-Leiter angeschlossen sind, und bei denen nach dem Ansprechen ein netzfrequenter Folgestrom auftreten kann (z. B. Funkenstrecken), ein Folgestromlöschvermögen von $I_{fi} \geq 100\ A_{eff}$ aufweisen.

Folgestrombegrenzung (bei SPDs Typ 1 auf Funkenstreckenbasis)

Als Folgestrombegrenzung bezeichnet man die Fähigkeit eines SPDs auf Funkenstreckenbasis, auftretende Netzfolgeströme

derart stark zu begrenzen, dass der tatsächlich fließende Strom deutlich kleiner ist als der am Einbauort mögliche Kurzschlussstrom.
Durch eine hohe Folgestrombegrenzung wird verhindert, dass vorgelagerte Schutzelemente (z. B. Sicherungen) durch das Fließen eines zu hohen Netzfolgestromes zum Auslösen gebracht werden.
Besonders bei SPDs mit niedrigem Schutzpegel auf Funkenstreckenbasis ist die Folgestrombegrenzung ein wichtiger Parameter für die Verfügbarkeit der elektrischen Anlage. Diesem Umstand wird auch in der VDN-Richtlinie 2004-08: „Überspannungs-Schutzeinrichtungen Typ 1. Richtlinie für den Einsatz von Überspannungs-Schutzeinrichtungen (ÜSE) Typ1 (bisher Anforderungsklasse B) in Hauptstromversorgungssystemen", Abschnitt 5.4, Rechnung getragen.
Moderne folgestrombegrenzende Funkenstrecken erreichen sogar eine Selektivität zu sehr kleinen Sicherungen im Bereich 20 ... 35 AgL/gG.

Koordination

Zur Sicherstellung eines selektiven Wirkens der unterschiedlichen SPDs ist eine energetische Koordination der einzelnen SPDs untereinander unabdingbar. Dabei ist das Grundprinzip der energetischen Koordination dadurch gekennzeichnet, dass jede Schutzstufe nur so viel Störenergie ableitet, für die das SPD ausgelegt ist. Beim Auftreten höherer Störenergien muss die dem SPD vorgeschaltete Schutzstufe, z. B. SPD Typ 1, die Ableitung des Stoßstromes übernehmen und die nachgeschalteten Schutzgeräte entlasten. Eine derartige Koordination muss alle möglichen Störereignisse, wie Schaltüberspannungen, Blitzteilströme usw., berücksichtigen. Ein Nachweis der energetischen Koordination ist gemäß DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4), DIN VDE 0100-534 und der VDN-Richtlinie 2004-08: „Überspannungs-Schutzeinrichtungen Typ 1. Richtlinie für den Einsatz von Überspannungs-Schutzeinrichtungen (ÜSE) Typ1 (bisher Anforderungsklasse B) in Hauptstromversorgungssystemen", durch den Hersteller zu erbringen.
Bei der Verwendung von Geräten verschiedener Hersteller kann man ohne spezielle Berechnungen oder einen Labortest nicht von einer funktionierenden Koordination ausgehen, wie im Merkblatt 19 des ABB (Ausschuss für Blitzschutz und Blitzforschung des VDE) beschrieben.
Selbstverständlich sind die Geräte der Red/Line-Produktfamilie bezüglich der energetischen Koordination aufeinander abgestimmt und geprüft.

TOV-Spannung

Mit einer TOV-Spannung (**TOV** = **T**emporary **O**ver **V**oltage) werden netzfrequente zeitweilige (temporäre) Überspannungen bezeichnet, die aufgrund von Fehlern innerhalb des Mittelspannungs- und Niederspannungsnetzes entstehen können.
Für TN-Systeme und für den L-N-Pfad in TT-Systemen gilt bei einer Bemessungsdauer von 5 Sekunden $U_{TOV} = 1{,}45 \times U_0$, wobei U_0 die Nennwechselspannung der Außenleiter gegen Erde darstellt. Für 230/400 V-Systeme ergibt sich somit für SPDs zwischen L und N eine zu berücksichtigende TOV-Spannung von $U_{TOV} = 1{,}45 \times 230\ V = 333{,}5\ V$.
Im Falle von TOVs, die aufgrund von Erdfehlern innerhalb des Hochspannungssystems entstehen, gilt für den N-PE-Pfad in TT-Systemen bei einer Bemessungsdauer von 200 ms $U_{TOV} = 1200\ V$.
Die Anwendungsnorm DIN VDE 0100-534 fordert für SPDs in Niederspannungsverbraucheranlagen eine Festigkeit gegenüber TOV (TOV-Festigkeit). Die Geräte der Red/Line-Produktfamilie sind entsprechend DIN EN 61643-11 nach TOV-Spannungen bemessen und erfüllen die Anforderungen aus DIN VDE 0100-534.

8.1.2 Einsatz von SPDs in verschiedenen Systemen

Maßnahmen zur Sicherstellung des Personenschutzes haben immer Vorrang vor Maßnahmen des Überspannungsschutzes. Da beide Maßnahmen in direktem Zusammenhang mit der Art der verwendeten Systeme und, daraus folgend, auch mit dem Einsatz von Überspannungsschutzgeräten (SPDs) stehen, seien im weiteren Verlauf TN-, TT- und IT-Systeme und der unterschiedliche Einsatz von SPDs darin beschrieben. Elektrische Ströme, die über den menschlichen Körper fließen, können gefährliche Auswirkungen haben. Deshalb sind Schutzmaßnahmen zur Verhinderung gefährlicher Körperdurchströmungen in jeder elektrischen Anlage notwendig. Durch Isolieren, Abdecken, Umhüllen oder Anordnen der im ungestörten Betrieb unter Spannung stehenden Teile muss deren Berühren ausgeschlossen werden, wenn dadurch eine gefährliche Körperdurchströmung möglich ist. Diese Schutzmaßnahme wird als „Schutz gegen elektrischen Schlag unter normalen Bedingungen" bezeichnet. Darüber hinaus darf natürlich auch dann keine Gefährdung durch eine Körperdurchströmung entstehen, wenn infolge eines Fehlers, z. B. einer schadhaften Isolierung, die Spannung auf das Metallgehäuse (Körper eines elektrischen Betriebsmittels) verschleppt wird. Dieser Schutz vor Gefahren, der sich im Fehlerfall aus einer Berührung mit Körpern oder fremden, leitfähigen Teilen ergeben kann, wird „Schutz gegen elektrischen Schlag unter Fehlerbedingungen" genannt.

In der Regel beträgt die Grenze der dauernd zulässigen Berührungsspannung U_L bei Wechselspannungen 50 V und bei Gleichspannung 120 V.
Höhere Berührungsspannungen, die im Fehlerfall auftreten können, müssen in Stromkreisen mit Steckdosen innerhalb von 0,4 s selbsttätig abgeschaltet werden. Gleiches gilt auch für

Stromkreise mit ortsveränderlichen Betriebsmitteln der Schutzklasse I, welche während des Betriebes üblicherweise dauernd in der Hand gehalten werden. In allen anderen Stromkreisen müssen höhere Berührungsspannungen innerhalb von 5 s selbsttätig abgeschaltet werden. Die Zeitangaben gelten für TN-Systeme. Bei anderen Netzformen sind u. U. abweichende Abschaltzeiten anzusetzen.

In DIN VDE 0100-410 sind Schutzmaßnahmen bei indirektem Berühren mit Schutzleitern beschrieben. Diese Schutzmaßnahmen wirken im Fehlerfall durch automatische Abschaltung oder Meldung. Bei der Einrichtung der Maßnahmen zum „Schutz gegen elektrischen Schlag unter Fehlerbedingungen" ist eine Zuordnung hinsichtlich der Systemform und Schutzeinrichtung notwendig.
Nach DIN VDE 0100-410 wird ein Niederspannungsverteilungssystem in seiner Gesamtheit von der Stromquelle bis zum letzten Betriebsmittel im Wesentlichen so charakterisiert:

- Erdungsverhältnisse der Stromquelle (z. B. Niederspannungsseite des Ortsnetztransformators) und
- Erdungsverhältnisse der Körper der Betriebsmittel in elektrischen Verbraucheranlagen.

Damit werden als Verteilungssysteme im Wesentlichen drei Grundarten definiert: **TN**-System, **TT**-System und **IT**-System.

Die angewandten Buchstaben haben folgende Bedeutung:

Der **Erste Buchstabe** beschreibt die Erdungsbedingungen der speisenden Stromquelle:

T direkte Erdung eines Punktes der Stromquelle (in der Regel der Sternpunkt der Transformatorwicklung);

I Isolierung aller aktiven Teile von der Erde oder Verbindung eines Punktes der Stromquelle mit der Erde über eine Impedanz.

Der **Zweite Buchstabe** beschreibt die Erdungsbedingungen der Körper der Betriebsmittel der elektrischen Anlage:

T Körper des Betriebsmittels ist direkt geerdet, unabhängig von einer eventuell bestehenden Erdung eines Punktes der Stromversorgung;

N Körper des elektrischen Betriebsmittels ist direkt mit dem Betriebserder (Erdung der Stromquelle) verbunden.

Weitere Buchstaben beschreiben die Anordnung des Neutralleiters und des Schutzleiters:

S Neutralleiter und Schutzleiter sind voneinander getrennt (separat);

C Neutralleiter und Schutzleiter sind (in einem Leiter) kombiniert.

Damit ergeben sich für das TN-System drei mögliche Varianten: **TN-S**-System, **TN-C**-System und **TN-C-S**-System.

Die Schutzeinrichtungen, die in den verschiedenen Systemen installiert werden können, sind:

- Überstromschutzeinrichtung
- Fehlerstromschutzeinrichtung
- Isolationsüberwachungseinrichtung
- Fehlerspannungs-Schutzeinrichtung (in Sonderfällen).

Wie bereits erwähnt, ist eine Zuordnung zwischen Systemform und Schutzeinrichtung notwendig. Somit ergeben sich folgende Zuordnungen:

TN-System

- Überstromschutzeinrichtung
- Fehlerstromschutzeinrichtung

TT-System

- Überstromschutzeinrichtung
- Fehlerstromschutzeinrichtung
- Fehlerspannungs-Schutzeinrichtung (in Sonderfällen)

IT-System

- Überstromschutzeinrichtung
- Fehlerstromschutzeinrichtung
- Isolationsüberwachungseinrichtung.

Diese Maßnahmen des Personenschutzes haben bei der Errichtung von Starkstromanlagen höchste Priorität. Den ergriffenen Schutzmaßnahmen gegen indirektes Berühren mit Schutzleiter unter Berücksichtigung der Systemform und der Schutzeinrichtung haben sich alle anderen Schutzmaßnahmen wie Blitz- und Überspannungsschutz elektrischer Systeme und Anlagen unterzuordnen und dürfen durch den Einsatz von Schutzgeräten zum Blitz- und Überspannungsschutz nicht außer Kraft gesetzt werden. Dabei ist auch der Fehlerfall eines SPDs, und sei er noch so unwahrscheinlich, in Betracht zu ziehen. Dies ist von besonderer Bedeutung, da der Einsatz von Überspannungsschutzgeräten immer zwischen aktiven Leitern und Schutzleiter erfolgt.

In den nachfolgenden Abschnitten wird deshalb der Einsatz von SPDs in verschiedenen Systemformen beschrieben. Diese Schaltungsvorschläge sind der DIN VDE 0100-534 entnommen.

Die aufgezeigten Lösungsbeispiele zeigen den Einsatz von Blitzstrom-Ableitern prinzipiell im Bereich des Hausanschlusskastens, d. h. im Vorzählerbereich. In der DIN VDE 0100-534 wird der Installationsort für Blitzstrom-Ableiter wie folgt definiert: „...in der Nähe des Speisepunktes der Anlage".
Der Einsatz von Blitzstrom-Ableitern im Vorzählerbereich wird durch die VDN-Richtlinie 2004-08: „Überspannungs-Schutzeinrichtungen Typ 1. Richtlinie für den Einsatz von Überspannungs-Schutzeinrichtungen (ÜSE) Typ1 (bisher Anforderungsklasse B) in Hauptstromversorgungssystemen", geregelt.
Diese vom VDN erarbeitete Richtlinie legt Basisanforderungen fest, die je nach VNB (Verteilnetzbetreiber) zu unterschiedlichen technischen Ausführungen führen können.
Die im jeweiligen Versorgungsgebiet bevorzugte technische Ausführung (Systemform) ist beim zuständigen VNB zu erfragen.

8.1.3 Einsatz von SPDs im TN-System

Für das TN-System sind als Schutzeinrichtungen für den „Schutz gegen elektrischen Schlag unter Fehlerbedingungen" Überstromschutz- und Fehlerstromschutzeinrichtungen zugelassen. Das würde für den Einsatz von SPDs bedeuten, dass diese Schutzgeräte nur nach den Schutzeinrichtungen zum „Schutz gegen elektrischen Schlag unter Fehlerbedingungen" angeordnet werden dürfen, um die Personenschutzmaßnahme auch im Fehlerfall eines SPDs sicherzustellen.

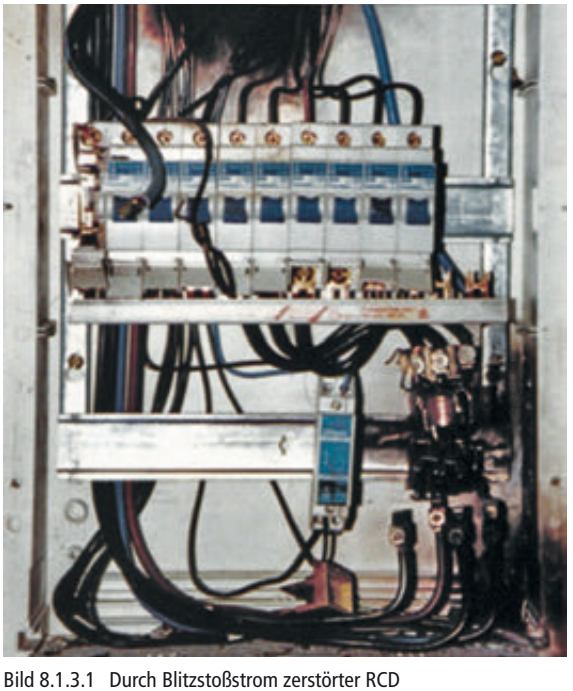


Bild 8.1.3.1 Durch Blitzstoßstrom zerstörter RCD

Wird ein SPD vom Typ 1 oder 2 nach einem Fehlerstromschutzschalter angeordnet, so ist damit zu rechnen, dass aufgrund des abgeleiteten Stoßstromes gegen PE dieser Vorgang von einem Fehlerstromschutzschalter (RCD) als Fehlerstrom interpretiert wird und der Schalter dann den Stromkreis unterbricht. Zusätzlich ist beim Einsatz eines SPDs vom Typ 1 bei der Beanspruchung durch Blitz-Teilströme davon auszugehen, dass der Fehlerstromschutzschalter aufgrund der hohen Dynamik des Blitzstromes mechanisch beschädigt werden würde (**Bild 8.1.3.1**). Damit wäre die Schutzmaßnahme „Schutz gegen elektrischen Schlag unter Fehlerbedingungen" außer Kraft gesetzt. Dies ist natürlich zu vermeiden, sodass der Einsatz des Blitzstrom-Ableiters vom Typ 1 wie auch der Einsatz des SPDs vom Typ 2 vor dem Fehlerstromschutzschalter erfolgen sollte. Damit kommt für SPDs vom Typ 1 und 2 als Maßnahme zum „Schutz gegen elektrischen Schlag unter Fehlerbedingungen" nur der Einsatz von Überstromschutzeinrichtungen infrage. Die Verwendung der SPDs ist deshalb immer im Zusammenwirken mit einer Sicherung als Überstromschutzeinrichtung zu betrachten. Ob eine zusätzliche separate Vorsicherung im Ableiterzweig vorzusehen ist, hängt von der Größe der am nächsten vorgelagerten Einspeisesicherung und der für das SPD maximal zulässigen Vorsicherung ab. Für den Einsatz von SPDs Typ 1, 2 und 3 gelten im TN-System die in den **Bildern 8.1.3.2 und 8.1.3.3 a und b** ersichtlichen höchsten Dauerspannungen.
Ein Anschlussbeispiel für den Einsatz von Blitzstrom-Ableitern und Überspannungsschutzgeräten im TN-C-S-System wird in **Bild 8.1.3.4** gezeigt. Dort ist zu erkennen, dass der Einsatz von SPDs Typ 3 nach der Fehlerstromschutzeinrichtung (RCD) erfolgt.
Hierzu ist anzumerken, dass aufgrund der Häufigkeit von Schaltüberspannungen in Endstromkreisen SPD Typ 3 primär zum Schutz von Querüberspannungen eingesetzt werden. Diese Überspannungen treten in der Regel zwischen L und N auf. Mit einer Überspannungsbegrenzung zwischen L und N wird kein Stoßstrom gegen PE abgeleitet, sodass dieser Vorgang durch die RCD auch nicht als Fehlerstrom interpretiert werden kann. Im Übrigen sind SPDs Typ 3 für ein Nennableit-

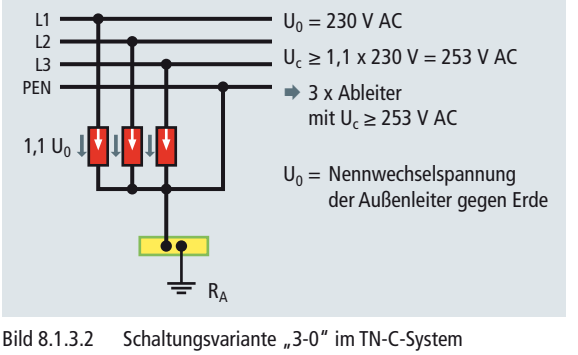


Bild 8.1.3.2 Schaltungsvariante „3-0" im TN-C-System

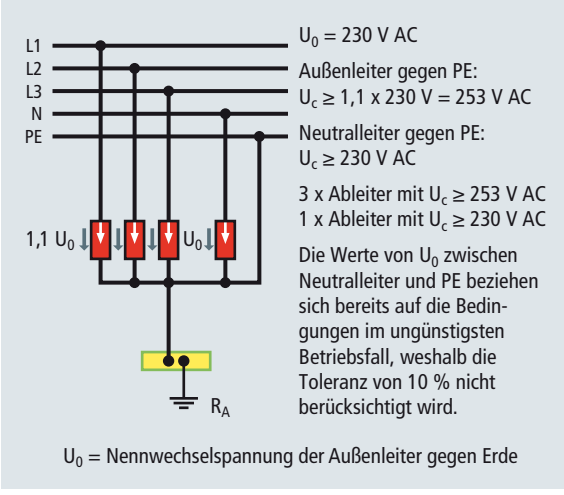


Bild 8.1.3.3a Schaltungsvariante „4-0“ im TN-S-System

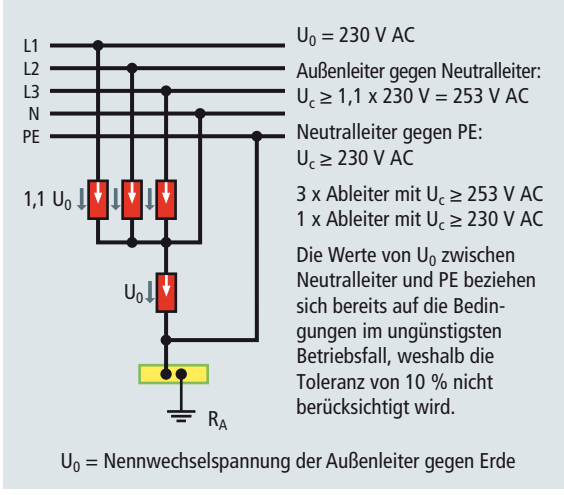


Bild 8.1.3.3b Schaltungsvariante „3+1“ im TN-S-System

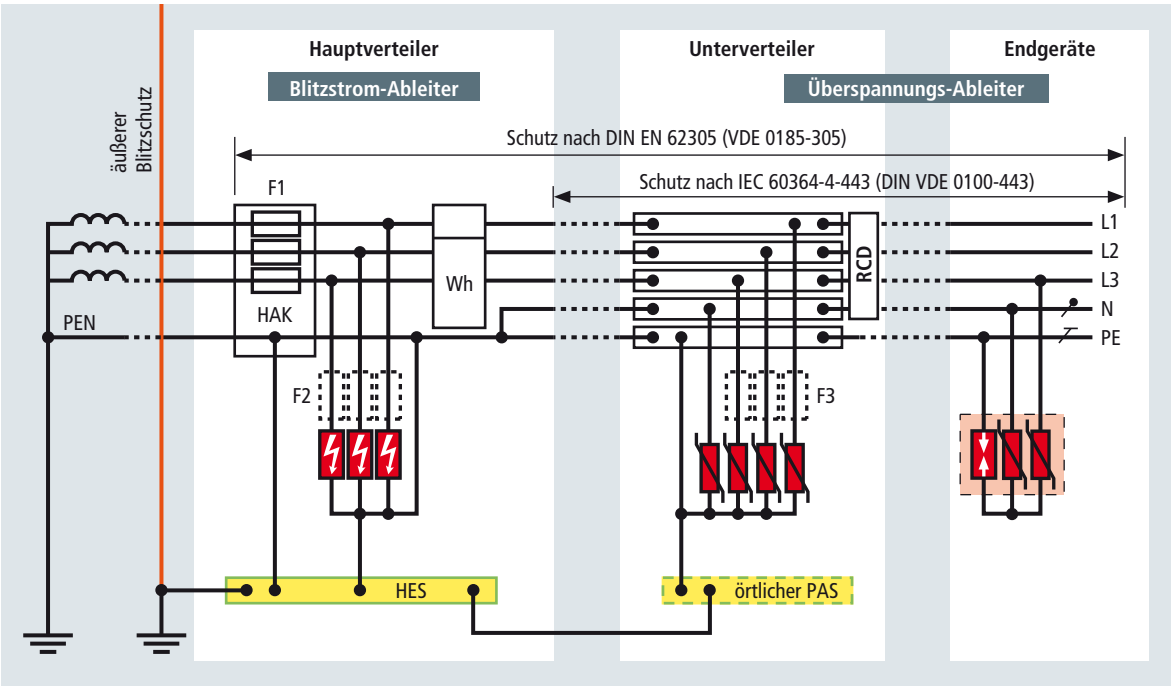


Bild 8.1.3.4 Einsatz von SPDs im TN-C-S-System

vermögen von 1,5 kA ausgelegt. Diese Werte sind ausreichend, wenn vorgelagerte Schutzstufen der SPDs Typ 1 und 2 die Ableitung energiereicher Impulse übernehmen. Beim Einsatz einer stoßstromfesten RCD sind diese Stoßströme nicht in der Lage, die RCD auszulösen oder eine mechanische Beschädigung herbeizuführen. Die **Bilder 8.1.3.5 bis 8.1.3.11** zeigen den Einsatz von SPDs im Rahmen des Blitzschutzzonen-Konzeptes und der dafür erforderlichen Blitz- und Überspannungsschutzmaßnahmen für TN-Systeme.

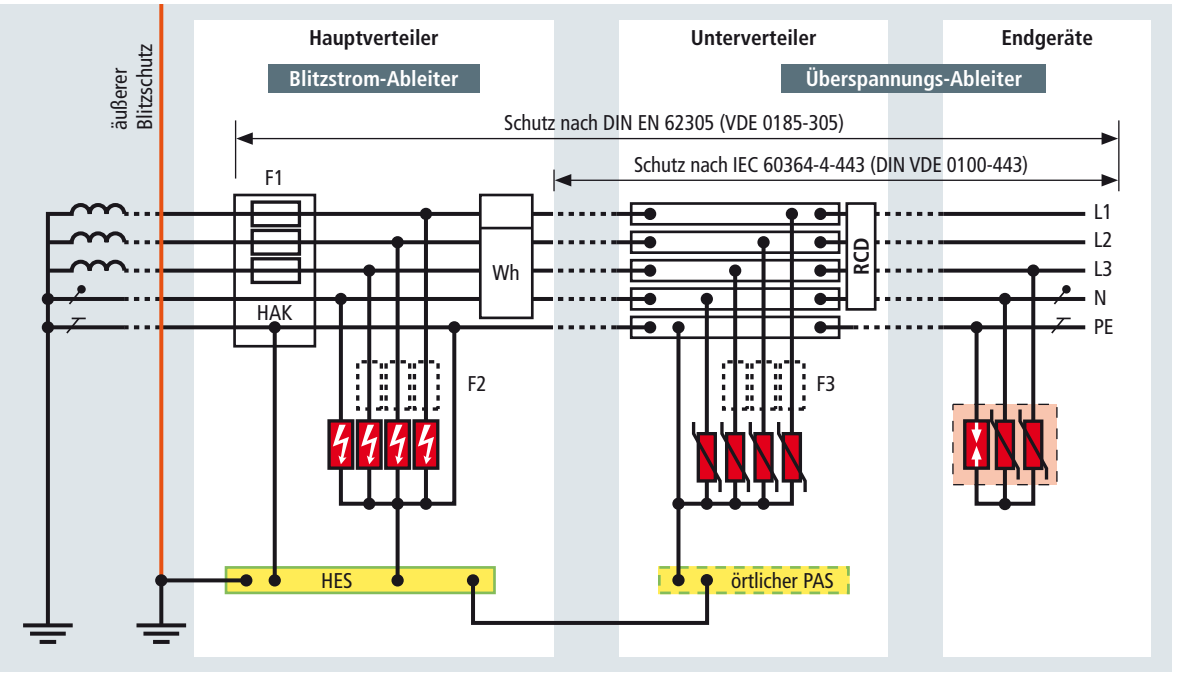


Bild 8.1.3.5 Einsatz von SPDs im TN-S-System

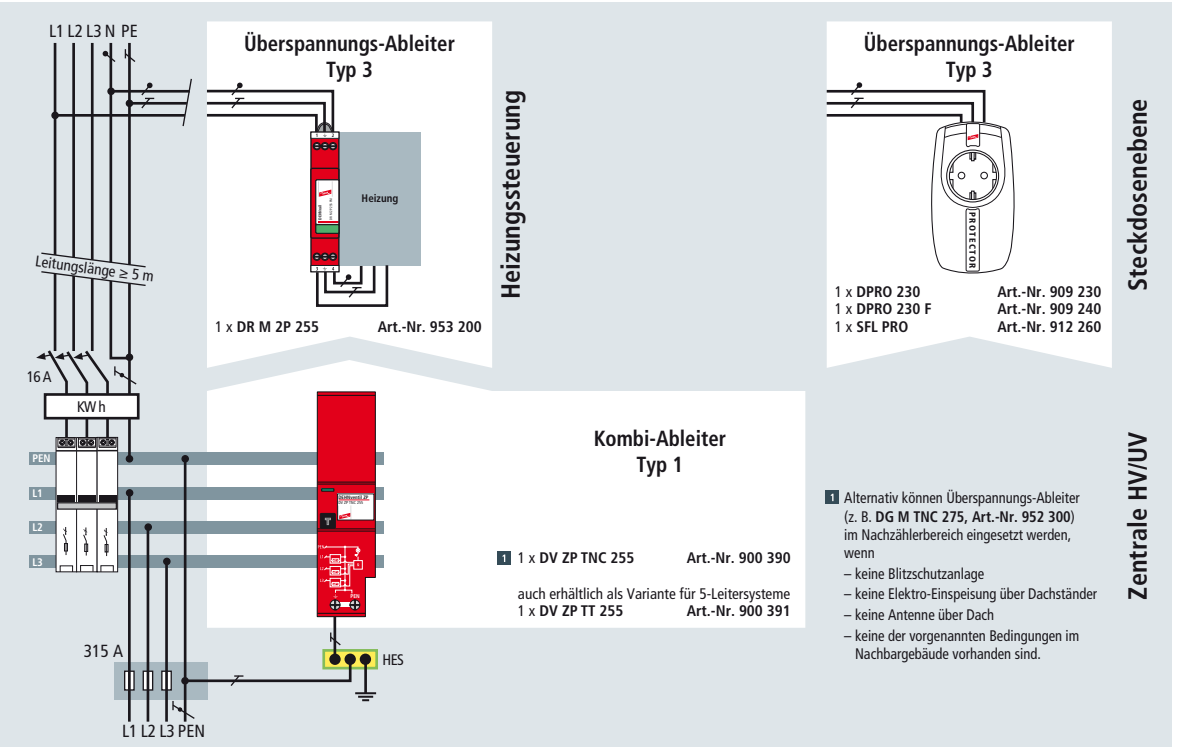


Bild 8.1.3.6 Einsatz von SPDs im TN-System – Beispiel Einfamilienwohnhaus

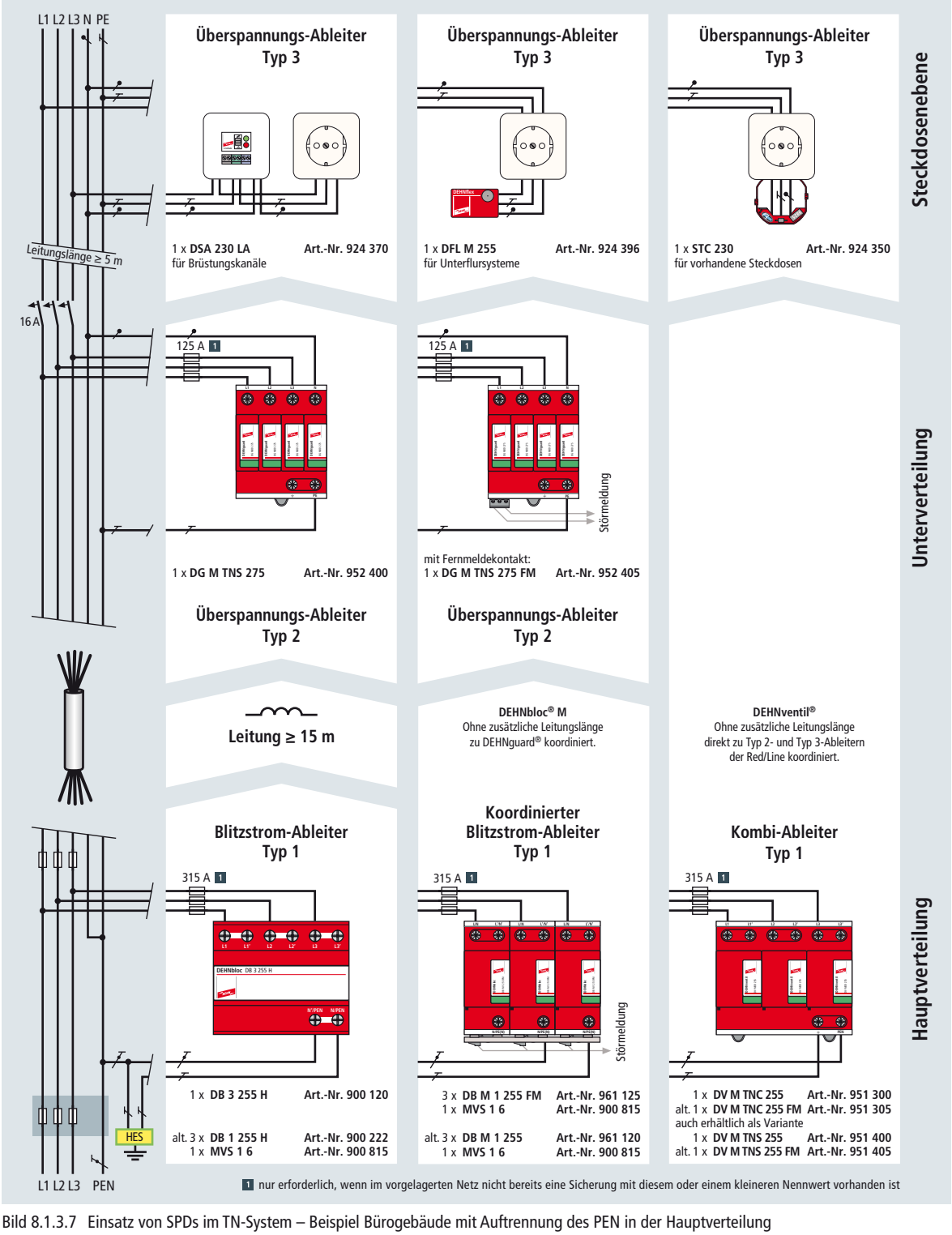


Bild 8.1.3.7 Einsatz von SPDs im TN-System – Beispiel Bürogebäude mit Auftrennung des PEN in der Hauptverteilung

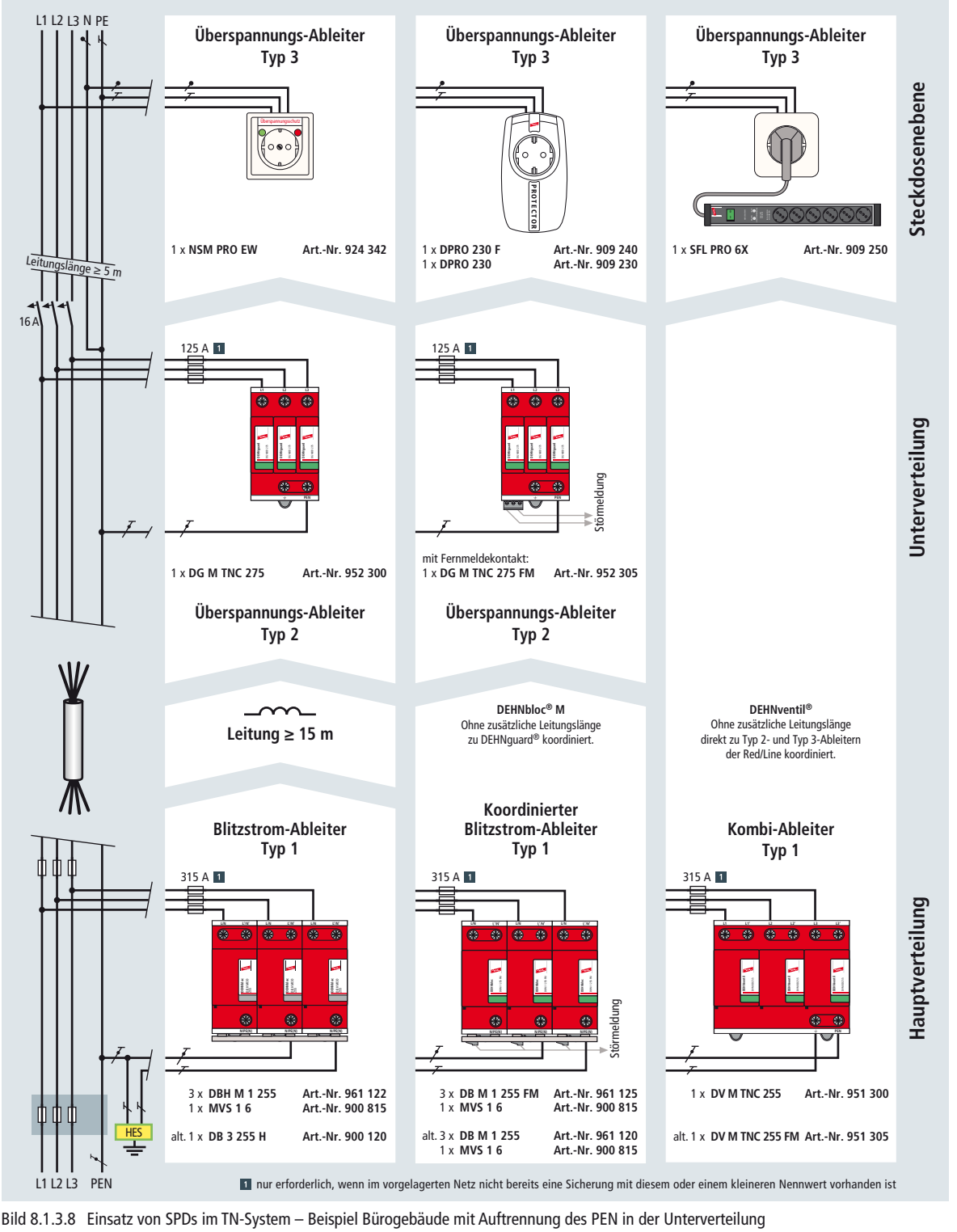


Bild 8.1.3.8 Einsatz von SPDs im TN-System – Beispiel Bürogebäude mit Auftrennung des PEN in der Unterverteilung

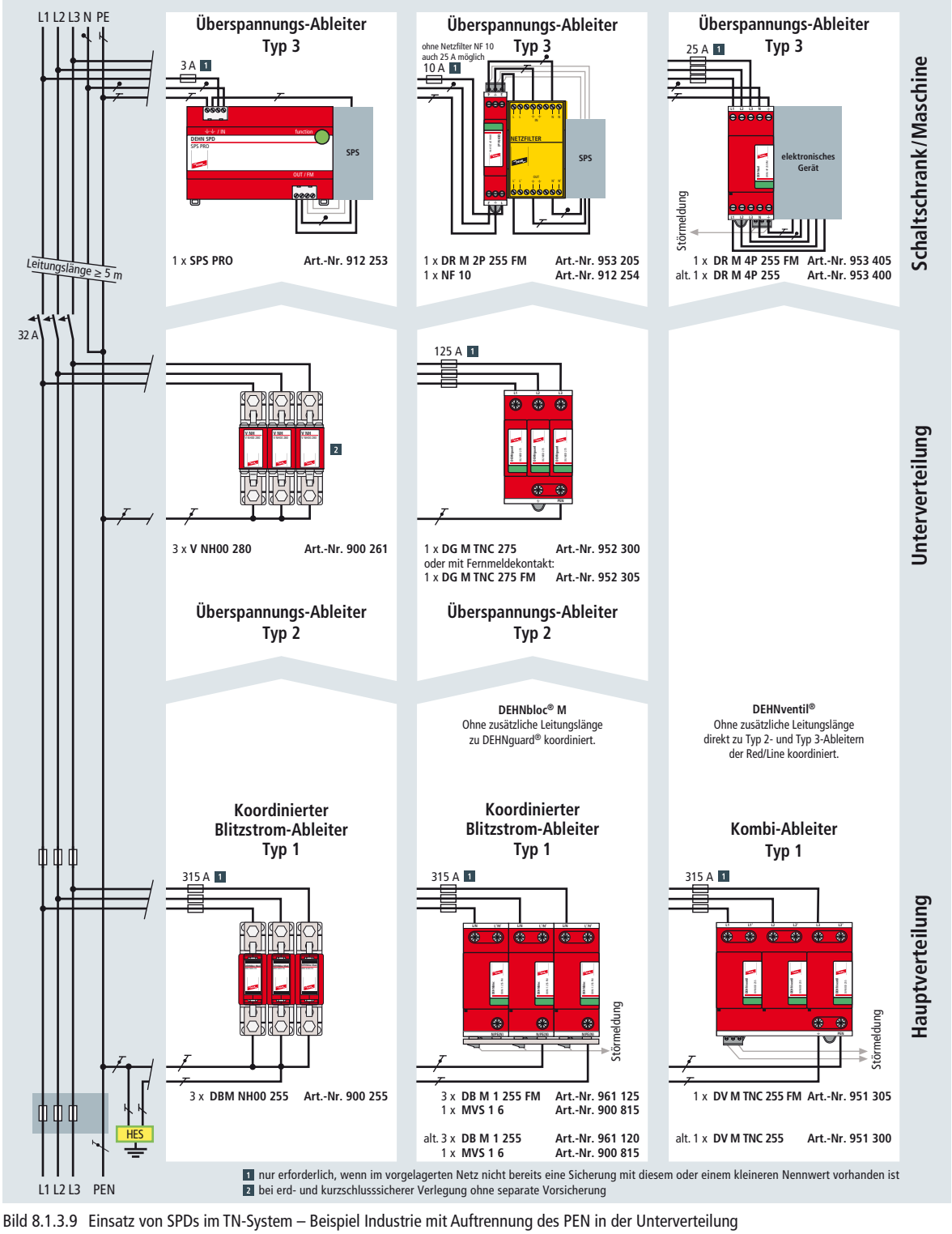


Bild 8.1.3.9 Einsatz von SPDs im TN-System – Beispiel Industrie mit Auftrennung des PEN in der Unterverteilung

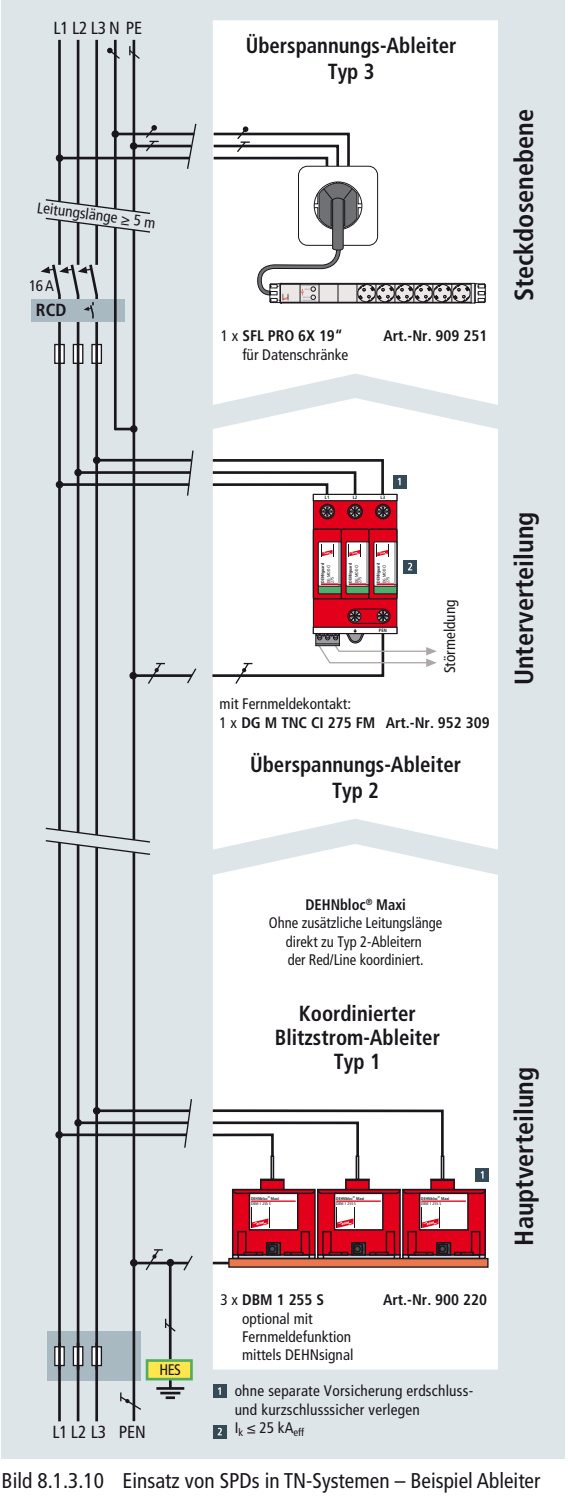


Bild 8.1.3.10 Einsatz von SPDs in TN-Systemen – Beispiel Ableiter mit integrierter Vorsicherung im Industriegebäude

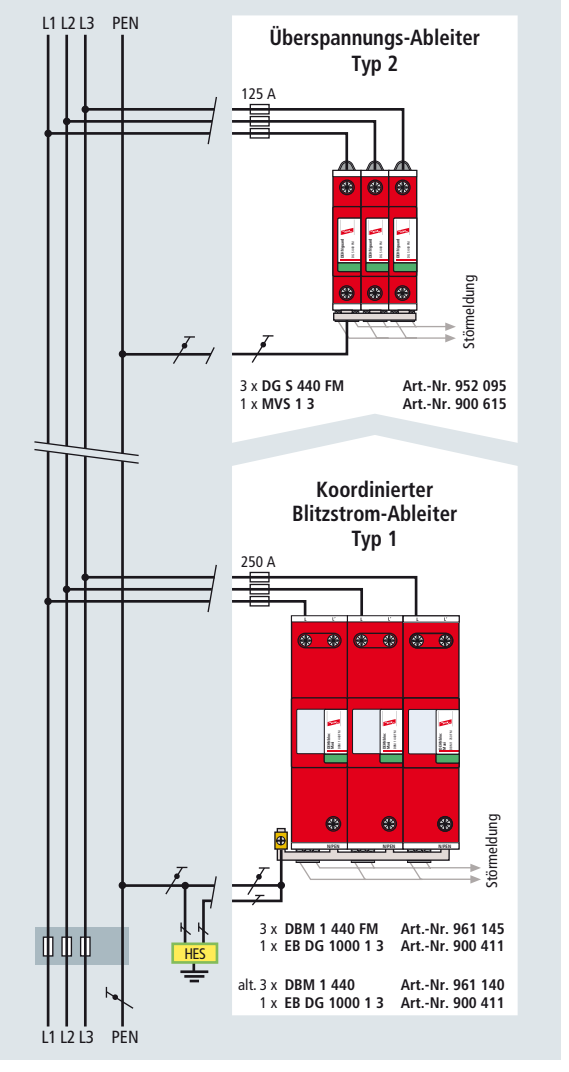


Bild 8.1.3.11 Einsatz von SPDs im TN-System – Beispiel Industrieeinsatz 400/690 V

8.1.4 Einsatz von SPDs im TT-System

Für das TT-System sind als Schutzeinrichtungen für den „Schutz gegen elektrischen Schlag unter Fehlerbedingungen" Überstromschutzeinrichtungen, Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCD) und in Sonderfällen auch Fehlerspannungs-Schutzeinrichtungen (FU-Schutzeinrichtungen) zugelassen. Für den Einsatz von Blitzstrom- und Überspannungs-Ableitern im TT-System würde dies prinzipiell bedeuten, dass sie nur nach den oben beschriebenen Schutzeinrichtungen angeordnet werden dürfen, um im Fehlerfalle eines Überspannungsschutzgerätes (SPD) den „Schutz gegen elektrischen Schlag unter Fehlerbedingungen" sicherzustellen.

Wie bereits im Abschnitt 8.1.3 beschrieben, ist bei einer Anordnung der SPDs vom Typ 1 und 2 nach einem RCD damit zu rechnen, dass aufgrund des abgeleiteten Stoßstromes gegen PE dieser Ableitvorgang von dem RCD als Fehlerstrom interpretiert wird und der RCD dann den Stromkreis unterbricht. Beim Einsatz von SPDs vom Typ 1 ist zusätzlich davon auszugehen, dass ebenso wie im TN-System der RCD durch die Dynamik des abgeleiteten Blitz-Teilstromes beim Ansprechen der SPDs Typ 1 mechanisch beschädigt werden würde. Damit wäre die Schutzeinrichtung zum „Schutz gegen elektrischen Schlag unter Fehlerbedingungen" defekt und die Schutzmaßnahme außer Kraft gesetzt. Ein derartiger Zustand, der eine Personengefährdung nach sich ziehen kann, ist natürlich zu vermeiden. Deshalb hat die Anordnung von SPDs vom Typ 1 und 2 grundsätzlich vor der Fehlerstromschutzeinrichtung im TT-System zu erfolgen. Die SPDs vom Typ 1 und 2 müssen im TT-System so angeordnet sein, dass die Bedingungen für den Einsatz von Überstromschutzeinrichtungen zum „Schutz gegen elektrischen Schlag unter Fehlerbedingungen" erfüllt werden.

Im Fehlerfall, d. h. bei einem defekten SPD, müssen Kurzschlussströme zum Fließen kommen, die eine automatische Abschaltung der Überstromschutzeinrichtungen in 5 s einleiten. Würde die Anordnung der Ableiter im TT-System so erfolgen, wie in den **Bildern 8.1.3.4 und 8.1.3.5** für das TN-System gezeigt, so würden sich im Fehlerfalle keine Kurzschlussströme ausbilden, sondern nur Erdschluss-Ströme. Diese Erdschluss-Ströme bringen jedoch unter Umständen eine vorgelagerte Überstromschutzeinrichtung nicht in der geforderten Zeit zum Auslösen.

Die Anordnung der SPDs Typ 1 und 2 im TT-System erfolgt deshalb L gegen N. Mit dieser Anordnung soll sichergestellt wer-

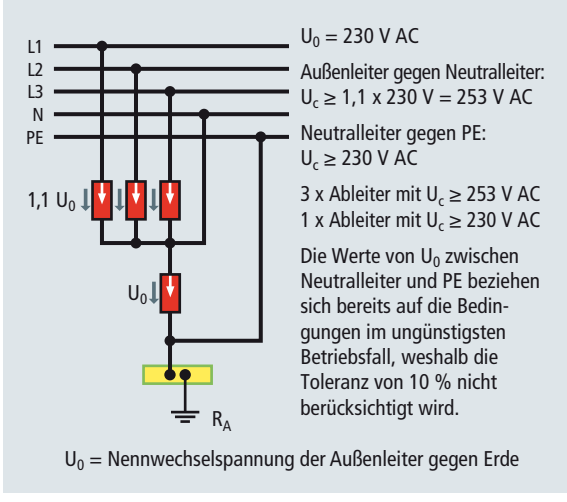


Bild 8.1.4.1 TT-System (230/400 V); Schaltungsvariante „3+1"

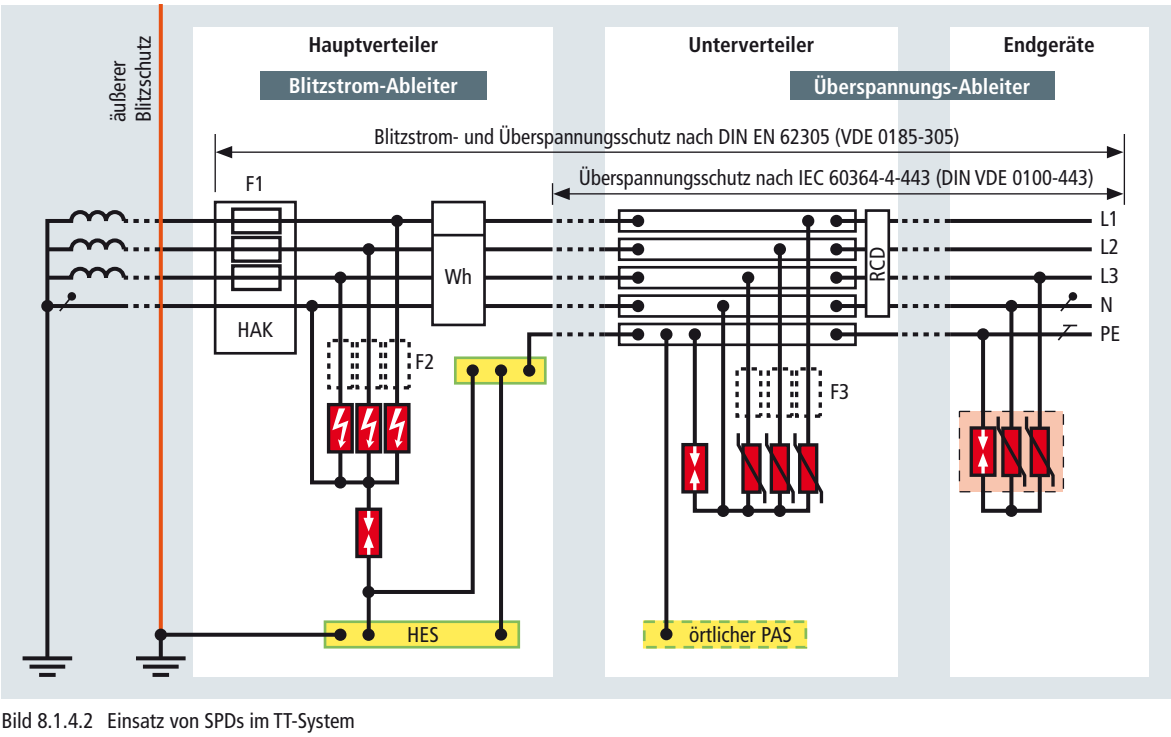


Bild 8.1.4.2 Einsatz von SPDs im TT-System

den, dass sich im Falle eines defekten Schutzgerätes im TT-System ein Kurzschlussstrom ausbilden kann und die am nächsten vorgelagerte Überstromschutzeinrichtung zum Ansprechen bringt. Da jedoch Blitzströme grundsätzlich gegen Erde, d. h. PE, auftreten, ist hier zusätzlich ein Ableitpfad zwischen N und PE herzustellen.
Diese sogenannten N-PE-Ableiter müssen besondere Anforderungen erfüllen, da hier zum einen die Summe der Ableit-Teilströme aus L1, L2, L3 und N geführt werden muss und zum anderen, bedingt durch eine mögliche Sternpunktverlagerung, ein Folgestromlöschvermögen von 100 A_{eff} bestehen muss.
Weiterhin muss ein N-PE-Ableiter erhöhten TOV-Anforderungen gerecht werden. Nach DIN VDE 0100-534 muss eine Festigkeit gegenüber 1200 V für eine Einwirkdauer von 200 ms nachgewiesen werden.
Für den Einsatz von SPDs im TT-System zwischen L und N gelten die höchsten Dauerspannungen nach **Bild 8.1.4.1**.

Die Blitzstromtragfähigkeit der SPDs Typ 1 wird nach den Gefährdungspegeln I, II, III/IV, gemäß DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1) bemessen.
Für die Blitzstromtragfähigkeit der SPDs zwischen N und PE sind nachfolgende Werte einzuhalten:

Gefährdungspegel:
I $I_{imp} \geq$ 100 kA (10/350 µs)
II $I_{imp} \geq$ 75 kA (10/350 µs)
III/IV $I_{imp} \geq$ 50 kA (10/350 µs).

Die SPDs Typ 2 werden ebenfalls zwischen L und N sowie N und PE geschaltet. Für SPDs Typ 2 zwischen N und PE besteht die Forderung nach einem Ableitvermögen von mindestens $I_n \geq$ 20 kA (8/20 µs) für Drehstromsysteme und $I_n \geq$ 10 kA (8/20 µs) für Wechselstromsysteme.
Da eine Koordination immer auf der Basis der ungünstigsten zu erwartenden Bedrohungsgrößen (Wellenform 10/350 µs) vorgenommen wird, ist für N-PE-Ableiter des Typs 2 aus der Red/Line-Produktfamilie ein Wert von 12 kA (10/350 µs) zugrunde gelegt.
Anschlussbeispiele für den Einsatz von SPDs im TT-System werden in den **Bildern 8.1.4.2 bis 8.1.4.5** gezeigt. Der Einsatz von Überspannungsschutzgeräten des Typs 3 erfolgt hier wie auch im TN-System nach dem RCD. Der von diesem SPD abgeleitete Stoßstrom ist in der Regel so gering, dass dieser Vorgang durch den RCD nicht als Fehlerstrom erkannt wird. Doch auch hierbei sollte auf den Einsatz eines stoßstromfesten RCD Wert gelegt werden.

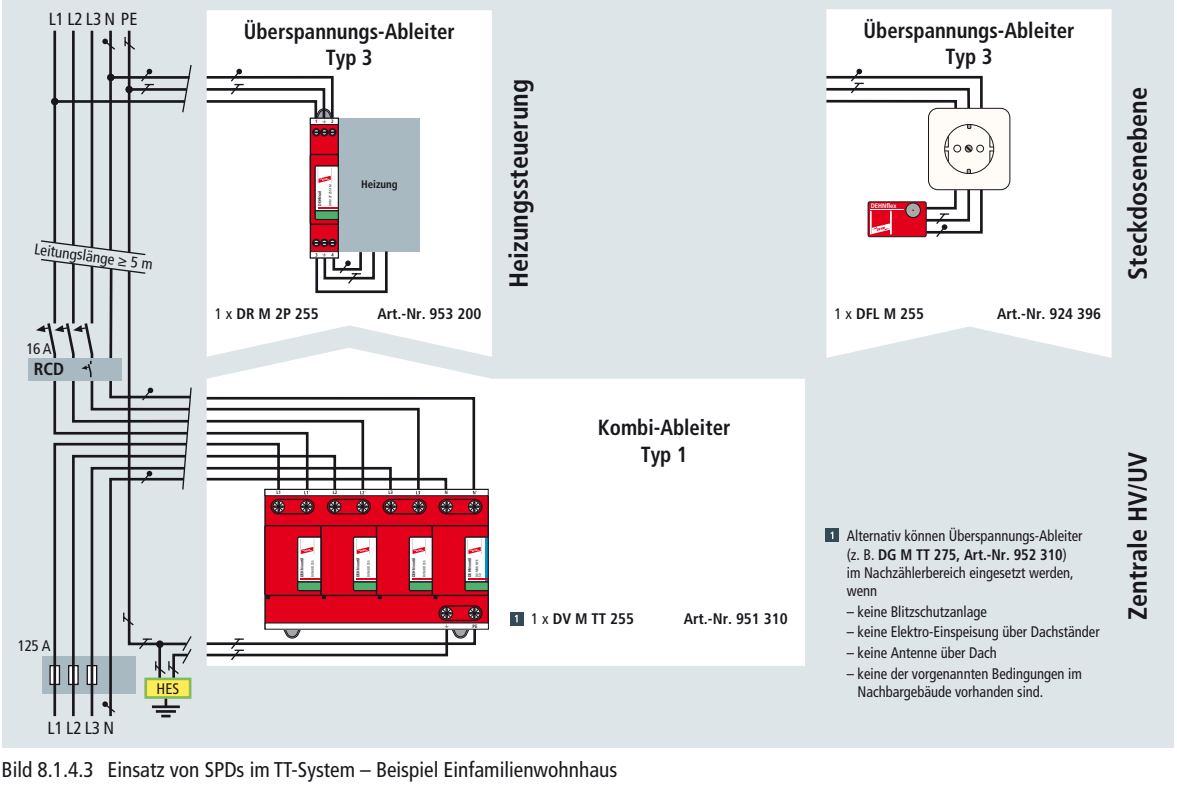


Bild 8.1.4.3 Einsatz von SPDs im TT-System – Beispiel Einfamilienwohnhaus

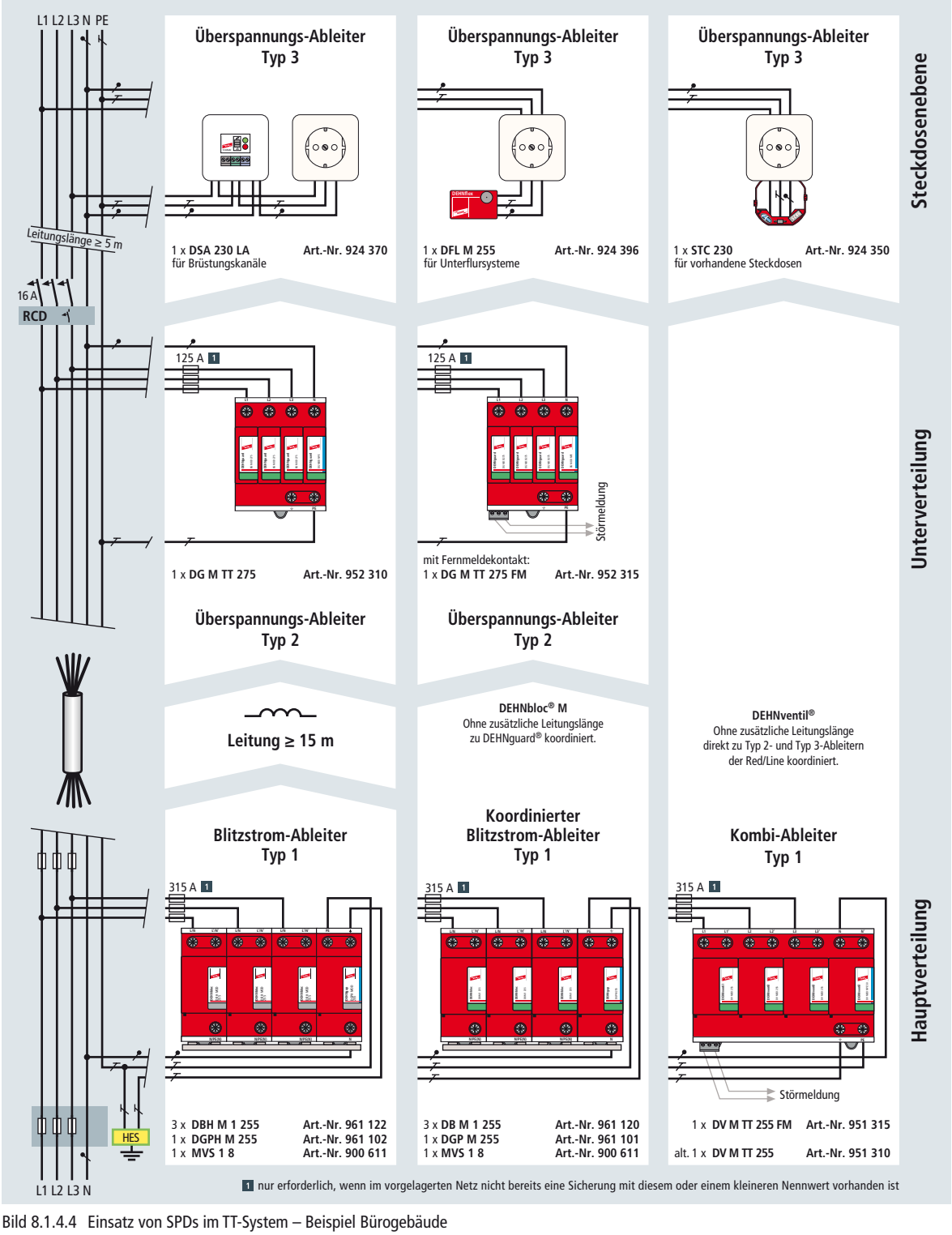


Bild 8.1.4.4 Einsatz von SPDs im TT-System – Beispiel Bürogebäude

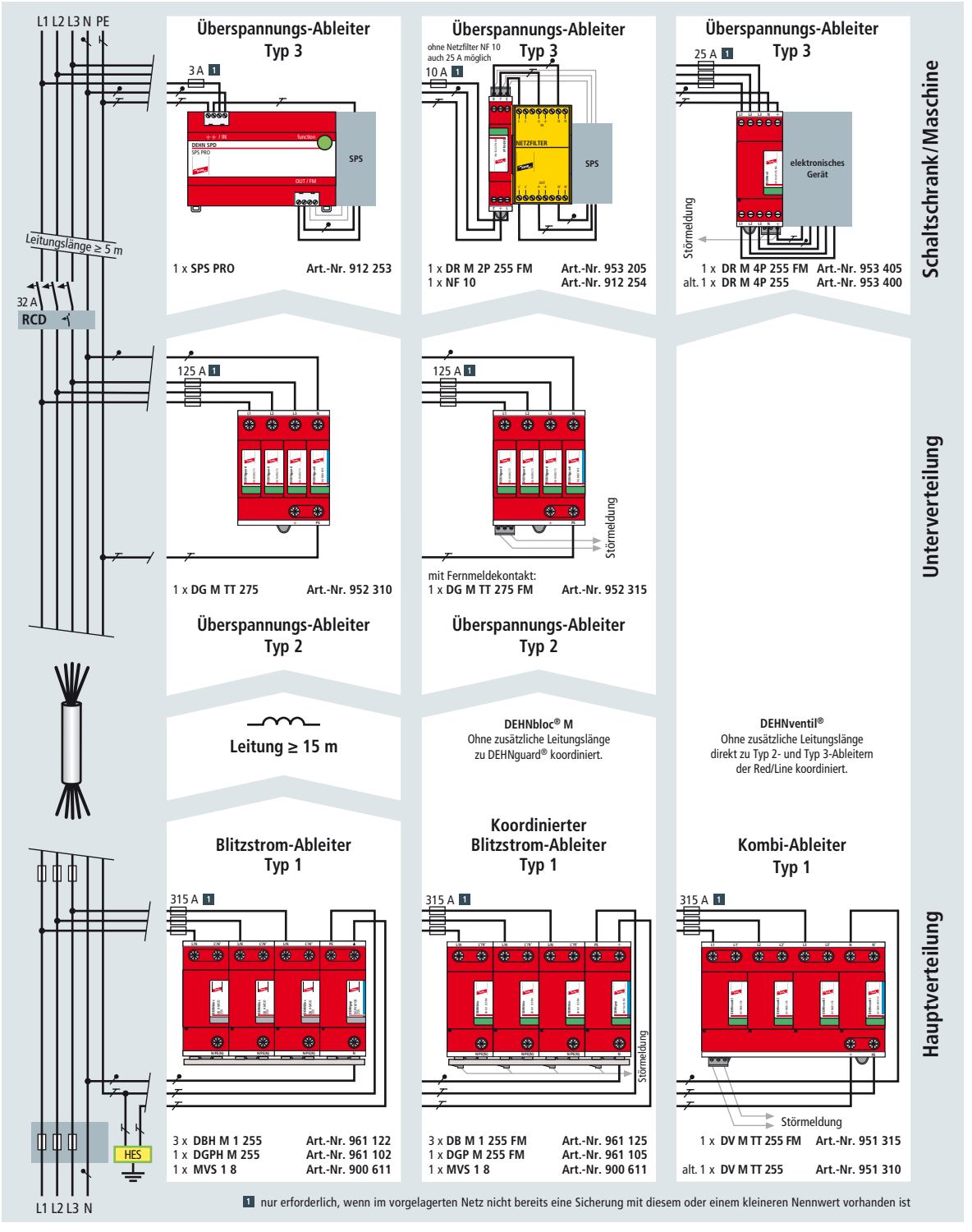


Bild 8.1.4.5 Einsatz von SPDs im TT-System – Beispiel Industrie

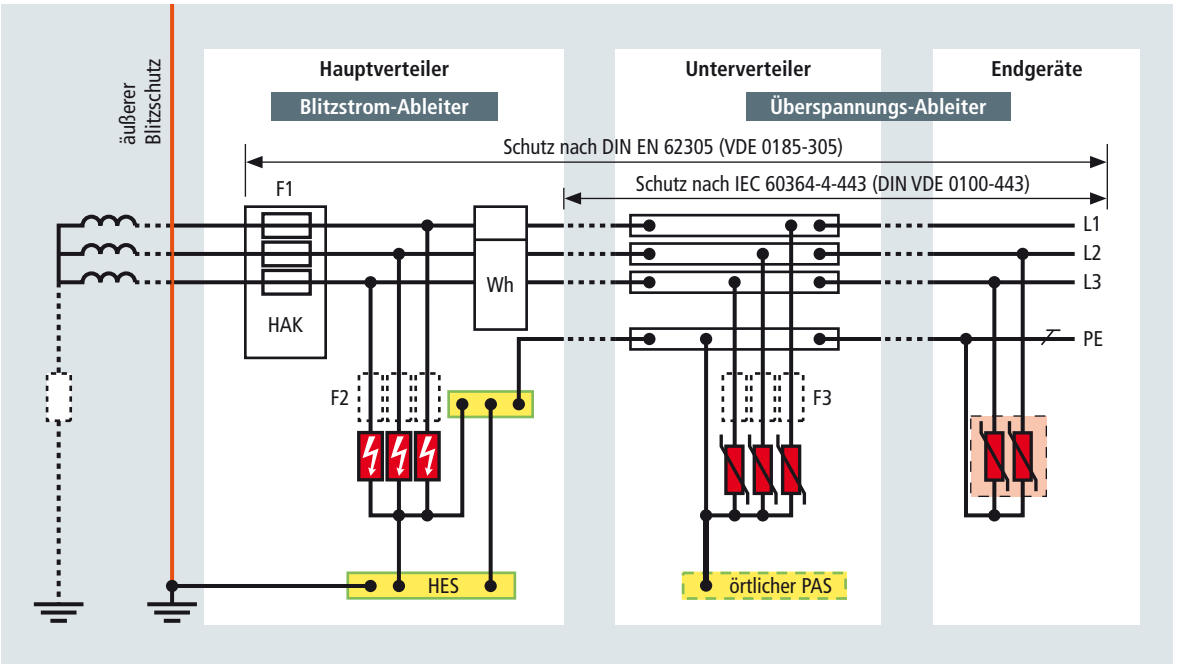


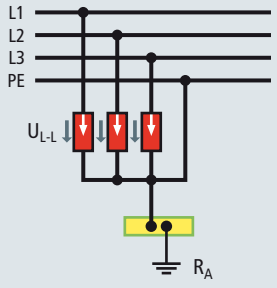
Bild 8.1.5.1 Einsatz von SPDs im IT-System

8.1.5 Einsatz von SPDs im IT-System

Für das IT-System sind als Schutzeinrichtungen für den „Schutz gegen elektrischen Schlag unter Fehlerbedingungen" Überstromschutzeinrichtungen, Fehlerstromschutzeinrichtungen (RCD) und Isolations-Überwachungseinrichtungen zugelassen. Während im TN- oder TT-System der „Schutz gegen elektrischen Schlag unter Fehlerbedingungen" beim Auftreten des ersten Fehlers durch die entsprechenden Abschaltbedingungen der Überstromschutzeinrichtungen oder RCDs sichergestellt ist, erfolgt im IT-System beim ersten Fehler lediglich eine Meldung. Eine zu hohe Berührungsspannung kann nicht entstehen, da beim ersten Fehler im IT-System lediglich ein Erdbezug des Systems hergestellt wird. Das IT-System geht dann hinsichtlich seines Betriebszustandes in ein TN- oder TT-System über. Deshalb kann ein IT-System nach dem ersten Fehler gefahrlos weiter betrieben werden, sodass eingeleitete Arbeiten oder Produktionsprozesse (z. B. in der chemischen Industrie) noch abgeschlossen werden können. Beim ersten Fehler nimmt der Schutzleiter das Potential des fehlerhaften Außenleiters an, was jedoch keine Gefahr darstellt, da über den Schutzleiter alle Körper und berührbaren Metallteile dieses Potential annehmen und somit auch keine gefährlichen Potentialdifferenzen überbrückt werden können. Es gilt jedoch zu beachten, dass beim ersten Fehlerfall des IT-Systems die Spannung der nicht fehlerbehafteten Leiter gegen Erde der Spannung zwischen den Außenleitern entspricht. Damit liegt in einem 230/400 V-IT-System im Falle des ersten Fehlers an den SPDs eine Spannung von 400 V. Diesem möglichen Betriebszustand ist bei der Auswahl der SPDs hinsichtlich ihrer höchsten Dauerspannung Rechnung zu tragen.

Bei der Betrachtung von IT-Systemen wird zwischen IT-Systemen mit mitgeführtem Neutralleiter und IT-Systemen ohne mitgeführtem Neutralleiter unterschieden (**Bild 8.1.5.1**). Für IT-Systeme ohne mitgeführten Neutralleiter werden die SPDs in der sogenannten „3-0"-Schaltung zwischen jedem Außenleiter und den PE-Leiter geschaltet. Für IT-Systeme mit einem mitgeführten Neutralleiter kann sowohl die „4-0"- als auch die „3+1"-Schaltung angewendet werden. Bei der Anwendung der „3+1"-Schaltung ist darauf zu achten, dass im N-PE-Pfad ebenfalls ein SPD mit einem den Systembedingungen entsprechenden Folgestromlöschvermögen einzusetzen ist.
Für den Einsatz von SPDs vom Typ 1, 2 und 3 gelten in IT-Systemen ohne und mit mitgeführtem Neutralleiter die in den **Bildern 8.1.5.2a bis c** dargelegten höchsten Dauerspannungen.

Bei einem zweiten Fehler in einem IT-System muss es dann zur Auslösung einer Schutzeinrichtung kommen. Für den Einsatz von SPDs im IT-System und im Zusammenhang mit einer

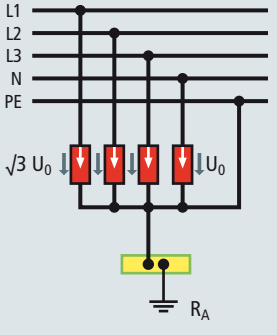


U_{L-L} = 400 V AC

Außenleiter gegen PE:
$U_c \geq 1{,}1 \times 400$ V AC

3 x Ableiter mit $U_c \geq 400$ V AC

Bild 8.1.5.2a IT-System ohne mitgeführten Neutralleiter; „3-0"-Schaltungsvariante



U_0 = 230 V AC

Außenleiter gegen Neutralleiter:
$U_c \geq \sqrt{3} \times 230$ V = 398 V AC

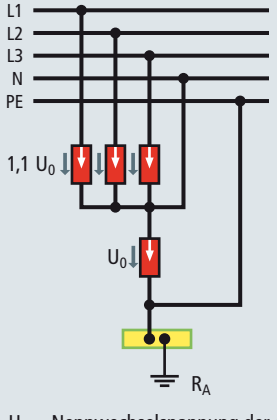
Neutralleiter gegen PE:
$U_c \geq 230$ V AC

3 x Ableiter mit $U_c \geq 398$ V AC
1 x Ableiter mit $U_c \geq 230$ V AC

Die Werte von U_c zwischen Neutralleiter und PE beziehen sich bereits auf die Bedingungen im ungünstigsten Betriebsfall, weshalb die Toleranz von 10 % nicht berücksichtigt wird.

U_0 = Nennwechselspannung der Außenleiter gegen Neutralleiter

Bild 8.1.5.2b IT-System mit mitgeführtem Neutralleiter; „4-0"-Schaltungsvariante



U_0 = 230 V AC

Außenleiter gegen Neutralleiter:
$U_c \geq 1{,}1 \times 230$ V = 253 V AC

Neutralleiter gegen PE:
$U_c \geq 230$ V AC

3 x Ableiter mit $U_c \geq 253$ V AC
1 x Ableiter mit $U_c \geq 230$ V AC

Die Werte von U_c zwischen Neutralleiter und PE beziehen sich bereits auf die Bedingungen im ungünstigsten Betriebsfall, weshalb die Toleranz von 10 % nicht berücksichtigt wird.

U_0 = Nennwechselspannung der Außenleiter gegen Neutralleiter

Bild 8.1.5.2c IT-System mit mitgeführtem Neutralleiter; „3+1"-Schaltungsvariante

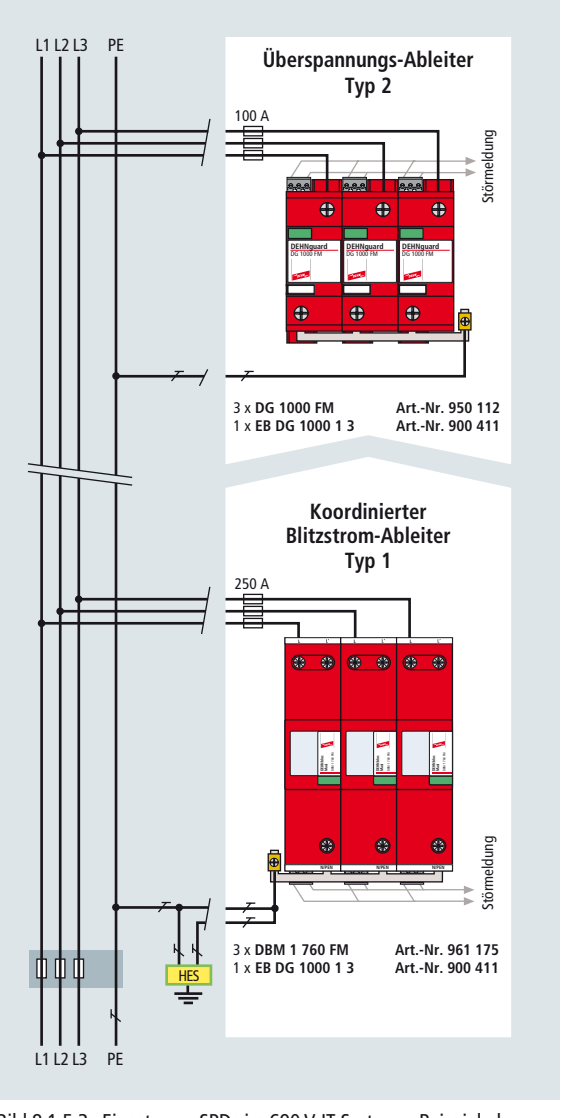


Bild 8.1.5.3 Einsatz von SPDs im 690 V-IT-System – Beispiel ohne mitgeführten Neutralleiter

Schutzeinrichtung für den „Schutz gegen elektrischen Schlag unter Fehlerbedingungen" gelten die unter den Abschnitten 8.1 und 8.2 für das TN- und TT-System gemachten Aussagen. Damit ist auch im IT-System der Einsatz der SPD-Typen 1 und 2 vor dem RCD angeraten.

Bild 8.1.5.3 zeigt den Einsatz von SPDs im IT-System ohne mitgeführten Neutralleiter. Ein Anschlussbeispiel für den Einsatz von SPDs im IT-System mit mitgeführten Neutralleiter veranschaulicht **Bild 8.1.5.4**.

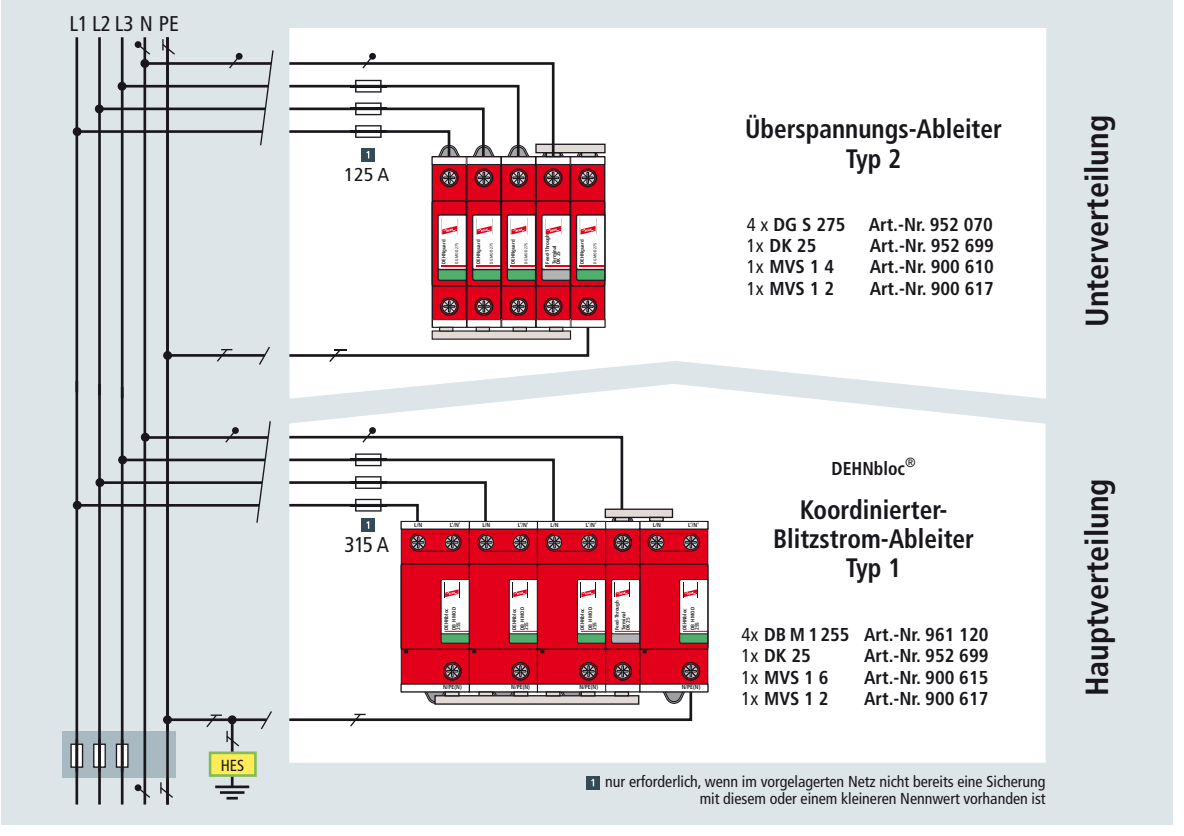


Bild 8.1.5.4 Einsatz von SPDs im 230/400 V-IT-System – Beispiel mit mitgeführtem Neutralleiter (3+1 Schaltung)

8.1.6 Bemessung der Anschlussleitungslängen für SPDs

Die Bemessung der Anschlusslängen von Überspannungsschutzgeräten ist ein wesentlicher Bestandteil der Installationsvorschrift DIN VDE 0100-534.
Die nachfolgend genannten Aspekte sind häufig auch ein Grund für Beanstandungen bei Anlagenbegehungen durch Sachverständige, TÜV-Mitarbeiter etc.

V-förmige Anschlusstechnik nach DIN VDE 0100-534

Entscheidend für den Schutz von Anlagen, Betriebsmitteln und Verbrauchern ist derjenige Stoßspannungspegel, der tatsächlich an den zu schützenden Einrichtungen anliegt. Eine optimale Schutzwirkung ist dann erreicht, wenn der Stoßspannungspegel an der zu schützenden Einrichtung mit dem Schutzpegel des Überspannungsschutzgerätes übereinstimmt.
Aus diesem Grund wird zum Anschluss von Überspannungsschutzgeräten in DIN VDE 0100-534 eine V-förmige Anschlusstechnik nach **Bild 8.1.6.1** vorgeschlagen. Dabei werden keine separaten Leitungsabzweige zum Anschluss der Überspannungsschutzgeräte verwendet.

Parallele Anschlusstechnik nach DIN VDE 0100-534

Die optimale V-Anschlusstechnik lässt sich nicht unter allen Anlagenbedingungen anwenden.
Nennströme, welche im Rahmen der V-Verdrahtung über die Doppelklemmen am Überspannungsschutzgerät geführt werden, sind durch die thermische Belastbarkeit der Doppelklemmen begrenzt. Daher wird vom Hersteller des Überspannungsschutzgerätes ein bestimmter max. zulässiger Vorsicherungswert vorgeschrieben, was wiederum bei Systemen mit größeren Nennbetriebsströmen dazu führt, dass mitunter die V-Verdrahtung nicht mehr angewendet werden kann.

Die Industrie stellt mittlerweile sogenannte Zweileiter-Anschlussklemmen oder Stiftanschlussklemmen zur Verfügung, mit welchen diese Problematik besser zu lösen ist. Somit können bei einer Erhöhung des Nennbetriebstromes dennoch die Anschlusslängen klein gehalten werden. Bei der Verwendung

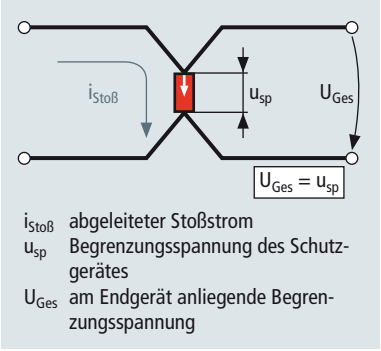


Bild 8.1.6.1 Anschluss von Überspannungsschutzgeräten in V-förmiger Anschlusstechnik

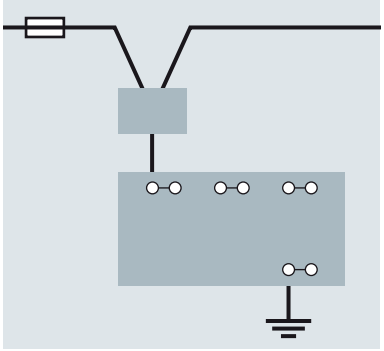


Bild 8.1.6.2 Prinzip der „Zweileiter-Anschluss-Klemme (ZAK)" – einpolige Darstellung

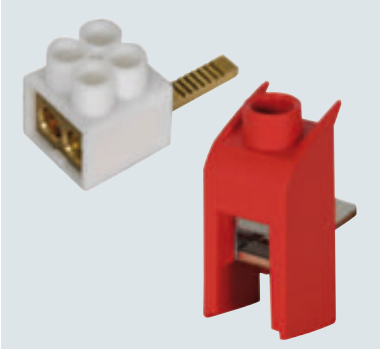


Bild 8.1.6.3 Stiftanschlussklemmen STAK 2X16 und STAK 25

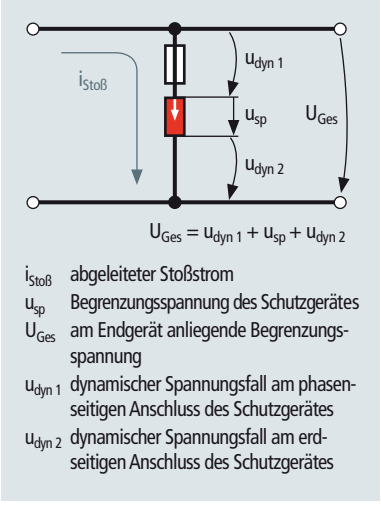


Bild 8.1.6.4a Anschluss von Überspannungsschutzgeräten im Leitungsabzweig

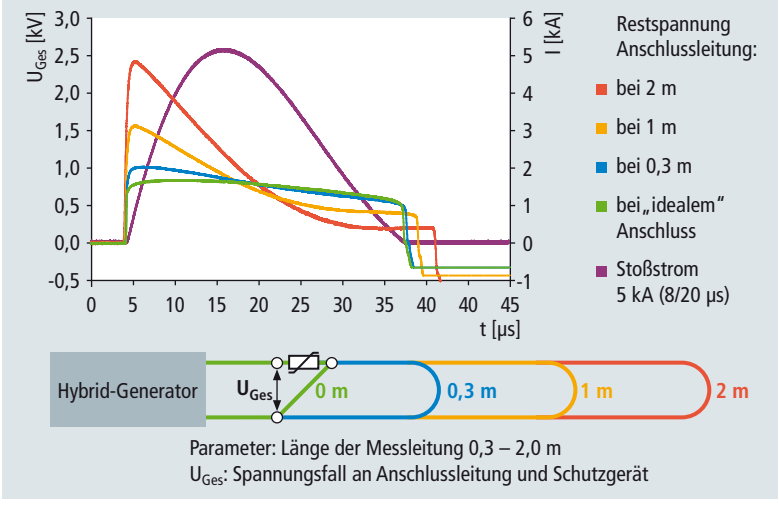


Bild 8.1.6.4b Begrenzungsspannung DEHNguard 275 bei unterschiedlichen Längen der Anschlussleitung

solcher Zweileiter-Anschlussklemmen muss aber in jedem Falle der vom Hersteller für diesen Anwendungsfall ausgewiesene Vorsicherungswert beachtet werden (**Bilder 8.1.6.2 und 8.1.6.3**).

Scheidet die V-Verdrahtung definitiv aus, ist der Einbau von Überspannungsschutzgeräten in einem separaten Leitungsabzweig des Stromkreises notwendig. Übersteigt der Nennwert der am nächsten vorgelagerten Anlagensicherung die Nennstromstärke der max. zulässigen Vorsicherung des Überspannungsschutzgerätes, muss der Leitungsabzweig mit einer Vorsicherung für das Überspannungsschutzgerät versehen werden (**Bild 8.1.6.4a und b**); oder es kommen SPDs mit integrierter Ableitervorsicherung zum Einsatz (**Bilder 8.1.6.5 und 8.1.6.6**).

Beim Ansprechen des Überspannungsschutzgerätes im Leitungsabzweig werden zusätzliche Elemente (Leitungen, Sicherung) vom Ableitstoßstrom durchflossen, der an diesen Impedanzen weitere dynamische Spannungsfälle hervorruft.

Hierzu kann festgestellt werden, dass die ohmsche Komponente gegenüber der induktiven Komponente vernachlässigbar ist.

Unter Berücksichtigung der Beziehung

$$u_{dyn} = i \cdot R + \left(\frac{di}{dt}\right) L \approx \left(\frac{di}{dt}\right) L$$

und der Stromänderungsgeschwindigkeiten (di/dt) bei transienten Vorgängen von einigen 10 kA/µs wird der dynamische

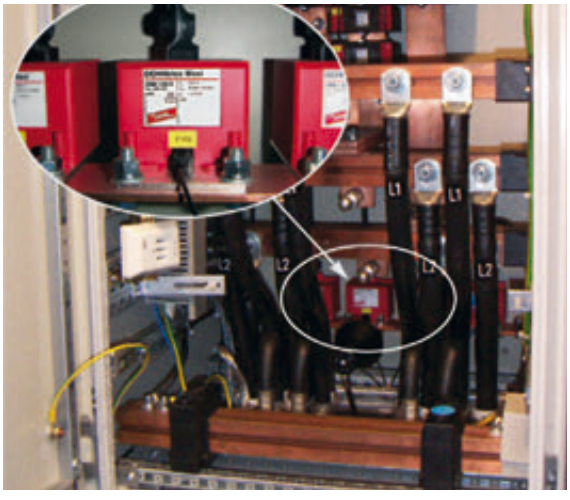


Bild 8.1.6.5 DEHNbloc Maxi S: koordinierter Blitzstrom-Ableiter für die Sammelschiene mit integrierter Vorsicherung

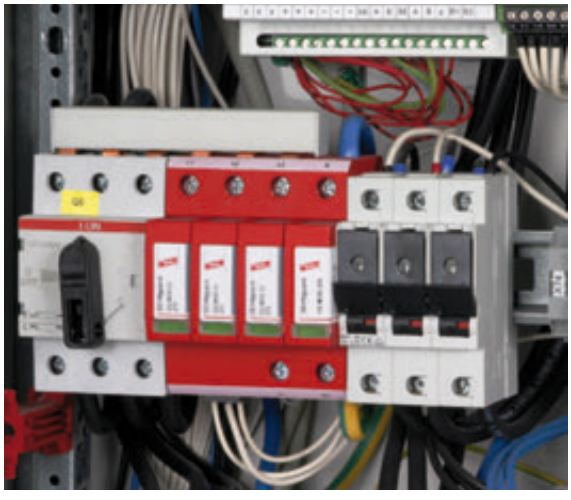


Bild 8.1.6.6 DEHNguard modular CI: Überspannungs-Ableiter Typ 2 mit integrierter Vorsicherung

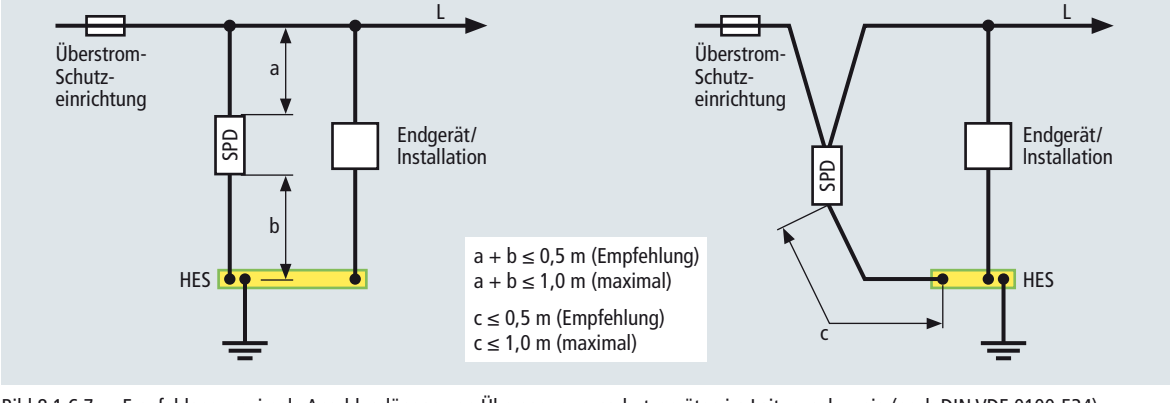


Bild 8.1.6.7 Empfohlene maximale Anschlusslängen von Überspannungsschutzgeräten im Leitungsabzweig (nach DIN VDE 0100-534)

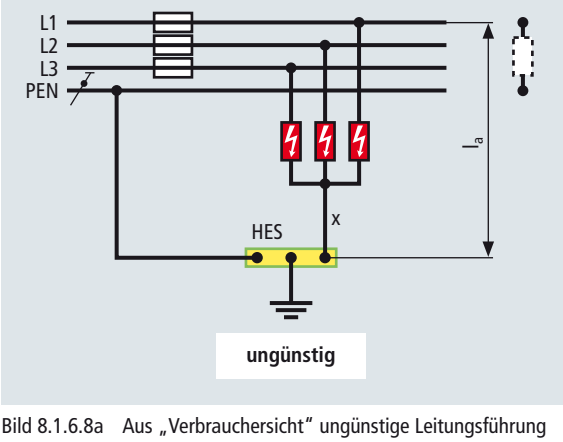


Bild 8.1.6.8a Aus „Verbrauchersicht" ungünstige Leitungsführung

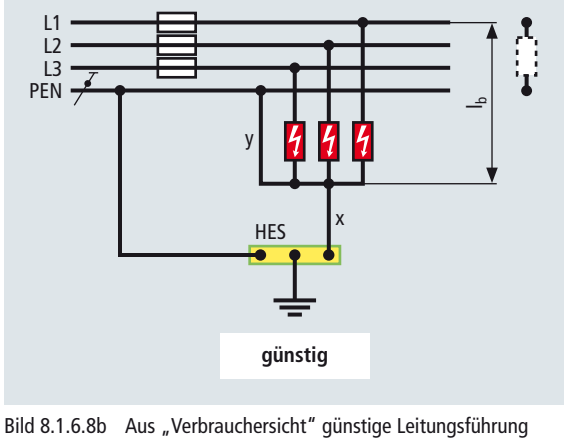


Bild 8.1.6.8b Aus „Verbrauchersicht" günstige Leitungsführung

Spannungsfall u_{dyn} maßgeblich durch die induktive Komponente bestimmt.
Um diesen dynamischen Spannungsfall niedrig zu halten, muss durch die ausführende Elektrofachkraft die Induktivität der Anschlussleitung und damit deren Länge so gering wie möglich gehalten werden. In DIN VDE 0100-534 wird deshalb empfohlen, die Gesamtanschlusslänge von Überspannungsschutzgeräten in Leitungsabzweigen nicht größer als 0,5 m zu gestalten (**Bild 8.1.6.7**). Eine max. Leitungslänge von 1 m ist nach DIN VDE 0100-534 zwingend einzuhalten. Die Auswirkungen von unterschiedlichen Anschlussleitungen auf den resultierenden Schutzpegel einer Anordnung zeigt **Bild 8.1.6.4b**.

Gestaltung der erdseitigen Anschlussleitung

Diese scheinbar schwer umzusetzende Forderung soll am Beispiel der **Bilder 8.1.6.8a und b** erläutert werden. Dort wird der Schutzpotentialausgleich (früher: Hauptpotentialausgleich) einer Niederspannungsverbraucheranlage nach DIN VDE 0100-410 und DIN VDE 0100-540 vorgestellt, wobei hier durch die Verwendung von Überspannungsschutzgeräten des Typs 1 der Potentialausgleich zum Blitzschutz-Potentialausgleich ergänzt wird.

In **Bild 8.1.6.8a** sind beide Maßnahmen getrennt voneinander errichtet worden. Dabei wurde der PEN mit der Potentialausgleichsschiene verbunden sowie der Erdungsanschluss der Überspannungsschutzgeräte über einen separaten Potentialausgleichsleiter vorgenommen.
Die wirksame Anschlusslänge (l_a) für die Überspannungsschutzgeräte ist damit die Distanz zwischen dem Einsatzort der Überspannungsschutzgeräte (z. B. Hausanschlusskasten, Hauptverteiler) und der Potentialausgleichsschiene. Mit einer solchen Anschlussgestaltung lässt sich in den wenigsten Fällen ein wirksamer Schutz der Anlage erzielen. Ohne großen Aufwand kann jedoch mit einer Leitungsführung gemäß **Bild 8.1.6.8b** die wirksame Anschlusslänge der Überspannungsschutzgeräte vermindert werden ($l_b < 0{,}5$ m).
Erreicht wird dies durch eine „Bypass"-Leitung (y) vom erdseitigen Ausgang der Ableiter zum PEN. Die Verbindung vom erdseitigen Ausgang der Ableiter zur Potentialausgleichsschiene (x) bleibt weiterhin bestehen.

Laut der VDN-Richtlinie 2004-08: „Überspannungs-Schutzeinrichtungen Typ 1. Richtlinie für den Einsatz von Überspannungs-Schutzeinrichtungen (ÜSE) Typ1 (bisher Anforderungsklasse B) in Hauptstromversorgungssystemen", kann die Bypass-Leitung (y) nur dann entfallen, wenn die Überspannungs-Schutzeinrichtung in unmittelbarer Nähe (≤ 0,5 m) des Hausanschlusskastens und damit auch in unmittelbarer Nähe des Potentialausgleichs eingebaut wird.

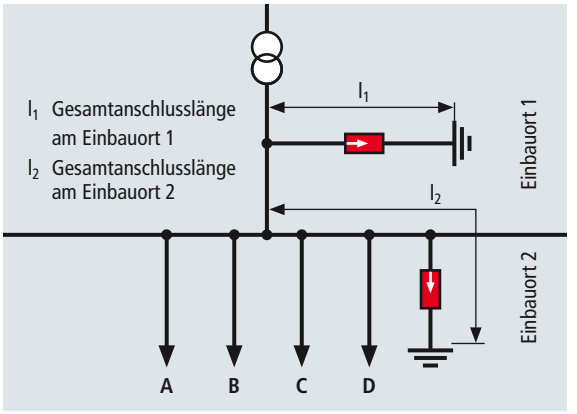


Bild 8.1.6.9 Anordnung von Überspannungsschutzgeräten in einer Anlage und die daraus resultierende wirksame Anschlusslänge

Bei einer Installation der Verbindung y ist die Distanz zwischen Hausanschlusskasten oder Hauptverteiler und Potentialausgleichschiene somit unerheblich. Die Lösung dieses Problemfalles bezog sich ausschließlich auf die Gestaltung der erdseitigen Anschlussleitung der Überspannungsschutzgeräte.

Gestaltung der phasenseitigen Anschlussleitung

Die phasenseitige Anschlusslänge ist ebenfalls zu betrachten. Das soll folgendes Fallbeispiel demonstrieren:
In einer räumlich ausgedehnten Schaltanlage ist ein Überspannungsschutz für das Sammelschienensystem und die daran angeschlossenen Stromkreise (A bis D) mit ihren Verbrauchern vorzusehen (**Bild 8.1.6.9**).
Für den Einsatz der Überspannungsschutzgeräte in diesem Fall seien alternativ die Einbauorte 1 und 2 angenommen. Der Einbauort 1 befindet sich unmittelbar an der Einspeisung des Sammelschienensystems. Damit ist für alle Verbraucher der Schutz vor Überspannungen gleichermaßen sichergestellt. Die wirksame Anschlusslänge des Überspannungsschutzgerätes am Einbauort 1 ist für alle Verbraucher das Maß l_1. Manchmal wird aus Platzgründen der Einbauort der Überspannungsschutzgeräte im Verlauf des Sammelschienensystems gewählt. Im Extremfall kann bei der betrachteten Anordnung im **Bild 8.1.6.9** der Einbauort 2 gewählt werden. Hinsichtlich der Stromkreise A und B ergibt sich somit die wirksame Anschlusslänge l_2. Sammelschienensysteme besitzen zwar im Vergleich zu Kabeln und Leitungen eine geringe Induktivität (ca. 1/4) und damit einen geringeren induktiven Spannungsfall, doch die Länge der Sammelschienen darf nicht vernachlässigt werden.
Die Gestaltung der Anschlussleitungen übt einen maßgeblichen Einfluss auf die Wirksamkeit von Überspannungsschutzgeräten aus und muss deshalb bereits bei der Planung der Anlage beachtet werden!

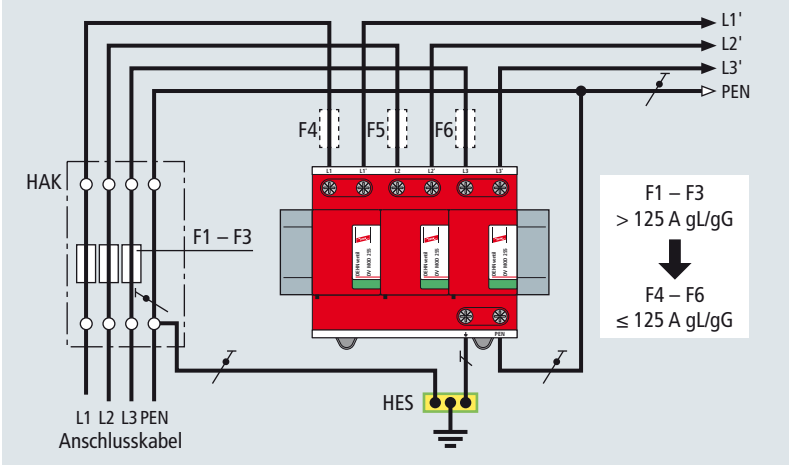


Bild 8.1.6.10 V-förmige Verdrahtung

Bild 8.1.6.11 V-Verdrahtung des Kombi-Ableiters DEHNventil M TNC mittels Kammschiene

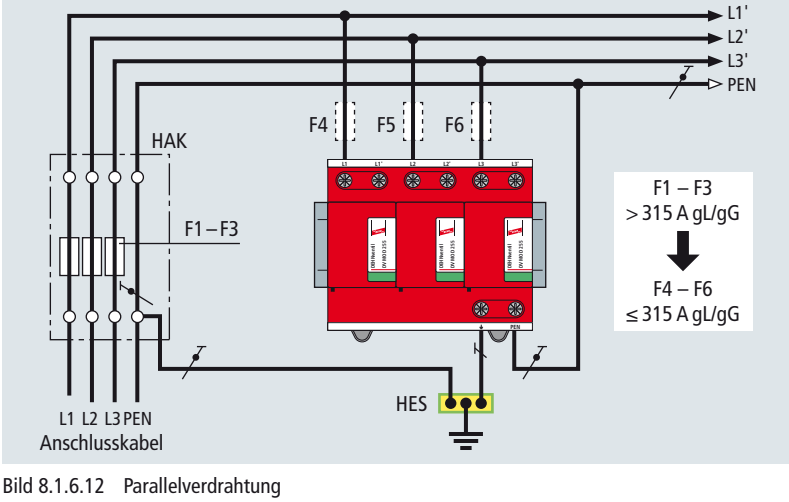


Bild 8.1.6.12 Parallelverdrahtung

Die vorab beschriebenen Inhalte der DIN VDE 0100-534 waren wichtige Vorgaben bei der Entwicklung des Kombi-Ableiters DEHNventil, welcher die Anforderungen von Blitzstrom- und Überspannungs-Ableitern entsprechend der Normenreihe DIN EN 62305 Teil 1-4 in nur einem Gerät vereint.
Dabei wurde die Möglichkeit geschaffen, eine V-Verdrahtung direkt über das Gerät zu realisieren. Im **Bild 8.1.6.10** ist eine solche V-Verdrahtung als Wirkschaltplan dargestellt.
Aus **Bild 8.1.6.11** ist zu ersehen, wie vorteilhaft eine V-Verdrahtung unter Zuhilfenahme einer Kammschiene umzusetzen ist.
Die V-förmige Verdrahtung (auch Durchgangsverdrahtung genannt) ist aufgrund der thermischen Belastbarkeit der verwendeten Doppelklemmen bis 125 A anwendbar.
Für den Fall von Anlagenströmen > 125 A erfolgt der Anschluss der Überspannungsschutzgeräte im Leitungsabzweig (sogenannte Parallelverdrahtung). Dabei sind die maximalen Anschlusslängen entsprechend DIN VDE 0100-534 zu beachten. Eine Umsetzung der Parallelverdrahtung kann **Bild 8.1.6.12** entnommen werden.

In diesem Zusammenhang sollte allerdings beachtet werden, dass die erdseitige Anschlussleitung weiterhin von der Doppelklemme für den Erdanschluss profitiert. Hier kann, wie im **Bild 8.1.6.12** gezeigt, oft ohne großen Aufwand durch die Leitungsführung von Klemmenteil „PE(N)" der erdseitigen Doppelklemme nach PEN eine wirksame Anschlusslänge mit dem Maß l < 0,5 m erreicht werden.

Bei der Installation von Überspannungsschutzgeräten in Verteilungen ist generell darauf zu achten, dass stoßstrombehaftete und stoßstromfreie Leitungen möglichst weit voneinander getrennt verlegt werden. Eine direkte Parallelverlegung beider Leitungen ist auf jeden Fall zu vermeiden (**Bild 8.1.6.13**).

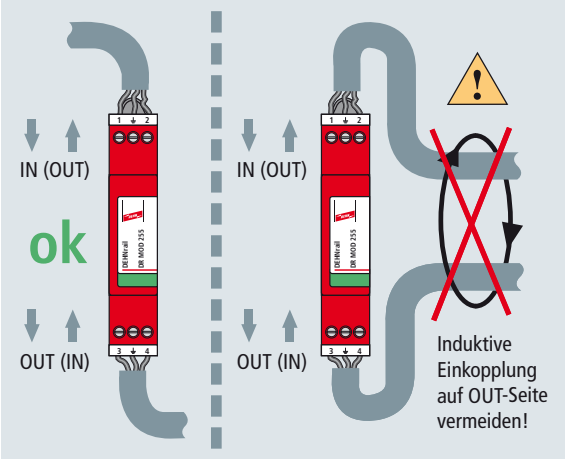


Bild 8.1.6.13 Kabelführung

8.1.7 Bemessung der Anschlussquerschnitte und des Backup-Schutzes von Überspannungsschutzgeräten

Anschlussleitungen von Ableitern können durch Stoß-, Betriebs- und Kurzschlussströme beansprucht werden. Die einzelnen Belastungen sind von verschiedenen Punkten abhängig:

- Art der Schutzbeschaltung one-port (**Bild 8.1.7.1**) / two-port (**Bild 8.1.7.2**)
- Ableitertyp: Blitzstrom-Ableiter, Kombi-Ableiter, Überspannungsschutzgeräte
- Folgestromverhalten des Ableiters: Folgestromlöschung / Folgestrombegrenzung.

Werden Überspannungsschutzgeräte wie in **Bild 8.1.7.1** installiert, sind die Anschlussleitungen S2 und S3 nur nach den Kriterien des Kurzschlussschutzes nach DIN VDE 0100-430 und der Stoßstromtragfähigkeit zu bemessen. Im Datenblatt des Schutzgerätes ist das max. zulässige Überstromschutzorgan ausgewiesen, welches in der Anwendung im Sinne des Backup-Schutzes für den Ableiter eingesetzt werden kann.
Bei der Installation der Geräte ist darauf zu achten, dass der tatsächlich fließende Kurzschlussstrom das Auslösen des Backup-Schutzes ermöglicht. Die Bemessung des Leiterquerschnitts ergibt sich dabei aus folgender Gleichung:

$$k^2 \cdot S^2 \geq I^2 \cdot t$$

t zulässige Ausschaltzeit im Kurzschlussfall in s

S Leiterquerschnitt in mm^2

I Strom bei vollkommenem Kurzschluss in A

k Materialbeiwert in $A \cdot s/mm^2$ nach **Tabelle 8.1.7.1**.

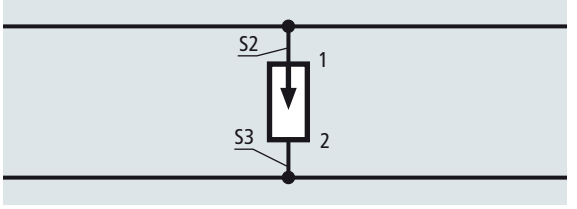


Bild 8.1.7.1 One-port SPD

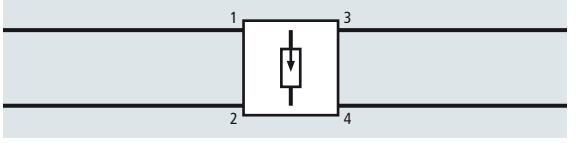


Bild 8.1.7.2 Two-port SPD

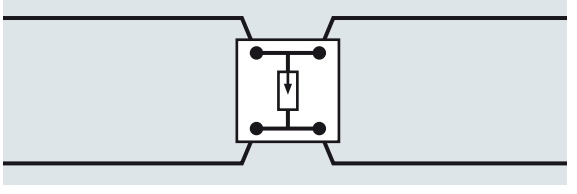
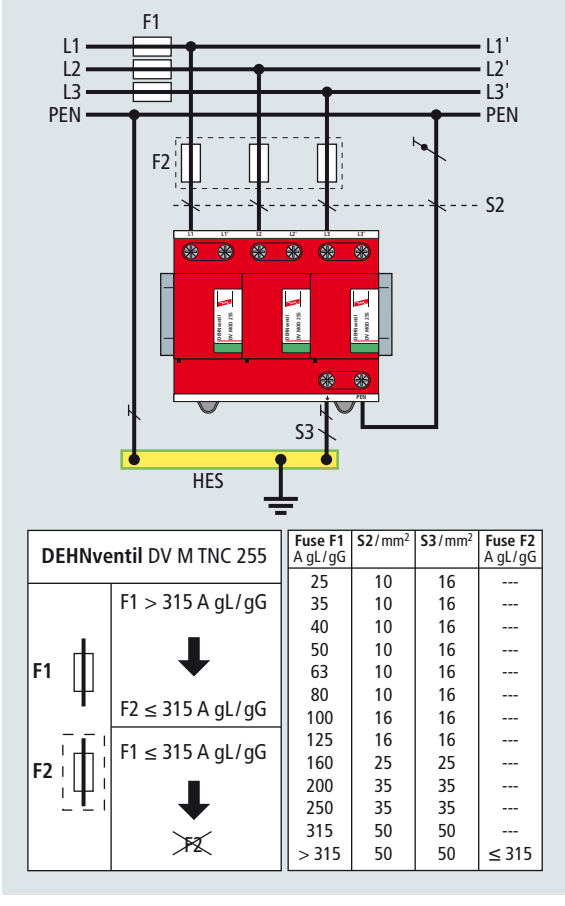


Bild 8.1.7.3 One-port SPD mit Durchgangsverdrahtung

Weiterhin gilt es zu bedenken, dass die Angaben der max. zulässigen Überstromschutzorgane im Datenblatt des Überspannungsschutzgerätes nur bis zum Wert der angegebenen Kurzschlussfestigkeit des Schutzgerätes gelten. Sofern der Kurzschlussstrom am Einbauort größer als der Wert der angegebenen Kurzschlussfestigkeit des Schutzgerätes ist, muss eine Vorsicherung ausgewählt werden, die im Verhältnis 1:1,6 kleiner ist als die im Datenblatt des Ableiters angegebene max. Vorsicherung.
Für Überspannungsschutzgeräte, die entsprechend **Bild 8.1.7.2** installiert sind, darf der max. Betriebsstrom nicht den für das Schutzgerät angegebenen Nennlaststrom überschreiten. Bei Schutzgeräten mit V-Verdrahtungsmöglichkeit gilt dabei der max. Strom bei der Durchgangsverdrahtung (**Bild 8.1.7.3**).

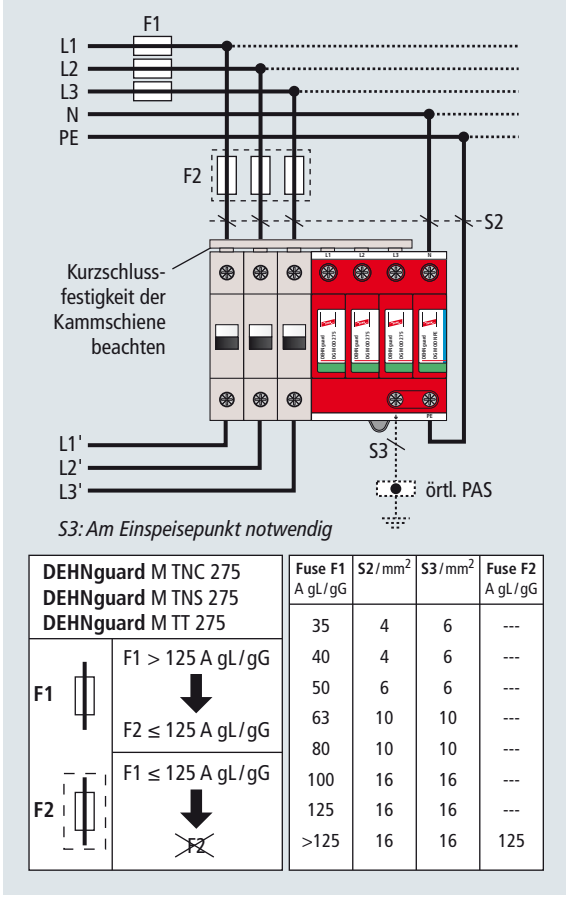
Leiter-material	Werkstoff der Isolierung		
	PVC	EPR / XLPE	Gummi
Cu	115	143	141
Al	76	94	93

Tabelle 8.1.7.1 Materialbeiwert k für Kupfer- und Aluminiumleiter mit verschiedenen Isolierwerkstoffen (nach IEC 60364-4-43)



Fuse F1 A gL/gG	S2/mm²	S3/mm²	Fuse F2 A gL/gG
25	10	16	---
35	10	16	---
40	10	16	---
50	10	16	---
63	10	16	---
80	10	16	---
100	16	16	---
125	16	16	---
160	25	25	---
200	35	35	---
250	35	35	---
315	50	50	---
> 315	50	50	≤ 315

Bild 8.1.7.4 Beispiel DEHNventil M TNC 255



Fuse F1 A gL/gG	S2/mm²	S3/mm²	Fuse F2 A gL/gG
35	4	6	---
40	4	6	---
50	6	6	---
63	10	10	---
80	10	10	---
100	16	16	---
125	16	16	---
>125	16	16	125

Bild 8.1.7.5 Beispiel DEHNguard M TNC/TNS/TT

Die Anschlussquerschnitte und der Backup-Schutz für Blitzstrom- und Kombi-Ableiter des Typs 1 sind beispielhaft dem **Bild 8.1.7.4** zu entnehmen.
Für Überspannungsschutzgeräte des Typs 2 werden die Anschlussquerschnitte und der Backup-Schutz im **Bild 8.1.7.5** exemplarisch dargestellt und für Überspannungsschutzgeräte des Typs 3 im **Bild 8.1.7.6**.

Die Auslegung von Vorsicherungen für Überspannungsschutzgeräte erfolgt unter Beachtung des Stoßstromverhaltens. Sicherungen zeigen deutliche Unterschiede bei der Ausschaltung von Kurzschlussströmen im Vergleich zu den Beanspruchungen mit Stoßströmen, insbesondere mit Blitzstoßströmen der Wellenform 10/350 µs.
In Abhängigkeit vom Bemessungsstrom und vom Stoßstrom wurde das Verhalten von Sicherungen ermittelt (**Bild 8.1.7.7 und Tabelle 8.1.7.2**).

Bereich 1: Kein Schmelzen

Die durch den Blitzstoßstrom in die Sicherung eingetragene Energie ist so gering, dass die Sicherung nicht zum Schmelzen gebracht werden kann.

Bereich 2: Schmelzen

Die Energie des Blitzstoßstroms reicht aus, um die Sicherung zum Schmelzen zu bringen und damit den Strompfad durch die Sicherung zu unterbrechen (**Bild 8.1.7.8**).
Charakteristisch für das Verhalten der Sicherung ist, dass der Blitzstoßstrom, weil eingeprägt, unbeeinflusst durch das Verhalten der Sicherung weiterfließt. Die Sicherung schaltet erst nach dem Abklingen des Blitzstoßstromes ab. Eine Selektivität der Sicherungen bezüglich des Ausschaltverhaltens bei Blitzstoßströmen gibt es somit nicht. Deshalb sollte darauf geachtet werden, dass aufgrund des Stoßstromverhaltens stets die maximal zulässige Vorsicherung entsprechend Datenblatt und/oder Einbauanleitung des Schutzgerätes verwendet wird.

Im **Bild 8.1.7.8** ist ebenfalls zu erkennen, dass sich während des Schmelzens über der Sicherung ein Spannungsfall U_S aufbaut, der z. T. deutlich über 1 kV liegen kann. Im Falle von Anwendungen, wie sie im **Bild 8.1.7.9** dargestellt sind, kann ein

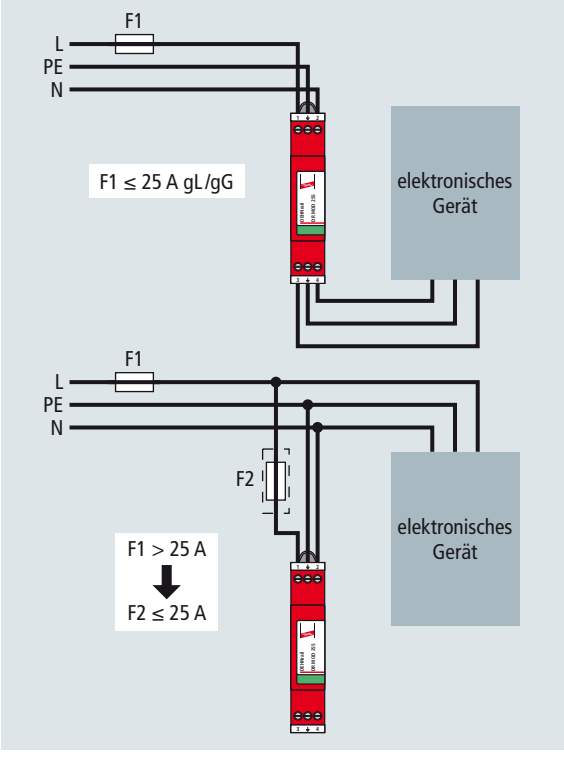


Bild 8.1.7.6 Beispiel DEHNrail

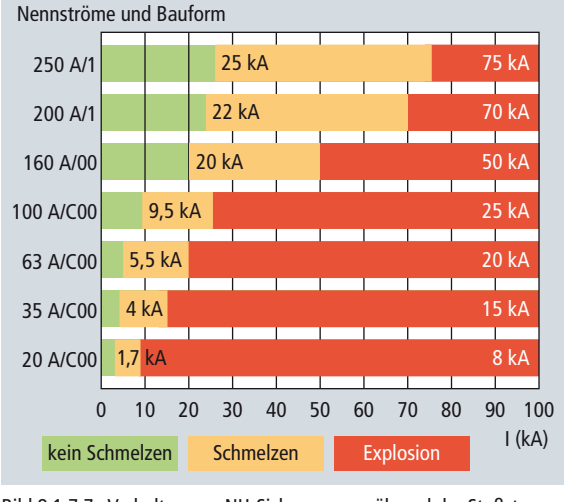


Bild 8.1.7.7 Verhalten von NH-Sicherungen während der Stoßstrombelastung 10/350 µs

Nennwerte der NH-Sicherung		Auslösewert bei Stoßstrom (8/20 µs) berechnet kA
I_n A	I^2t_{min} A_2s	
35	3 030	14,7
63	9 000	25,4
100	21 200	38,9
125	36 000	50,7
160	64 000	67,6
200	104 000	86,2
250	185 000	115,0

Tabelle 8.1.7.2 Stoßstromtragfähigkeit von NH-Sicherungen bei einer Stoßstrombelastung 8/20 µs

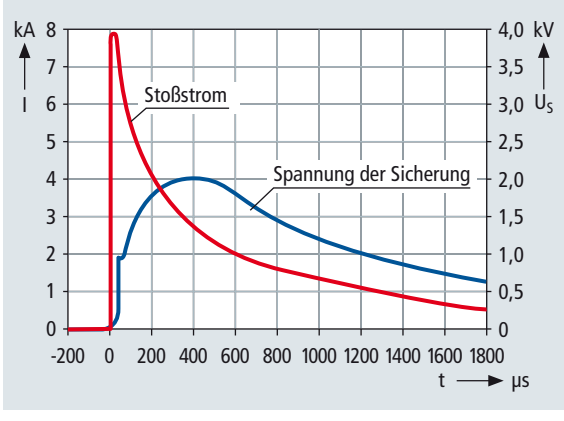


Bild 8.1.7.8 Strom und Spannung an einer aufschmelzenden 25 A-NH-Sicherung während einer Blitzstoßstrombelastung (10/350 µs)

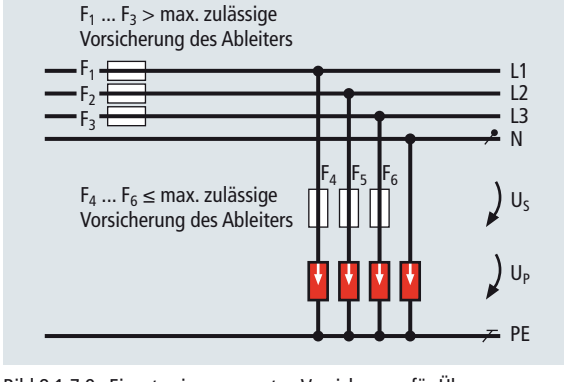


Bild 8.1.7.9 Einsatz einer separaten Vorsicherung für Überspannungsschutzgeräte

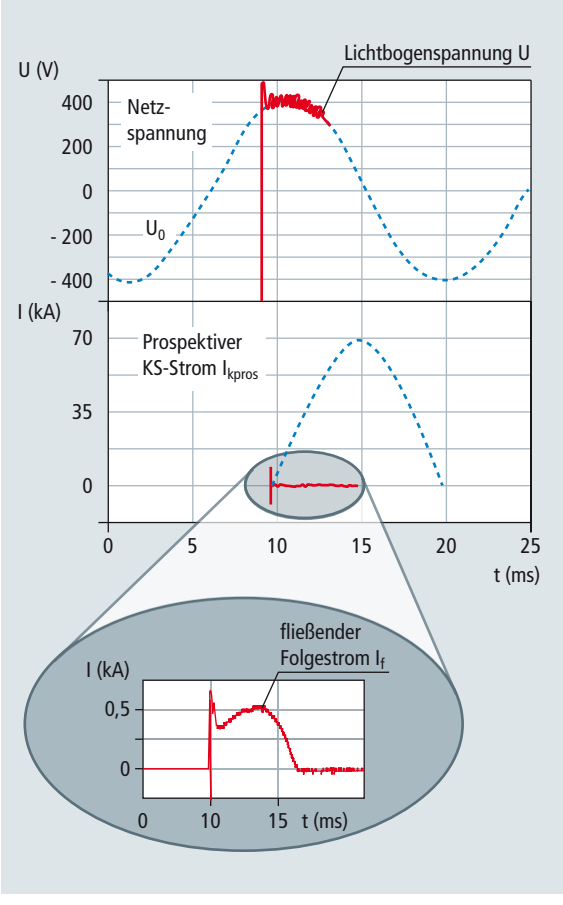


Bild 8.1.7.10 Reduzierung des Folgestromes durch das patentierte RADAX-Flow-Prinzip

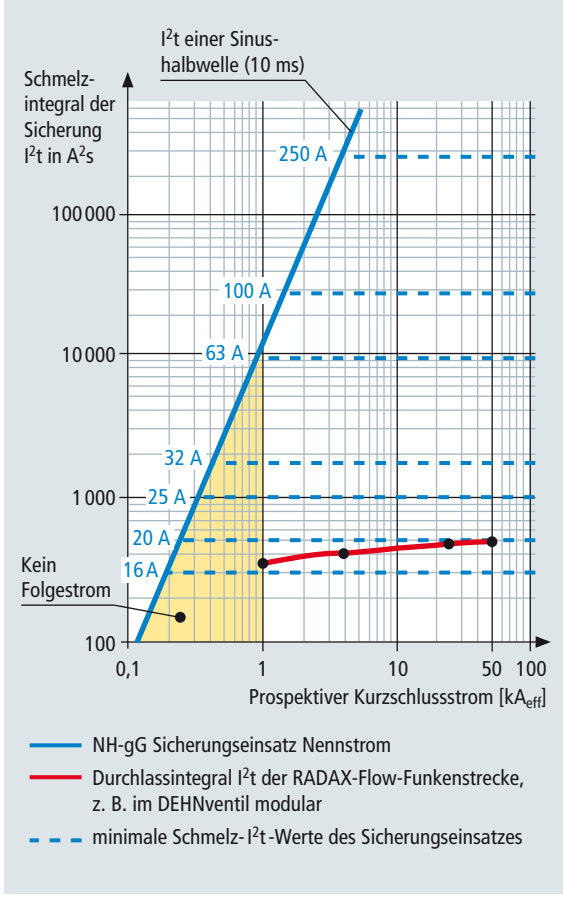


Bild 8.1.7.11 Folgestrom-Ausschaltselektivität DEHNventil M zu NH-Sicherungseinsätzen unterschiedlicher Bemessungsströme

Aufschmelzen der Sicherung auch dazu führen, dass der resultierende Schutzpegel $U_S + U_P$ deutlich über dem Schutzpegel U_P des eingesetzten Überspannungsschutzgerätes liegt.

Bereich 3: Explosion

Sofern die Energie des Blitzstoßstromes so groß ist, dass sie weit über dem Schmelzintegral der Sicherung liegt, kann es vorkommen, dass der Sicherungsstreifen explosionsartig verdampft. Ein Bersten des Sicherungsgehäuses ist dabei oft die Folge. Neben den mechanischen Auswirkungen muss jedoch auch beachtet werden, dass der Blitzstoßstrom in Form eines Lichtbogens über die berstende Sicherung weiterfließt. Eine Unterbrechung des Blitzstoßstroms und eine damit verbundene Reduzierung der notwendigen Stoßstromtragfähigkeit des eingesetzten Ableiters kann somit nicht erfolgen.

Selektivität zum Anlagenschutz

Bei den Anwendungen von Überspannungsschutzgeräten auf Funkenstreckenbasis ist zu berücksichtigen, dass ein einsetzender Netzfolgestrom so weit begrenzt wird, dass Überstromschutzorgane wie beispielsweise die Leitungsschutzsicherung und/oder die Ableitervorsicherung nicht zum Auslösen kommen. Diese Eigenschaft der Schutzgeräte nennt man Folgestrombegrenzung bzw. Folgestromunterdrückung. Nur mit Techniken wie beispielsweise der RADAX-Flow-Technologie gelingt es, Ableiter und Ableiterkombinationen zu entwickeln, die auch bei hohen Anlagen-Kurzschlussströmen in der Lage sind, den prospektiven KS-Strom so weit zu reduzieren und zu löschen, dass vorgelagerte Sicherungen kleiner Bemessungsströme nicht zur Auslösung kommen (**Bild 8.1.7.10**).

Bild 8.1.8.1 DEHNguard M TNC CI 275 FM – Typ 2-Ableiter mit integrierter Ableitervorsicherung

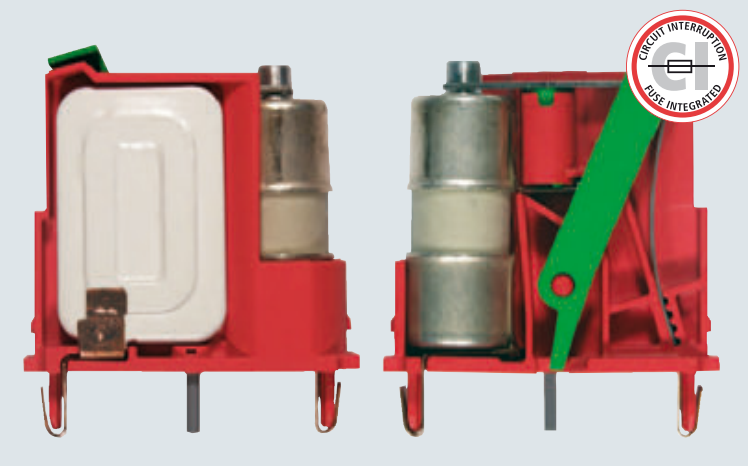


Bild 8.1.8.2 Innenleben DEHNguard M/S ... CI mit Vorder- und Rückansicht

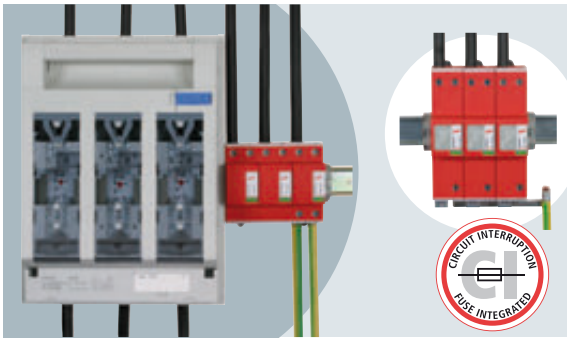


Bild 8.1.8.3 Drastisch reduzierter Platzbedarf – Vergleich Einbau-Verhältnisse herkömmlicher Typ 1-Ableiter zum DEHNvenCI

Die in DIN EN 61439-1 geforderte Anlagenverfügbarkeit, auch im Falle des Ansprechens von Überspannungsschutzgeräten, lässt sich mit der vorab beschriebenen Geräteeigenschaft „Folgestromunterdrückung" erfüllen. Besonders bei Überspannungsschutzgeräten mit tiefer Ansprechspannung, die nicht allein den Blitzschutz-Potentialausgleich, sondern auch die Aufgabe des Überspannungsschutzes in der Anlage wahrnehmen sollen, ist das Verhalten der Folgestrombegrenzung wichtiger denn je für die Verfügbarkeit der elektrischen Anlage. Aus **Bild 8.1.7.11** ist ersichtlich, dass selbst bei einem prospektiven Kurzschlussstrom von 50 kA_{eff} das Durchlassintegral der RADAX-Flow-Funkenstrecke unterhalb des minimalen Schwellwertes eines NH-gG-Sicherungseinsatzes mit einem Bemessungsstrom von 20 A liegt.

8.1.8 Überspannungs-Ableiter mit integrierter Vorsicherung

Bei der Auswahl von Vorsicherungen für Überspannungsschutzgeräte müssen zwei Punkte für die Dimensionierung beachtet werden:

- max. vom Hersteller ausgewiesener Vorsicherungswert
- Stoßstromtragfähigkeit der Vorsicherung.

Eine effektive und einfache Möglichkeit, dies anwenderseitig zu umgehen, besteht darin, Schutzgeräte mit bereits herstellerseitig integrierter Vorsicherung zu verwenden.

Es gibt verschiedene Typ 1- und Typ 2-Ableiter von DEHN, bei denen die Ableitervorsicherung schon im Überspannungsschutzgerät integriert ist. Beispielhaft seien hier der DEHNvenCI und der DEHNguard M/S ... CI (**Bild 8.1.8.1 bis 8.1.8.3**) angeführt. Diese Ableiter für die Hutschienenmontage bieten eine Vielzahl an Vorteilen für den Anwender:

- vorsicherungsfreier Einsatz durch die bereits integrierte Ableitervorsicherung
- drastisch reduzierter Platzbedarf (**Bild 8.1.8.3**)
- deutlich weniger Montageaufwand
- Überwachung der integrierten Ableitervorsicherung durch Funktions- / Defektanzeige und Fernmeldekontakt
- leichte Umsetzbarkeit kurzer Anschlusslängen entsprechend DIN VDE 0100-534
- verfügbar für alle Systeme (TNC, TNS, TT, einpolig).

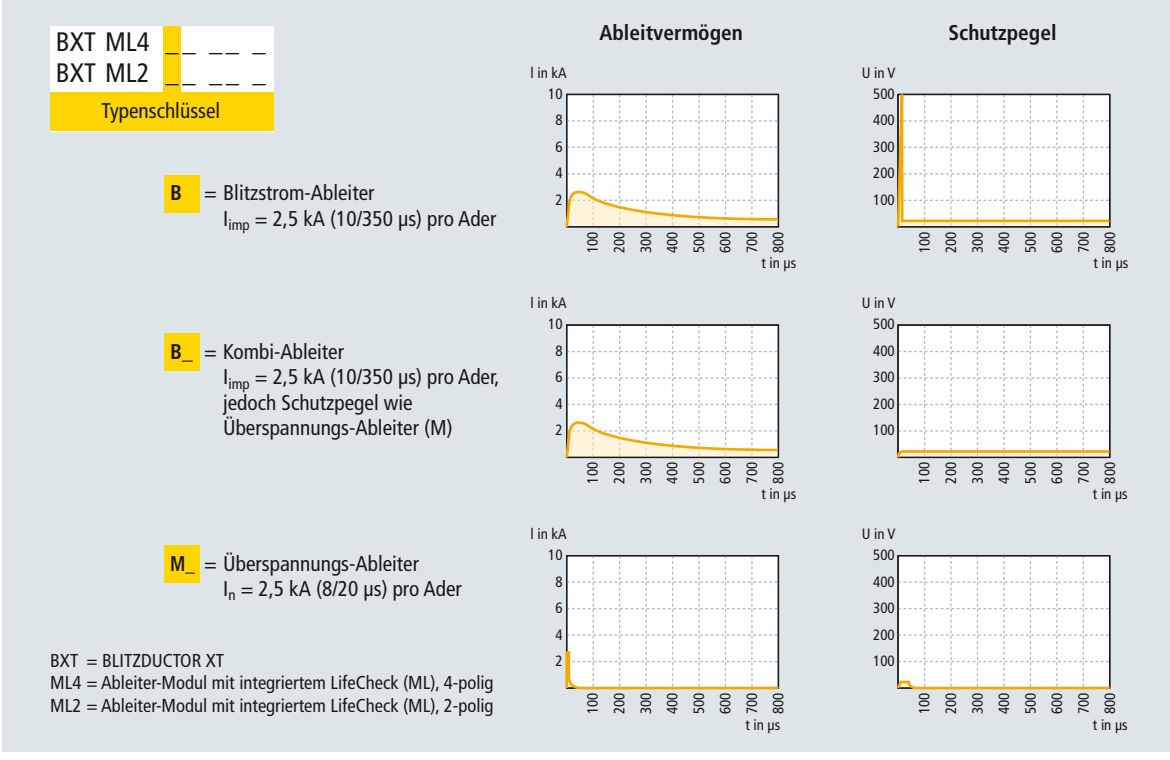


Bild 8.2.1 Ableiterklassifizierung

Ableiter mit integrierter Ableitervorsicherung bieten dem Anwender weitreichende Vorteile im Hinblick auf minimalen Platzbedarf und Montagefreundlichkeit. Darüber hinaus ist kein detailliertes Wissen über Dimensionierungskriterien von Ableitervorsicherungen notwendig, da dies bereits herstellerseitig berücksichtigt und ideal aufeinander abgestimmt wurde.

8.2 Anlagen der Informationstechnik

Ableiter dienen in erster Linie dem Schutz nachfolgender Endgeräte, außerdem wird die Gefahr der Leitungsbeschädigung vermindert.
Die Auswahl von Ableitern hängt u. a. von folgenden Überlegungen ab:

- Blitzschutzzonen des Installationsortes, sofern vorhanden
- abzuleitende Energien
- Anordnung der Schutzgeräte
- Störfestigkeit der Endgeräte
- Schutz gegen symmetrische und/oder unsymmetrische Störungen
- Systemanforderungen, z. B. Übertragungsparameter
- Übereinstimmung mit produkt- oder anwendungsspezifischen Normen, falls gefordert
- Anpassung an die Umgebungsbedingungen / Installationsbedingungen.

Schutzgeräte für Antennenleitungen unterscheiden sich je nach Eignung für koaxiale, symmetrische oder Hohlleiter-Systeme, und zwar jeweils nach der physikalischen Ausführung der Antennenleitung.
Bei koaxialen und Hohlleitersystemen kann der Außenleiter in der Regel direkt mit dem Potentialausgleich verbunden werden. Hierzu eignen sich speziell auf die jeweiligen Leitung abgestimmte Erdungsmuffen.

Vorgehen bei Auswahl und Einsatz von Ableitern: Beispiel BLITZDUCTOR XT

Im Gegensatz zur Auswahl von Schutzgeräten in energietechnischen Systemen (s. Kapitel 8.1), wo im 230/400 V-System mit einheitlichen Bedingungen hinsichtlich Spannung und Frequenz zu rechnen ist, gibt es in Automatisierungs- und MSR-Systemen verschiedene Arten zu übertragender Signale hinsichtlich:

- Spannung (z. B. 0 – 10 V)

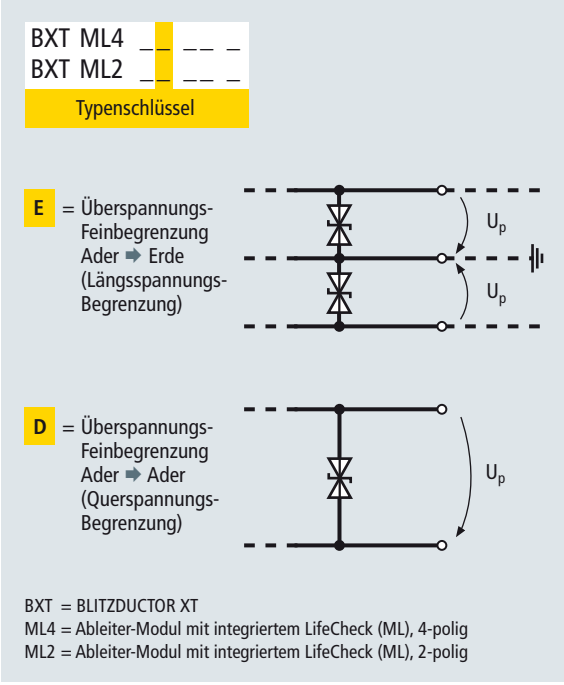


Bild 8.2.2 Begrenzungsverhalten

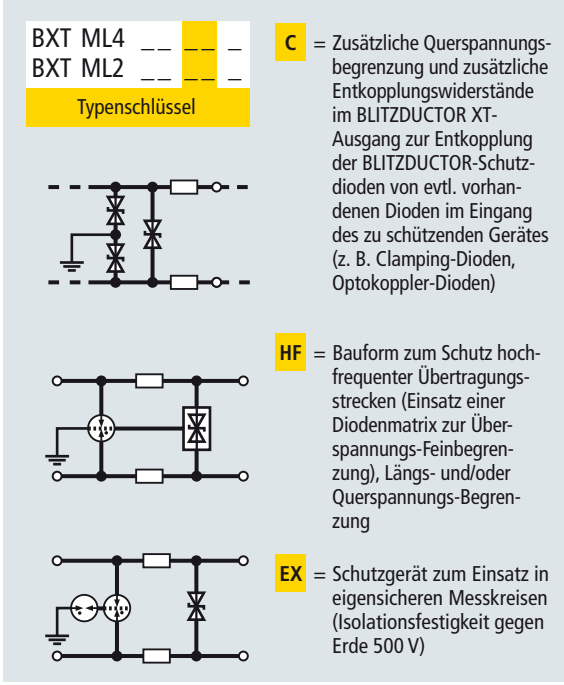


Bild 8.2.3 Hinweis auf besondere Anwendungsfälle

- ➡ Strom (z. B. 0 – 20 mA, 4 – 20 mA)
- ➡ Signalbezug (symmetrisch, unsymmetrisch)
- ➡ Frequenz (DC, NF, HF)
- ➡ Signalart (analog, digital).

Jede dieser elektrischen Größen des zu übertragenden Nutzsignales kann die eigentliche zu übermittelnde Information enthalten.

Deshalb darf das Nutzsignal durch den Einsatz von Blitzstrom- und Überspannungs-Ableitern in MSR-Anlagen nicht unzulässig beeinflusst werden. Dabei sind für die Auswahl von Schutzgeräten für MSR-Anlagen einige Punkte zu beachten, die nachfolgend für unsere universellen Schutzgeräte BLITZDUCTOR XT beschrieben und durch Einsatzbeispiele illustriert werden (**Bilder 8.2.1 bis 8.2.4 und Tabelle 8.2.1**).

Typenbezeichnung der Ableiter-Module

C Zusätzliche Querspannungsbegrenzung und zusätzliche Entkopplungswiderstände am BLITZDUCTOR XT-Ausgang zur Entkopplung der BLITZDUCTOR-Schutzdioden von evtl. vorhandenen Dioden der Eingangsschaltung des zu schützenden Gerätes (z. B. Clamping-Dioden, Optokoppler-Dioden).

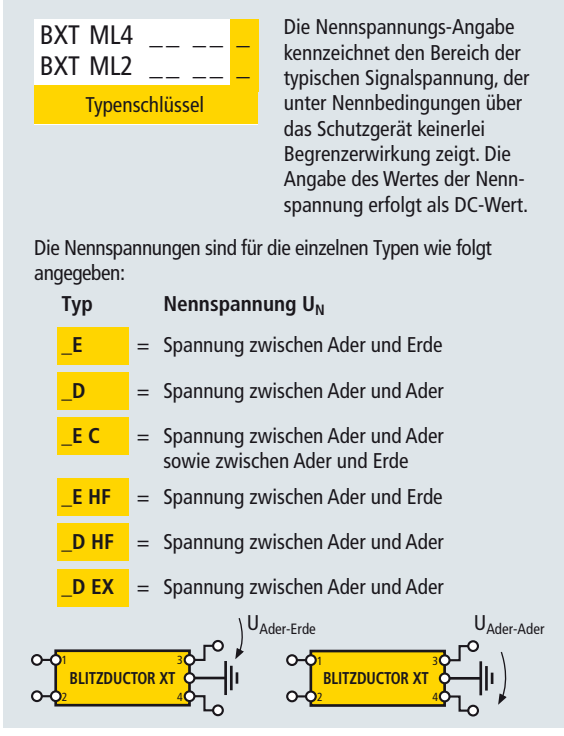


Bild 8.2.4 Nennspannung und Bezug

ML4 B	180	ML2 B	180
ML4 BE	5 12 24 36 48 60 180	ML2 BE S	5 12 24 36 48
ML4 BD	5 12 24 48 60 180	ML2 BD S	5 12 24 48 180
ML4 BC	5 24		
ML4 BE C	12 24		
ML4 BE HF	5	ML2 BE HFS	5
ML4 BD HF	5 24	ML2 BD HFS	5
ML4 MY	110 250	ML2 MY	110 250
		ML2 BD DL S	15
ML4 BD EX	24	ML2 BD S EX	24
ML4 BC EX	24		
		ML2 BD HF EX	6

Tabelle 8.2.1 Typenbezeichnung der BXT Ableiter-Module

HF Bauform zum Schutz hochfrequenter Übertragungsstrecken (Einsatz einer Diodenmatrix zur Überspannungsfeinbegrenzung), Längs- und/oder Querspannungsbegrenzung.

EX Schutzgerät zum Einsatz in eigensicheren Messkreisen, ATEX, IECEx und FISCO-Zulassung (Isolationsfestigkeit gegen Erde 500 V AC).

Technische Daten

Schutzpegel U_p

Der Schutzpegel ist ein Parameter eines Überspannungsschutzgerätes, der die Leistungsfähigkeit charakterisiert, die Spannung über seinen Anschlussklemmen zu begrenzen. Der spezifizierte Wert des Schutzpegels muss größer sein als der höchste Wert der gemessenen Begrenzungsspannungen.

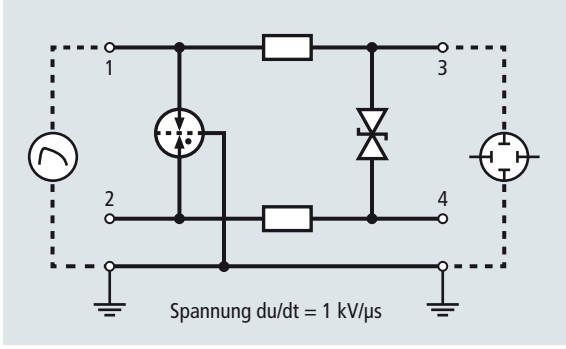


Bild 8.2.5 Prüfaufbau zur Ermittlung der Begrenzungsspannung bei einer Spannungsanstiegsgeschwindigkeit du/dt = 1 kV/µs

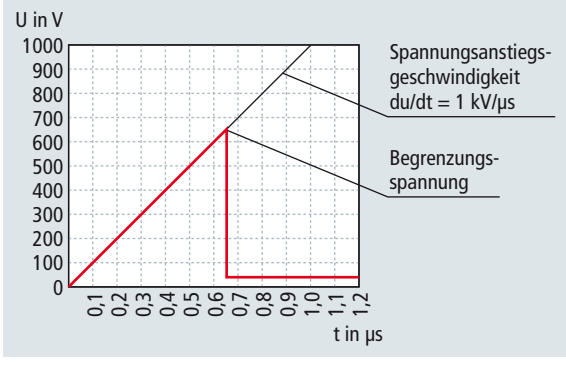


Bild 8.2.6 Ansprechverhalten eines ÜsAg bei du/dt = 1 kV/µs

Die gemessene Begrenzungsspannung ist die maximale Spannungshöhe, die über den Klemmen des Überspannungsschutzgerätes während der Beaufschlagung mit Stoßströmen und/oder Stoßspannungen bei vorgegebener Wellenform und Amplitude gemessen wird.

Begrenzungsspannung bei einer Steilheit der verwendeten Prüfspannungswelle von 1 kV/µs

Diese Prüfung dient zur Ermittlung des Ansprechverhaltens von Gasentladungsableitern (ÜsAg). Diese Schutzelemente besitzen eine „Schaltcharakteristik". Die Wirkungsweise eines ÜsAg lässt sich als Schalter beschreiben, dessen Widerstand beim Überschreiten eines bestimmten Spannungswertes „automatisch" von Werten > 10 GΩ (im nichtgezündeten Zustand) auf Werte < 0,1 Ω (im gezündeten Zustand) umschalten kann, sodass die anliegende Überspannung nahezu kurzgeschlossen wird. Der Spannungswert, bei dem das Ansprechen des ÜsAg erfolgt, ist abhängig von der Anstiegsgeschwindigkeit der einlaufenden Spannungswelle (du/dt).

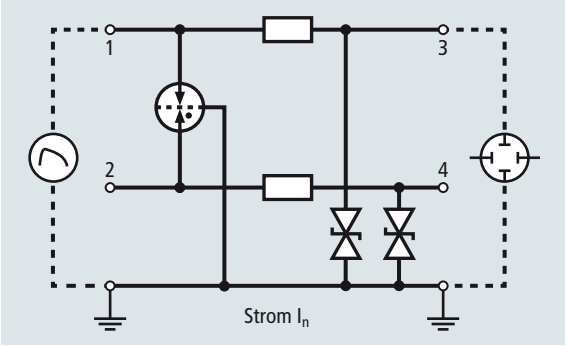


Bild 8.2.7 Prüfaufbau zur Ermittlung der Begrenzungsspannung bei Nennableitstoßstrom

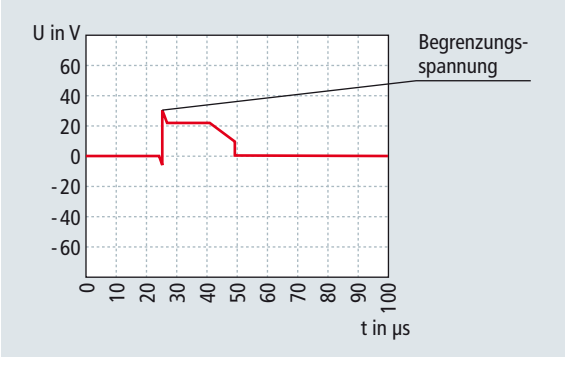


Bild 8.2.8 Begrenzungsspannung bei Nennableitstoßstrom

Tendenziell gilt: je größer du/dt, desto höher die Ansprechspannung des ÜsAg. Um eine Vergleichbarkeit der Ansprechwerte verschiedener ÜsAgs zu ermöglichen, wird zur Ermittlung der dynamischen Ansprechspannung eine Spannung mit der Anstiegsgeschwindigkeit 1 kV/µs an die Elektroden des ÜsAg angelegt, und der Ansprechwert wird ermittelt (**Bilder 8.2.5 und 8.2.6**).

Begrenzungsspannung bei Nennableitstoßstrom

Diese Prüfung dient zur Ermittlung des Begrenzungsverhaltens von Schutzelementen mit stetiger Begrenzungscharakteristik (**Bilder 8.2.7 und 8.2.8**).

Nennstrom I_L

Der Nennstrom des BLITZDUCTOR XT kennzeichnet den zulässigen Betriebsstrom des zu schützenden Messkreises. Der Nennstrom des BLITZDUCTOR XT wird durch die Stromtragfähigkeit und die Verlustleistung der zur Entkopplung zwischen den Gasentladungsableitern und den Feinschutzelementen verwendeten Impedanzen sowie durch die Folgestromlöschfähigkeit der Gasentladungsableiter bestimmt. Er wird als Gleichstromwert angegeben (**Bild 8.2.9**).

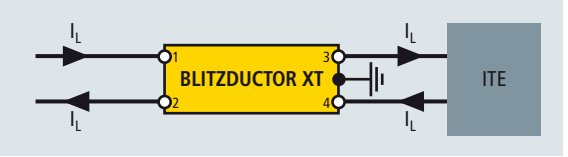


Bild 8.2.9 Nennstrom des BLITZDUCTOR XT

Typ	I_L bei 45 °C	Typ	I_L bei 45 °C
B	1,2 A		
BE	0,75 A / 1 A	BD	0,75 A / 1 A
BC	0,75 A / 1 A	BE C	0,1 A
BE HF	1 A	BD HF	1 A
MY	3 A	BD DL S	0,4 A
		BD EX	0,5 A
		BD HF EX	4,8 A

Tabelle 8.2.2 Maximale Nennströme der Ableiter-Module BXT

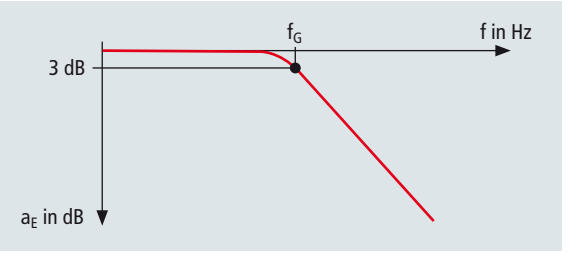


Bild 8.2.10 Typischer Frequenzgang eines BLITZDUCTOR XT

Die maximalen Nennströme der einzelnen Ableiter-Module des BLITZDUCTOR XT sind beispielhaft in **Tabelle 8.2.2** aufgeführt.

Grenzfrequenz f_G

Die Grenzfrequenz beschreibt das frequenzabhängige Verhalten eines Ableiters. Als Grenzfrequenz gilt diejenige Frequenz, die unter bestimmten Prüfbedingungen eine Einfügungsdämpfung (a_E) von 3 dB hervorruft (s. EN 61643-21) (**Bild 8.2.10**). Wird nichts anderes ausgewiesen, bezieht sich die Frequenzangabe auf ein 50 Ohm-System.

Auswahlkriterien (AK)

1. Welches Ableitvermögen wird benötigt?

Die Bemessung des Ableitvermögens des BLITZDUCTOR XT hängt davon ab, welche Schutzaufgabe durch diesen Ableiter

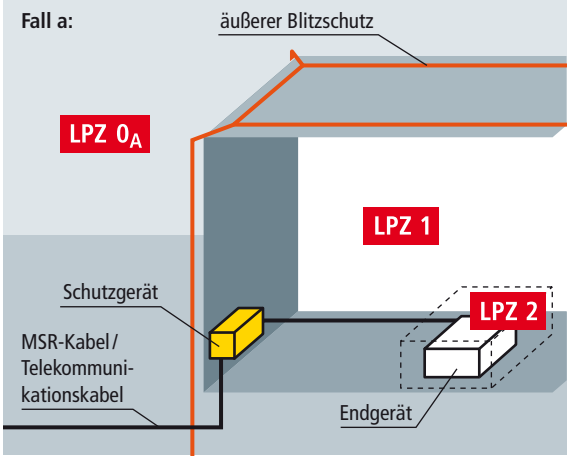


Bild 8.2.11 Gebäude mit äußerem Blitzschutz und gebäudeüberschreitender Leitungsverlegung entsprechend dem Blitzschutzzonen-Konzept

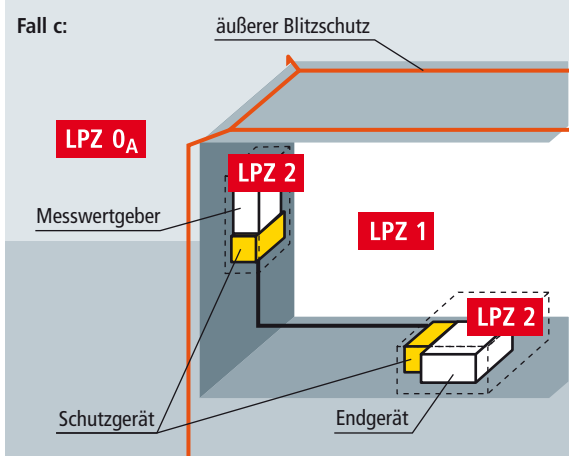


Bild 8.2.13 Gebäude mit äußerem Blitzschutz und gebäudeinterner Leitungsverlegung entsprechend dem Blitzschutzzonen-Konzept

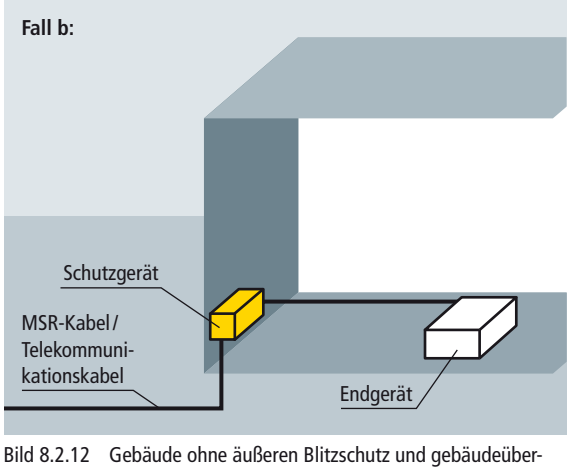


Bild 8.2.12 Gebäude ohne äußeren Blitzschutz und gebäudeüberschreitender Leitungsverlegung

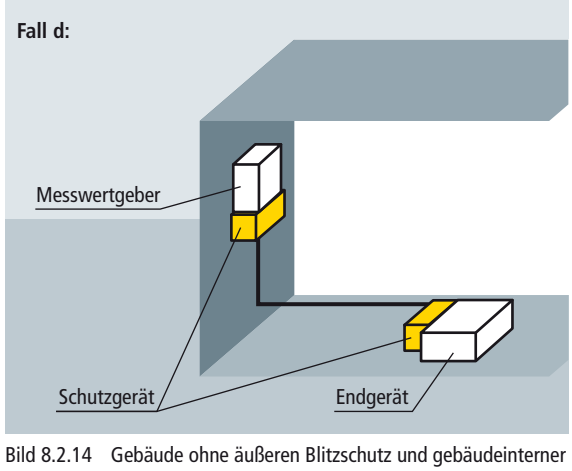


Bild 8.2.14 Gebäude ohne äußeren Blitzschutz und gebäudeinterner Leitungsverlegung

erfüllt werden soll. Zur Vereinfachung der Auswahl sind die nachfolgenden Fälle a bis d angegeben.

Fall a

In diesem Anwendungsfall befindet sich das zu schützende Endgerät in einem Gebäude mit äußerem Blitzschutz, oder das Gebäude besitzt metallene, blitzeinschlaggefährdete Dachaufbauten (z. B. Antennenmaste, Klimageräte). Das MSR- oder Telekommunikationskabel, welches das Endgerät (**Bild 8.2.11**) mit einem Messwertgeber verbindet, ist als gebäudeüberschreitende Leitung verlegt: Sie führt zum Messwertgeber, der sich im Feld befindet. Da auf dem Gebäude ein äußerer Blitzschutz angebracht ist, wird an dieser Stelle der Einsatz eines Blitzstrom-Ableiters TYPE 1 notwendig. Aus der Produktfamilie BLITZDUCTOR XT kommen dafür reine Blitzstrom-Ableiter oder Kombi-Abeiter (TYPE 1) infrage.

Fall b

Der Fall b ist ähnlich gelagert wie der Fall a, jedoch besitzt hier das Gebäude, in dem sich das zu schützende Endgerät befindet, keinen äußeren Blitzschutz: Hier wird nicht unmittelbar mit dem Auftreten von direkten Blitzströmen gerechnet. Der Einsatz eines blitzstromtragfähigen TYPE 1-Ableiters ist nur dann erforderlich, wenn das MSR-Kabel durch benachbarte Gebäude blitzbeeinflusst werden kann, d. h. wenn also über das Kabel Blitzteilströme geführt werden.

Wird dies ausgeschlossen, kommen Überspannungsschutzgeräte TYPE 2 zum Einsatz (**Bild 8.2.12**).

Fall c

Im Fall c wird im Bereich der MSR-/Telekommunikationsverkabelung keine gebäudeüberschreitende Leitung verlegt. Trotzdem das Gebäude über einen äußeren Blitzschutz verfügt, kann in dem betrachteten Bereich des Telekommunikationssystems kein direkter Blitzstrom auftreten. Damit erfolgt in diesem Fall die Anwendung von Überspannungs-Ableitern. Dabei können beispielsweise auch BLITZDUCTOR XT-Kombi-Ableiter mit entsprechendem Endgeräteschutz eingesetzt werden (**Bild 8.2.13**).

Fall d

Der Fall d unterscheidet sich zum Fall c dahingehend, dass das betreffende Gebäude keinen äußeren Blitzschutz besitzt und auch keine gebäudeüberschreitenden MSR-/Telekommunikationskabel verlegt sind. Damit sind zum Schutz der Geräte nur Überspannungs-Ableiter erforderlich. Wie im Beispiel b und c kann auch hier der Einsatz von Kombi-Ableiter-Modulen der BLITZDUCTOR XT-Produktfamilie erfolgen (**Bild 8.2.14**).

2. Gegen welche Störphänomene soll geschützt werden?

Bei der Einteilung von Störphänomenen wird grundsätzlich zwischen **Längs- und Querüberspannungen** unterschieden**. Längsüberspannungen** treten immer **zwischen dem Signalleiter und der Erde** auf, während **Querüberspannungen** ausschließlich **zwischen zwei Signalleitungen** vorkommen. Die meisten der in Signalstromkreisen auftretenden Störungen sind Längsüberspannungen. Für die Auswahl von Schutzgeräten bedeutet dies, dass in der Regel Schutzgeräte ausgewählt werden sollen, die eine Feinbegrenzung der Überspannung zwischen Signalader und Erde vornehmen (**Typ ...E**). Bei bestimmten Eingangsstufen von Geräten, wie z. B. Trennübertragern, ist eine Feinbegrenzung der Überspannung zwischen Ader und Erde entbehrlich. Hier erfolgt der Schutz gegen Längsüberspannungen ausschließlich durch die Gasentladungsableiter. Da diese jedoch ein unterschiedliches zeitliches Ansprechverhalten zeigen, tragen Gasentladungsableiter durch ihr Ansprechen dazu bei, dass aus der Längsüberspannung u. U. eine Querüberspannung erzeugt werden kann. Deshalb ist in einem solchen Fall ein Feinschutzelement zwischen den Signaladern eingesetzt (**Typ ...D**).

3. Bestehen spezielle Anforderungen der Anpassung der Schutzschaltung an die Eingangsschaltung des zu schützenden Gerätes?

Mitunter kann es erforderlich sein, Geräteeingänge gegen das Auftreten von Längs- und Querüberspannungen zu schützen. Die Eingangsstufen von derartigen zu schützenden elektronischen Geräten sind in der Regel bereits mit eigenen Schutzschaltungen versehen oder besitzen Optokopplereingänge zur Potentialtrennung des Signalkreises und der internen Schaltung des Automatisierungsgerätes. Damit sind zusätzliche Maßnahmen zur Entkopplung des BLITZDUCTOR XT zur Eingangsschaltung des zu schützenden Gerätes notwendig. Diese Entkopplung wird durch weitere Entkopplungselemente zwischen den Feinschutzelementen und den Ausgangsklemmen des BLITZDUCTOR XT realisiert.

4. Wie hoch ist die zu übertragende Signalfrequenz/ Datenübertragungsgeschwindigkeit?

Die Schutzschaltung des BLITZDUCTOR XT zeigt ein tiefpassähnliches Verhalten. Die Angabe der Grenzfrequenz gibt an, ab welchem Frequenzwert das zu übertragende Signal in der Amplitude (mehr als 3 dB) bedämpft wird. Um die Rückwirkung des BLITZDUCTOR XT auf das Übertragungssystem in zulässigen Grenzen zu halten, muss die Signalfrequenz des Signalstromkreises unterhalb der Grenzfrequenz für den BLITZDUCTOR XT liegen. Die Angabe der Grenzfrequenz gilt für sinusförmige Größen. Im Bereich der Datenübertragung treten jedoch meistens keine sinusförmigen Signalformen auf. In diesem Zusammenhang ist darauf zu achten, dass die max. Datenübertragungs-Geschwindigkeit des BLITZDUCTOR XT größer als die Übertragungs-Geschwindigkeit des Signalkreises ist. Bei der Übertragung impulsförmiger Signalgrößen, bei denen die aufsteigende oder abfallende Impulsflanke bewertet wird, ist darauf zu achten, dass diese Flanke innerhalb einer bestimmten Zeit von „Low" nach „High" oder von „High" nach „Low" wechselt. Dieses Zeitintervall ist wichtig für das Erkennen einer Flanke und für das Durchfahren eines „verbotenen Bereiches". Das Signal benötigt damit eine Frequenzbandbreite, die wesentlich höher ist als die Grundwelle dieser Schwingung. Die Grenzfrequenz für das Schutzgerät muss damit entsprechend hoch angesetzt werden. Als Faustregel gilt, dass die Grenzfrequenz nicht kleiner sein darf als das 5-fache der Grundwelle.

5. Wie groß ist der Betriebsstrom des zu schützenden Systems?

Aufgrund der elektrischen Eigenschaften der in der Schutzschaltung des BLITZDUCTOR XT verwendeten Bauteile ist der Betriebsstrom, der über das Schutzgerät übertragen werden kann, begrenzt. Für die Anwendung bedeutet dies, dass der Betriebsstrom eines Signalsystems kleiner oder gleich dem Nennstrom des Schutzgerätes sein darf. Dabei sind auch mögliche Kurzschlussströme zu berücksichtigen und durch geeignete Maßnahmen (z. B. Vorsicherung) im Anlagenkreis zu begrenzen.

6. Welche max. mögliche Betriebsspannung kann in dem zu schützendem System auftreten?

Die max. auftretende Betriebsspannung im Signalkreis muss kleiner oder gleich der höchsten Dauerspannung U_c des BLITZDUCTOR XT sein, damit das Schutzgerät unter normalen Betriebsbedingungen keinerlei Begrenzungswirkung zeigt.
Die max. auftretende Betriebsspannung in einem Signalstromkreis ist in der Regel die Nennspannung des Übertragungssystems unter Berücksichtigung von Toleranzen. Im Bereich der Anwendung von Stromschleifen (z. B. 0–20 mA) ist für die max. mögliche Betriebsspannung immer die Leerlaufspannung des Systems anzusetzen.

7. Welchen Bezug hat die max. auftretende Betriebsspannung?

Unterschiedliche Signalstromkreise besitzen unterschiedliche Signalbezüge (symmetrisch / unsymmetrisch). Zum einen kann die Betriebsspannung des Systems als Ader-Ader-Spannung angegeben werden und zum anderen als Ader-Erde-Spannung. Das ist bei der Auswahl des Schutzgerätes zu berücksichtigen. Durch die unterschiedliche Schaltung der Feinschutzelemente im BLITZDUCTOR XT-Ableiter-Modul werden auch unterschiedliche Nennspannungen angegeben. Diese sind im **Bild 8.2.4 und Tabelle 8.2.1** dargestellt.

8. Wirkt sich das Einschalten der Entkopplungsimpedanzen des BLITZDUCTOR XT in den Signalstromkreis nachhaltig beeinflussend auf die Signalübertragung aus?

Zur Koordination der Schutzelemente im BLITZDUCTOR XT sind Entkopplungsimpedanzen eingebaut. Diese liegen unmittelbar im Signalstromkreis und können somit diesen unter Umständen beeinflussen. Insbesondere bei Stromschleifen (0–20 mA, 4–20 mA) kann das Einschalten des BLITZDUCTOR XT eine Überschreitung der max. zulässigen Bürde des Signalstromkreises verursachen, wenn dieser bereits mit seiner max. zulässigen Bürde betrieben wird. Dies ist vor dem Einsatz zu betrachten!

9. Welche Schutzwirkung ist notwendig?

Prinzipiell besteht die Möglichkeit, den Schutzpegel für ein Überspannungsschutzgerät so zu bemessen, dass dieser unterhalb der Zerstörungsgrenze für ein Automatisierungs- / Telekommunikationsendgerät liegt. Das Problem bei einer derartigen Bemessung besteht darin, dass die Zerstörungsgrenze für ein Endgerät meist nicht bekannt ist. Deshalb ist es notwendig, hier ein anderes Vergleichskriterium heranzuziehen. Im Rahmen der Prüfung auf elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) müssen elektrische und elektronische Betriebsmittel eine Störfestigkeit gegenüber leitungsgeführten impulsförmigen Störgrößen aufweisen. Die Anforderungen für diese Prüfungen und die Prüfaufbauten sind in DIN EN 61000-4-5 (VDE 0847-4-5) beschrieben. Für unterschiedliche Geräte, die in unterschiedlichen elektromagnetischen Umgebungsbedingungen eingesetzt werden, sind unterschiedliche Prüfschärfegrade hinsichtlich der Störfestigkeit gegenüber impulsförmigen Störgrößen festgelegt. Diese Prüfschärfegrade tragen die Bezeichnung 1 bis 4, wobei der Prüfschärfegrad 1 die geringsten Störfestigkeitsanforderungen an die zu schützenden Geräte beinhaltet und der Prüfschärfegrad 4 die höchsten Störfestigkeitsanforderungen eines Gerätes sicherstellt.
Für die Schutzwirkung eines Überspannungsschutzgerätes bedeutet dies, dass die mit dem Schutzpegel verbundene „Durchlassenergie" so gering sein muss, dass diese unterhalb der spezifizierten Störfestigkeit des betreffenden zu schützenden Gerätes liegt. Deshalb wurden die Yellow/Line-Produkte in Ableiterklassen eingeteilt (**Tabelle 7.8.2.1**), mit deren Hilfe ein koordinierter Einsatz der Ableiter zum Schutz von Automatisierungsgeräten möglich ist. Die Störfestigkeitsprüfung für diese Geräte wurde zum Ausgangspunkt für die Ableiterklassensymbole genommen. Ist beispielsweise ein Automatisierungsgerät mit einem Prüfschärfegrad 1 geprüft, so darf das Schutzgerät nur eine max. „Durchlassenergie" haben, die diesem Störpegel entspricht. Für die Praxis bedeutet dies, dass Automatisierungsgeräte, die mit dem Prüfschärfegrad 4 geprüft wurden, dann störungsfrei arbeiten können, wenn der Ausgang des Schutzgerätes einen Schutzpegel entsprechend des Prüfschär-

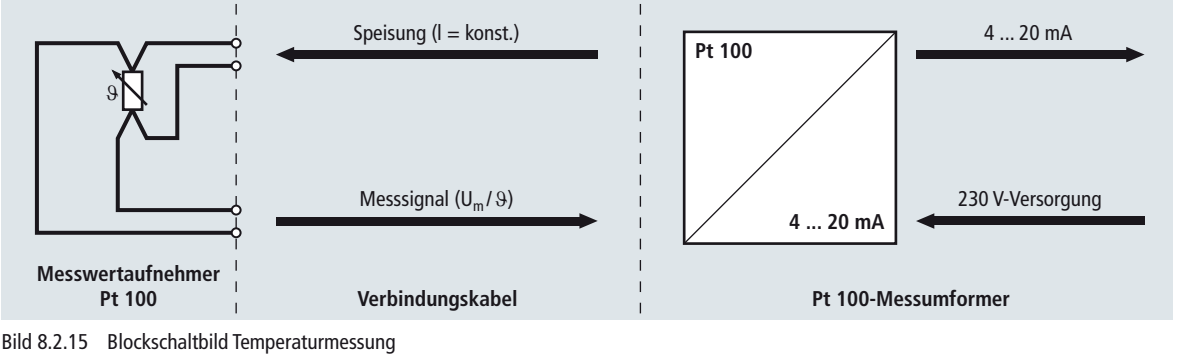


Bild 8.2.15 Blockschaltbild Temperaturmessung

AK	Fallbeschreibung	Zwischenresultat	Gesamtresultat
1	Der Messwertaufnehmer befindet sich an einem Prozessgerüst in einer Fabrikationshalle und der Messumformer in einer Messwarte innerhalb des Fabrikationsgebäudes. Das Gebäude besitzt keinen äußeren Blitzschutz. Die Messleitungen verlaufen innerhalb des Gebäudes. Dieses Beispiel entspricht dem **Fall d** (**Bild 8.2.14**).	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 B...	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 B...
2	Die Überspannungsgefährdung der Messwertaufnehmer Pt 100 wie auch des Pt 100-Messumformers tritt zwischen Signalader und Erde auf. Damit ist eine **Längsspannungs-Feinbegrenzung** notwendig.	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE
3	Es bestehen keine speziellen Anforderungen der Anpassung der Schutzschaltung an die Eingangsschaltung der zu schützenden Geräte (Pt 100, Pt 100-Messumformer).	Kein Einfluss	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE
4	Bei der zu schützenden Temperaturmesseinrichtung handelt es sich um ein System, das mit Gleichstrom betrieben wird. Die temperaturabhängige Messspannung ist ebenfalls eine Gleichspannungsgröße. Damit sind keinerlei Signalfrequenzen zu beachten.	Kein Einfluss	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE
5	Der Betriebsstrom des Speisestromkreises ist aufgrund des physikalischen Messprinzips eines Pt 100 auf 1 mA begrenzt. Der Betriebsstrom des Messsignals liegt aufgrund des sehr hochohmigen Messabgriffes im µA-Bereich.	I_L des Typs BE = min. 0,75 A 1 mA < 0,75 A ➡ ok µA < 0,75 A ➡ ok	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE
6	Die maximal auftretende Betriebsspannung in diesem System ergibt sich aus folgender Überlegung: Gemäß IEC 60751 werden Pt 100 Messwiderstände bis zu einer max. Temperatur von 850 °C ausgelegt. Der dazu gehörige Widerstand beträgt dabei 390 Ω. Unter Beachtung des eingeprägten Messstromes von 1 mA ergibt sich dabei eine Messspannung von **ca. 390 mV**.	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 ... 5V	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE 5
7	Die Betriebsspannung des Systems tritt **Ader gegen Ader** auf.	BXT ML4 BE 5 hat Nennspannung 5 V DC Ader ➡ Erde, damit Ader ➡ Ader, 10 V DC möglich ➡ keine Beeinflussung des Messsignals	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE 5
8	Durch die Verwendung der Vierleiterschaltung für die Temperaturmessung mit dem Pt100 wird eine vollständige Ausschaltung des Einflusses des Leitungswiderstandes und seiner temperaturbedingten Schwankungen auf das Messergebnis erreicht. Dies gilt auch für die Erhöhung des Leitungswiderstandes durch die Entkopplungsimpedanzen des BLITZDUCTOR XT.	Kein Einfluss	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE 5
9	Der Pt 100-Messumformer besitzt eine Störfestigkeit gegenüber leitungsgeführten Störgrößen gemäß Prüfschärfegrad 2 nach DIN EN 61000-4-5. Die mit dem Schutzpegel des Überspannungsschutzgerätes in Zusammenhang stehende „Durchlassenergie" darf max. dem Prüfschärfegrad 2 der DIN EN 61000-4-5 entsprechen.	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE 5 TYPE 1 P1 „Durchlassenergie" entsprechend Prüfschärfegrad 1; „Durchlassenergie" des Schutzgerätes ist geringer als Störfestigkeit des Endgerätes ➡ TYPE 1 P1 ist ok	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE 5
10	Der Überspannungsschutz soll einstufig ausgeführt werden.	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE 5 ➡Kombi-Ableiter	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE 5
Auswahlergebnis:			**BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BE 5**

Tabelle 8.2.3 Auswahlkriterien für elektrische Temperaturmesseinrichtung

fegrades 1, 2, 3 oder 4 aufweist. Damit ist es für den Anwender sehr einfach, geeignete Schutzgeräte auszuwählen.

10. Soll der Schutz in der Anlage ein- oder zweistufig ausgeführt werden?

In Abhängigkeit von der Gebäudeinfrastruktur und den Schutzanforderungen, die durch das Blitzschutzzonen-Konzept gestellt werden, kann es notwendig sein, entweder Blitz- und Überspannungs-Ableiter räumlich getrennt voneinander zu installieren oder aber an einem Punkt der Anlage mittels Kombi-Ableiter. Im ersten Fall ergibt sich der Einsatz des BLITZDUCTOR XT mit dem Ableiter-Modul BXT ML ... B als Blitzstrom-Ableiter sowie einem nachgeordneten Ableiter als Überspannungs-Ableiter. Sind Blitz- und Überspannungsschutzmaßnahmen an einem Punkt der Anlage erforderlich, so kann hier der Einsatz des Kombi-Ableiters, BLITZDUCTOR XT, Typ BE... oder BD..., erfolgen.

Anmerkung: Die nachfolgenden Lösungsbeispiele zeigen die Auswahl von Überspannungsschutzgeräten der Produktfamilie BLITZDUCTOR XT anhand der bisher beschriebenen 10 Auswahlkriterien (AK). Das Resultat eines jeden einzelnen Auswahlschrittes wird in der Spalte „Zwischen-Resultat" angegeben. Die Spalte „Gesamt-Resultat" zeigt den Einfluss des jeweiligen Zwischen-Resultats auf das Gesamt-Auswahlergebnis.

Überspannungsschutz für eine elektrische Temperaturmesseinrichtung

Die elektrische Temperaturmessung bei Medien in technologischen Prozessen wird in allen Industriezweigen betrieben. Dabei können die Einsatz-Bereiche sehr unterschiedlich sein: Sie reichen von der Lebensmittelverarbeitung über chemische Reaktionen bis hin zur Gebäude-Klimatisierung und der Gebäude-Leittechnik. Für all diese Prozesse ist es charakteristisch, dass der Ort der Messwerterfassung weit vom Ort der Messwertanzeige oder -verarbeitung entfernt ist. Durch diese langen Verbindungsleitungen bietet sich die Möglichkeit der Einkopplung von Überspannungen, die nicht nur durch atmosphärische Entladungen verursacht sind. Nachfolgend wird deshalb ein Vorschlag zum Schutz gegen Überspannungen bei der Temperaturmessung mit dem Standard-Widerstandsthermometer Pt 100 erarbeitet. Das Gebäude, in dem sich diese Messeinrichtung befindet, besitzt keinen äußeren Blitzschutz.

Die Messung der Temperatur erfolgt indirekt über die Messung des elektrischen Widerstandes. Der Pt 100-Fühler besitzt bei 0 °C einen Widerstandswert von 100 Ω. In Abhängigkeit von der Temperatur verändert sich dieser Wert, und zwar um ca. 0,4 Ω/K. Um die Temperatur zu messen, wird ein konstanter Mess-Strom eingeprägt, der einen Spannungsfall am Widerstandsthermometer verursacht, welcher proportional zur Temperatur ist. Um eine Eigenerwärmung des Widerstandsthermometers infolge des Mess-Stromes zu verhindern, ist dieser auf 1 mA begrenzt. Damit stellt sich am Pt 100 bei 0 °C ein Spannungsfall von 100 mV ein. Diese Messspannung muss nun an den Ort der Anzeige oder Auswertung übertragen werden (**Bild 8.2.15**). Von den verschiedenen, für einen Pt 100-Messfühler möglichen Anschlusstechniken an den Messumformer sei exemplarisch die Vier-Leiterschaltung herausgegriffen. Sie stellt die optimale Anschlusstechnik für Widerstandsthermometer dar und dient der völligen Ausschaltung des Einflusses der Leitungswiderstände und ihrer temperaturbedingten Schwankungen auf das Messergebnis. Der Pt 100-Fühler wird mit einem eingeprägten Strom gespeist. Die Änderung der Leitungswiderstände wird durch die automatische Verstellung der Speisespannung kompensiert. Ändert sich also der Leitungswiderstand nicht, so ist die gemessene Spannung U_m gleich konstant. Diese Messspannung wird also nur durch die Änderung des Messwiderstandes in Abhängigkeit von der Temperatur verändert und wird hochohmig durch den Messwandler am Messumformer abgegriffen. Ein Leitungsabgleich ist deshalb in dieser Anschlusstechnik nicht erforderlich.

Anmerkung: Zur Vereinheitlichung der Bestückung des Temperaturmess-Systems mit Überspannungsschutzgeräten werden sowohl Speise- als auch Messleitungen mit den gleichen Schutzgerätetypen ausgerüstet. In der Praxis hat es sich bewährt, die Adernpaare für die Speisung und die Messung jeweils einem Schutzgerät zuzuordnen (**Tabelle 8.2.3**).
Ein Überspannungsschutz der 230 V-Versorgung des Pt 100-Messumformers sowie der vom Pt 100-Messumformer abgehenden 4 ... 20 mA-Stromschleife ist ebenfalls erforderlich, jedoch aus Gründen der Übersichtlichkeit in dem Lösungsbeispiel nicht gezeigt.

8.2.1 Mess-Steuer-Regelanlagen

Mess-Steuer- und Regelanlagen bieten aufgrund der großen räumlichen Entfernung zwischen dem Messwertaufnehmer und der Auswerteeinheit die Möglichkeit der Einkopplung von Überspannungen. Die damit verbundene Zerstörung von Komponenten und ein Ausfall kompletter Regeleinheiten kann einen prozesstechnischen Ablauf empfindlich stören. Oftmals wird das Ausmaß eines Überspannungsschadens durch Blitzeinwirkung erst nach Wochen bekannt, da immer mehr elektronische Komponenten ausgetauscht werden müssen, die nicht mehr sicher arbeiten. Schlimme Folgen für den Betreiber kann ein solcher Schaden beim Einsatz eines sog. Feldbussystems haben, wenn alle intelligenten Feldbuskomponenten in einem Segment gleichzeitig ausfallen.
Abhilfe schafft hier der Einsatz von Blitz- und Überspannungsschutzgeräten (SPD), die schnittstellenspezifisch ausgewählt werden müssen.

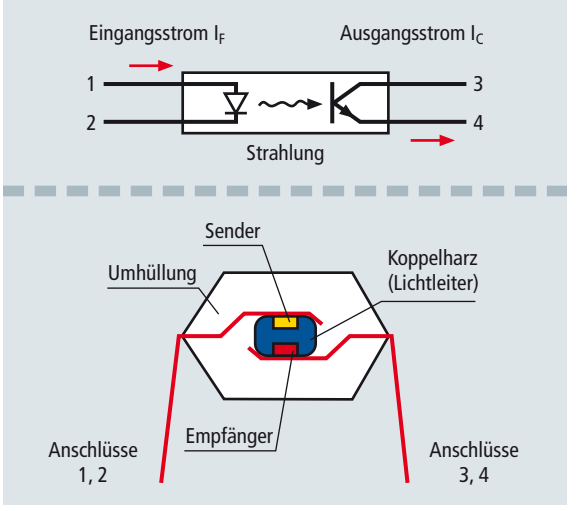


Bild 8.2.1.1 Optokoppler – Prinzipdarstellung

Typische Schnittstellen und die systemspezifischen Schutzgeräte dazu finden Sie in unserem Produktkatalog „Überspannungsschutz" oder unter www.dehn.de.

Galvanische Trennung durch Optokoppler

Oftmals werden zur Signalübertragung in prozesstechnischen Anlagen – um die Feldseite von der Prozessseite galvanisch zu trennen – optoelektronische Bauelemente (**Bild 8.2.1.1**) eingesetzt, die typischerweise eine Spannungsfestigkeit zwischen Ein- und Ausgang von einigen 100 V bis 10 kV herstellen. Sie sind in ihrer Funktion also mit Überträgern vergleichbar und können in erste Linie zum Abblocken von geringen Längsspannungen genutzt werden. Einen ausreichenden Schutz gegen das Auftreten von Längs- und Querspannungen im Falle einer Blitzbeeinflussung (> 10 kV) oberhalb ihrer Sender-/Empfänger-Stoßspannungsfestigkeit können sie jedoch nicht bieten.
Fälschlicherweise gehen viele Planer und Betreiber solcher Anlagen davon aus, dass hiermit auch der Blitz- und Überspannungsschutz realisiert worden ist. An dieser Stelle sei aber ausdrücklich betont, dass mit dieser Spannung lediglich die Isolationsfestigkeit zwischen Ein- und Ausgang (Längsspannung) gegeben ist. Das heißt, dass bei ihrem Einsatz in Übertragungssystemen neben der Längsspannungsbegrenzung zudem auf eine ausreichende Querspannungsbegrenzung geachtet werden muss. Darüber hinaus wird durch die Integration zusätzlicher Entkopplungswiderstände am Ausgang des SPDs eine energetische Koordination zur Optokopplerdiode erreicht.
Somit müssen in diesem Fall längs- und querspannungsbegrenzende SPDs, z. B. BLITZDUCTOR XT Typ BXT ML BE C 24, eingesetzt werden.

Detaillierte Ausführungen zur anwendungsspezifischen Auswahl von Schutzgeräten für die MSR-Technik werden im Kapitel 9 gezeigt.

8.2.2 Gebäudemanagementtechnik

Steigender Kostendruck zwingt die Besitzer und Betreiber von Gebäuden im öffentlichen und privatwirtschaftlichen Bereich immer mehr, nach Kosteneinsparpotenzialen beim Gebäudebetrieb zu suchen. Die Methode, mit deren Hilfe die Kosten nachhaltig gesenkt werden können, ist das Technische Gebäudemanagement (TGM). Bei dem Technischen Gebäudemanagement handelt es sich um ein umfassendes Instrumentarium, um die technische Ausstattung von Gebäuden kontinuierlich bereitzustellen, funktionsfähig zu halten und an wechselnde organisatorische Bedürfnisse anzupassen. Dadurch ist eine optimale Bewirtschaftung möglich, welche die Wirtschaftlichkeit einer Immobilie steigert.

Die Gebäudeautomation (GA) ist aus der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR) einerseits und der zentralen Leittechnik (ZLT) auf der anderen Seite erwachsen. Dabei hat die Gebäudeautomation die Aufgabe, die gebäudetechnischen Funktionen in ihrer Gesamtheit zu automatisieren. Daher wird auf der Managementebene (**Bild 8.2.2.1**) die Gesamtanlage bestehend aus der Raumautomation, der M-Bus-Messanlage sowie der Heizung-Lüftung-Klima- und Störmeldeanlage über leistungsfähige Rechner miteinander vernetzt. In der Managementebene findet die Datenarchivierung statt. Durch Langzeitspeicherung von Daten können Auswertungen über den Energieverbrauch und die Einstellung der Anlagen im Gebäude gewonnen werden.
Auf der Automationsebene befinden sich die eigentlichen Regelgeräte. Vermehrt werden DDC-Stationen (Direct Digital Control) eingesetzt, welche die ganzen Regel- und Schaltfunktionen softwaremäßig implementieren. In der Automationsebene sind sämtliche Betriebsarten, Regelparameter, Sollwerte, Schaltzeiten, Alarmgrenzwerte und die zugehörige Software abgelegt.
Auf der untersten Ebene, der Feldebene, befinden sich die Feldgeräte, wie Aktoren und Sensoren. Sie stellen die Schnittstelle zwischen der elektrischen Steuerung/Regelung und dem Prozess dar. Aktoren wandeln ein elektrisches Signal in eine andere physikalische Größe (Motoren, Ventile etc.) um. Sensoren wiederum wandeln eine physikalische Größe in ein elektrisches Signal (Temperaturfühler, Endschalter etc.) um.

Gerade die weitverzweigte Vernetzung von DDC-Stationen und die damit verbundene Integration in Gebäudeleittechnik-Systeme bietet eine große Angriffsfläche für Störungen, verursacht durch Blitzströme und Überspannungen. Kommt es da-

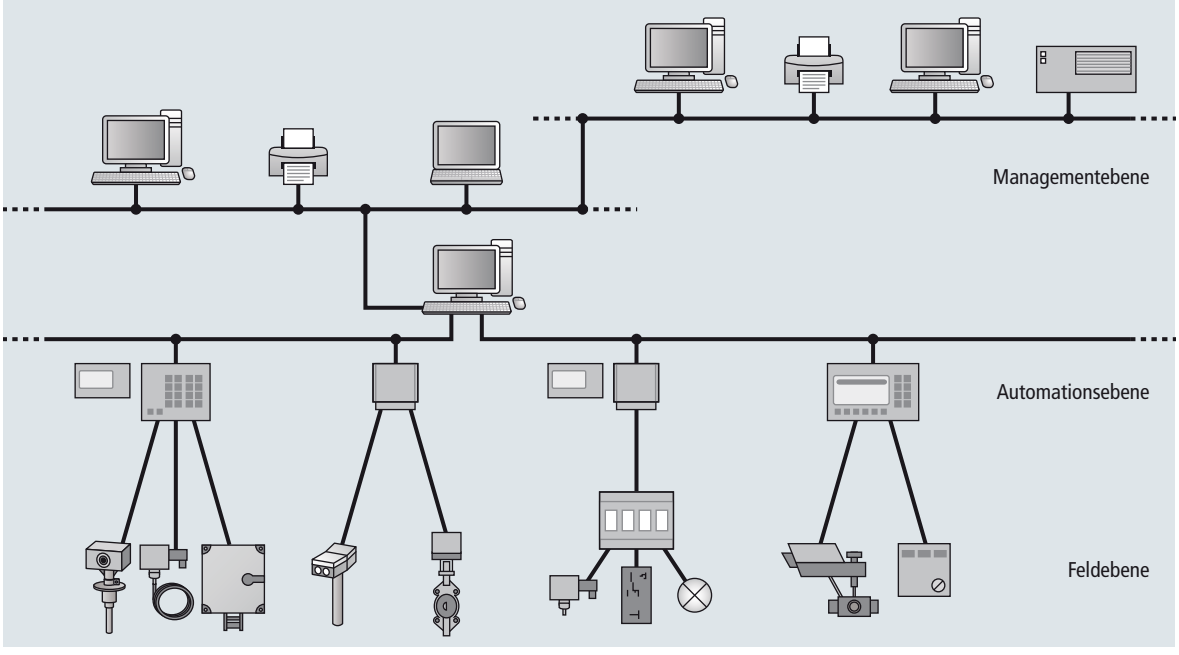


Bild 8.2.2.1 Ebenenmodell einer Gebäudeautomation

durch zum Ausfall der gesamten Lichtsteuerung, Klima- oder Heizungsregelung, erzeugt dies nicht nur primäre Kosten bezüglich der Technik, sondern gerade auch die Folgen des Ausfalls der Anlage schlagen zu Buche. So können empfindliche Mehrkosten beim Energiebezug entstehen, da Spitzenlastwerte durch den Defekt der Steuerelektronik nicht mehr analysiert und optimiert werden können. Sind Produktionsprozesse in der GA mit integriert, führen Schäden an der GA zu Produktionsausfällen und damit durchaus zu einem hohen wirtschaftlichen Schaden. Um die Verfügbarkeit dauerhaft sicherzustellen, sind Schutzmaßnahmen notwendig, die sich nach dem zu beherrschenden Risiko richten.

8.2.3 Anwendungsneutrale Systemverkabelung (EDV-Netzwerke, TK-Anlagen)

Die europäische Norm EN 50173 „Informationstechnik – Anwendungsneutrale Verkabelungssysteme" definiert ein universelles Verkabelungssystem, das innerhalb von Standorten mit einem oder mehreren Gebäuden verwendet werden kann. Sie behandelt Verkabelungen mit symmetrischen Kupferkabeln und Lichtwellenleiter-Kabeln (LWL-Kabel). Diese universelle Verkabelung unterstützt eine breite Palette von Diensten einschließlich Sprache, Daten, Text und Bild.

Sie bietet:

- ein anwendungsunabhängiges, universell einsetzbares Verkabelungssystem und einen offenen Markt für Verkabelungskomponenten (aktive wie passive),
- den Anwendern eine flexible Verkabelungstopologie, in dem sich Änderungen leicht und wirtschaftlich durchführen lassen,
- den Errichtern von Gebäuden eine Anleitung für die Installation einer Verkabelung, bevor spezifische Anforderungen bekannt sind (d. h. schon bei der Planung, unabhängig welche Plattform später installiert wird),
- der Industrie und den Normungsgremien für Netzanwendungen ein Verkabelungssystem, das aktuelle Produkte unterstützt und eine Basis für zukünftige Produktentwicklungen bildet.

Die universelle Verkabelung besteht aus folgenden funktionellen Elementen:

- Standortverteiler (SV)
- Primärkabel
- Gebäudeverteiler (GV)
- Sekundärkabel
- Etagenverteiler (EV)

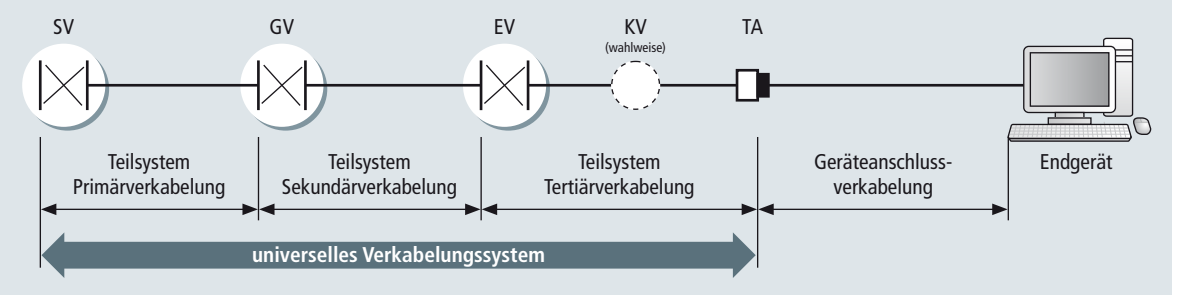


Bild 8.2.3.1 Anwendungsneutrale Verkabelungsstruktur

- Tertiärkabel
- Kabelverzweiger (wahlweise) (KV)
- Informationstechnischer Anschluss (TA).

Gruppen dieser funktionellen Einheiten sind zu Teilsystemen der Verkabelung verbunden.
Ein universelles Verkabelungssystem besteht aus drei Teilsystemen: Primär-, Sekundär- und Tertiär-Verkabelung. Die Teilsysteme der Verkabelung bilden, wie im **Bild 8.2.3.1** gezeigt, zusammen eine universelle Verkabelungsstruktur. Mit Hilfe der jeweiligen Verteiler können beliebige Netztopologien wie Bus, Stern, Baum und Ring realisiert werden.

Das Teilsystem der Primärverkabelung reicht vom Standortverteiler bis zu den Gebäudeverteilern, die üblicherweise in verschiedenen Gebäuden angeordnet sind. Sofern vorhanden, enthält das System die Primärkabel, ihre Auflagepunkte (am Standort- und an den Gebäudeverteilern) und die Rangiereinrichtungen im Standortverteiler.

Das Teilsystem der Sekundärverkabelung erstreckt sich vom (von den) Gebäudeverteiler(n) bis zu dem (den) Etagenverteiler(n). Das Teilsystem enthält die Sekundärkabel, ihre mechanischen Auflagepunkte (am Gebäude- und an den Etagenverteilern) und die Rangiereinrichtungen im Gebäudeverteiler.

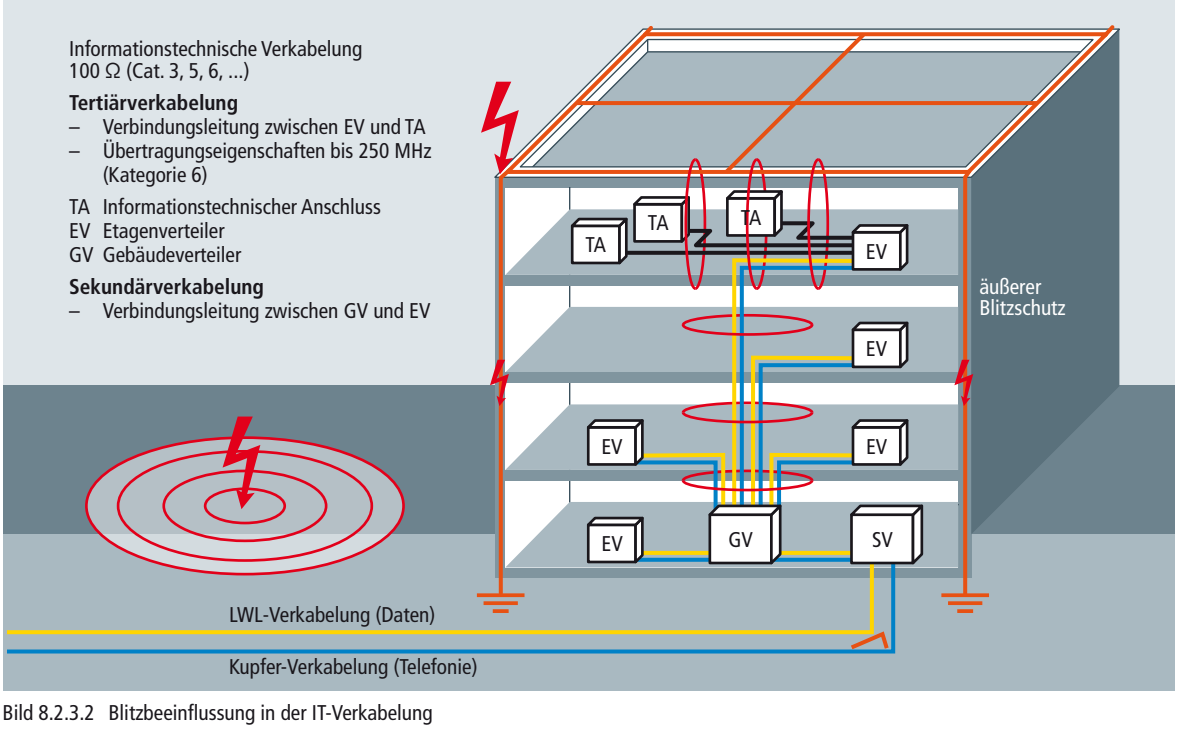


Bild 8.2.3.2 Blitzbeeinflussung in der IT-Verkabelung

Das Teilsystem der Tertiärverkabelung reicht vom Etagenverteiler zu dem / den angeschlossenen informationstechnischen Anschluss / Anschlüssen). Das Teilsystem enthält die Tertiärkabel, ihre mechanischen Auflagepunkte am Etagenverteiler, den Rangierverteiler im Etagenverteiler und die informationstechnischen Anschlüsse.

Zwischen dem Standort- und dem Gebäudeverteiler werden üblicherweise Lichtwellenleiter als Datenverbindung verwendet. Somit sind also von der Feldseite her gesehen keine Überspannungs-Ableiter (SPD) erforderlich. Falls jedoch die LWL-Kabel einen metallischen Nagetierschutz mit sich führen, so muss dieser in das Blitzschutzsystem mit integriert werden. Die aktiven LWL-Komponenten zur Verteilung der Lichtwellenleiter werden jedoch energieseitig mit 230 V versorgt. Hier können SPDs für die Energietechnik eingesetzt werden.

Die Sekundärverkabelung (Gebäudeverteiler zu Etagenverteiler) wird heutzutage für die Übertragung von Daten fast ausschließlich mit LWL verkabelt. Für die Übertragung von Sprache (Telefon) werden jedoch noch immer symmetrische Kupferkabel (sog. Stammkabel) eingesetzt.
Bei der Tertiärverkabelung (Etagenverteiler und Endgerät) setzt man heute bis auf wenige Ausnahmen symmetrische Kupferkabel ein.

Bei Leitungslängen von ca. 500 m (Sekundärverkabelung) oder ca. 100 m (Tertiärverkabelung) können durch direkte Blitzeinschläge in das Gebäude (**Bild 8.2.3.2**) hohe Längsspannungen induziert werden, die das Isolationsvermögen eines Routers und/oder einer ISDN-Karte im PC überlasten würden. Hier sind sowohl im Gebäude- / Etagenverteiler (Hub, Switch, Router) als auch am Endgerät (TA) Schutzmaßnahmen vorzusehen.

Die dazu erforderlichen Schutzgeräte sind entsprechend der Netzanwendung auszuwählen. Übliche Netzanwendungen sind:

- Token Ring
- Ethernet 10 Base T
- Fast Ethernet 100 Base TX
- Gigabit Ethernet 1000 Base TX.

8.2.4 Eigensichere Messkreise

In allen Bereichen der Industrie, in denen bei der Verarbeitung oder dem Transport brennbarer Stoffe Gase, Dämpfe, Nebel oder Stäube entstehen, die im Gemisch mit Luft eine explosionsfähige Atmosphäre in Gefahr drohender Menge bilden können, müssen zum Schutz vor Explosionen besondere Maßnahmen getroffen werden.

Abhängig von der Möglichkeit und der zeitlichen Dauer des Auftretens einer explosionsfähigen Atmosphäre werden Bereiche der Ex-Anlage in Zonen eingeteilt – sogenannte Ex-Zonen.

Ex-Zonen

Die Ex-Zonen mit Bereichen, in denen gefährliche explosionsfähige Atmosphären, z. B. durch Gase, Dämpfe und Nebel entstehen, werden in die Ex-Zonen 0 bis 2 eingeteilt und die Bereiche der Ex-Zonen in denen gefährliche explosionsfähige Atmosphären durch Stäube entstehen können, in die Ex-Zonen 20 bis 22.
Entsprechend der Zündfähigkeit der im jeweiligen Anwendungsbereich auftretenden entzündlichen Stoffe werden die Explosionsgruppen I, IIA, IIB und IIC unterschieden, für die verschiedene Zündgrenzkurven vorgegeben sind. Die Zündgrenzkurve, abhängig vom Zündverhalten des zu betrachtenden zündfähigen Stoffes, gibt die Maximalwerte für die Betriebsspannung und den Betriebsstrom an.
Die Explosionsgruppe IIC enthält die zündwilligsten Stoffe, z. B. Wasserstoff und Acetylen. Diese Stoffe besitzen bei Erwärmung verschiedene Zündtemperaturen, die durch die Einordnung in die Temperaturklassen (T1 ... T6) festgelegt sind.
Um zu vermeiden, dass elektrische Betriebsmittel in explosionsfähigen Atmosphären Zündquellen bilden, werden diese Betriebsmittel in unterschiedlichen Zündschutzarten ausgeführt. Eine Zündschutzart, die weltweit besonders in der Mess-, Steuer- und Regeltechnik Anwendung findet, ist die Eigensicherheit Ex(i).

Zündschutzart Eigensicherheit

Die Zündschutzart Eigensicherheit basiert auf dem Prinzip der Strom- und Spannungsbegrenzung in einem Stromkreis. Die Energie des Stromkreises oder eines Teils des Stromkreises, die in der Lage ist, eine explosionsfähige Atmosphäre zum Zünden zu bringen, wird dabei so gering gehalten, dass weder durch Funken noch durch unzulässige Oberflächenerwärmung der elektrischen Bauteile die Zündung der umgebenden explosionsfähigen Atmosphäre stattfinden kann. Außer Spannung und Strom der elektrischen Betriebsmittel müssen die als Energiespeicher wirkenden Induktivitäten und Kapazitäten im gesamten Stromkreis auf sichere max. Werte begrenzt werden.

Für den sicheren Betrieb z. B. eines MSR-Stromkreises bedeutet dies, dass weder die beim betriebsmäßigen Öffnen und Schließen des Stromkreises (etwa an einem im eigensicheren Stromkreis liegenden Schaltkontakt) entstehenden Funken noch solche, die im Fehlerfall (etwa bei einem Kurzschluss oder Erdschluss) auftreten, zündfähig sein dürfen. Außerdem muss sowohl für den normalen Betrieb als auch für den Fehlerfall eine Wärmezündung durch zu hohe Erwärmung der im eigensicheren Stromkreis befindlichen Betriebsmittel und Leitungen ausgeschlossen werden können.

Grundsätzlich ist damit die Zündschutzart Eigensicherheit auf Stromkreise begrenzt, in denen relativ kleine Leistungen erforderlich sind. Dies sind Stromkreise der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik sowie der Datentechnik. Die durch die Begrenzung der im Stromkreis verfügbaren Energie erreichbare Eigensicherheit bezieht sich – im Gegensatz zu anderen Zündschutzarten – nicht auf einzelne Geräte, sondern auf den gesamten Stromkreis. Daraus resultieren einige erhebliche Vorteile gegenüber anderen Zündschutzarten.

Zum einen sind für die im Feld eingesetzten elektrischen Betriebsmittel keine aufwendigen Sonderkonstruktionen, wie z. B. druckfeste Kapselung oder Einbetten in Gießharz, notwendig, woraus sich im Wesentlichen wirtschaftlichere Schutzlösungen ergeben; zum anderen erlaubt die Eigensicherheit dem Anwender als einzige Zündschutzart im explosionsgefährdeten Raum ohne Beeinträchtigung des Explosionsschutzes freizügig an allen eigensicheren Anlagen unter Spannung zu arbeiten.

Gerade in der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik hat deshalb die Eigensicherheit erhebliche Bedeutung, nicht zuletzt im Zusammenhang mit dem zunehmenden Einsatz elektronischer Automatisierungssysteme. Allerdings stellt die Eigensicherheit höhere Anforderungen an den Planer bzw. Errichter einer Anlage als andere Zündschutzarten. Die Eigensicherheit eines Stromkreises ist nicht nur abhängig von der Einhaltung der Baubestimmungen für die einzelnen Betriebsmittel, sondern auch von der richtigen Zusammenschaltung aller Betriebsmittel im eigensicheren Stromkreis und von der korrekten Installation.

Transiente Überspannungen im Ex-Bereich

Die Zündschutzart Eigensicherheit betrachtet alle im System vorhandenen elektrischen Energiespeicher, nicht jedoch die von außen, z. B. durch atmosphärische Entladungen eingekoppelten Überspannungen.

Eingekoppelte Überspannungen entstehen in großflächigen Industrieanlagen vor allem durch nahe und ferne Blitzeinschläge. Bei einem direkten Blitzeinschlag verursacht der Spannungsfall an der Erdungsanlage eine Potentialanhebung in der Größenordnung von einigen 10 bis 100 kV. Diese Potentialanhebung wirkt als Potentialdifferenz auf alle Betriebsmittel, die durch Leitungen mit entfernt angeordneten Betriebsmitteln verbunden sind. Solche Potentialdifferenzen sind erheblich größer als die Isolationsfestigkeiten der Betriebsmittel und können leicht zum Überschlag führen. Bei fernen Blitzeinschlägen wirken hauptsächlich die eingekoppelten Überspannungen in Leitungen, die als Querspannung (Differenzspannung zwischen den Adern) die Eingänge elektronischer Betriebsmittel zerstören können.

Einteilung der elektrischen Betriebsmittel in die Schutzniveaus ia, ib oder ic

Ein für den Explosionsschutz wesentlicher Gesichtspunkt der Zündschutzart Eigensicherheit ist die Frage nach der Zuverlässigkeit bezüglich der Einhaltung der Spannungs- und Stromgrenzen, auch unter der Annahme bestimmter Fehler. Man unterscheidet drei verschiedene Schutzniveaus (ia, ib, ic) hinsichtlich der Zuverlässigkeit und Sicherheit der elektrischen eigensicheren Betriebsmittel.

Das Schutzniveau ic beschreibt den ungestörten Betrieb ohne das Auftreten von Fehlern. Hier muss die Eigensicherheit während des Normalbetriebs erhalten bleiben.

Das Schutzniveau ib besagt, dass bei Auftreten eines Fehlers im eigensicheren Stromkreis die Eigensicherheit ebenfalls noch erhalten bleiben muss.

Das Schutzniveau ia fordert, dass bei Auftreten von zwei voneinander unabhängigen Fehlern die Eigensicherheit noch aufrecht erhalten bleiben muss.

Der prinzipielle Einsatz von SPD ist für einen MSR-Kreis im **Bild 8.2.4.1** dargestellt.

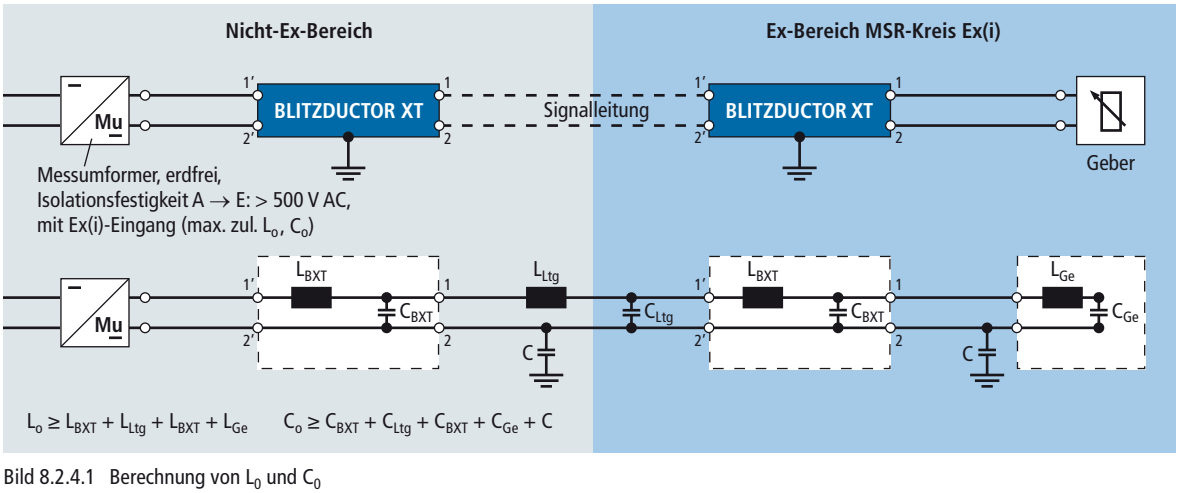


Bild 8.2.4.1 Berechnung von L_0 und C_0

Maximalwerte für Strom I_0, Spannung U_0, Induktivität L_0 und Kapazität C_0

An der Schnittstelle zwischen Ex-Bereich und Nicht-Ex-Bereich (sicherer Bereich) werden zur Trennung dieser zwei unterschiedlichen Bereiche Sicherheitsbarrieren oder Messumformer mit Ex(i)-Ausgangskreis eingesetzt.
Die sicherheitstechnischen Maximalwerte einer Sicherheitsbarriere oder eines Messumformers mit Ex(i)-Ausgangskreis sind durch die Prüfbescheinigungen einer autorisierten Prüfstelle festgelegt:

- maximale Ausgangsspannung U_0
- maximaler Ausgangsstrom I_0
- maximale äußere Induktivität L_0
- maximale äußere Kapazität C_0.

Der Planer / Errichter prüft in jedem Einzelfall, ob diese sicherheitstechnisch zulässigen Maximalwerte von den angeschlossenen, sich im eigensicheren Stromkreis befindlichen Betriebsmitteln (d. h. Feldgeräte, Leitungen und SPD) eingehalten werden. Die entsprechenden Werte sind dem Typenschild des zugehörigen Betriebsmittels oder der Baumuster-Prüfbescheinigung zu entnehmen.

Hinweis

Bei Verwendung von eigensicheren SPDs von DEHN sind gemäß EG-Baumusterbescheinigung die inneren Induktivitäten und Kapazitäten des Betriebsmittels vernachlässigbar. Bei der Berechnung der Maximalwerte von L_0 und C_0 ist hier der Wert 0 einzusetzen.

Einteilung in Explosionsgruppen

Explosionsfähige Gase, Dämpfe und Nebel werden gemäß der zum Zünden der explosionsfähigsten Mischung mit Luft erforderten Funkenenergie klassifiziert.
Betriebsmittel werden entsprechend der Gase, mit denen sie verwendet werden können, klassifiziert.
Die Gruppe II gilt für alle Einsatzbereiche, z. B. der chemischen Industrie, Kohle- und Getreideverarbeitung, außer für den Bergbau unter Tage.
Die Explosionsgefahr ist in der Gruppe II C am höchsten, da in dieser Gruppe ein Gemisch mit der geringsten Zündenergie berücksichtigt wird.
Die Bescheinigung des BLITZDUCTORs für die Explosionsgruppe II C erfüllt daher die höchsten, d. h. sensibelsten Ansprüche für ein Gemisch aus Wasserstoff in Luft.

Einteilung in Temperaturklassen

Bei der Zündung einer explosionsfähigen Atmosphäre durch die heiße Oberfläche eines Betriebsmittels ist zur Auslösung der Explosion eine stofftypische Mindesttemperatur erforderlich. Die Zündtemperatur ist eine Stoffkennzahl, die das Zündverhalten der Gase, Dämpfe oder Stäube an einer heißen Oberfläche kennzeichnet. Aus wirtschaftlichen Gründen werden daher Gase und Dämpfe in bestimmte Temperaturklassen eingeteilt. Die Temperaturklasse T6 beschreibt beispielsweise, dass die maximale Oberflächentemperatur des Bauteiles einen Wert von 85 °C im Betriebs- wie im Fehlerfalle nicht überschreiten darf und die Zündtemperatur der Gase und Dämpfe über 85 °C liegen muss.
Mit der Klassifizierung T6 erfüllt der BLITZDUCTOR XT auch in diesem Punkt die höchste festgelegte Anforderung.
Entsprechend der Konformitätsbescheinigung der KEMA sind die nachfolgenden elektrischen Parameter zusätzlich zu beachten.

Auswahlkriterien für SPD – BLITZDUCTOR XT

Am Beispiel des BLITZDUCTOR XT, BXT ML4 BD EX 24, werden anschließend die für dieses Bauteil spezifischen Auswahlkriterien erläutert (**Bild 8.2.4.2**).

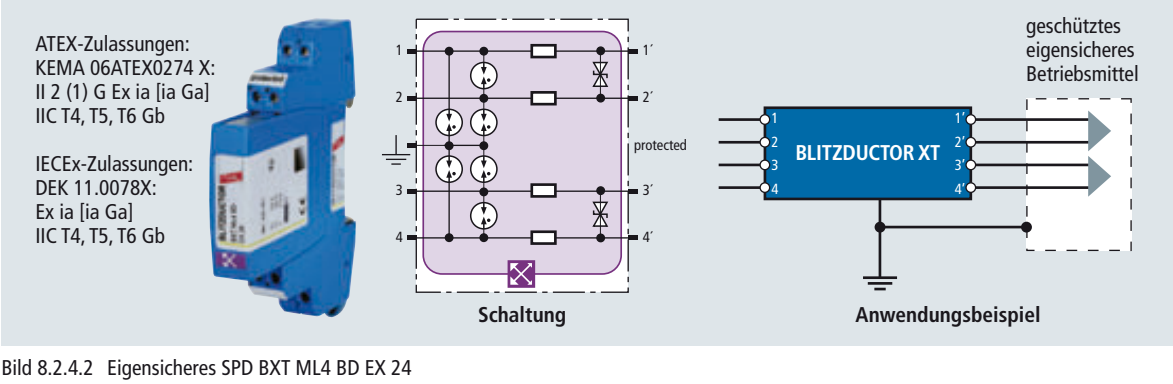


Bild 8.2.4.2 Eigensicheres SPD BXT ML4 BD EX 24

Das Bauteil besitzt eine von der KEMA ausgestellte EG-Baumusterprüfbescheinigung mit der Kennzeichnung **KEMA 06ATEX0274 X**.

Die Kennzeichnung sagt aus:

KEMA Symbol der Prüfstelle

06 Gerät erstmals bescheinigt 2006

ATEX ATEX-Generation

0274 laufende Nummer der Prüfstelle

X „X"– besondere Bedingungen zur sicheren Verwendung sind zu beachten. Diese sind in der EG-Baumusterprüfbescheinigung unter Punkt 17 zu finden.

Das Überspannungsschutzgerät hat folgende Klassifizierung:
II 2(1) G Ex ia [ia Ga] IIC T4…T6 Gb

Diese Klassifizierung sagt aus:

II Gerätegruppe – das SPD darf in allen Bereichen außer im Grubenbau (Bergbau) eingesetzt werden.

2(1) G Gerätekategorie – das SPD darf in Ex-Zone 1 und auch in Anlagenkreisen mit Leitungen aus Zone 0 kommend (zum Schutz von Endgeräten in Zone 0) installiert werden. Atmosphäre: G = Gas; D = Staub.

Ex Die Prüfstelle bescheinigt die Übereinstimmung dieses elektrischen Betriebsmittels mit den harmonisierten europäischen Normen DIN EN 60079-0:2010-03 – Allgemeine Bestimmungen, und DIN EN 60079-11:2012-06 – Eigensicherheit „i".

ia Zündschutzart – das SPD beherrscht auch die Kombination von zwei beliebigen Fehlern im eigensicheren Stromkreis, ohne dass einen Zündung vom ihm ausgeht.

[ia Ga] Zündschutzart ia und EPL Ga – Gerät mit „sehr hohem" Schutzniveau zur Verwendung in gasexplosionsgefährdeten Bereichen, in denen bei Normalbetrieb, vorhersehbaren oder seltenen Fehlern / Fehlfunktionen keine Zündgefahr besteht. Das Gerät ist somit auch zum Schutz von Signalen aus Ex-Zone 0 geeignet. Das Betriebsmittel selbst darf nicht in der Ex-Zone 0 installiert werden (s. Gb).

IIC Explosionsgruppe – das SPD erfüllt die Anforderungen der Explosionsgruppe IIC und darf auch bei zündfähigen Gasen wie Wasserstoff oder Acetylen eingesetzt werden.

T4 Zwischen -40 °C und +80 °C.

T5 Zwischen -40 °C und +75 °C.

T6 Zwischen -40 °C und +60 °C.

Gb EPL Gb – Gerät mit „hohem" Schutzniveau zur Verwendung in gasexplosionsgefährdeten Bereichen, in denen bei Normalbetrieb oder vorhersehbaren Fehlern / Fehlfunktionen keine Zündgefahr besteht.

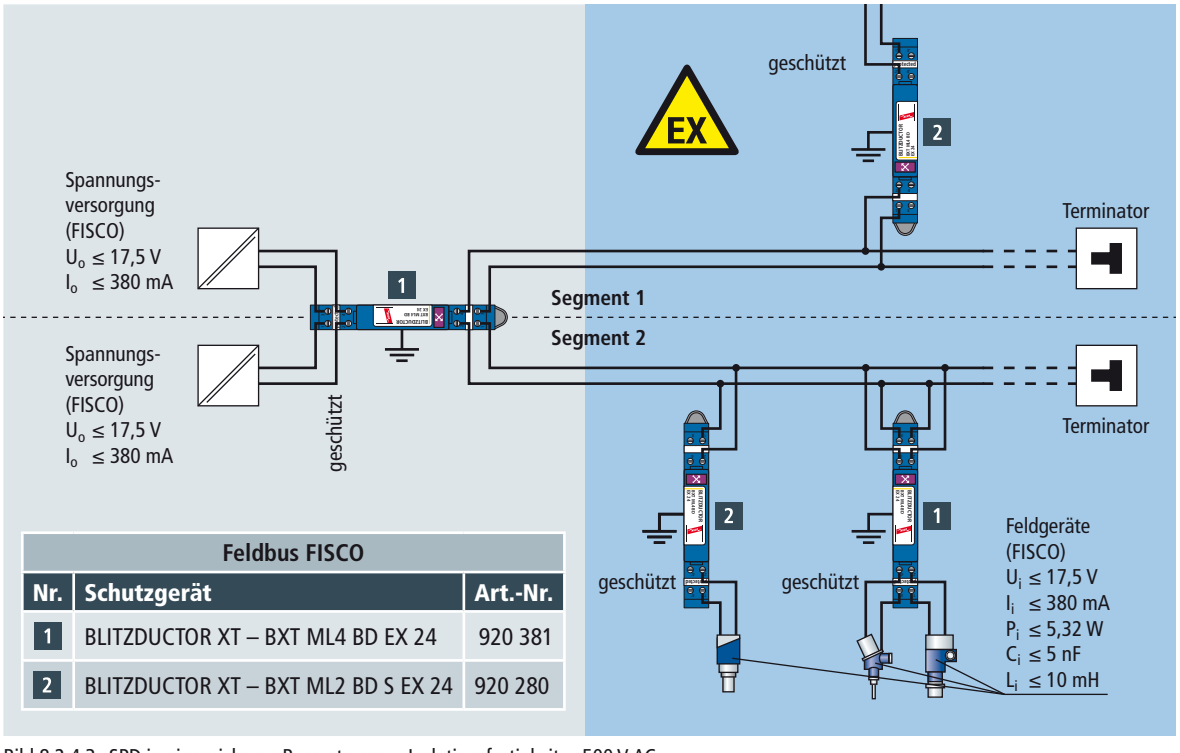
Weitere wichtige elektrische Daten:

- Maximale äußere Induktivität (L_0) und maximale äußere Kapazität (C_0):
  Durch die besondere Bauteileauswahl im SPD BLITZDUCTOR XT sind die Werte der inneren Induktivität und Kapazität der verschiedenen Einzelkomponenten vernachlässigbar klein ($L_i = 0$; $C_i = 0$).
- Maximaler Eingangsstrom (I_i):
  Der höchstzulässige Strom, der über die Anschlussteile eingespeist werden darf, beträgt 500 mA, ohne dass die Eigensicherheit aufgehoben wird.
- Maximale Eingangsspannung (U_i):
  Die höchste Spannung, die an dem SPD BLITZDUCTOR XT angelegt werden darf, ist 30 V, ohne dass die Eigensicherheit aufgehoben wird.

Erdfreiheit von Ex(i)-Kreisen

Die Isolierung zwischen einem eigensicheren Stromkreis und dem Chassis des elektrischen Betriebsmittels oder anderer Teile, die geerdet sein können, muss üblicherweise dem Effektivwert einer Prüfwechselspannung mit doppeltem Wert der Spannung des eigensicheren Stromkreises oder 500 V – je nachdem, welcher Wert höher ist – standhalten. Betriebsmittel mit einer Isolationsfestigkeit < 500 V AC gelten als geerdet.
Eigensichere Betriebsmittel (z. B. Kabel, Messumformer, Geber) haben in der Regel eine Isolationsfestigkeit von > 500 V AC (**Bild 8.2.4.3**).

Eigensichere Stromkreise müssen geerdet werden, wenn dies aus Sicherheitsgründen nötig ist. Sie dürfen geerdet werden, wenn dies aus Funktionsgründen erforderlich ist. Diese Erdung darf nur an einer Stelle durch Verbinden mit dem Potentialausgleich erfolgen. SPDs mit einer Ansprechgleichspannung gegen Erde < 500 V DC, stellen eine Erdung des eigensicheren Stromkreises dar.
Bei einer Ansprechgleichspannung des SPDs von > 500 V DC wird der eigensichere Stromkreis als nicht geerdet betrachtet. Dieser Anforderung entspricht der BLITZDUCTOR XT (BXT ML4 BD EX 24 bzw. BXT ML2 BD S EX 24).
Um die Spannungsfestigkeit der zu schützenden Geräte (Messumformer und Geber) mit dem Schutzpegel des SPDs zu koordinieren, ist darauf zu achten, dass die Isolationsfestigkeit der zu schützenden Geräte deutlich über den Anforderungen für eine Prüfwechselspannung von 500 V AC liegt.
Um den Schutzpegel durch den Spannungsfall des abzuleitenden Störstromes in der Erdverbindung nicht zu verschlech-



Feldbus FISCO		
Nr.	**Schutzgerät**	**Art.-Nr.**
1	BLITZDUCTOR XT – BXT ML4 BD EX 24	920 381
2	BLITZDUCTOR XT – BXT ML2 BD S EX 24	920 280

Bild 8.2.4.3 SPD in eigensicheren Bussystemen – Isolationsfestigkeit > 500 V AC

tern, ist ein konsequenter Potentialausgleich zwischen dem zu schützendem Gerät und dem SPD zu einzuhalten.

Erdung / Potentialausgleich

Der konsequente Potentialausgleich und die Vermaschung der Erdungsanlage im Ex-Anlagenbereich ist zu beachten. Der Querschnitt der Erdleitung vom SPD zum Potentialausgleich muss mindestens 4 mm² Cu betragen. Beim Einsatz mehrerer SPDs wird eine Erhöhung auf 16 mm² Cu empfohlen.

Einsatz SPD BLITZDUCTOR XT in Ex(i)–Stromkreisen

Die normativen Festlegungen für Ex(i)-Stromkreise aus Sicht des Explosionsschutzes und der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) entsprechen unterschiedlichen Standpunkten, was bei Planern und Errichtern von Anlagen mitunter zu Zweifeln führt.

Im Kapitel 9.15, unter der Überschrift: „Einsatz von Überspannungsschutzgeräten in eigensicheren Messkreisen", werden die jeweils wichtigsten Auswahlkriterien für die Eigensicherheit und für den EMV / Überspannungsschutz in Anlagen aufgelistet, um die Wechselwirkung mit dem jeweiligen anderen Anforderungsprofil zu erkennen.

8.2.5 Besonderheiten bei der Installation von SPDs

Die Schutzwirkung von SPD für ein zu schützendes Gerät ist gegeben, wenn eine Störgröße auf einen Wert reduziert wird, der unterhalb der Stör- oder Zerstörgrenze und oberhalb der max. Betriebsspannung eines zu schützende Gerätes liegt. Allgemein wird die Schutzwirkung eines Ableiters vom Hersteller durch den Schutzpegel U_p angegeben (s. DIN EN 61643-21 (VDE 0845-3-1)). Die Wirksamkeit eines Schutzgerätes hängt jedoch von zusätzlichen Parametern ab, die durch die Installation vorgegeben werden. Beim Ableitvorgang kann der Stromfluss durch die Installation (z. B. L und R der Potentialausgleichsleitung) einen Spannungsfall $U_L + U_R$ verursachen, der zu U_p addiert werden muss und die Restspannung am Endgerät U_r ergibt:

$$U_r = U_p + U_L + U_R$$

Folgende Bedingungen ermöglichen einen optimalen Überspannungsschutz:

➡ Die max. Betriebsspannung U_c des SPDs sollte möglichst knapp über der Leerlaufspannung des Systems liegen.

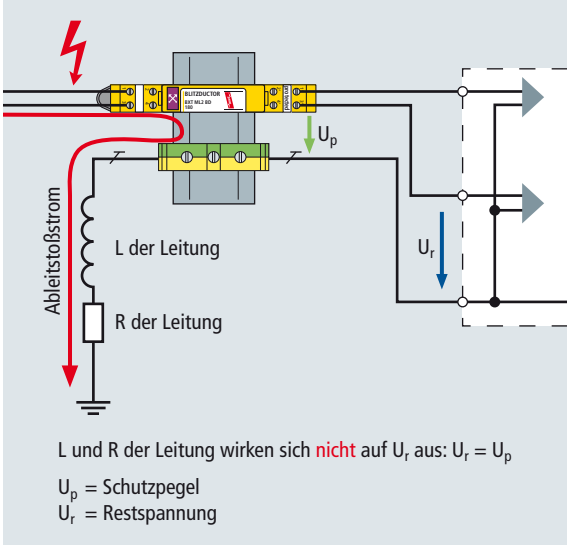


Bild 8.2.5.1 Richtige Installation

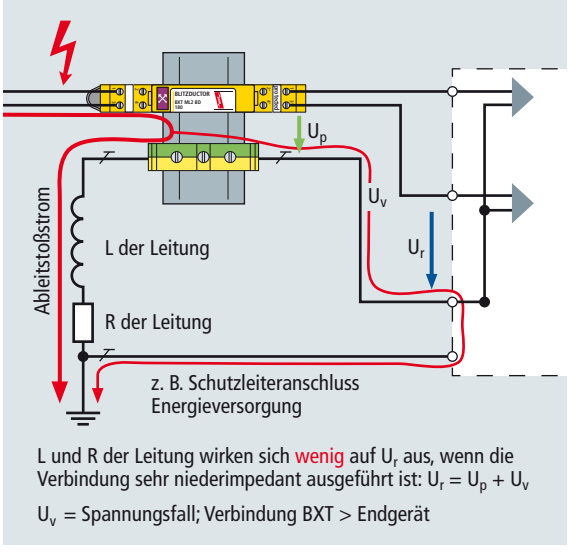


Bild 8.2.5.2 Häufigste Installation

- Der Schutzpegel U_p des SPDs sollte möglichst klein sein, da sich zusätzliche Spannungsfälle durch die Installation dann weniger auswirken.
- Der Potentialausgleich sollte möglichst niederimpedant ausgeführt werden.
- Die Installation des SPDs sollte möglichst nahe am Endgerät erfolgen, da dies sich günstig auf die Restspannung auswirkt.

Einbaubeispiele

Beispiel 1: Richtige Installation (Bild 8.2.5.1)

Das Endgerät wird nur direkt über den Erdanschlusspunkt des Ableiters geerdet. Dies hat zur Folge, dass der Schutzpegel U_p des SPD auch wirklich als Restspannung U_r am Eingang des Endgerätes ansteht. Diese Installationsform zeigt den für den Endgeräteschutz günstigsten Anwendungsfall.

$$U_r = U_p$$

$U_L + U_R$ wirken sich nicht aus.

Beispiel 2: Häufigste Installation (Bild 8.2.5.2)

Das Endgerät wird direkt über den Erdanschlusspunkt des Ableiters und über die angeschlossenen Schutzleiter geerdet. Dies hat zur Folge, dass ein Teil des Ableitstoßstromes, je nach Impedanzverhältnis, über die Verbindung zum Endgerät abfließt. Um ein Überkoppeln der Störung von der Verbindungs-Potentialausgleichsleitung zu den geschützten Adern zu verhindern und die Restspannung klein zu halten, ist diese möglichst getrennt zu verlegen oder/und sehr niederimpedant auszuführen (z. B. metallene Montageplatte). Diese Installationsform zeigt die gängige Installationspraxis für Endgeräte der Schutzklasse I:

$$U_r = U_p + U_v$$

Beispiel 3: Falsch durchgeführter Potentialausgleich (Bild 8.2.5.3)

Das Endgerät wird nur direkt z. B. über den Schutzleiteranschluss geerdet. Ein niederimpedanter Potentialausgleich

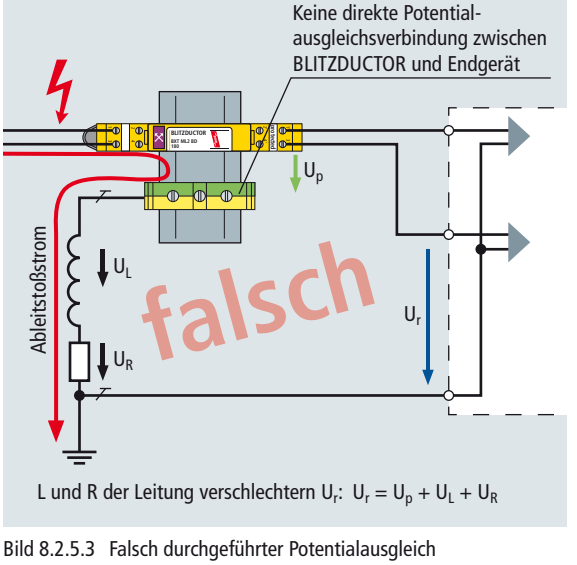
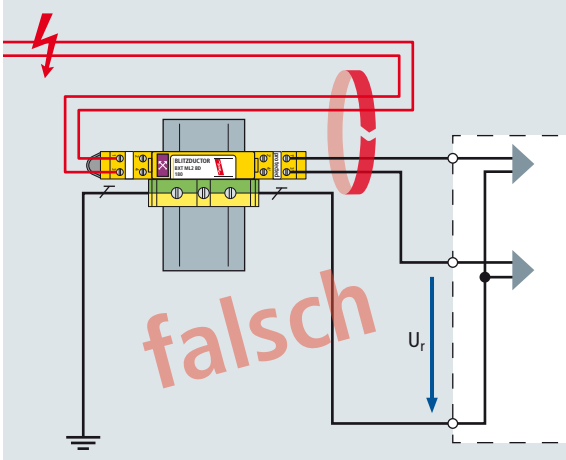


Bild 8.2.5.3 Falsch durchgeführter Potentialausgleich



Durch falsche Leitungsführung werden Störungen von der ungeschützten auf die geschützte Leitung eingekoppelt

Bild 8.2.5.4 Falsche Leitungsführung

zu dem Schutzgerät besteht nicht. Die Strecke der Potentialausgleichsleitung von Schutzgerät bis zum Zusammentreffen mit dem Schutzleiteranschluss des Endgerätes (z. B. Potentialausgleichsschiene) beeinflusst die Restspannung erheblich. Je nach Leitungslänge können Spannungsfälle bis zu einigen kV auftreten, die sich zu U_p addieren und zur Zerstörung des Endgerätes durch einen zu hohen Restspannungspegel am Geräteeingang führen können:

$$U_r = U_p + U_L + U_R$$

Beispiel 4: Falsche Leitungsführung (Bild 8.2.5.4)
Trotz eines gut durchgeführten Potentialausgleichs, kann eine falsche Leitungsführung zu einer Beeinträchtigung der Schutzwirkung oder sogar zu Schäden am Endgerät führen. Wird eine strikte räumliche Trennung oder Abschirmung einer ungeschützten Leitung vor dem SPD und einer geschützten Leitung nach dem SPD nicht eingehalten, kann durch das elektromagnetische Störfeld eine Einkopplung von Störimpulsen auf die geschützte Leitungsseite erfolgen.

Schirmung

Die Kabelschirmung wird unter 7.3.1 beschrieben.

Installationsempfehlungen

Die Verwendung von metallischen Schirmen oder Kabelkanälen vermindert die Wechselwirkung zwischen Leiterpaar und Umgebung. Bei geschirmten Kabeln ist Folgendes zu beachten:

- Einseitige Schirmerdung vermindert die Einstrahlung elektrischer Felder
- Beidseitige Schirmerdung vermindert die Einstrahlung elektromagnetischer Felder
- Gegen niederfrequente Magnetfelder bieten herkömmliche Schirme keinen nennenswerten Schutz.

		Für informationstechnische Verkabelung oder Stromversorgungsverkabelung verwendete Kabelkanäle		
Trennklasse (aus Tabelle 3)	Trennung ohne elektromagnetische Barrieren	Offener metallener Kabelkanal [a)]	Lochblech-Kabelkanal [b) c)]	Massiver metallener Kabelkanal [d)]
d	10 mm	8 mm	5 mm	0 mm
c	50 mm	38 mm	25 mm	0 mm
b	100 mm	75 mm	50 mm	0 mm
a	300 mm	225 mm	150 mm	0 mm

a) Schirmleistung (0 MHz bis 100 MHz) äquivalent zu geschweißtem Stahlmaschenkorb mit der Maschengröße von 50 mm x 100 mm (Leitern ausgenommen). Diese Schirmleistung kann auch erzielt werden mit einer Stahlkabelwanne (Kabelbündel ohne Deckel) mit einer geringeren Wanddicke als 1,0 mm und/oder mehr als 20 % gleichmäßig gelochter Fläche.

b) Schirmleistung (0 MHz bis 100 MHz) äquivalent zu einer Stahlkabelwanne (Kabelbündel ohne Deckel) mit einer Wanddicke von mindestens 1,0 mm und höchstens 20 % gleichmäßig gelochter Fläche. Diese Schirmleistung kann auch erziehlt werden mit geschirmten Stromleitungen, die nicht die in Fußnote d) festgelegten Leistungsmerkmale erfüllen.

c) Die obere Oberfläche der installierten Kabel muss mindestens 10 mm unterhalb der Oberkante der Barriere liegen.

d) Schirmleistung (0 MHz bis 100 MHz) äquivalent zu einem Stahl-Installationsrohr mit einer Wanddicke von 1,5 mm. Der angegebene Trennabstand gilt zusätzlich zu der von jeglicher durch Trennstege / Barrieren gebotenen Trennung.

Tabelle 8.2.5.1 Trennung von Telekommunikationsleitungen und Niederspannungsleitungen entsprechend DIN EN 50174-2, Tabelle 4: „Mindesttrennabstände s"

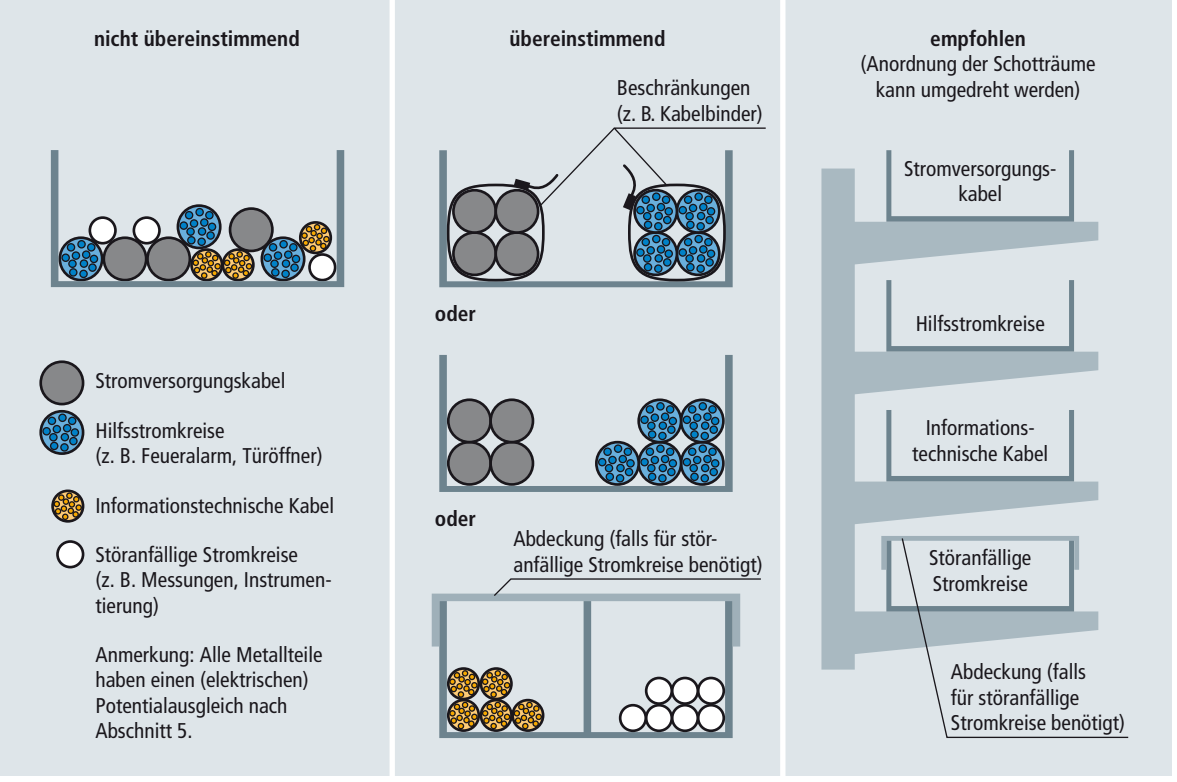


Bild 8.2.5.5 Trennung von Kabeln in Kabelführungssystemen

Empfehlungen

Schirme sollten durchgängig zwischen informationstechnischen Einrichtungen sein, einen geringen Kopplungswiderstand aufweisen und möglichst auf dem vollen Umfang kontaktiert werden. Der Schirm muss die Leitungen möglichst vollflächig umgeben. Schirmunterbrechungen sowie hochimpedante Erdverbindungen und „Kabelschwänze" (Pigtails) sollten vermieden werden.

In welchem Maße Niederspannungsleitungen Telekommunikationsleitungen beeinflussen können, hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Die empfohlenen Richtwerte für die räumlichen Abstände zu Niederspannungsleitungen werden in der DIN EN 50174-2 beschrieben. Bei einer Leitungslänge kleiner als 35 m wird in der Regel kein Trennabstand benötigt. Sonst gilt für die Trennung die **Tabelle 8.2.5.1**.

Empfohlen wird die Verlegung von Telekommunikationsleitungen in flächig geschlossenen und elektrisch verbundenen Metallpritschen. Die metallischen Kabelführungssysteme sollten möglichst häufig, jedoch zumindest am Anfang und am Ende, niederimpedant an Erde angeschlossen werden (**Bild 8.2.5.5**).

8.2.6 Schutz und Verfügbarkeit durch Strategien zur Anlageninstandhaltung

Wie in allen elektrischen und elektronischen Geräten unterliegen auch die in Überspannungsschutzgeräten der Informationstechnik (SPDs) eingesetzten elektronischen Bauelemente einer gewissen Alterung. Dies zeigt anschaulich **Bild 8.2.6.1**, die sog. „Badewannenkurve".

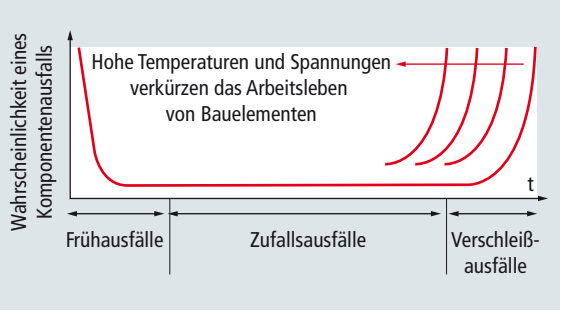


Bild 8.2.6.1 Alterung elektronischer Bauelemente – „Badewannenkurve"

Bild 8.2.6.2 Ableiterprüfung mit LifeCheck DRC LC M1+

Bild 8.2.6.3 Einsatz und Überwachung der Überspannungsschutzgeräte mit der Condition Monitoringeinheit DRC MCM XT

Ziel einer Wartungsstrategie von SPDs sollte es daher sein, rechtzeitig die SPDs zu finden, die in absehbarer Zeit ausfallen könnten.
Auch beim Blitz- und Überspannungsschutz ist das vorrangige Ziel, durch rechtzeitige Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen die Anlagenverfügbarkeit zu erhöhen. Trotzdem sollten gleichzeitig die Aufwendungen für die Instandhaltung und Wartung reduziert werden.

Korrektive Wartung (ausfallorientiert)

Bei dieser Art der Wartung schützt der Ableiter so lange den Anlagenkreis, bis er seine Überlastungsgrenze überschritten hat und vollständig ausfällt. Erst dann werden korrektive Maßnahmen zur Wiederherstellung der Signalverfügbarkeit ergriffen. Drei wichtige Ableiter-Eigenschaften sind hier von Bedeutung:

- Fail Safe: Nach dem Ausfall des Ableiters ist das Datensignal unterbrochen – der Anlagenkreis oder das System ist ausgefallen. Durch die Fail-Safe-Eigenschaft besteht aber weiterhin ein Schutz vor Störbeeinflussungen durch Blitzteilströme oder Überspannungen.
- Teilbarkeit des Ableiters in Schutzmodul und Basisteil: Durch den zweiteiligen Aufbau des Ableiters in Basisteil und Schutzmodul ist ein einfacher Modulwechsel ohne Verdrahtungsaufwand möglich.
- Unterbrechungsfreier Schaltkontakt im Basisteil: Im Fall einer Ableiterüberlastung kann durch das Entfernen des Ableitmoduls aus dem Basisteil die Systemverfügbarkeit einfach und schnell wiederhergestellt werden. Selbst bei aktiver Signalleitung kann ein Austausch des Moduls schnell und ohne Auswirkungen auf den Signalkreis durchgeführt werden. Ohne Schutzmodul funktioniert das Basisteil lediglich als wartungsfreie Durchgangsklemme. Erst wenn das Modul eingesteckt ist, wird der Signalpfad unterbrechungsfrei umgeschaltet und über das Schutzmodul verbunden.

Mit dem BLITZDUCTOR XT, der bei einem Ausfall den Signalfluss unterbricht, in Basisteil und Schutzmodul teilbar und mit einem unterbrechungsfreien Schaltkontakt im Basisteil ausgestattet ist, bestehen ein sicherer Schutz, eine vereinfachte Wartung und damit eine höhere Verfügbarkeit von Anlagen und Systemen.

Vorbeugende Wartung

Die DIN EN 62305-3 Beiblatt 3 (Tabelle 1) beschreibt Wiederholungsprüfungen und Wartungsintervalle eines Blitzschutzsystems. Eine visuelle Inspektion bei SPDs der Informationstechnik kann nicht so einfach durchgeführt werden, da der Zustand des Ableiters in der Regel optisch nicht erkennbar ist. Daher wurden die Ableitermodule mit einer LifeCheck-Überwachung ausgestattet, die eine thermische oder elektrische Belastung aller Ableiterbauelemente erkennt. Wurde der LifeCheck durch eine Vorbelastung des Ableiters ausgelöst, kann dies innerhalb von Wartungsintervallen mit Hilfe eines Ableiter-Prüfgerätes (DRC LC M1+ oder M3+) festgestellt werden (**Bild 8.2.6.2**). Um einen möglichen Anlagenausfall durch weitere nachfolgende Überlastungsereignisse zu vermeiden, sollte das vorgeschädigte Schutzmodul baldmöglichst ausgetauscht werden.

Vorteile dieser SPD-Prüfung sind:

- sehr einfach und sekundenschnell
- erfolgt ohne Ausbau des Schutzmoduls

- Erkennung einer thermischen oder elektrischen Vorbelastung aller Ableiterelemente.

Die Anlagen- und Systemverfügbarkeit kann durch Verkürzung der Wartungsintervalle weiter erhöht werden. Dabei ist jedoch auf die Wirtschaftlichkeit der Instandhaltungsmaßnahme ein besonderes Augenmerk zu richten.

Condition Monitoring

In Bereichen, in denen der höchste Grad an Verfügbarkeit von Anlagen und Einrichtungen sichergestellt werden muss und die Wirtschaftlichkeit der Instandhaltungsmaßnahmen einen hohen Stellenwert einnimmt, wird die zustandsorientierte Wartung angewendet. Mit einem stationären Überwachungsgerät werden Ableiter mit integrierter LifeCheck-Technologie (z. B. BLITZDUCTOR XT) zu einer Überwachungsgruppe zusammengefasst und permanent überwacht (**Bild 8.2.6.3**). Eine Zustandsänderung der Überwachungsgruppe, d. h., ein oder mehrere Ableiter sind vorbelastet, wird dabei sofort über die im Überwachungsgerät integrierten potentialfreien Fernmeldekontakte oder über die RS-485-Schnittstelle signalisiert. Durch den zeitnahen vorbeugenden Austausch vorbelasteter Ableitermodule kann ein drohender Defekt unverzüglich erkannt und damit der Stillstand einer Anlage vermieden werden.

Die Vorteile dieser SPD-Überwachung sind:

- Permanente SPD-Zustandsermittlung während des laufenden Anlagenbetriebs
- Möglichkeit der Fernsignalisierung über RS-485 und Fernmeldekontakte
- Gateway zur Anbindung an ein übergeordnetes Leitsystem oder ein anderes Bussystem.

Überspannungsschutz für Frequenzumrichter

Im Prinzip besteht ein Frequenzumrichter aus einem Gleichrichter, einem Zwischenkreis, einem Wechselrichter und der Steuerelektronik (**Bild 9.1.1**).
Am Wechselrichter-Eingang wird die einphasige oder verkettete dreiphasige Wechselspannung in eine pulsierende Gleichspannung umgewandelt und gelangt in den Zwischenkreis, der auch als Energiespeicher (Puffer) dient.
Durch Kondensatoren im Zwischenkreis und gegen Masse geschaltete L-C-Glieder im Netzfilter können Probleme mit vorgeschalteten RCD-Schutzeinrichtungen entstehen (RCD = **R**esidual **C**urrentprotective **D**evice). Diese Probleme werden fälschlicherweise oftmals mit dem Einsatz von Überspannungs-Ableitern in Verbindung gebracht. Sie entstehen jedoch durch kurzzeitige Fehlerströme des Frequenzumrichters. Diese reichen aus, um empfindliche RCD-Schutzeinrichtungen zum Auslösen zu bringen. Eine mögliche Abhilfe bietet ein stoßstromfester RCD-Schutzschalter, der bei einem Auslösestrom von $I_{\Delta n}$ = 30 mA mit einem Ableitvermögen ab 3 kA (8/20 µs) erhältlich ist.

Der Wechselrichter stellt durch die Steuerelektronik eine getaktete Ausgangsspannung zur Verfügung. Je höher die Taktfrequenz der Steuerelektronik für die Puls-Weiten-Modulation ist, desto mehr ähnelt die Ausgangsspannung einem sinusförmigen Verlauf. Bei jedem Takt entsteht jedoch eine Spannungsspitze, die dem Verlauf der Grundschwingung überlagert ist. Diese Spannungsspitze erreicht Werte über 1200 V (abhängig vom Frequenzumrichter). Je besser die Nachbildung des Sinusverlaufes ist, desto besser ist das Lauf- und Steuerverhalten des Motors. Dies aber bedeutet, dass auch die Spannungsspitzen häufiger am Ausgang des Frequenzumrichters auftreten.
Bei der Auswahl von Überspannungs-Ableitern ist die höchste Dauerspannung U_c zu beachten. Sie gibt die maximal zulässige Betriebsspannung an, an der ein Überspannungsschutzgerät angeschlossen werden darf. Durch die bei Frequenzumrichtern betriebsmäßig entstehenden Spannungsspitzen müssen Ableiter mit einem entsprechend höheren Wert für U_c eingesetzt werden. Dadurch wird vermieden, dass durch den „normalen"

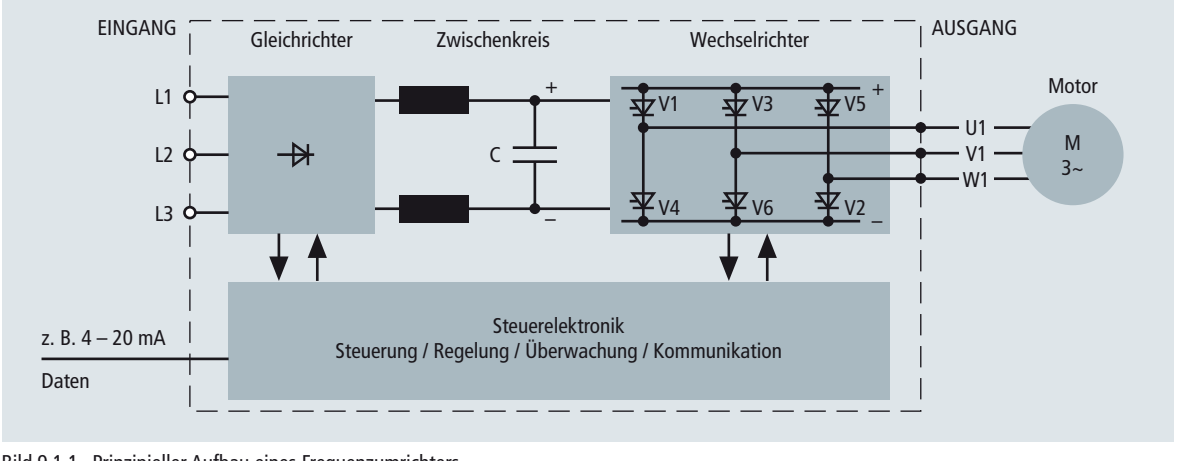


Bild 9.1.1 Prinzipieller Aufbau eines Frequenzumrichters

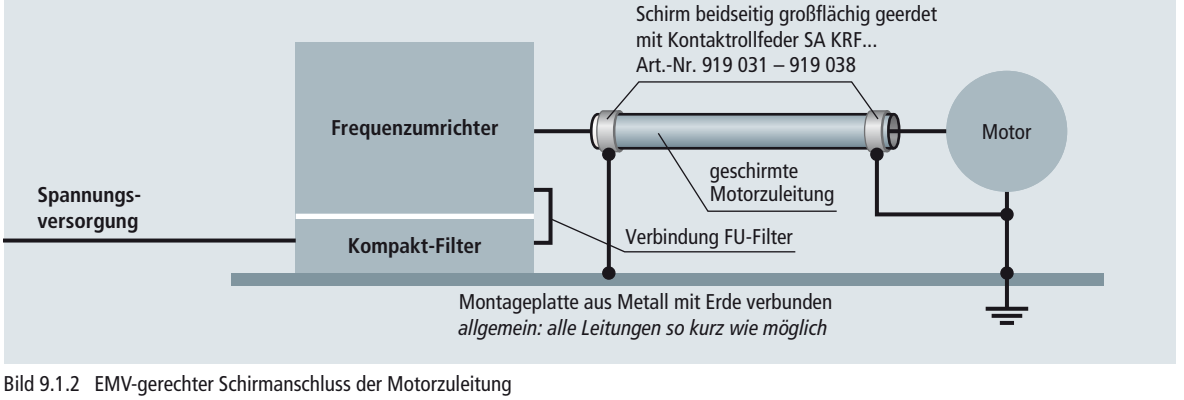
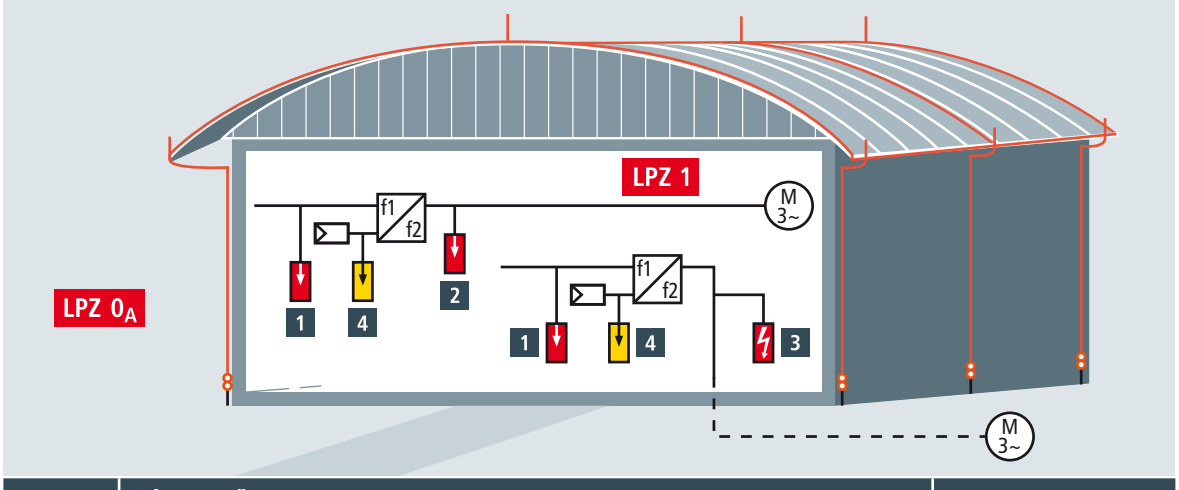


Bild 9.1.2 EMV-gerechter Schirmanschluss der Motorzuleitung



Nr.	Schutzgerät		Art.-Nr.
1	DEHNguard modular	DG M TNS 275 (TN-S-System)	952 400
	DEHNguard modular	DG M TT 275 (TT-System)	952 310
2	DEHNguard S	DG S WE 600 (3 Stück)	952 077
3	DEHNbloc Maxi + DEHNguard S	DBM 1 760 FM (3 Stück) DG S WE 600 (3 Stück)	961 175 + 952 077
4	BLITZDUCTOR XT + BLITZDUCTOR XT Basisteil	BXT ML2 BE S 24 (z. B. 4–20 mA) BXT BAS	920 224 + 920 300

Bild 9.1.3 Frequenzumrichter mit Antrieben in der Blitzschutzzone LPZ 0_A bzw. LPZ 1

Betriebszustand und den damit verbundenen Spannungsspitzen eine „künstliche Alterung" durch fortschreitende Ableitererwärmung herbeigeführt wird.
Ableitererwärmung führt zum vorzeitigen Lebensdauerende und somit zur Abtrennung des Überspannungs-Ableiters von der zu schützenden Anlage.
Die hohe Taktfrequenz am Ausgang des Frequenzumrichters erzeugt feldgebundene Störungen. Damit andere Systeme dadurch nicht gestört werden, ist eine geschirmte Leitungsverlegung erforderlich. Der Schirm der Motorzuleitung ist beidseitig zu erden, d. h. sowohl am Frequenzumrichter wie auch am Motor. Dabei ist auf eine großflächige Kontaktierung des Schirms zu achten. Dies ergibt sich aus den Forderungen der EMV. Vorteilhaft ist hierfür der Einsatz von Kontaktrollfedern (**Bild 9.1.2**). Durch vermaschte Erdungsanlagen, d. h. die Verbindung der Erdungsanlage des Frequenzumrichters mit der des Antriebsmotors, werden Potentialdifferenzen zwischen den Anlagenteilen reduziert und somit Ausgleichströme über den Schirm vermieden.

Bei der Integration des Frequenzumrichters in die Gebäudeautomation ist es erforderlich, alle Auswerte- und Kommunikationsschnittstellen mit Überspannungsschutzgeräten zu beschalten, damit überspannungsbedingte Systemausfälle vermieden werden. Im **Bild 9.1.3** wurde diese Aussage exemplarisch für die Reglerschnittstelle 4–20 mA dargestellt.

Blitz- und Überspannungs-schutz bei Außenleuchten

Außenleuchten können sowohl an Gebäudeaußenwänden wie auch frei im Gelände angebracht sein. In jedem der genannten Fälle ist zu überprüfen, ob sich die Außenleuchten in der Blitzschutzzone LPZ 0_A oder in der Blitzschutzzone LPZ 0_B befinden. Außenleuchten in der LPZ 0_A sind durch direkte Blitzeinschläge, Impulsströme bis zum vollen Blitzstrom und durch das volle Feld des Blitzes gefährdet. In der LPZ 0_B sind sie gegen direkten Blitzeinschlag geschützt, jedoch durch Impulsströme bis zu anteiligen Blitzströmen und durch das volle Feld des Blitzes gefährdet.

Handelt es sich um Standleuchten in der Blitzschutzzone LPZ 0_A, sind diese erdfühlig untereinander und mit den Erdern der Gebäude, über zulässige Erdleiter, zu verbinden. Zur Dimensionierung der zu verwendenden Materialien und Querschnitte empfehlen wir den Gebrauch der Tabelle 7 aus DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3). Nachstehend ein für die Praxis gebräuchlicher Auszug (**Tabelle 9.2.1**) der zitierten Tabelle. Der zu verwendende Werkstoff ist immer hinsichtlich der Korrosionsbeständigkeit auszuwählen.

Maßnahmen zur Verringerung der Wahrscheinlichkeit eines elektrischen Schlages bezüglich der Gefahren durch Berührungs- und/oder Schrittspannung sind im Einzelfall zu prüfen.

Nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) wird als Maßnahme zur Verringerung von Berührungsspannungen beispielsweise eine mind. 5 cm starke Asphaltschicht auf einer Länge von 3 m um die Standleuchte erforderlich (**Bild 9.2.1**).

Ebenfalls wird in DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) als Maßnahme zur Verringerung von Schrittspannungen beispielsweise die Potentialsteuerung genannt. Hierbei werden vier Ringe in den Abständen 1,0 m; 4,0 m; 7,0 m und 10,0 m in den zugehörigen Tiefen von 0,5 m; 1,0 m; 1,5 m und 2,0 m um die Standleuchte eingebracht. Diese Ringe werden mit vier um 90° versetzt angeordneten Verbindungsleitern untereinander und mit der Leuchte verbunden (**Bild 9.2.2**).

Material	Form	Erdleiter
Kupfer	Seil / Rund / Band	50 mm²
Stahl	Rund verzinkt Band verzinkt	78 mm² 90 mm²
NIRO (V4A)	Rund Band	78 mm² 100 mm²

Tabelle 9.2.1 Mindestabmessungen von Erdleitern zur Verbindung von Standleuchten in der Blitzschutzzone 0_A untereinander und mit Gebäude-Erdungsanlagen

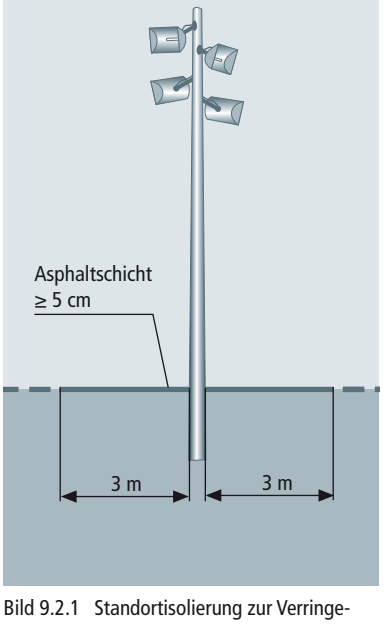


Bild 9.2.1 Standortisolierung zur Verringerung der auftretenden Berührungsspannung bei Blitzeinschlägen in eine Standleuchte

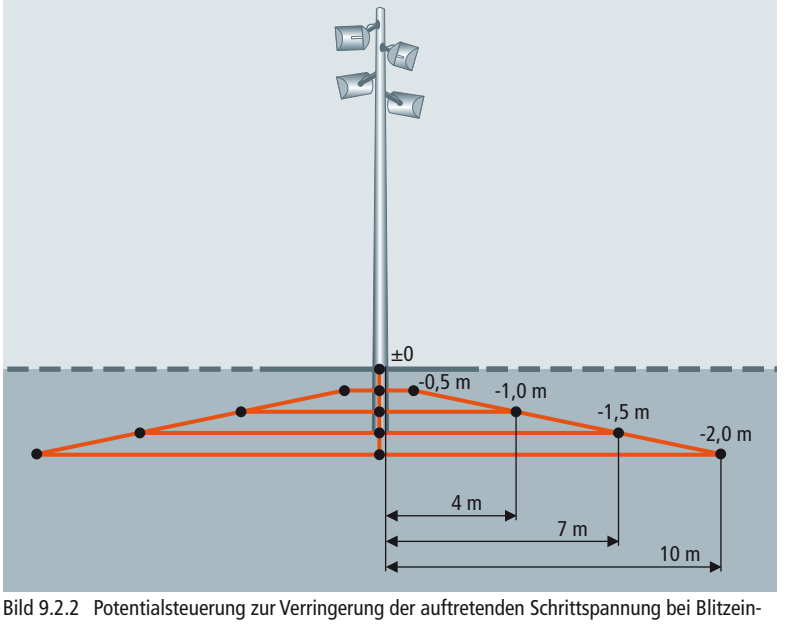
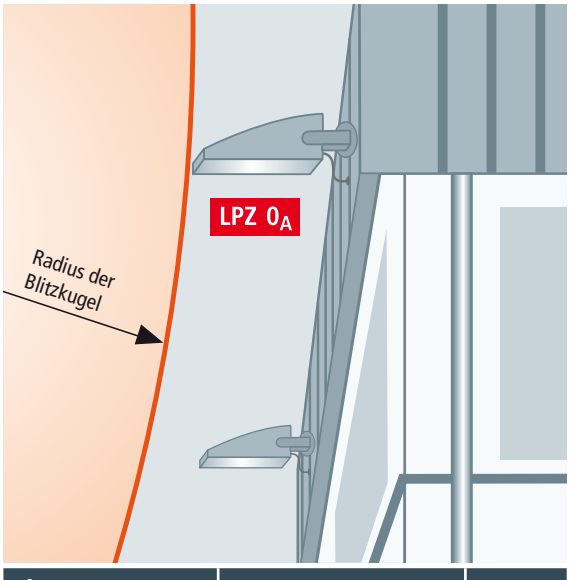
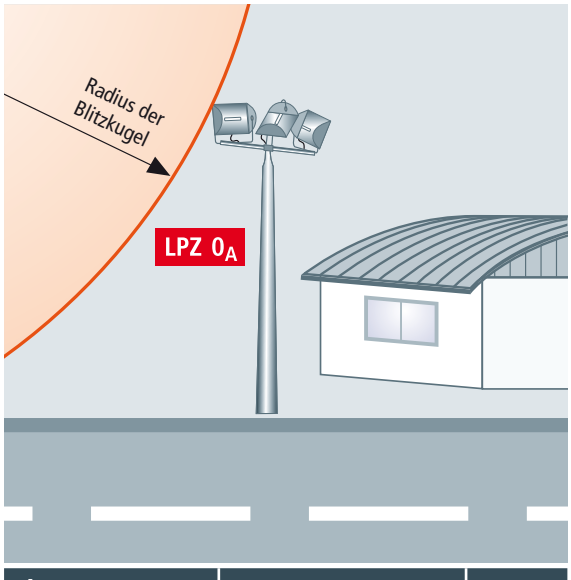


Bild 9.2.2 Potentialsteuerung zur Verringerung der auftretenden Schrittspannung bei Blitzeinschlägen in eine Standleuchte



Einsatz	Typ	Art.-Nr.
Blitzstrom-Ableiter		
TN-System	DB M 1 255 (2x)	961 120
TT-System	DB M 1 255 DGP M 1 255	961 120 961 101
Kombi-Ableiter		
TN-System	DV M TN 255	951 200
TT-System	DV M TT 2P 255	951 110

Bild 9.2.3 Außenleuchte als 230 V Wandleuchte in der Blitzschutzzone 0_A mit Blitzschutz-Potentialausgleich am Gebäudeeintritt



Einsatz	Typ	Art.-Nr.
Blitzstrom-Ableiter		
TN-S-System	DB M 1 255 (4x)	961 120
TT-System	DB M 1 255 (3x) DGP M 1 255	961 120 961 101
Kombi-Ableiter		
TN-S-System	DV M TNS 255	951 400
TT-System	DV M TT 255	951 310

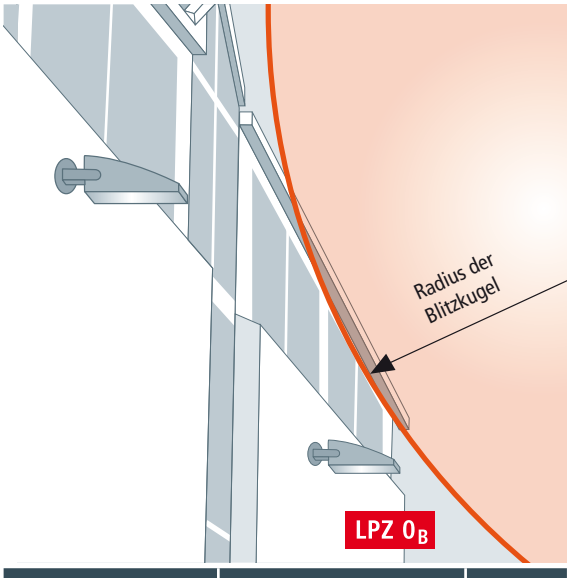
Bild 9.2.4 Außenleuchte als 3 x 230/400 V Standleuchte in der Blitzschutzzone 0_A mit Blitzschutz-Potentialausgleich am Gebäudeeintritt

Die empfohlenen Ableitertypen sind am Blitzschutzzonenübergang LPZ 0_A–1 oder LPZ 0_B–1 anzuordnen.

Für alle in der Blitzschutzzone LPZ 0_A befindlichen Außenleuchten sind Blitzstrom-Ableiter Typ 1 am Gebäudeeintritt zu installieren. Um diese Blitzschutzzone bestimmen zu können, ist die jeweilige Blitzkugel von allen nur denkbaren Richtungen an die Außenleuchte „heranzurollen", berührt sie die Außenleuchte, befindet diese sich in der Blitzschutzzone LPZ 0_A (**Bilder 9.2.3 und 9.2.4**).

Beim Einsatz von Blitzstrom-Ableitern Typ 1 ist zu prüfen ob sich in der Elektroverteilung, in der Außenleuchten-Stromkreise vorhanden sind, bereits ein energetisch koordinierter Überspannungs-Ableiter Typ 2 befindet. Ist dies nicht der Fall, empfehlen wir am Blitzschutzzonenübertritt Kombi-Ableiter einzusetzen.

Auch für in der Blitzschutzzone LPZ 0_B befindliche Außenleuchten sind Überspannungs-Ableiter Typ 2 am Gebäudeeintritt zu installieren (**Bild 9.2.5**).



Einsatz	Typ	Art.-Nr.
TN-System	DG M TN 275	952 200
TT-System	DG M TT 2P 275	952 110

Bild 9.2.5 Außenleuchte als 230 V-Wandleuchte in der Blitzschutzzone 0_B

Blitz- und Überspannungs-schutz für Biogasanlagen

In modernen Biogasanlagen werden biologisch abbaubare organische Substrate, wie Gülle, Mist, Gras, Stroh, Biotonnenabfälle, Reste der Zucker-, Wein-, Bierherstellung, Speisereste und Fette, vergoren. Dazu werden die organischen Materialien in einen luftabgeschlossenen Behälter (Fermenter / Gärbehälter) gefüllt. In dieser sauerstofffreien Umgebung produzieren Bakterien aus den vergärbaren, organischen Bestandteilen der Biomasse Biogas. Das produzierte Biogas wird verwendet, um Wärme und Strom zu erzeugen.

In **Bild 9.3.1** ist das Grundprinzip einer Biogasanlage dargestellt. Biogasanlagen bestehen häufig aus Eintragssystemen für Feststoffe und/oder Flüssigsubstrate, einem oder mehreren beheizbaren Fermentern, einem Endlagerbehälter, ggf. einem Nachfermenter (Nachgärbehälter), einem Gasspeicher und gegebenenfalls einer Gasaufbereitung. Der Gasmotor mit Wärmetauscher und angekoppeltem Generator wird als Blockheizkraftwerk (BHKW) bezeichnet. Das BHKW erzeugt, bezogen auf den Energieinhalt von Biogas, mit einem Wirkungsgrad von etwa 30 % elektrischen Strom und mit einem Wirkungsgrad von etwa 60 % Wärme. Die elektrische Energie wird in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Die Wärme wird zum Teil zum Beheizen des Fermenters verwendet, während die überschüssige Wärme beispielsweise für die Beheizung der Wohn- und landwirtschaftlichen Gebäude genutzt wird.

Notwendigkeit eines Blitzschutzsystems

Bei der Erzeugung, Lagerung und energetischen Verwertung von Biogas können unterschiedlichste Gefahren und Risiken für Mensch, Umwelt und Anlagentechnik auftreten. Durch eine Gefahrenanalyse nach BImSchG / BetrSichV werden mögliche Gefahrenquellen betrachtet, die einen Störfall oder ein gefährliches Ereignis verursachen können, um entsprechende Vorkehrungen und Schutzmaßnahmen treffen zu können.

In den Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen der landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaft sowie der BGR 104 wird darauf hingewiesen, dass in explosionsgefährdeten Bereichen zur Vermeidung von Zündquellen „Maßnahmen, welche die Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre verhindern“, durchzuführen sind.

Nach DIN EN 1127-1, Absatz 5.3.1 werden dreizehn verschiedene Zündquellen unterschieden. Im Absatz 5.3.8 der DIN EN 1127-1, wie auch in der BGR 104 wird der Blitz als Zündquelle beschrieben: „Wenn ein Blitz in explosionsfähige Atmosphäre einschlägt, wird diese stets entzündet. Daneben besteht eine Zündmöglichkeit auch durch die Erwärmung der Ableitwege des Blitzes. Von der Blitzeinschlagsstelle aus fließen Ströme, die auch in größeren Entfernungen nach allen Richtungen von der Einschlagsstelle zündfähige Funken und Sprühfeuer auslösen können. Selbst ohne direkten Blitzschlag können Entla-

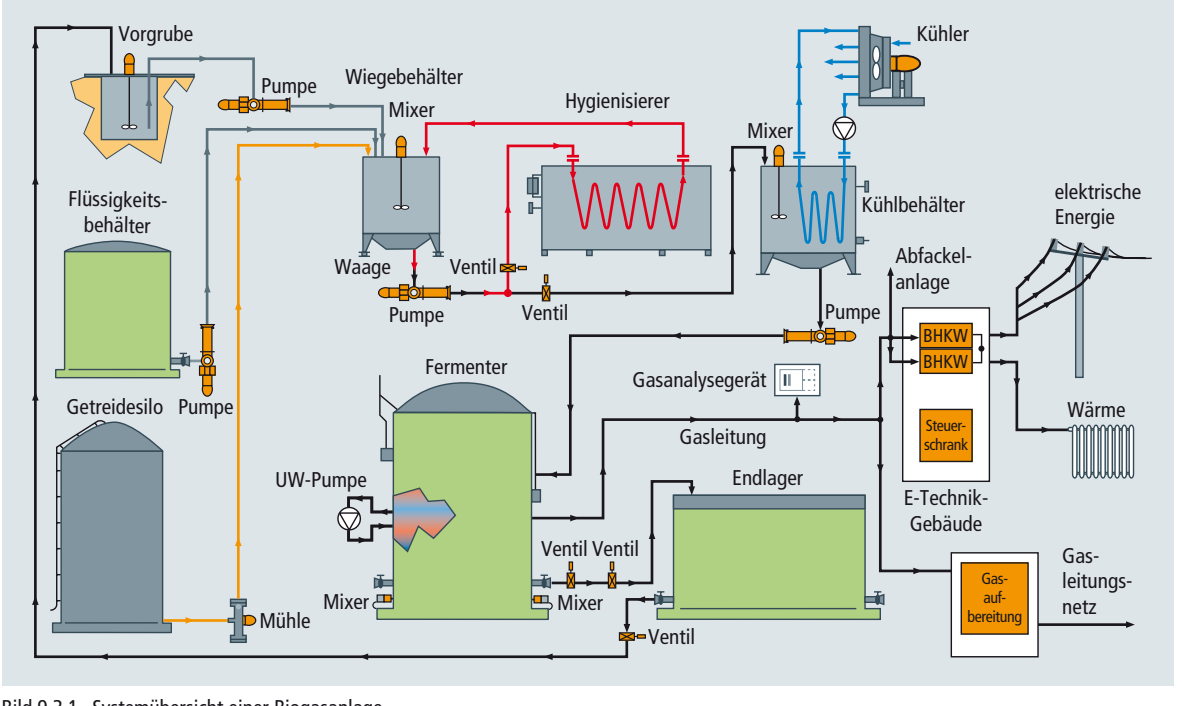


Bild 9.3.1 Systemübersicht einer Biogasanlage

dungen bei Gewittern zu hohen induzierten Spannungen in Anlageninstallationen, Geräten, und Komponenten führen."

Zur Festlegung von entsprechenden Schutzmaßnahmen wird mit dem Berechnungsverfahren nach DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2) eine Risikoanalyse durchgeführt. Deren Aufgabe ist es, das Schadensrisiko durch direkte und indirekte Blitzeinschläge für eine bauliche Anlage einschließlich darin befindlicher Personen und Ausrüstung zu bestimmen. Ist das Schadensrisiko größer als ein akzeptierbares Risiko, muss das Schadensrisiko infolge Blitzschlag durch Blitzschutzmaßnahmen so minimiert werden, dass es das akzeptierbare Risiko nicht mehr übersteigt.
Im Beiblatt 2 der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) werden zusätzliche Informationen für besondere bauliche Anlagen gegeben. Hierin werden auch die Anforderungen an den Blitzschutz bei Biogasanlagen näher spezifiziert. Demnach sollen Biogasanlagen durch getrennte Fang- und Ableitungseinrichtungen geschützt werden, wenn durch zündfähige Funken an Stoß- und Verbindungsstellen Gefahren nicht ausgeschlossen werden können.

Äußerer Blitzschutz

Herzstück jeder Biogasanlage ist der Fermenter. Auf dem Markt gibt es ein breites Spektrum an Fermenter- und Gärsystemen, die sich in ihrer Bauweise unterscheiden. Das erforderliche Blitzschutzsystem muss immer den baulichen Gegebenheiten dieser Fermenter/Gärsysteme angepasst werden. Bei gleichen Schutzzielen können sich unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten ergeben. Wie im Beiblatt 2 der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) genannt, entspricht ein Blitzschutzsystem der Schutzklasse II den normalen Anforderungen für explosionsgefährdete Anlagen und damit für Biogasanlagen.
Das Blitzschutzsystem besteht aus äußerem und innerem Blitzschutz.
Der äußere Blitzschutz hat die Aufgabe, alle Blitzeinschläge, einschließlich seitlicher Einschläge in die bauliche Anlage, einzufangen, den Blitzstrom vom Einschlagspunkt zur Erde abzuleiten und in der Erde zu verteilen, ohne dass durch thermische, mechanische oder elektrische Wirkungen Schäden an der zu schützenden baulichen Anlage auftreten.

Fermenter mit Folienhaube

Bei Biogasanlagen kommen häufig Fermenter mit Folienhaube zum Einsatz. Ein Blitzeinschlag in die Folienhaube des Fermenters führt zu deren Beschädigung. Durch die Schmelz- und Sprühwirkungen an der Einschlagsstelle besteht Brand- und Explosionsgefahr. Die Blitzschutzmaßnahmen müssen so ausgeführt werden, dass es zu keinem direkten Blitzeinschlag in die Folienhaube des Fermenters kommt (**Bild 9.3.2**).
Nach den Sicherheitsregeln für landwirtschaftliche Biogasanlagen ist z. B. Ex-Zone 2 im Bereich von 3 m um die Folienhaube des Fermenters festgelegt. Die Ex-Zone 2 beinhaltet nur selten und kurzzeitig eine explosionsfähige Atmosphäre. Das bedeutet, dass in der Ex-Zone 2 nur bei seltenen, unvorhergesehenen Betriebszuständen (Störungsfall und Servicearbeiten) mit Ex-Atmosphäre zu rechnen ist. In der Ex-Zone 2 ist daher nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) die Positionierung von Fangeinrichtungen zulässig.
Die Höhe und Anzahl der Fangeinrichtungen werden mittels des Blitzkugelverfahrens ermittelt. Maßgeblich für die Auslegung der Fangeinrichtung ist der Durchhang der Blitzkugel. Dieser kann nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) ermittelt werden. Entsprechend der Schutzklasse II für explosionsgefährdete Anlagen ergibt sich ein Blitzkugelradius von 30 m (**Bild 9.3.2**).

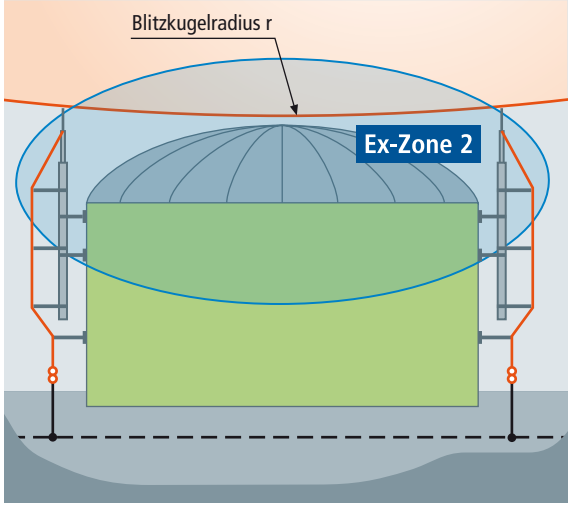


Bild 9.3.2 Einsatz des DEHNiso-Combi-Systems zum Schutz eines Fermenters mit Folienhaube

Typ	Art.-Nr.
DEHNiso-Combi Set, 1-teilig, Gesamtlänge 5700 mm	105 455
bestehend aus:	
1 x Fangspitze NIRO, Länge 1000 mm	105 071
1 x Stützrohr GFK/Al, Länge 4700 mm	105 301
3 x Wandbefestigungswinkel NIRO (V2A)	105 340
2 x Distanzhalter GFK/Al, Länge 1030 mm	106 331

Tabelle 9.3.1 DEHNiso-Combi Set

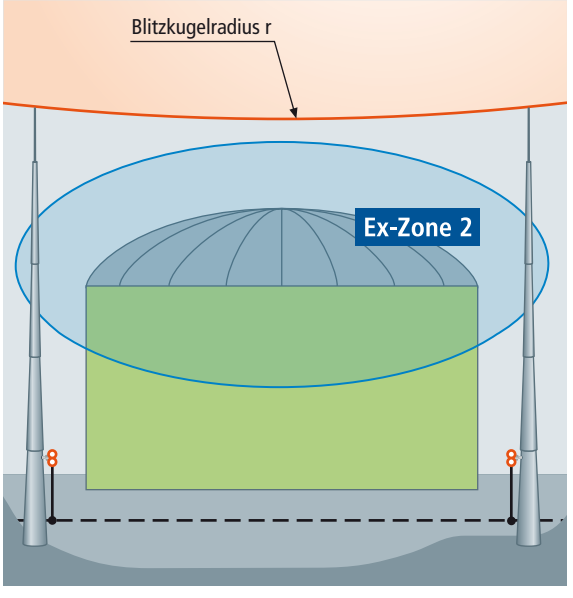


Bild 9.3.3 Schutz eines Fermenters mit Folienhaube mit Stahl-Tele-Blitzschutzmasten

Die Innenmembrane im Gasspeicher des Fermenters liegt je nach Gasmenge an der metallenen Innenwand des Fermenters an. Damit es zu keinen unkontrollierten Überschlägen von der Ableitung auf die metallene Wand des Fermenters kommt, wird diese als getrennte Ableitung ausgeführt. Durch die getrennte Führung der Ableitung über Distanzhalter aus GFK (GFK – glasfaserverstärkter Kunststoff) kann eine elektrische Isolation des Blitzschutzsystems von leitenden Teilen des Fermenters erreicht werden. Die Länge der Distanzhalter ergibt sich aus dem Trennungsabstand, der nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) ermittelt wird.
Das DEHNiso-Combi Set nach **Tabelle 9.3.1** kommt bei dem im **Bild 9.3.2** gezeigten Anwendungsfall zum Einsatz.

Eine weitere Möglichkeit, einen direkten Blitzeinschlag in einen Fermenter mit Folienhaube zu vermeiden, ist der Einsatz von Stahl-Tele-Blitzschutzmasten (**Bild 9.3.3**). Die Maste werden im gewachsenen Boden oder im Bodenfundament errichtet. Mit diesen Masten können freie Höhen über Flur bis zu 25 m oder bei Sonderanfertigungen auch höher erreicht werden. Die Standardlängen der Stahl-Tele-Blitzschutzmasten werden in Teillängen von 3,5 m geliefert, die speziell für den Transport enorme Vorteile bieten. Nähere Angaben zum Einsatz von Stahl-Tele-Blitzschutzmasten finden Sie in der Montageanleitung Nr. 1729.

Eine dritte Lösungsmöglichkeit, um den Fermenter mit Folienhaube vor einem direkten Blitzeinschlag zu schützen, ist der

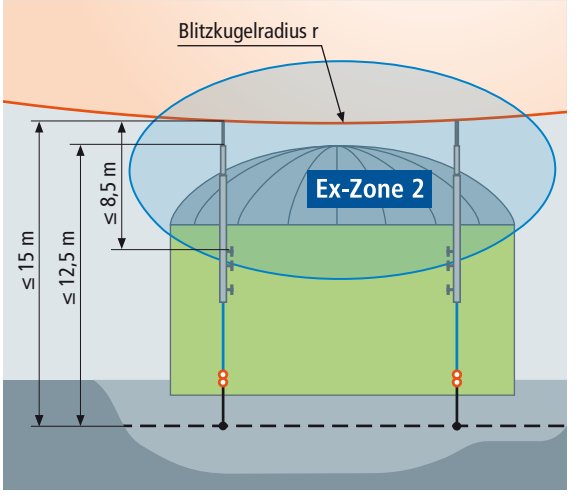


Bild 9.3.4 Schutz des Fermenters mittels Fangmaste, isoliert mit einer HVI-Leitung (Art.-Nr. 819 720)

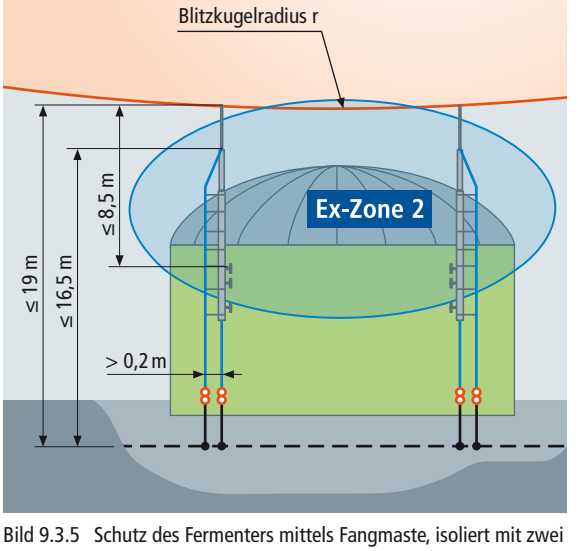


Bild 9.3.5 Schutz des Fermenters mittels Fangmaste, isoliert mit zwei HVI-Leitungen (Art.-Nr. 819 750)

Einsatz der HVI-Leitung. Die HVI-Leitung ist eine hochspannungsfeste, isolierte Leitung mit einem speziellen Außenmantel. Typisch ist die Anwendung als isolierte Ableitung im Blitzschutz zur Beherrschung des Trennungsabstands nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3). Hierzu ist zunächst der Trennungsabstand nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) zu berechnen. Anschließend muss geprüft werden, ob dieser errechnete Trennungsabstand mit dem äquivalenten Trennungsabstand der HVI-Leitung realisiert werden kann. Es gibt zwei Lösungsvarianten:

Bild 9.3.6 Gärbehälter aus geschraubten Metalltafeln

Bild 9.3.7 Schutz des Gärbehälters aus Metalltafeln mit getrennter Fangeinrichtung (Quelle: Büro für Technik, Hösbach)

- **1. Variante:** Fangmaste mit **einer** HVI-Leitung (**Bild 9.3.4**). Die maximale Gesamtlänge der Fangeinrichtung von der Potentialausgleichsebene (Erdungsanlage) bis zur Fangspitze beträgt hier 15 m (bei SK II), wobei die maximale freie Länge über der Fermenteroberkante 8,5 m betragen darf (mechanische Gründe).
- **2. Variante:** Fangmaste mit **zwei** HVI-Leitungen (**Bild 9.3.5**). Die maximale Gesamtlänge der Fangeinrichtung von der Potentialausgleichsebene (Erdungsanlage) bis zur Fangspitze beträgt hier 19 m (bei SK II), wobei die maximale freie Länge über der Fermenteroberkante ebenfalls 8,5 m beträgt.

Hinweis: Die beiden HVI-Leitungen müssen parallel in einem Abstand von größer als 20 cm verlegt werden.
Weiterführende Informationen zur HVI-Leitung sowie die Montageanleitungen sind unter www.dehn.de zu finden.

Hinweis Planungsdienstleistung

Da es sich bei getrennten Fangeinrichtungen durchaus um komplexe, umfangreiche Systeme handelt, sind wir Ihnen gerne bei der Planung behilflich. DEHN bietet in diesem Zusammenhang eine entgeltliche Planungsleistung von getrennten Fangeinrichtungen auf der Basis von HVI, DEHNiso-Combi-System oder auch Stahl-Tele-Blitzschutzmasten an. Im Leistungsumfang der Planung sind enthalten:

- Erstellen der Zeichnungen des Blitzschutzes (Übersichtszeichnungen)

Bild 9.3.8 Geschweißter Stahlbehälter (Quelle: Eisenbau Heilbronn GmbH)

- Detailzeichnungen für die getrennte Fangeinrichtung (teilweise in Form von Explosionszeichnungen)
- Umfangreiche Stückliste der benötigten Bauteile für die getrennte Fangeinrichtung
- Erstellen eines Angebots basierend auf dieser Stückliste.

Bei Interesse sprechen Sie bitte mit Ihrem Betreuer vor Ort oder mit dem Stammhaus in Neumarkt (www.dehn.de).

Gärbehälter aus Metalltafeln

Gärbehälter aus Metalltafeln haben üblicherweise eine Dicke von 0,7 bis 1,2 mm. Diese einzelnen Metalltafeln sind miteinander verschraubt (**Bild 9.3.6**).
Für die Nutzung von Metallblechen als natürliche Fangeinrichtung müssen die Dicken der Metallbleche nach Tabelle 3 aus DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) berücksichtigt werden. Werden die Dicken der Metallbleche aus Tabelle 3 der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) nicht eingehalten, kann ein Blitzeinschlag zum Durchschmelzen oder unzulässigen Erhitzen am Einschlagspunkt führen. Es besteht Brand- und Explosionsgefahr. Diese Gärbehälter sind dann durch zusätzliche Fangeinrichtungen zu schützen, damit es am Einschlagspunkt zu keinen Ausschmelzungen kommt. Hier wird ein getrenntes Blitzschutzsystem errichtet. Die Anordnung der Fangeinrichtung wird mit Hilfe des Blitzkugelverfahrens ermittelt. Die Ableitung wird über Distanzhalter gemäß dem ermittelten Trennungsabstand an den Metalltafeln entlanggeführt (**Bild 9.3.7**).

Stahlbehälter

In **Bild 9.3.8** ist ein Biogasbehälter mit einem Gehäuse aus vollständig verschweißten Stahlblechen gezeigt. Die Anforderungen an das Material sind laut Tabelle 3 der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) ab einer Mindestwandstärke des Gehäuses von 4 mm beim Werkstoff Stahl erfüllt. Für das Blitzschutzsystem gilt dann die Anforderung entsprechend DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) im Anhang D „Weitere Informationen für Blitzschutzsysteme für explosionsgefährdete bauliche Anlagen". Befinden sich die Ex-Zonen von Ausblasöffnungen im Schutzbereich von metallenen blitzstromtragfähigen Gehäuseteilen, so sind keine weiteren Fangeinrichtungen notwendig. Ist das nicht der Fall, so sind zusätzliche Fangeinrichtungen zu errichten, um die Ausblasöffnungen vor direkten Einschlägen zu schützen.

Erdungskonzept

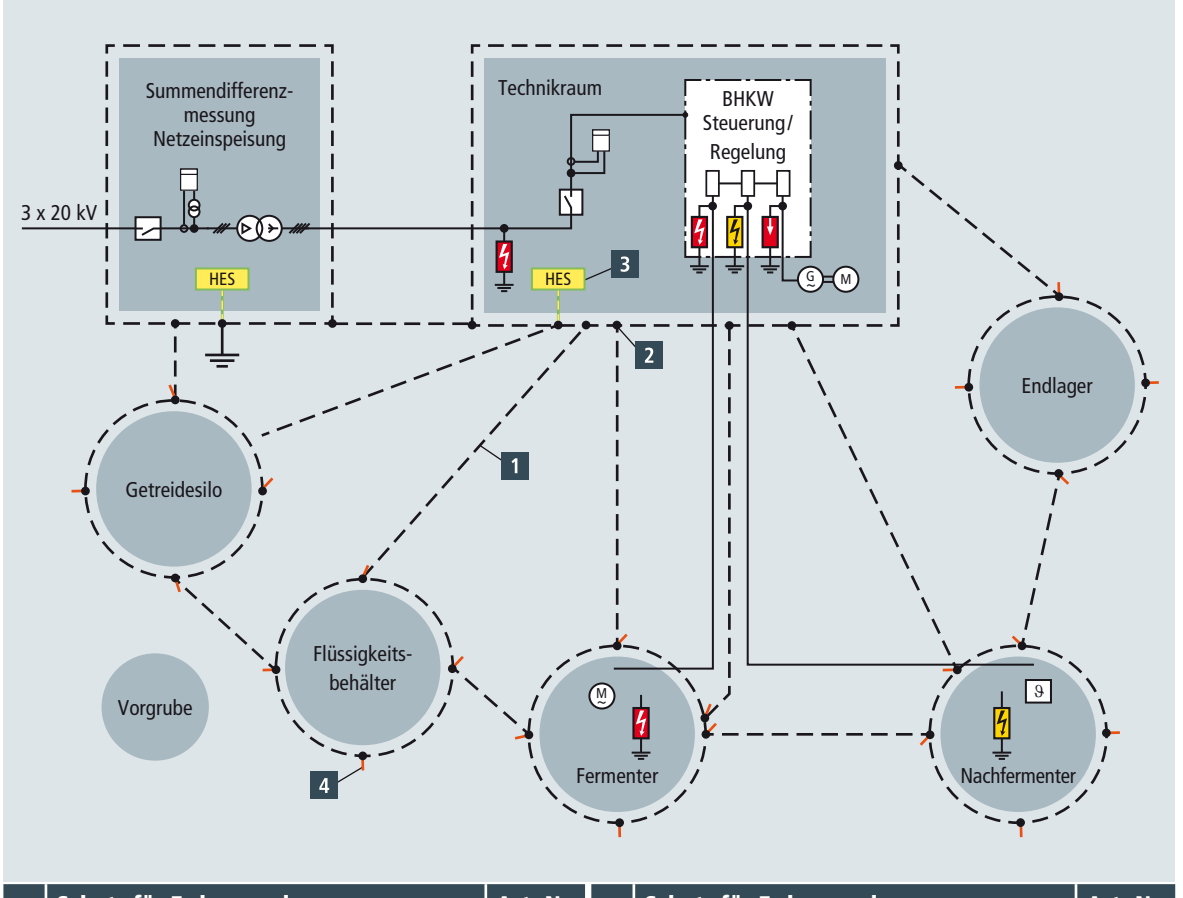
Um hohe Potentialdifferenzen zwischen den einzelnen Erdungsanlagen zu vermeiden, werden diese zu einer Gesamterdungsanlage verbunden (**Bild 9.3.9**). Dies geschieht durch das Vermaschen der einzelnen Gebäude- und Systemerdungsanlagen. Maschenweiten von 20 m x 20 m bis zu 40 m x 40 m haben sich hier als wirtschaftlich und technisch sinnvoll erwiesen. Durch das Vermaschen aller Erdungsanlagen werden Potentialdifferenzen zwischen den Anlagenteilen deutlich reduziert. Auch die Spannungsbeanspruchung der gebäudeüberschreitenden elektrischen Verbindungsleitungen im Fall einer Blitzeinwirkung wird damit verringert.

Netzeinspeisung

Das erzeugte Biogas wird üblicherweise in Gas- oder Zündstrahlmotoren zur Erzeugung von Strom und Wärme genutzt. In diesem Zusammenhang werden derartige Motoren als Blockheizkraftwerke (BHKW) bezeichnet. Diese BHKWs befinden sich in einem separaten Betriebsgebäude. Im selben oder in einem separaten Raum innerhalb dieses Betriebsgebäudes sind die E-Technik, Schaltschränke und Steuerschränke aufgebaut. Die durch die BHKW erzeugte elektrische Energie wird in das öffentliche Stromnetz eingespeist (**Bild 9.3.10**).

Wesentlicher Bestandteil eines Blitzschutzsystem ist der Blitzschutz-Potentialausgleich, der für alle von außen ins Gebäude eingeführten leitfähigen Systeme auszuführen ist. Der Blitzschutz-Potentialausgleich fordert, dass alle metallenen Systeme möglichst niederimpedant und alle unter Betriebsspannung stehenden Systeme indirekt über Überspannungsschutzgeräte Typ 1 in den Potentialausgleich einzubinden sind. Der Blitzschutz-Potentialausgleich soll möglichst nahe an der Eintrittsstelle der baulichen Anlage erfolgen, um ein Eindringen von Blitzteilströmen in das Gebäude zu verhindern. So werden in die von außen eingeführten 230/400 AC-Leitungen der NSHV der Abnehmeranlage (**Bild 9.3.10**) Überspannungsschutzgeräte (SPD – Surge protective device) SPD Typ 1 eingesetzt. Solch ein Überspannungsschutzgerät SPD Typ 1 auf RADAX-FLOW-Funkenstreckenbasis für Energieversorgungsanlagen ist z. B. der DEHNbloc. Dieser Blitzstrom-Ableiter hat ein Ableitvermögen bis zu 50 kA (10/350 µs) pro Pol. Durch das patentierte RADAX-Flow-Prinzip werden Anlagenkurzschlussströme (Folgeströme) bis zu 100 kA_{eff} begrenzt und gelöscht. Unerwünschte Versorgungsunterbrechungen durch ein Auslösen der Hauptsicherungen werden somit vermieden. In nachgeschalteten Unterverteilungen werden Überspannungs-Ableiter des Typs 2 DEHNguard M TNS 275 FM eingebaut.

Im BHKW-Verteiler (**Bild 9.3.10**) kommt ein mehrpoliger, modularer Kombi-Ableiter mit hoher Folgestrombegrenzung zum Einsatz, das DEHNventil. Dieser Kombi-Ableiter auf Funkenstreckenbasis ist anschlussfertig und besteht aus einem Basisteil und gesteckten Schutzmodulen. Mit dem DEHNventil werden höchste Anlagenverfügbarkeit und eine Ausschaltselektivität zu 20 A gL/gG-Sicherungen sowie die Begrenzung und Löschung von Netzfolgeströmen bis zu 100 kA_{eff} Kurzschlussstrom sichergestellt.
Bei geringen Entfernungen zwischen dem DEHNventil und den Verbrauchern (≤ 5 m) ist auch ein Endgeräteschutz gegeben.

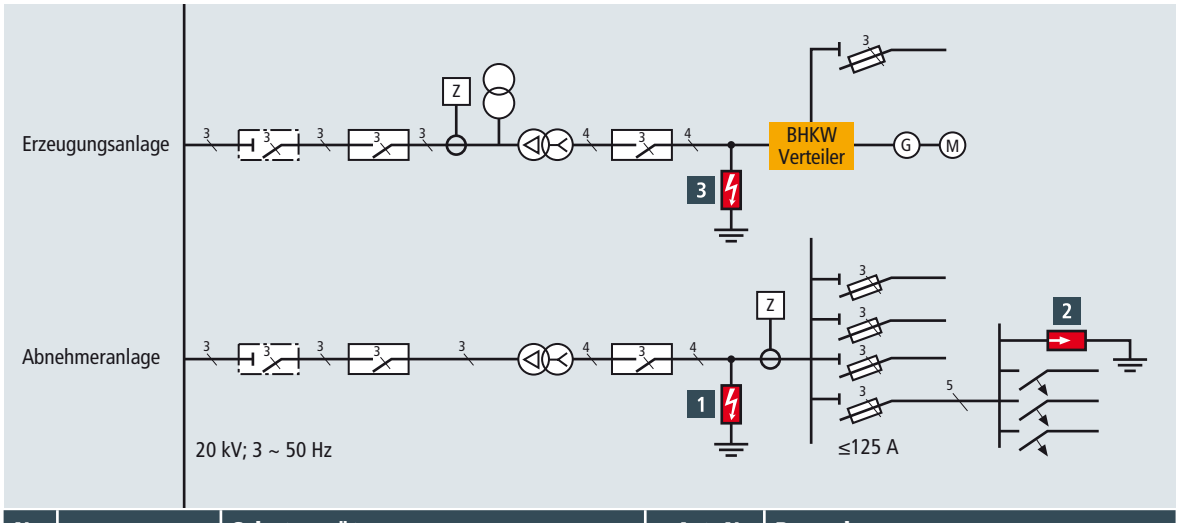


	Schutz für Erdungsanlage	Art.-Nr.		Schutz für Erdungsanlage	Art.-Nr.
1	Edelstahl-Band NIRO (V4A) 30 mm x 3,5 mm oder Edelstahl Runddraht NIRO (V4A), Ø 10 mm	860 335 860 010	3	Potentialausgleichsschiene NIRO (V4A) oder Erdungsschiene	472 209 472 139
2	Kreuzstück NIRO (V4A) oder SV-Klemme NIRO (V4A) Hinweis: Korrosionsschutzbinde	319 209 308 229 556 125	4	Anschlussfahne Flachband NIRO (V4A) oder Anschlussfahne Runddraht NIRO (V4A)	860 215 860 115

Bild 9.3.9 Vermaschte Erdungsanlage für eine Biogasanlage

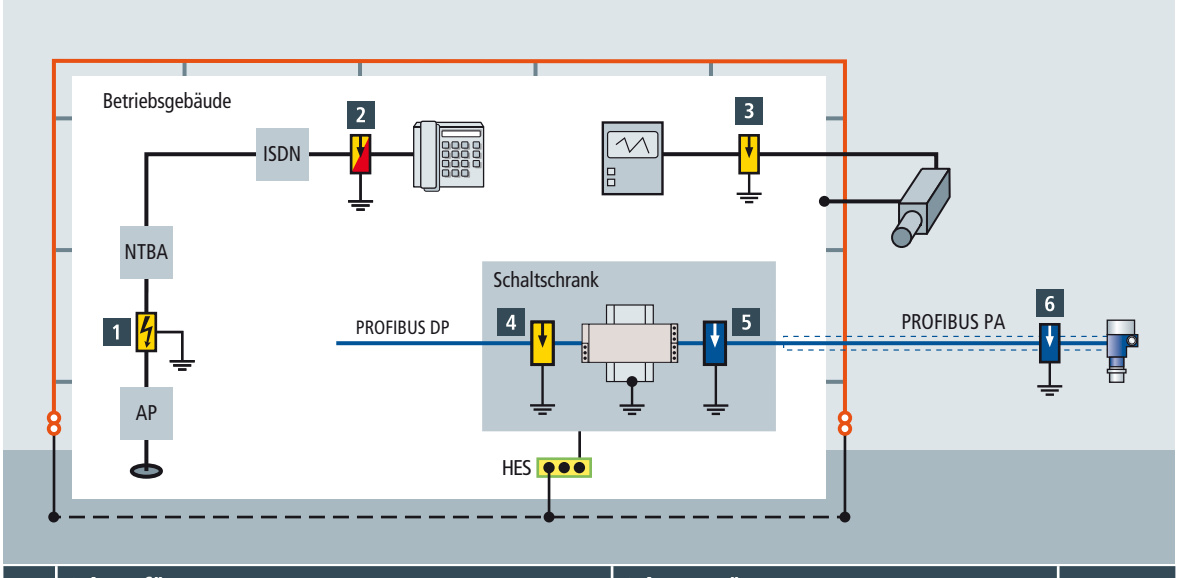
Fernüberwachung

Durch das Fernüberwachungssystem ist es möglich, dass die Leistungsdaten der Biogasanlage ständig zur Verfügung stehen. Die anlagenspezifischen Messwerte können direkt an der Erfassungseinheit abgelesen werden. Die Datenerfassungseinheit verfügt über Schnittstellen, wie Ethernet oder RS 485, an die ein PC und/oder Modems zur Fernabfrage und -wartung angeschlossen werden. Durch Fernüberwachung, z. B. per Modem, kann sich das Servicepersonal in bestehende Anlagen einwählen und dem Betreiber bei Störfällen sofort Hilfestellung geben. Das Modem ist an das Netzabschlussgerät (NTBA) eines ISDN-Basisanschlusses angeschlossen. Die Weiterleitung der messtechnischen Daten über das Fernmeldenetz per ISDN-Modem muss ebenso sichergestellt sein, damit eine ständige Kontrolle und Optimierung der Anlagenleistung vorgenommen werden kann. Hierzu wird die U_{k0}-Schnittstelle vor dem NTBA, an dem das ISDN-Modem angeschlossen ist, mit einem kombinierten Blitzstrom- und Überspannungs-Ableiter BLITZDUCTOR XT geschützt (**Bild 9.3.11**). Für Telekommunikations-Endgeräte und Telefonanlagen mit RJ-Steckverbindung empfiehlt sich der Einsatz eines Überspannungs-Ableiters vom Typ DEHNprotector zum Schutz der Energie- und Datenseite.



Nr.		Schutzgeräte	Art.-Nr.	Bemerkungen
Einspeisung / Hauptverteilung				
1	TN-C-System	3 x DEHNbloc DB M 1 255 FM	961 125	1-poliger Blitzstrom-Ableiter auf Funkenstreckenbasis mit hoher Folgestrombegrenzung und Fernmeldekontakt
	TN-S-System	4 x DEHNbloc DB M 1 255 FM	961 125	
	TT-System	3 x DEHNbloc DB M 1 255 FM + 1 x DEHNgap DGP M 255 FM	961 125 + 961 105	
Alternativ				
1	TN-C-System	3 x DEHNbloc Maxi DBM 1 255 S	900 220	Koordinierter Blitzstrom-Ableiter mit integrierter Ableitervorsicherung für industrielle Sammelschienensysteme
	TN-S-System	4 x DEHNbloc Maxi DBM 1 255 S	900 220	
	TT-System	3 x DEHNbloc Maxi DBM 1 255 S + 1 x DEHNgap Maxi DGPM 1 255 S	900 220 + 900 050	
Alternativ				
1	TN-C-System	3 x DEHNvenCI DVCI 1 255 FM	961 205	Kombi-Ableiter mit integrierter Ableitervorsicherung und Schutzpegel ≤ 1,5 kV für Endgeräte
	TN-S-System	4 x DEHNvenCI DVCI 1 255 FM	961 205	
	TT-System	3 x DEHNvenCI DVCI 1 255 FM 1 x DHNgap DGP M 255 FM	961 205 961 105	
Unterverteilung				
2	TN-C-System	DEHNguard DG M TNC 275 FM	952 305	Mehrpoliger Überspannungs-Ableiter mit Thermo-Dynamik-Control und Fernmeldekontakt
	TN-S-System	DEHNguard DG M TNS 275 FM	952 405	
	TT-System	DEHNguard DG M TT 275 FM	952 315	
Erzeugungsanlage				
3	TN-C-System	DEHNventil DV M TNC 255 FM	951 305	Modularer Kombi-Ableiter mit hoher Folgestrombegrenzung und einem Schutzpegel ≤ 1,5 kV
	TN-S-System	DEHNventil DV M TNS 255 FM	951 405	
	TT-System	DEHNventil DV M TT 255 FM	951 315	

Bild 9.3.10 Auszug aus einem Überssichtsschaltplan einer Biogasanlage



Nr.	Schutz für...	Schutzgerät	Art.-Nr.
Telekommunikation / Datentechnik			
1	Festnetzanbindung	BLITZDUCTOR BXT ML2 BD 180 + Basisteil BXT BAS	920 247 + 920 300
2	ISDN-Geräte	DEHNprotect DPRO 23 ISDN	909 320
3	Koaxialleitung (Bildübertragung)	UGKF BNC	929 010
MSR-Technik			
4	PROFIBUS DP	BLITZDUCTOR BXT ML4 BD HF 5 + Basisteil BXT BAS	920 371 + 920 300
	Analogsignale (Nicht Ex)	BLITZDUCTOR BXT ML4 BE 24 + Basisteil BXT BAS	920 324 + 920 300
5	PROFIBUS PA Ex (i)	BLITZDUCTOR BXT ML2 BD S EX 24 + Basisteil BXT BAS EX	920 280 + 920 301
	Temperaturmessung PT 100, PT 1000, Ni 1000 (Nicht Ex)	BLITZDUCTOR BXT ML4 BC 24 + Basisteil BXT BAS	920 354 + 920 300
Feldgeräte			
6	4–20 mA, PROFIBUS PA, Fieldbus Foundation, Ex (i)	DPI MD EX 24 M 2	929 960
	4–20 mA, PROFIBUS PA, Fieldbus Foundation, Nicht Ex	DPI MD 24 M 2S	929 941

Bild 9.3.11 Überspannungsschutz für Anlagen der Informationstechnik

In **Bild 9.3.11** ist außerdem der Schutz einer Überwachungskamera gezeigt. Zum Schutz der Koaxialleitung (Bildübertragung) kommt der geschirmte Überspannungs-Ableiter UKGF BNC zum Einsatz. Weitere Applikationen zum Schutz von Videoüberwachungsanlagen sind im Schutzvorschlag „Überspannngsschutz für Videoüberwachungsanlagen" im Kapitel 9.7 enthalten.

Prozesssteuerung

Die Steuerung ist eine Kernkomponente der Biogasanlage. Sie soll zentral alle Pumpen und Rührwerke betätigen können, Prozessdaten wie Gasmenge und Gasqualität registrieren, Temperatur überwachen und alle Inputstoffe erfassen, sämtliche Daten visualisieren und dokumentieren.

Bild 9.3.12 Kombi-Ableiter-Module mit LifeCheck

Bild 9.3.13 Überspannungs-Ableiter DEHNpipe für den Außenbereich zum Einschrauben in 2-Leiter-Feldgeräte

Kommt es zum Ausfall der Prozesssteuerung durch Überspannung, werden verfahrenstechnische Abläufe zur Erzeugung des Biogases gestört und abgebrochen. Da diese Vorgänge ohnehin sehr komplex sind, kann es bei einer ungeplanten Außerbetriebnahme noch zu zusätzlichen Schwierigkeiten kommen, sodass eine Verlängerung des Ausfallzeitraumes um mehrere Wochen möglich ist.

Im Steuerschrank befindet sich die Steuereinheit. Neben digitalen Ein- und Ausgängen werden hier z. B. PT 100-Signale, 4–20 mA-Signale und ähnliche ausgewertet. Um eine ungestörte und fortlaufende Übertragung der messtechnischen Daten an die Steuereinheit im Steuerschrank jederzeit sicherzustellen, sind die gebäudeüberschreitenden Steuer- und Signalleitungen, z. B. von den Frequenzumrichtern und Stellantrieben, möglichst nahe am Eintrittspunkt mit Blitzstrom-Ableitern (Kategorie D1), Typ BLITZDUCTOR XT zu beschalten (**Bild 9.3.12**). In diesem Überspannungs-Ableiter ist eine berührungslose und schnelle Ableiterprüfung, der LifeCheck, integriert. Die Auswahl der Schutzgeräte für informationstechnische Systeme erfolgt nach der maximalen Betriebsspannung, dem Nennstrom, der Signalart (DC, NF, HF) und dem Signalbezug (symmetrisch, unsymmetrisch).

In **Bild 9.3.11** sind Schutzgeräte für Signal- und Steuerleitungen beispielhaft aufgeführt.

Zum Schutz von 2-Leiter-Feldgeräten, wie Druck- oder Füllstandssensoren, Ventilen, Drucktransmittern oder Durchflussmessgeräten empfiehlt sich der Einsatz des Überspannungs-Ableiters DEHNpipe (**Bild 9.3.13**). Dieser Ableiter bietet einen energetisch koordinierten Überspannungsschutz für Feldgeräte im Außenbereich bei minimierten Platzbedarf.

Nachrüsten von Blitz- und Überspannungsschutz-maßnahmen für Kläranlagen

Knapper werdende Trinkwasserressourcen erfordern einen effizienteren Umgang mit ihnen. Kläranlagen nehmen deshalb einen zentralen Platz im Trinkwasserkreislauf ein. Die hohe notwendige Effizienz von Kläranlagen (**Bild 9.4.1**) erfordert die Optimierung des verfahrenstechnischen Ablaufes bei gleichzeitiger Senkung der laufenden Betriebskosten. Dazu wurden in den vergangenen Jahren erhebliche Summen in elektronische Messeinrichtungen und dezentrale elektronische Steuerungs- und Automatisierungssysteme investiert. Gegenüber der konventionellen Technik weisen die neuen elektronischen Systeme allerdings nur eine geringe Festigkeit bezüglich transienter Überspannungen auf. Die baulichen Gegebenheiten der weiträumigen Freianlagen der Abwassertechnik mit den verteilten Messeinrichtungen und Steuerungen erhöhen noch zusätzlich das Risiko einer Beeinflussung durch Blitzentladungen oder Überspannungen. Somit ist ein Ausfall der kompletten Prozessleittechnik oder Teilen von ihr mit hoher Wahrscheinlichkeit zu erwarten, wenn keine Schutzmaßnahmen getroffen werden. Die Folgen eines solchen Ausfalls können schwerwiegend sein: Sie reichen von den Kosten für die Wiederherstellung der Anlagenfunktion bis hin zu den nicht zu beziffernden Kosten zur Beseitigung von Grundwasserverschmutzungen.
Um dieser Bedrohung wirksam entgegenzuwirken und die Verfügbarkeit der Systeme zu erhöhen, müssen Maßnahmen des äußeren und inneren Blitzschutzes getroffen werden.

Abschätzung des Schadensrisikos für die Kläranlagenwarte

Das anschließend aufgeführte Beispiel wurde unter Verwendung der Norm DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2) berechnet. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass nur die Vorgehensweise beispielhaft dargestellt werden soll. Die gezeigte Lösung ist in keiner Weise verbindlich und kann durch andere, gleichwertige Lösungen ersetzt werden. Nachfolgend werden nur die wesentlichen Charakteristika des Beispiels aufgeführt.
Als Erstes wurde zusammen mit dem Betreiber ein Fragebogen mit relevanten Fragen zur baulichen Anlage und deren Nutzung besprochen und schriftlich fixiert. Diese Vorgehensweise stellt sicher, dass ein für alle Beteiligten nachvollziehbares Blitzschutz-Konzept erstellt werden kann. Dieses Konzept stellt dann die Mindestanforderungen dar, die aber jederzeit technisch verbessert werden können.

Anlagenbeschreibung

Die komplette Prozessleittechnik der Kläranlage befindet sich zentral in der Kläranlagenwarte. Gekennzeichnet durch die ausgedehnten Kabelverbindungen zu den Mess- und Unterstationen werden über diese Leitungen bei einem Blitzeinschlag erhebliche Blitzteilströme und Überspannungen in die Schalträume eingeschleppt, was in der Vergangenheit bereits immer wieder zu Anlagenzerstörungen und -ausfällen geführt hat.

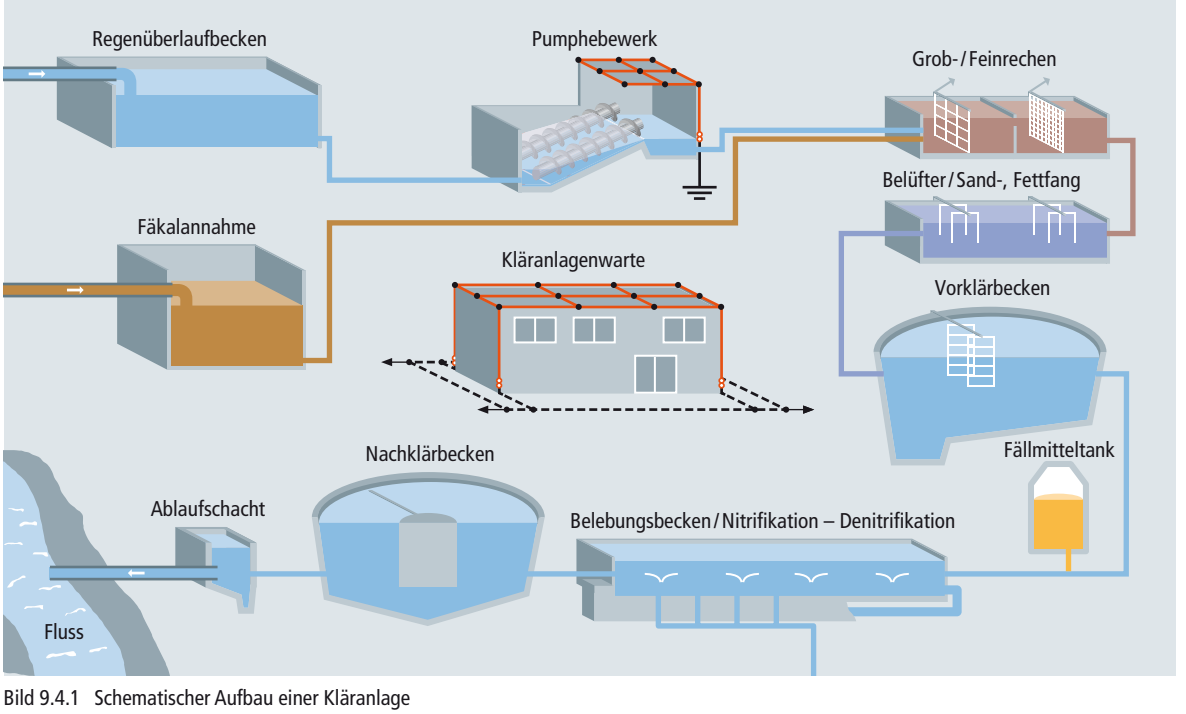
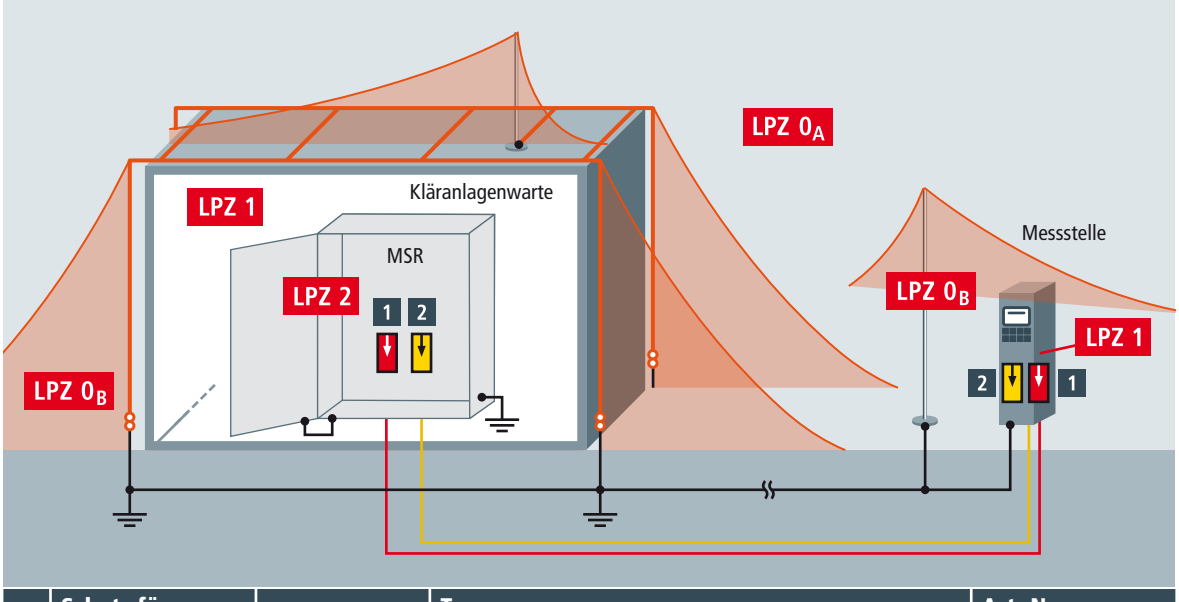


Bild 9.4.1 Schematischer Aufbau einer Kläranlage



	Schutz für...		Typ	Art.-Nr.
1	Energieversorgung	TN-System	DEHNguard DG M TN 275 DEHNguard DG M TN 275 FM	952 200 952 205
		TT-System	DEHNguard DG M TT 2P 275 oder DEHNguard DG M TT 2P 275 FM	952 110 952 115
2	Sauerstoffmessung	z. B. 4 ... 20 mA	BLITZDUCTOR BXT ML4 BE S 24 + Basisteil BXT BAS oder BLITZDUCTOR BXT ML2 BE 24 + Basisteil BXT BAS	920 224 + 920 300 920 324 + 920 300

Bild 9.4.2 Einteilung einer Kläranlagenwarte in Blitzschutzzonen; Beispiel Schutzgeräteauswahl für Sauerstoffmessung

Gleiches gilt für die Energieversorgungsleitung und die Telefonleitung. Die Kläranlagenwarte selbst soll gegen Schäden durch Feuer (nach direktem Blitzeinschlag) und die elektrischen sowie elektronischen Systeme (Steuerungs- und Automatisierungssystem, Fernwirktechnik) gegen die Wirkung des elektromagnetischen Blitzimpulses (LEMP) geschützt werden.

Zusätzliche Bedingungen:

- es sind schon Schutzmaßnahmen (Bestand) gegen Blitzeinwirkung vorhanden (äußerer Blitzschutz nach VDE 0185-1, Überspannungsschutzgeräte (SPD) der bisherigen Anforderungsklasse B vom Typ VGA 280/4 am Gebäudeeintritt der Energieversorgungsleitung 230/400 V, SPD der bisherigen Anforderungsklasse C vom Typ VM 280 in den Schaltschränken der MSR-Technik).
- als Schadensarten relevant sind L2: Ausfall von Dienstleistungen für die Öffentlichkeit (Wasserversorgung und -entsorgung) und L4: Wirtschaftliche Verluste (bauliche Anlagen und deren Inhalt). Die Schadensart L1: Verlust von Menschenleben wurde ausgeschlossen, da im späteren Betrieb die Anlage vollautomatisch laufen soll.

Das Ergebnis nach der Berechnung des Ist-Zustandes lautet, dass sowohl für die Schadensart L2 als auch L4 das berechnete Schadensrisiko R noch deutlich über dem jeweils akzeptierbaren Schadensrisiko R_T liegt.

Nun werden mögliche Schutzmaßnahmen eingeleitet, um für beide Schadensarten $R < R_T$ zu erreichen:

- Errichten eines Blitzschutzsystems der Schutzklasse III nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) (Dies entpricht auch den Empfehlungen aus dem VdS-Merkblatt 2010).
- Installation von Ableitern SPD Typ 1 nach DIN EN 61643-11 (Energieversorgung) und SPDs der Kategorie D1 nach IEC 61643-21 für die informationstechnischen Leitungen (MSR- und Telekommunikationsleitungen) an den Zonenübergängen LPZ 0_A–1.
- SPD Typ 2 nach DIN EN 61643-11 (Energieversorgung) und Überspannungsschutzgeräte der Kategorie C2 nach IEC 61643-21 für die informationstechnischen Leitungen (MSR- und Telekommunikationsleitungen) an den Zonenübergängen LPZ 0_B–1 und 1–2.

Blitzschutzzonen-Konzept

Um den technisch und wirtschaftlich besten Schutz zu erreichen, wird die Kläranlagenwarte in Blitzschutzzonen (LPZ) unterteilt. Anschließend wird die Risikoanalyse für jede LPZ und für die relevanten Schadensarten durchgeführt. Zum Schluss werden noch die gegenseitigen Abhängigkeiten der LPZ geprüft und die endgültig notwendigen Schutzmaßnahmen festgelegt, damit das erforderliche Schutzziel in allen Blitzschutzzonen erreicht wird. Folgende Bereiche wurden in Blitzschutzzone 1 (LPZ 1) und Blitzschutzzone 2 (LPZ 2) eingeteilt:

- Auswerteelektronik in der Messwarte (LPZ 2)
- Sauerstoffmessung im Belebungsbecken (LPZ 1)
- Innenraum der Messwarte (LPZ 1).

Entsprechend dem Blitzschutzzonen-Konzept nach DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4) müssen alle Leitungen an den Blitzschutzzonen-Grenzen mit den geeigneten Überspannungs-Schutzmaßnahmen versehen sein.

Im **Bild 9.4.2** wird am Beispiel der Sauerstoffmessung im Belebungsbecken die Auswahl geeigneter Überspannungsschutzmaßnahmen dargestellt. Die Feldverkabelung befindet sich im gesamten Verlauf innerhalb der Blitzschutzzone LPZ 0_B. Sowohl für den Schutz der Sauerstoffmessung als auch für die Leittechnik können dadurch SPDs Typ 2 eingesetzt werden, da innerhalb der LPZ 0_B nicht mit Blitz-(Teil-)Strömen zu rechnen ist.

Blitzschutzsystem

Das bestehende Blitzschutzsystem der Kläranlagenwarte wurde gemäß den Forderungen nach Schutzklasse III ertüchtigt. Die bestehende, indirekte Verbindung der Dachaufbauten (Klimageräte) über Trennfunkenstrecken wurde entfernt. Der Schutz gegen einen direkten Einschlag wurde mittels Fangstangen unter Einhaltung der geforderten Trennungsabstände und Schutzwinkel realisiert (**Bild 9.4.3**). Im Falle eines direkten Blitzeinschlages in die Messwarte kann somit kein Blitzteilstrom mehr in die bauliche Anlage hineinfließen und Schäden verursachen. Die Anzahl der Ableitungen (4) brauchte aufgrund der Größe der Messwarte (15 m x 12 m) nicht verändert zu werden. Die lokale Erdungsanlage der Kläranlagenwarte wurde an allen Messpunkten geprüft, und die Werte wurden protokolliert. Hier mussten auch keinerlei Nachrüstungen gemacht werden.

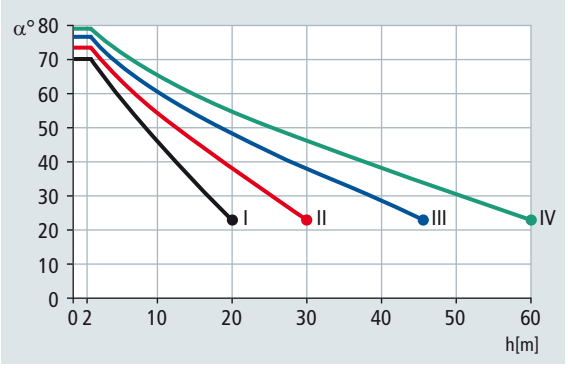


Bild 9.4.3 Schutzwinkelverfahren nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3)

Blitzschutz-Potentialausgleich für alle von außen eingeführten Leitungen

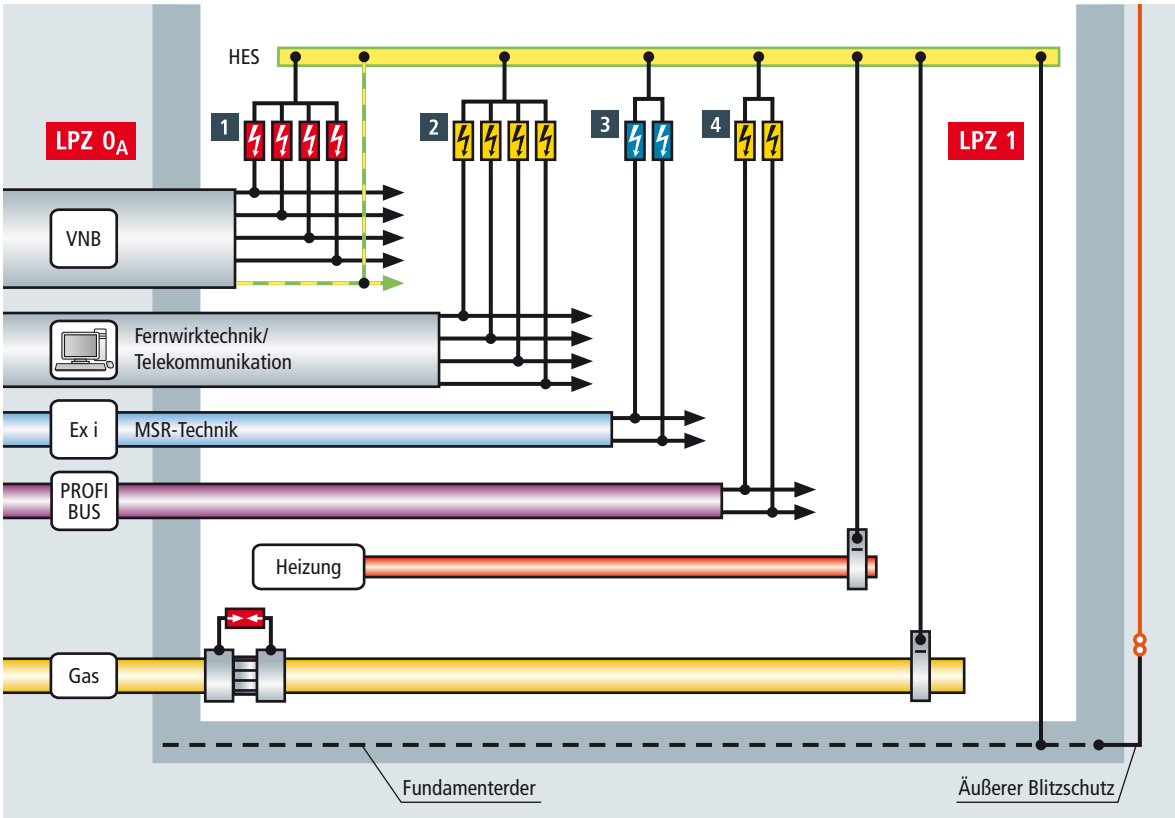
Alle von außen in die Kläranlage eingeführten leitfähigen Systeme müssen grundsätzlich in den Blitzschutz-Potentialausgleich eingebunden (**Bild 9.4.4**) werden. Die Forderung des Blitzschutz-Potentialausgleichs wird erfüllt durch den direkten Anschluss aller metallenen Systeme und den indirekten Anschluss aller unter Betriebsspannung stehenden Systeme über Überspannungsschutzgeräte. Die SPDs Typ 1 (Energietechnik) und SPDs Typ D1 (Informationstechnik) müssen ein Ableitvermögen der Prüf-Wellenform 10/350 µs aufweisen. Der Blitzschutz-Potentialausgleich soll möglichst nahe an der Eintrittstelle in die bauliche Anlage durchgeführt werden, um ein Eindringen von Blitzströmen in das Gebäudeinnere zu verhindern.

Potentialausgleich

In der gesamten Kläranlagenwarte wird ein konsequenter Potentialausgleich nach den Teilen 410, 540 der DIN VDE 0100 sowie DIN EN 62305-3 ausgeführt und der bereits vorhandene Potentialausgleich geprüft, damit Potentialunterschiede zwischen verschiedenen sowie fremden leitfähigen Teilen vermieden werden. Auch Gebäudestützen und Konstruktionsteile, Rohrleitungen, Behälter usw. werden in den Potentialausgleich so einbezogen, dass mit einer Spannungsdifferenz, sogar im Fehlerfall, nicht zu rechnen ist. Beim Einsatz von Überspannungsschutzgeräten muss der Querschnitt der Erdleitung zum Potentialausgleich bei SPDs für die Energietechnik mit min. 16 mm^2 Cu und bei SPDs für die Informationstechnik mit min. 6 mm^2 Cu ausgeführt werden. Außerdem müssen in Bereichen mit explosionsgefährdeter Atmosphäre die Anschlüsse der Potentialausgleichsleiter beispielsweise an PA-Schienen gegen Selbstlockern (z. B. mittels Federringen) gesichert werden.

Überspannungsschutz der Niederspannungsversorgung

In der beschriebenen Applikation wird der am Gebäudeeintritt installierte SPD vom Typ VGA 280/4 gegen einen Kombi-Ableiter Typ 1, DEHNventil M TNS 255 FM (**Bild 9.4.5**) getauscht, da das „alte" SPD nicht mehr den Anforderungen für Blitzschutzsysteme nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) entspricht. Die SPDs Typ 2, VM 280, wurden mit einem Ableiterprüfgerät vom Typ PM 10 geprüft. Da die Prüfwerte noch innerhalb der



Nr. im Bild	Schutz für	Schutzgerät * FM = Potentialfreier Fernmeldekontakt	Art.-Nr.
Energietechnische Systeme			
1	TN-C-System	DEHNventil DV M TNC 255 DEHNventil DV M TNC 255 FM DEHNventil DV ZP TNC 255	951 300 951 305 900 390
	TN-S/TT-System	DEHNventil DV M TT 255 DEHNventil DV M TT 255 FM DEHNventil DV ZP TT 255	951 310 951 315 900 391
Informationstechnische Systeme			
2	Fernwirksystem, Telekommunikation	BLITZDUCTOR BXT ML2 BD 180 oder BLITZDUCTOR BXT ML4 BD 180 + Basisteil BXT BAS	920 247 920 347 + 920 300
MSR-Technik			
3	Eigensichere Messkreise + Systeme	BLITZDUCTOR BXT ML2 BD S EX 24 oder BLITZDUCTOR BXT ML4 BD EX 24 + Basisteil BXT BAS	920 280 920 381 + 920 301
Bussysteme			
4	z. B. Profibus DP	BLITZDUCTOR BXT ML2 BD HFS 5 + Basisteil BXT BAS	920 271 + 920 300

Bild 9.4.4 Blitzschutz-Potentialausgleich nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3), Beiblatt 1

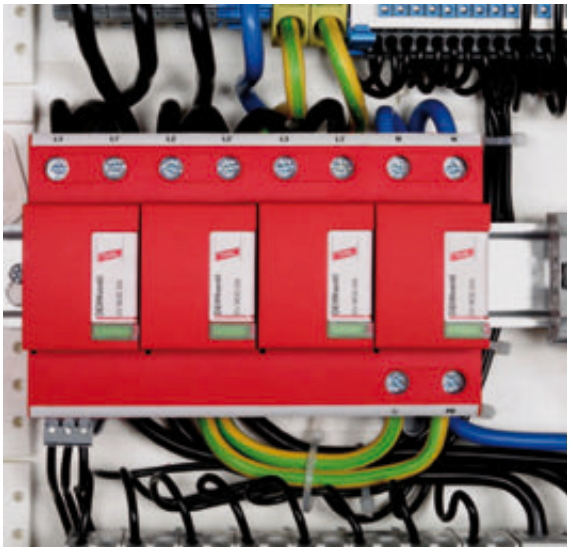


Bild 9.4.5 DEHNventil im Schaltschrank zum Schutz der Energietechnik

Bild 9.4.6 Überspannungsschutzgerät DCO ME 24 im Schaltschrank zum Schutz der gesamten MSR-Technik

Toleranzen lagen, bestand kein Anlass, die SPDs zu entfernen. Werden wie in dem vorliegenden Fall noch weitere SPDs zum Schutz der Endgeräte installiert, so müssen sie untereinander und mit den zu schützenden Endgeräten koordiniert sein. Die entsprechenden Hinweise und Angaben gemäß der beiliegenden Einbauanleitung sind jeweils zu beachten.

Sonst weist der Einsatz von Überspannungsschutzgeräten in der Niederspannungsverbraucheranlage gegenüber anderen Anwendungen keinerlei Besonderheiten auf und ist bereits mehrfach beschrieben worden (nähere Informationen hierzu bietet die Druckschrift DS 649 – „Red/Line: ... Auswahl leicht gemacht").

Überspannungsschutz in informationstechnischen Systemen

Der Übergabepunkt aller informationstechnischen Leitungen zur Kläranlage ist aus schutztechnischer Sicht der Gebäudeeintritt. An dieser Stelle erfolgt der Einsatz blitzstromtragfähiger SPDs (Kategorie D1), z. B. vom Typ DRL 10B 180 FSD. Vom Übergabepunkt aus werden die Leitungen direkt zu den Schaltschränken geführt und dort aufgelegt. Entsprechend der durchgeführten Risikobetrachtung müssen die ankommenden Leitungen über SPDs vom Typ DCO RK ME 24 (20 mA-Signal) oder DCO RK MD 110 (Fernwirktechnik) geführt werden. Diese sind für den Einsatz im Blitzschutzzonen-Konzept geeignet (Kategorie C2) und systemverträglich (**Bild 9.4.6 und 9.4.7**).

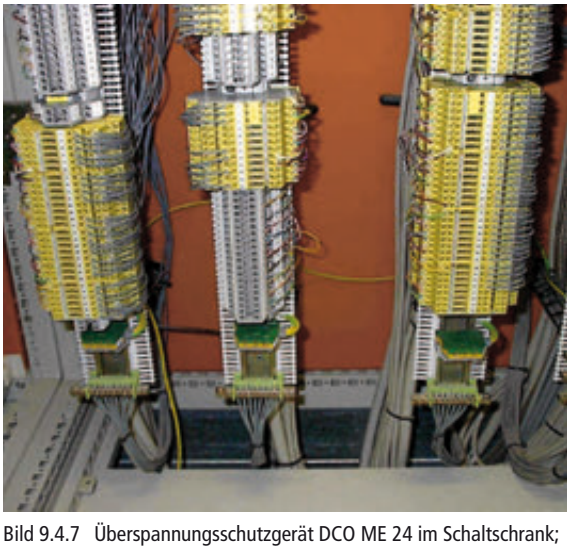


Bild 9.4.7 Überspannungsschutzgerät DCO ME 24 im Schaltschrank; Eintritt der Leitungen aus dem Doppelboden

Damit ist ein lückenloses Überspannungs-Schutzkonzept der informationstechnischen Verkabelung sichergestellt.
Zusätzliche Applikationen zum Schutz von Kläranlagen sind in der Druckschrift DS 107 enthalten. Diese und viele weitere Informationen findet man im Internet unter www.dehn.de.

Sicherheitsanforderungen bei Kabelnetzen für Fernsignale, Tonsignale und interaktive Dienste

Konventionelle SAT- und terrestrische Antennen werden heute fast ausschließlich auf Dächern von baulichen Anlagen installiert. Daher sieht die DIN EN 60728-11 neben dem Potentialausgleich, Blitzschutz-Potentialausgleich des Leitungsnetzes (Kabelschirme) auch Erdungsmaßnahmen vor. Diese Norm hat ihren Anwendungsbereich üblicherweise bei ortsfesten Anlagen und Geräten. Obwohl normativ möglich, werden in diesem Schutzvorschlag die ebenfalls zum Anwendungsbereich gehörenden beweglichen Anlagen (z. B. Wohnmobile) nicht behandelt.
Zudem erfolgt keine Betrachtung von Antennenanlagen an Orten mit einem geringen Einschlagrisiko hinsichtlich einer dann nicht erforderlichen Antennenerdung. Die Betrachtung zum Wegfall des Potentialausgleichs bei Loslass-Schwellenströmen ≤ 3,5 mA wird ebenfalls nicht behandelt.

Prinzipiell gilt, dass Antennen, welche nach dieser Norm errichtet, werden nicht die Blitzeinschlagwahrscheinlichkeit erhöhen und dass geerdete Antennenstandrohre kein Ersatz für eine Blitzschutzanlage sind.

Erdungsanlage

Als Erdungsanlage sind entweder der Fundamenter, zwei Horizontalerder (Banderder) mit je 2,5 m Länge und einem Winkel > 60 °, ein Vertikalerder (Staberder) mit einer Länge von 2,5 m oder zwei Vertikalerder mit je einer Länge von 1,5 m in einem Abstand von 3 m zulässig (**Bild 9.5.1**). Prinzipiell gilt zu beachten, dass Erdungsanlagen mit der Haupterdungsschiene (HES) zu verbinden sind. Der Mindestquerschnitt des Erders beträgt 50 mm² Kupfer oder 90 mm² feuerverzinkter oder rostfreier Stahl.

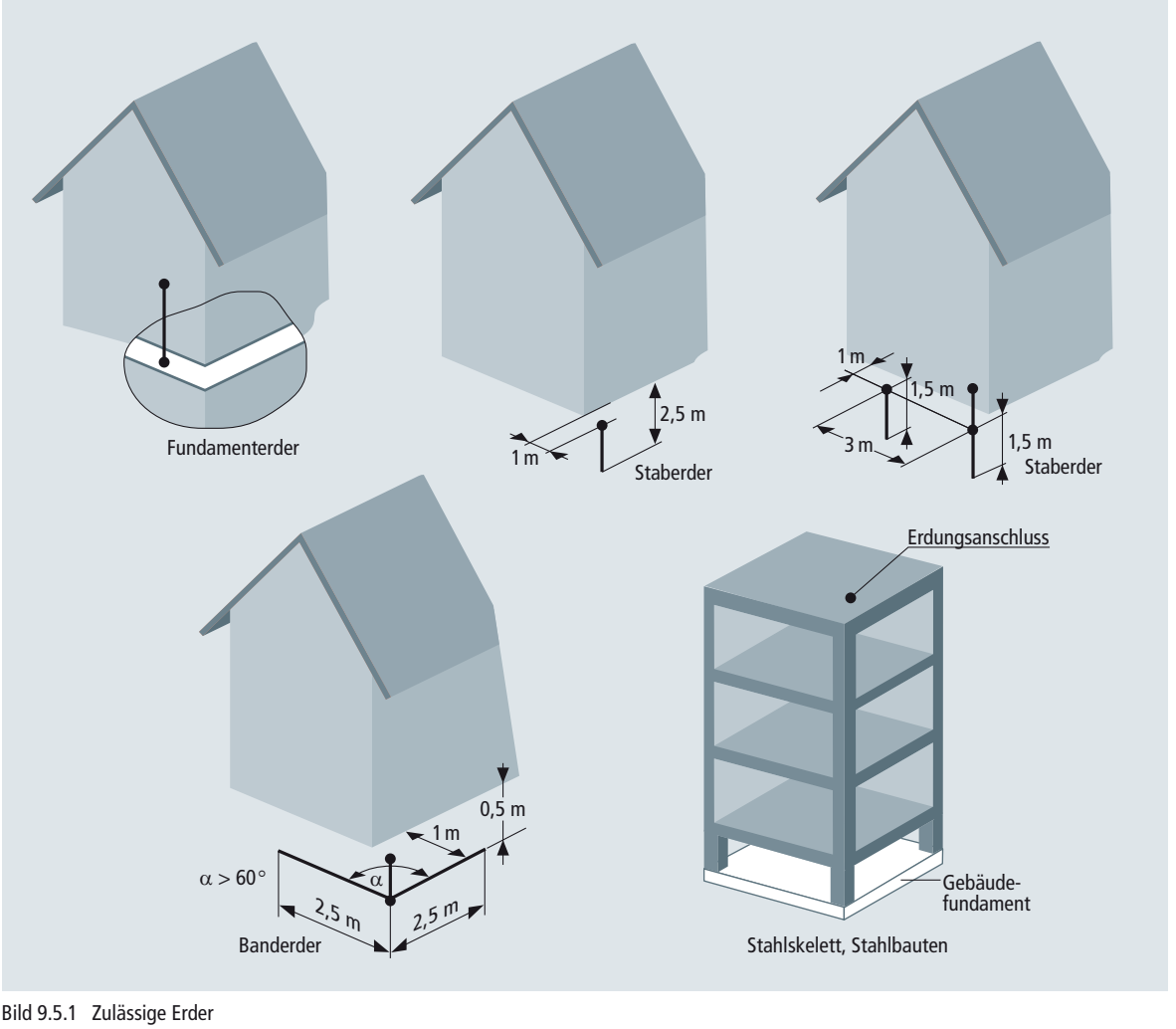


Bild 9.5.1 Zulässige Erder

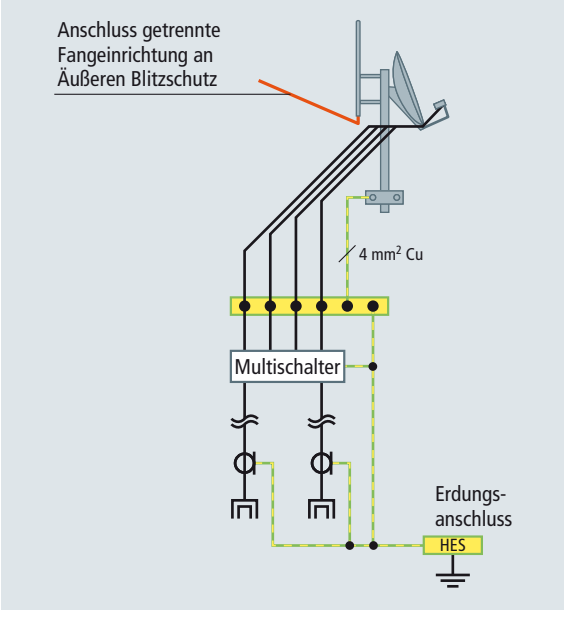


Bild 9.5.2 Schutzpotentialausgleich des Kabelnetzes und der Geräte

Potentialausgleich

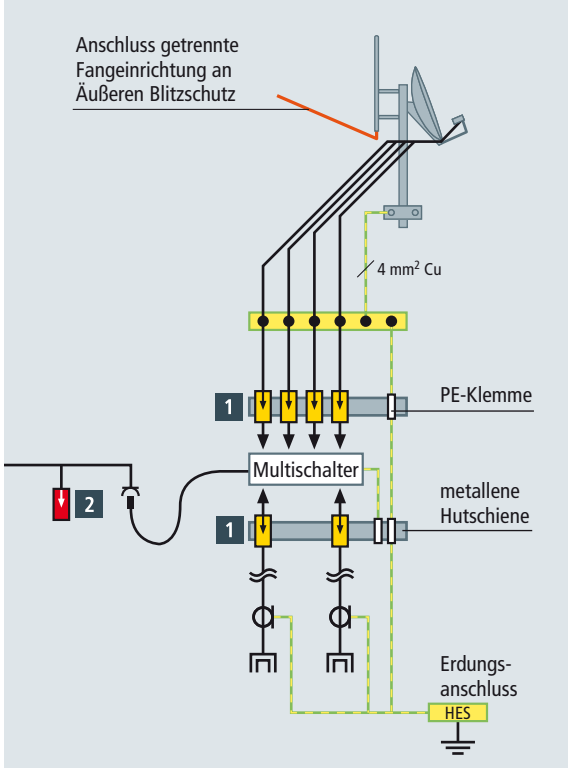
Das Kabelnetz ist aus Sach- und Personenschutzgründen in den Schutzpotentialausgleich des Gebäudes einzubeziehen. Der Mindestquerschnitt hierfür beträgt bei mechanisch geschützter Verlegung mind. 4 mm² Kupfer. Diese Maßnahme ist aufgrund der netzseitigen Ableitströme erforderlich, die von Geräten auf das Kabelnetz gespeist werden.

Deshalb sind alle in ein Gebäude eingeführten Kabel (**Bild 9.5.2**) an den Schutzpotentialausgleich anzuschließen (Ausnahme: galvanische Trennung des Innen- und Außenleiters). Im Falle eines Ausbaus von aktiven und passiven Geräten (z. B. Verstärker, Abzweiger) sind die angeschlossenen Kabelschirme vor dem Ausbau untereinander zu verbinden und die Innenleiter zu isolieren.

Besonders sind die, mit dem Kabelnetz in Verbindung stehenden netzgespeisten Geräte der Schutzklasse I zu beachten. Sofern nicht ein durchgängiges TN-S-System aufgebaut ist, kann die Netzunsymmetrie und auch die Aufsummierung der 3. Harmonischen zu Schirmströmen führen, welche Funktionsstörungen und Brände verursachen können.

Inneres Schutzsystem

Der innere Blitzschutz sichert das Gebäudeinnere, insbesondere die elektrischen Anlagen und elektronischen Geräte. Hauptmaßnahme des inneren Blitzschutzes ist der Blitzschutz-Potentialausgleich über den 4 mm² Kupferleiter sowie mittels Überspannung-Schutzeinrichtungen zwischen Innen- und Außenleiter, um eine Funkenbildung zu vermeiden.



Nr.	Schutzgerät	Art.-Nr.
1	DEHNgate DGA FF TV	909 703
2	DEHNflex DFL M 255	924 396

Bild 9.5.3 Antennenanlage mit Potentialausgleich am Anlagentiefpunkt und Überspannungsschutzbeschaltung

Schutz gegen Überspannungen

Das Schutzziel der in der Norm dargestellten Überspannungsschutzbeschaltung der Kopfstelle lässt sich in Analogie auch auf äquivalente Anlagen übertragen (**Bild 9.5.3**).

Die ebenfalls in der Norm dargestellte Überspannungsschutzbeschaltung für eine Einzelwohneinheit schützt vor induktiven Kopplungen zum Teilnehmergerät und lässt sich gemäß der Anmerkung in der Norm auch für die Anschlüsse in Mehrfamilienhäusern einsetzen.

Antennen im Gebäude oder unterhalb des Daches

Antennenanlagen in einem Gebäude und solche, die mind. 2 m unterhalb des Daches liegen und nicht weiter als 1,5 m aus der Wand hervorstehen (**Bild 9.5.4**), müssen nicht über einen Erdungsleiter geerdet werden. Der Potentialausgleich ist jedoch in der beschriebenen Weise erforderlich.

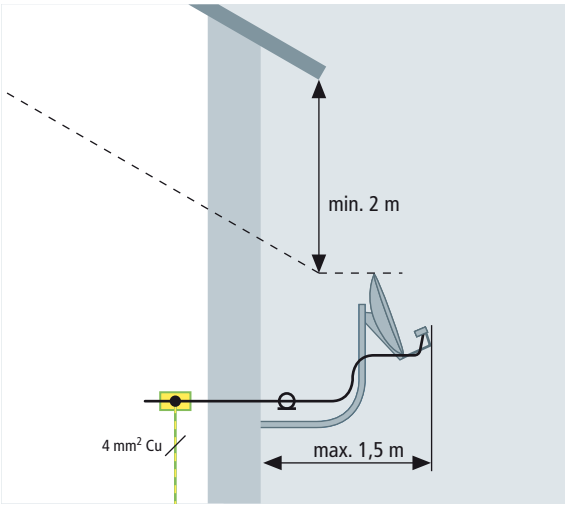


Bild 9.5.4 Antennenanordnungen, die keine Erdung erfordern

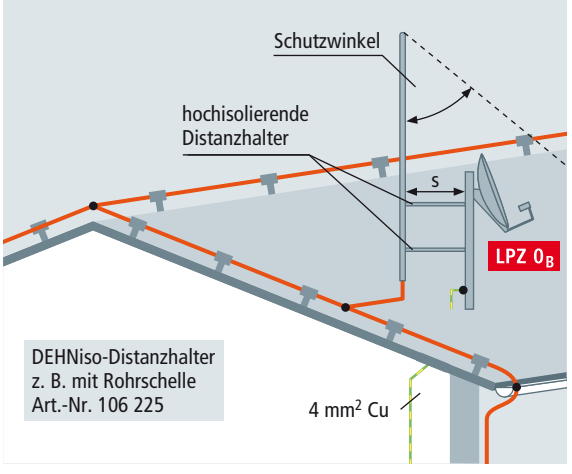


Bild 9.5.6 Antennenanlage mit isoliert angebrachter Fangstange durch DEHNiso-Distanzhalter (Isolierstrecke aus glasfaserverstärktem Kunstoff (GFK))

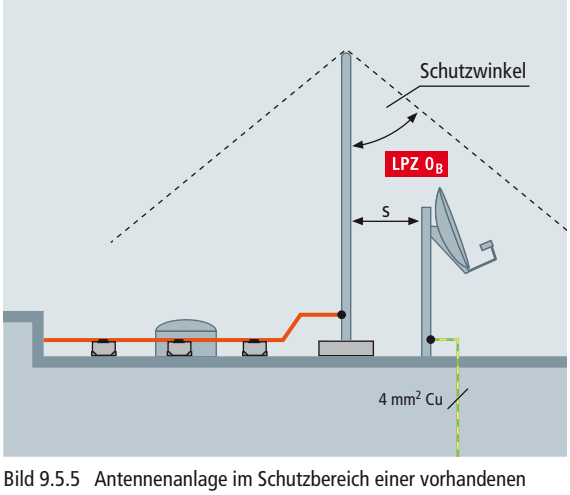


Bild 9.5.5 Antennenanlage im Schutzbereich einer vorhandenen Fangeinrichtung

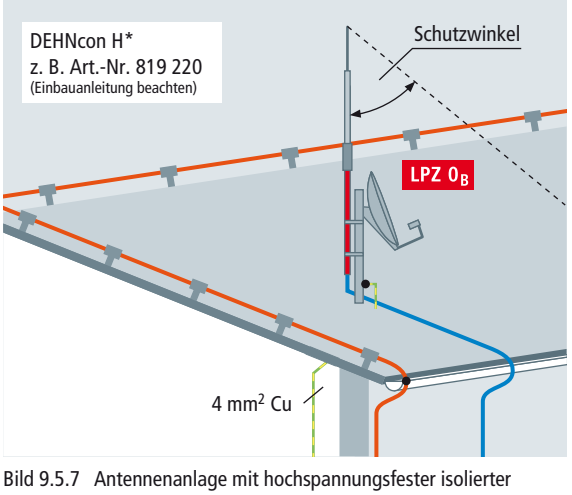


Bild 9.5.7 Antennenanlage mit hochspannungsfester isolierter Leitung DEHNcon-H

Gebäude mit Blitzschutzanlage

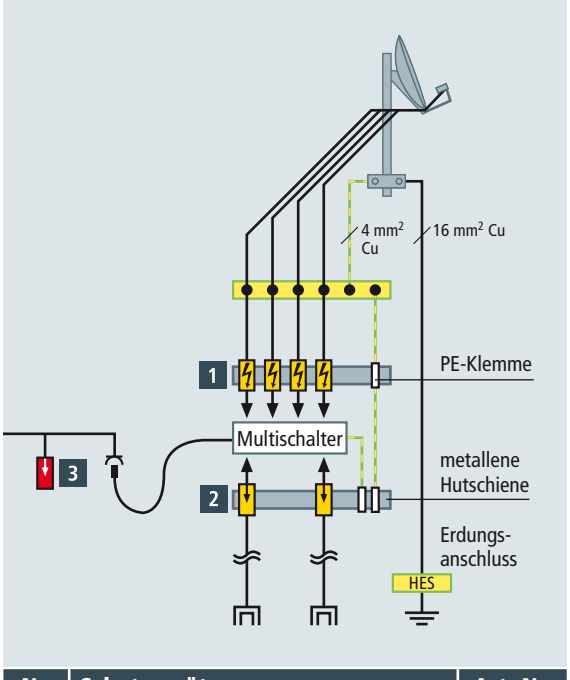
Die folgenden Betrachtungen sind in Analogie mit dem Schutzziel der Blitzschutznorm DIN EN 62305-3 und somit in Verbindung mit der sogenannten „besten Lösung" der Antennennorm erstellt worden.

Bei Gebäuden mit einer Blitzschutzanlage ist die Antennenanlage im Schutzbereich einer vorhandenen Fangeinrichtung zu platzieren (**Bild 9.5.5**) bzw. durch eine isoliert angebrachte Fangstange mit DEHNiso-Distanzhalter (**Bild 9.5.6**) oder durch eine DEHNcon-H-Lösung zu schützen (**Bild 9.5.7**). In allen vorstehend genannten Fällen sind zusätzlich zum bereits beschriebenen Potentialausgleich die Kabelschirme an ihrem tiefsten Punkt über Potentialausgleichsleiter mit einem Mindestquerschnitt von 4 mm² Kupfer an die Haupterdungsschiene anzuschließen, um die Gefährdung durch Induktionsschleifen zu reduzieren (**Bild 9.5.3**).

Gebäude ohne Blitzschutzanlage

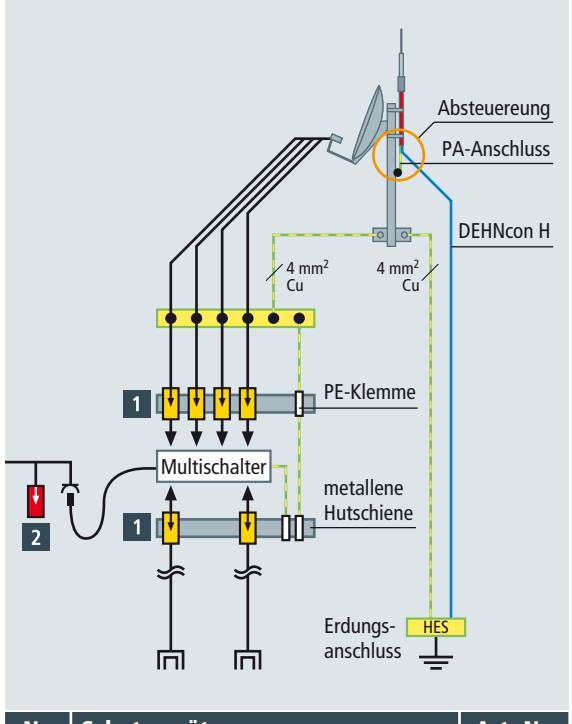
Die Maßnahmen einer Antennenerdung sind nicht für den vorsorglichen Blitzschutz von Gebäuden oder anderen Bauwerken bestimmt.

Für Gebäude ohne Blitzschutzanlage besteht die Forderung zur Erdung des Antennenmastes. Der Erdungsleiter muss geradlinig und senkrecht verlegt werden und ist mind. in



Nr.	Schutzgerät	Art.-Nr.
1	DEHNgate DGA GFF TV	909 705
2	DEHNgate DGA FF TV	909 703
3	DEHNflex DFL M 255	924 396

Bild 9.5.8 Antennenerdung mit Überspannungsschutzbeschaltung



Nr.	Schutzgerät	Art.-Nr.
1	DEHNgate DGA FF TV	909 703
2	DEHNflex DFL M 255	924 396

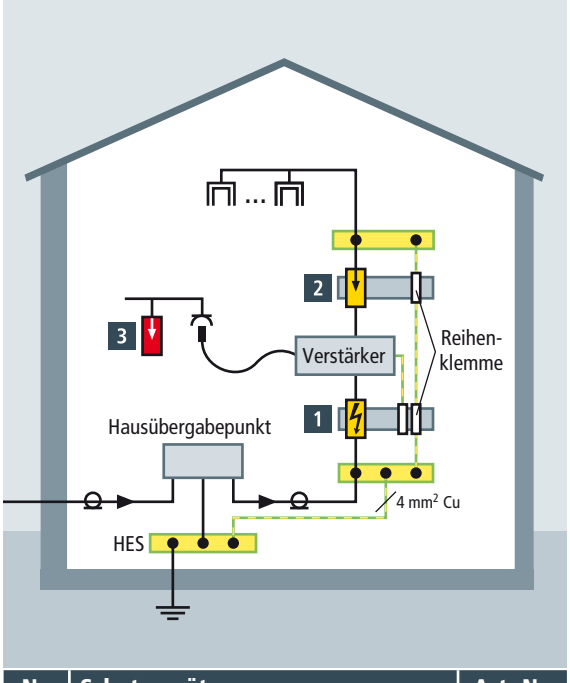
Bild 9.5.9 Antennenanlage mit hochspannungsfester Leitung DEHNcon-H und Überspannungsschutzbeschaltung

16 mm² Kupfer, 25 mm² isoliertem Aluminium oder 50 mm² Stahl auszuführen (**Bild 9.5.8**). Die Anschlüsse des Potentialausgleichsleiters, z. B. an Bandrohrschellen und an Potentialausgleichsschienen müssen für Blitzströme ausgelegt und nach EN 50164-1 geprüft sein. Er wird in einem möglichst weiten Abstand zu Leitungen und geerdeten Systemen verlegt, da im Blitzeinschlagsfall die gleichen physikalischen Zusammenhänge auftreten wie sie für die Einhaltung des Trennungsabstands beim äußeren Blitzschutz betrachtet werden müssen. Als Erdungsleiter dürfen zudem natürliche Bestandteile des Gebäudes / der Anlage verwendet werden, sofern sie als erlaubt, elektrisch leitfähig und hinsichtlich ihrer Abmessungen als äquivalent zu den Standard-Erdungsleitern bewertet werden können. Auch hier erfolgt der bereits beschriebene Potentialausgleich, jedoch ohne den Anschluss der Kabelschirme am tiefsten Punkt zur Haupterdungsschiene (**Bild 9.5.8**).

Einen effektiveren Schutz vor den Auswirkungen eines Blitzeinschlages gegenüber einer Antennenmasterdung bietet auch hier eine DEHNcon-H-Lösung, bei der die hochspannungsfest isolierte Leitung bis zur Erdungsanlage geführt wird. Die erforderliche mastseitige Absteuerung erfolgt hierbei über den ohnehin vorhandenen Schutzpotentialausgleichsleiter (**Bild 9.5.9**).

Gebäude mit BK-Anschluss

Bei dem als Kabel in das Gebäude eingeführten BK-Anschluss ist immer mit einer Bedrohung durch Blitzströme zu rechnen, weshalb hier ausschließlich blitzstromtragfähige Überspannungsschutzgeräte wie der DEHNgate GFF TV zum Einsatz kommen (**Bild 9.5.10**).



Nr.	Schutzgerät	Art.-Nr.
1	DEHNgate DGA GFF TV	909 705
2	DEHNgate DGA FF TV	909 703
3	DEHNflex DFL M 255	924 396

Bild 9.5.10 BK-Anschluss mit Überspannungsschutzbeschaltung

Überspannungsschutz für die Landwirtschaft

Komplexe elektrische und informationstechnische Anlagen prägen das Bild der heutigen Landwirtschaft. Zeitintensive Arbeiten werden optimiert und, wenn möglich, automatisiert. Es kommen Verfahren und Systeme zum Einsatz, die sich positiv auf die Ertragssituation auswirken.

Für den Bereich der Milchtierhaltung heißt das,

➡ dass die vollautomatische Melk-/Fütterungsanlage den Transponder der Kuh erkennt und den Melkvorgang oder die Futtermenge bestimmt.

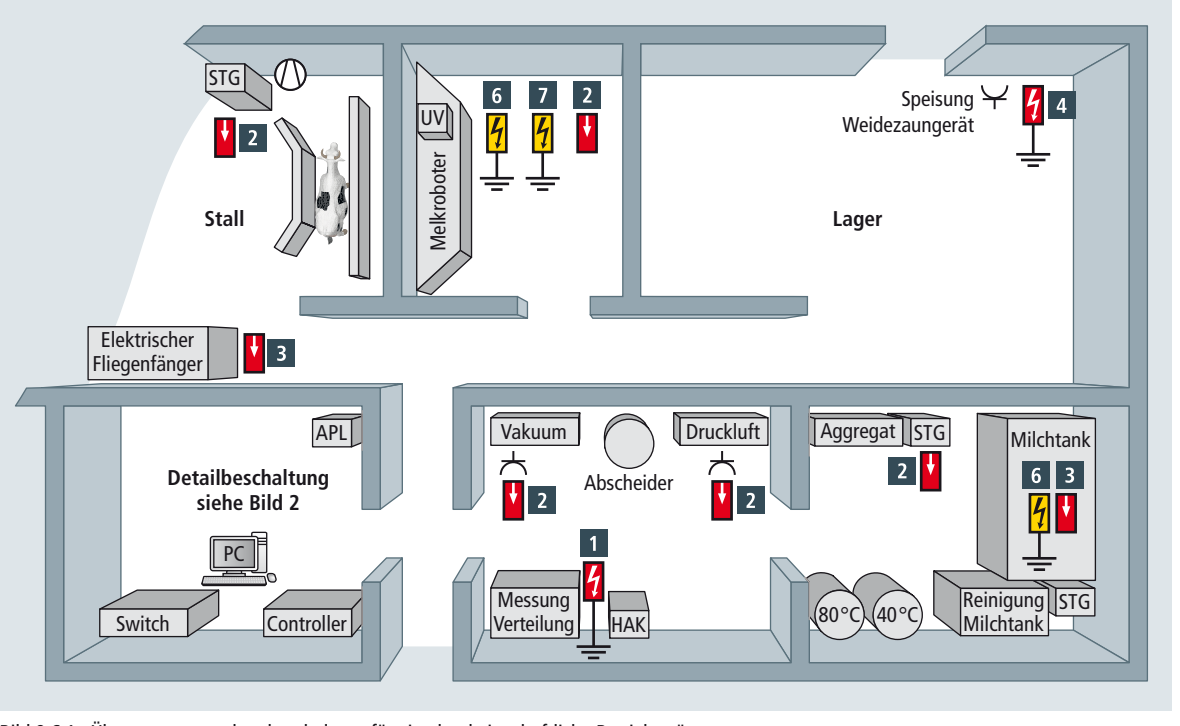


Bild 9.6.1 Überspannungsschutzbeschaltung für eine landwirtschaftliche Betriebsstätte

Nr. in Bild 9.6.1 und 2	Schutzgerät			Art.-Nr.
1	DEHNventil DEHNventil	DV ZP TNC 255 DV ZP TT 255	auf Sammelschiene vor Messeinrichtung	900 390 900 391
2	DEHNrail	DR M 4P 255	3/N/PE ≤ 25 A	953 400
3	DEHNrail DEHNflex	DR M 2P 255 DFL A 255	1/N/PE ≤ 25 A 1/N/PE ≤ 16 A	953 200 924 389
4	DEHNventil DEHNventil	DV M TN 255 DV M TT 2P 255	1/N/PE	951 200 951 110
5	SFL-Protector	SFL PRO 6X	Steckdosenleiste	909 250
6	BLITZDUCTOR + Basisteil	BXT ML2 BE HFS 5 BXT BAS	CAN-Bus oder ALCOM-Bus	920 270 920 300
7	DEHNpatch	DPA M CAT6 RJ45S 48	LAN	929 100
8	BLITZDUCTOR + Basisteil	BXT ML2 BD 180 BXT BAS	Telefon U_{K0}	920 247 920 300

Tabelle 9.6.1 Beispiel Überspannungsschutzgeräte für eine Anlage mit Melkroboter (technische Daten des Herstellers sind zu beachten)

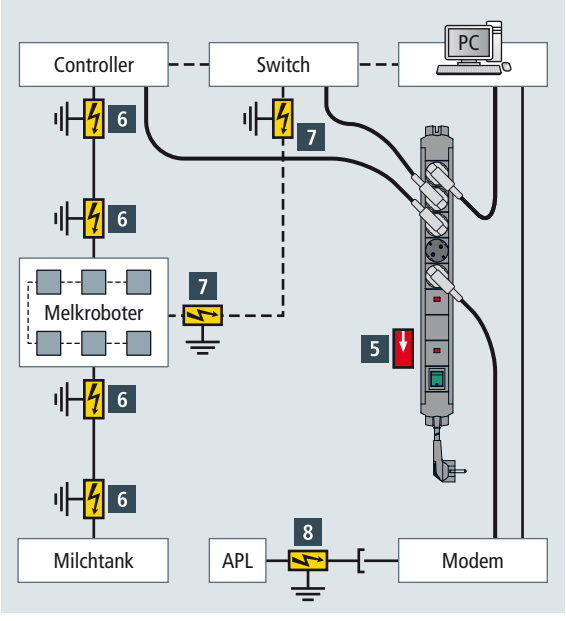


Bild 9.6.2 Überspannungsschutzbeschaltung Bussysteme und Telefon

- dass die gemolkene Milch auf Blut / Infektion analysiert und dann entweder entsorgt oder zum Milchtank weitergeleitet wird;
- dass die von der Melkanlage kommende Milch im Milchtank gekühlt wird und die Abwärme des Verdichters über einen Wärmetauscher den Wasserzufluss eines Brauchwasserboilers speist (Kostenreduzierung durch Brauchwassererwärmung);
- dass der Reinigungsautomat die Milchrohrsysteme spült;
- dass die Vakuum-Anlage für den erforderlichen Unterdruck beim Melkvorgang sorgt;
- dass die Drucklufterzeugung die Zugangstore des Melk-Roboters bedient, die Futter- / Kotschale positioniert und die Druckluftpeitsche versorgt;
- dass durch elektrische Fliegenfänger Fliegenpopulationen und somit Krankheitsübertragungen minimiert werden können;
- dass Ventilatoren das Stallklima verbessern und somit die Tiergesundheit / Milchqualität positiv beeinflussen.

Am Beispiel einer Anlage mit Melk-Roboter (**Bild 9.6.1**) werden die Systeme in ihrer räumlichen Lage dargestellt. Die Steuerung dieser Systeme erfolgt über mehrere Datenleitungsstrecken (**Bild 9.6.2**). Via Modem kann der Betreiber auf die komplette Anlage zugreifen.

Die DIN VDE 0100-705 empfiehlt im Abschnitt 705.443 bei Vorhandensein elektronischer Betriebsmittel den Blitz- und Überspannungsschutz. Entsprechende Überspannungsschutzgeräte für die Beispielanlage (**Bilder 9.6.1 und 9.6.2**) zeigt **Tabelle 9.6.1**.

Wichtig für den Überspannungsschutz ist der Schutzpotentialausgleich nach DIN VDE 0100-540 sowie auch der zusätzliche Schutzpotentialausgleich für landwirtschaftliche und gartenbauliche Betriebsstätten nach DIN VDE 0100-705. Diese beschreiben das Einbinden fremder leitfähiger Teile im Fußboden des Stand-, Liege- und Melkbereiches (empfohlen auch für Spaltböden aus Beton).

Überspannungsschutz für Videoüberwachungs-anlagen

Videoanlagen werden in allen Bereichen für die Zutritt- und Objektüberwachung eingesetzt. Nachfolgend werden Überspannungs-Schutzmaßnahmen beschrieben, die dem Verfügbarkeitsanspruch an Videoüberwachungsanlagen gerecht werden.

Die Videoüberwachungsanlage besteht mindestens aus einer Kamera, einem Monitor und einer geeigneten Video-Übertragungsstrecke. Fernsteuerbare Kamerastationen sind in der Regel mit Schwenk-Neigekopf-Objektiven ausgestattet, sodass Position und Blickwinkel der Station individuell durch einen Bediener angepasst werden können.

Im einfachsten Fall kann die Übertragungsleitung zwischen Anschlusskasten und Monitor ein Koaxialkabel oder eine symmetrische Zweidrahtleitung sein. Beim Koaxialkabel handelt es sich um eine asymmetrische Übertragung, d. h., über die Seele des Koaxialkabels (Innenleiter) wird das Videosignal übertragen. Die Abschirmung (Masse) ist der Bezugspunkt für die Signalübertragung. Bei Zweidraht-Übertragungen werden Symmetrieübertragungen (Balune) eingesetzt, welche das Koaxialsignal auf ein Zweidrahtsignal umsetzen.

Die Spannungsversorgung wird sehr oft separat geführt. Bei IP-Kameras wird sowohl das Bildsignal wie auch die Span-

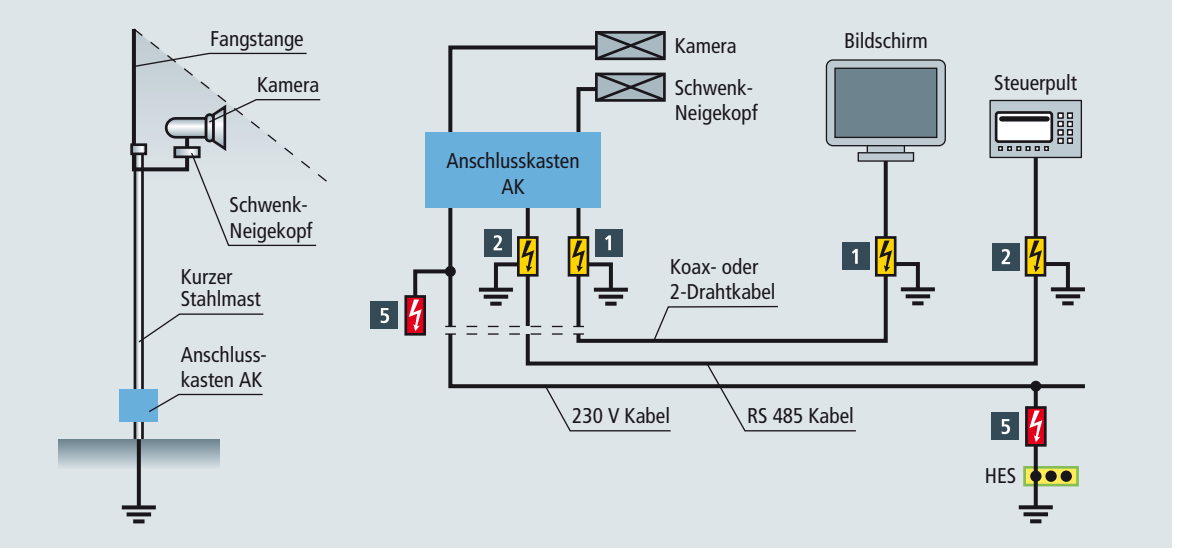


Bild 9.7.1 Kameraanlage mit Anbindung an ein Gebäude mit äußerem Blitzschutz und beidseitiger blitzstromtragfähiger Überspannungsschutzbeschaltung

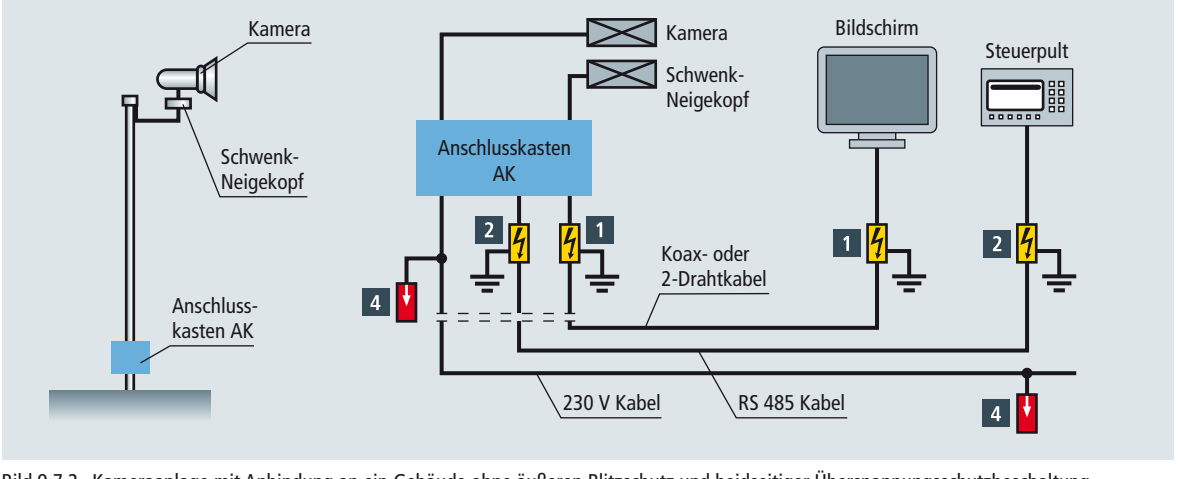


Bild 9.7.2 Kameraanlage mit Anbindung an ein Gebäude ohne äußeren Blitzschutz und beidseitiger Überspannungsschutzbeschaltung

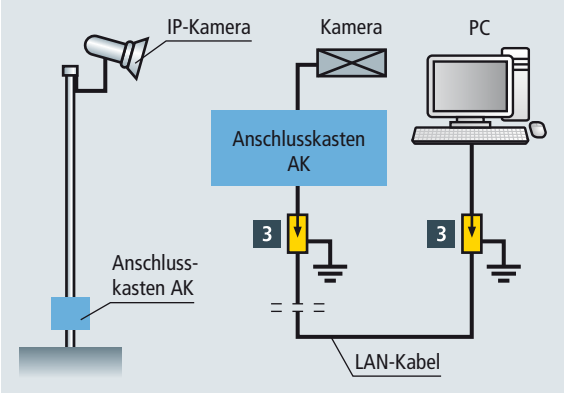


Bild 9.7.3 IP-Kameraanlage mit beidseitiger Überspannungsschutzbeschaltung

nungsversorgung durch eine Leitung übertragen. Das Schwenken und Neigen steuert ein RS 485 Bus.

Gebäude mit äußerem Blitzschutz

Im **Bild 9.7.1** ist die Überwachungskamera an einem Mast angebracht. Ein direkter Blitzeinschlag in die Kamera kann durch eine am Mast angebrachte Fangstange verhindert werden.

Üblicherweise wird die Verbindungsleitung zwischen Anschlusskasten und Kamera im metallenen Mast verlegt. Ist dies nicht möglich, so ist das Kamerakabel in einem Metallrohr zu führen und mit dem Mast leitend zu verbinden. Eine Schutzschaltung bei Leitungslängen von wenigen Metern kann dann im Anschlusskasten entfallen.

Für alle vorgenannten Kabel, welche vom Anschlusskasten am Mast in ein Gebäude mit einem äußeren Blitzschutz führen, ist der Blitzschutz-Potentialausgleich (BPA) am Gebäudeeintritt zu realisieren (**Tabelle 9.7.1**).

Bei Kameramontagen an einer Gebäudeaußenfassade sollte darauf geachtet werden, dass die Kamera im nichteinschlaggefährdeten Bereich liegt oder durch eine Fangeinrichtung vor Direkteinschlägen geschützt wird.

Gebäude ohne äußeren Blitzschutz

Bei Gebäuden ohne äußeren Blitzschutz wird zugrunde gelegt, dass das Risiko eines Schadens, verursacht durch einen direkten oder sehr nahen Blitzeinschlag in das Gebäude, gering ist und somit akzeptiert wird. In diesem Fall wird ein ausreichender Schutz durch die Installation von Überspannungs-Ableitern (**Tabelle 9.7.1**) erreicht.

Bild 9.7.2 zeigt eine Kameraanlage in Mehrleitungstechnik und **Bild 9.7.3** eine IP-Kameraanlage in digitaler Technik.

Nr.	Schutz für...	Schutzgeräte	Art.-Nr.
Überspannungsschutzbeschaltung für Informationstechniksystem			
1	2-Drahtkabel (Bildübertragung)	BLITZDUCTOR XT, BXT ML2 BD HFS 5 + BXT BAS	920 271 920 300
	Koaxialkabel (Bildübertragung)	UGKF BNC oder DGA BNC VCID	929 010 909 711
2	RS 485-Kabel (Kamerasteuerung)	BLITZDUCTOR XT, BXT ML2 BD HFS 5 + BXT BAS	920 271 920 300
3	LAN-Kabel (IP-Kamera)	DPA M CLE RJ45B 48 DPA M CAT6 RJ45H 48	929 121 929 110
Überspannungsschutzbeschaltung für Energietechniksystem – Überspannungs-Ableiter			
4	Wechselstrom TN-System Wechselstrom TT-System	DEHNguard DG M TN 275 DEHNguard DG M TT 2P 275	952 200 952 110
Überspannungsschutzbeschaltung für Energietechniksystem – Kombi-Ableiter			
5	Wechselstrom TN-System Wechselstrom TT-System	DEHNventil DV M TN 255 DEHNventil DV M TT 2P 255	951 200 951 110

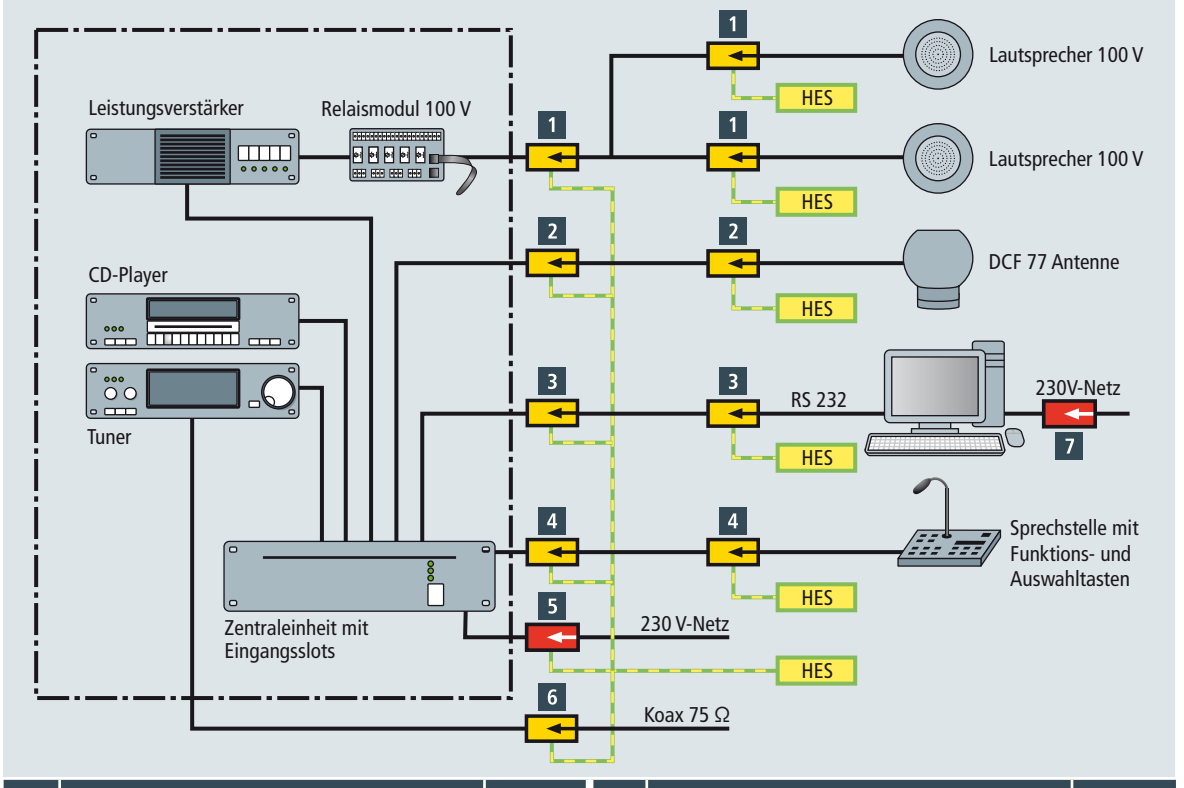
Tabelle 9.7.1 Überspannungsschutzbeschaltung in Bild 9.7.1 bis 9.7.3

Überspannungsschutz für elektroakustische Anlagen

ELA-Anlagen dienen der Sprach-, Musik- und Alarmübertragung. Hierfür wird das Nutzsignal auf eine Trägerspannung (50, 70, 100 V) moduliert und gelangt über einen Übertrager zum Lautsprecher. Dieser Übertrager transformiert die niederohmige Impedanz des Lautsprechers auf einen höheren Wert und reduziert somit den Strom. Dadurch wird es möglich auch Fernmeldeleitungen mit einem Durchmesser von 0,6 mm oder 0,8 mm einzusetzen.

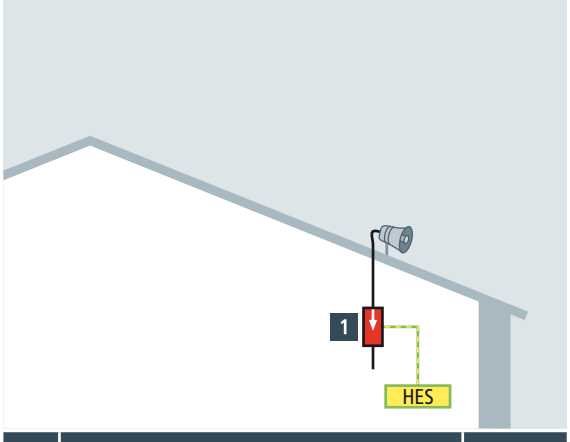
Im Bereich der Lautsprecher kommen unterschiedlichste Varianten zum Einsatz. Die üblichen Nennleistungen liegen für Einbau- und Aufbaulautsprecher bei 6 – 30 W, für Säulenlautsprecher bei 20 – 100 W und für Trichterlautsprecher in der Größenordnung von 10 – 60 W. Die Verstärker-Nennleistungen liegen in Modulbauweise zwischen 100 W und 600 W (vereinzelt auch höher).
In einer Linie oder Gruppe können unterschiedliche Lautsprecherleistungen gemeinsam betrieben werden. Die Mindestleistung des Verstärkers entspricht der Summe der einzelnen Lautsprecherleistungen in der Anlage. Bei deren Ermittlung ist nicht die Summe der Lautsprecher-Nennleistungen maßgebend, sondern die Summe der ausgewählten Leistungen an den Übertragern.

In DIN EN 50174-2 wird unter 7.2.1 der Schutz gegen Blitzschlag und induzierte Überspannungen behandelt. Ebenfalls wird dort eine Abwägung des Schadensrisikos bezogen auf das durch den Betreiber akzeptierte Risiko dargestellt. Sind daraus



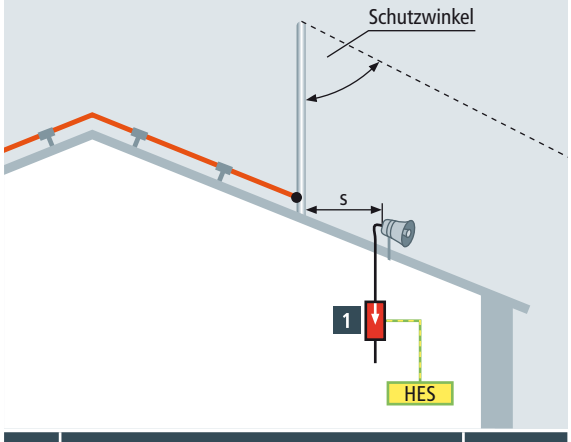
Nr.	Schutzgerät	Art.-Nr.	Nr.	Schutzgerät	Art.-Nr.
1	DR M 2P 150 (Strom > 1 A – 25 A) oder BXT ML4 BE 180 (Strom < 1 A) + BXT BAS	953 204 920 327 920 300	4	BXT ML2 BD HFS 5 + BXT BAS	920 271 920 300
2	DGA G BNC	929 042	5	DR M 2 P 255	953 200
3	FS 9E HS 12	924 019	6	DGA FF TV	909 703
			7	DPRO 230	909 230

Bild 9.8.1 ELA-Anlage in Modulbauweise mit Überspannungsschutzgeräten



Nr.	Schutzgerät	Art.-Nr.
1	DR M 2P 150 (Strom > 1 A – 25 A) oder BXT ML4 BE 180 (Strom < 1 A) + BXT BAS	953 204 920 327 920 300

Bild 9.8.2 Trichterlautsprecher auf einer baulichen Anlage ohne äußeren Blitzschutz



Nr.	Schutzgerät	Art.-Nr.
1	DR M 2P 150 (Strom > 1 A – 25 A) oder BXT ML4 BE 180 (Strom < 1 A) + BXT BAS	953 204 920 327 920 300

Bild 9.8.3 Trichterlautsprecher im Schutzbereich einer Fangstangeneinrichtung auf einer baulichen Anlage mit äußerem Blitzschutz

resultierend Überspannungsschutzmaßnahmen erforderlich, so werden die entsprechenden schützenswerten Anlagen und Systeme mit Überspannungsschutzgeräten beschaltet.

In den folgenden Darstellungen wird kein Bezug auf eventuelle, weitere zu beachtende Verordnungen (z. B. MLAR, Bauordnung, Elektroakustische Notfallsysteme, Gefahrenmeldung bei Brand und Überfall) genommen.

Größere ELA-Anlagen werden in 19" Modulbauweise (**Bild 9.8.1**) aufgebaut und befinden sich sehr oft in der Nähe eines ständig besetzten Arbeitsplatzes. In solchen Fällen entscheidet die jeweils vorhandene Verbindungsleitungslänge zum PC- bzw. Sprechstellenstandort über den Einsatz der aufgeführten Überspannungs-Ableiter (4 + 5). Ab einer Leitungslänge > 5 m ist eine Schutzbeschaltung erforderlich.

Um die Überspannungs-Ableiter der Lautsprecherlinien (1 + 2) dimensionieren zu können, ist es notwendig, den max. Strom I im betreffenden Leitungszweig zu ermitteln. Dies geschieht über die Beziehung I = P/U, mit P als Leistung des Verstärkers bzw. der Lautsprecher (-Gruppe) und U als Trägerspannung.

Alle Erdungsanschlüsse der in ELA-Anlagennähe befindlichen Überspannungs-Ableiter sind auf einen nahen gemeinsamen Potentialpunkt zu legen.

Befinden sich Außenlautsprecher auf dem Dach eines Gebäudes, ist eine Gefahr der Beschädigung durch indirekte Blitzeinwirkung (induktive / kapazitive Kopplung) sowohl bei Anlagen ohne äußeren Blitzschutz (**Bild 9.8.2**) als auch bei Anlagen mit äußerm Blitzschutz (**Bild 9.8.3**) gegeben. Der Außenlautsprecher ist bei Anlagen mit äußerem Blitzschutz (**Bild 9.8.3**) vor Direkteinschlag durch seine Anordnung im Schutzbereich einer Fangeinrichtung sicher geschützt.

Überspannungsschutz für Gefahrenmeldeanlagen

Gefahrenmeldeanlagen (GMA – Brand- oder Einbruchmeldeanlagen) sollen in einer Gefahrensituation aktiv melden und in gefahrlosen Situationen passiv sein. Fehlfunktionen dieser Systeme (keine Meldung bei vorhandener Gefahr oder Meldung bei nicht vorhandener Gefahr) sind unerwünscht und teuer. Die mit Falschmeldungen von Gefahrenmeldeanlagen verbundenen Kosten liegen bei mehreren hundert Millionen Euro pro Jahr. Fehlalarme sind jedoch auch in anderer Hinsicht störend:

- Der Betreiber kann sich bei einer Häufung von Fehlalarmen nicht mehr auf die Anlage verlassen und stellt den Sinn einer solchen Anlage und die Investition hierfür in Frage.
- Das Wachpersonal beginnt, Alarmmeldungen nicht mehr zu verfolgen.
- Nachbarn werden durch akustische Alarme gestört.
- Einsatzkräfte (z. B. Feuerwehr) werden unnötig gebunden.
- Das Auslösen von Brandlöschanlagen verursacht Betriebsunterbrechungen.

Alle diese Faktoren verursachen unnötige Kosten und können vermieden werden, wenn bereits im Planungsstadium mögliche Ursachen für Falschmeldungen erkannt und durch geeignete präventive Maßnahmen beseitigt werden. Dazu wurde vom Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) die VdS-Richtlinie VdS 2833 herausgegeben. In dieser VdS-Richtlinie ist der Blitz- und Überspannungsschutz beschrieben.

Ein koordinierter Blitz- und Überspannungsschutz beugt einer Fehlalarmierung oder einer Zerstörung durch atmosphärische Entladungen bzw. Schaltüberspannungen vor und erhöht die Verfügbarkeit der Anlagen.

Bei der Installation von baurechtlich nicht geforderten GMA sollten die VdS-Richtlinien zur Projektierung, zum Aufbau und zur Festlegung von Einzelmaßnahmen zwischen Errichter und Betreiber genutzt werden.

Eine große Anzahl heutiger installierter GMA haben eine erhöhte Störfestigkeit nach IEC 61000-4-5 gegenüber transienten Überspannungen auf den Primär-, Sekundär-, und

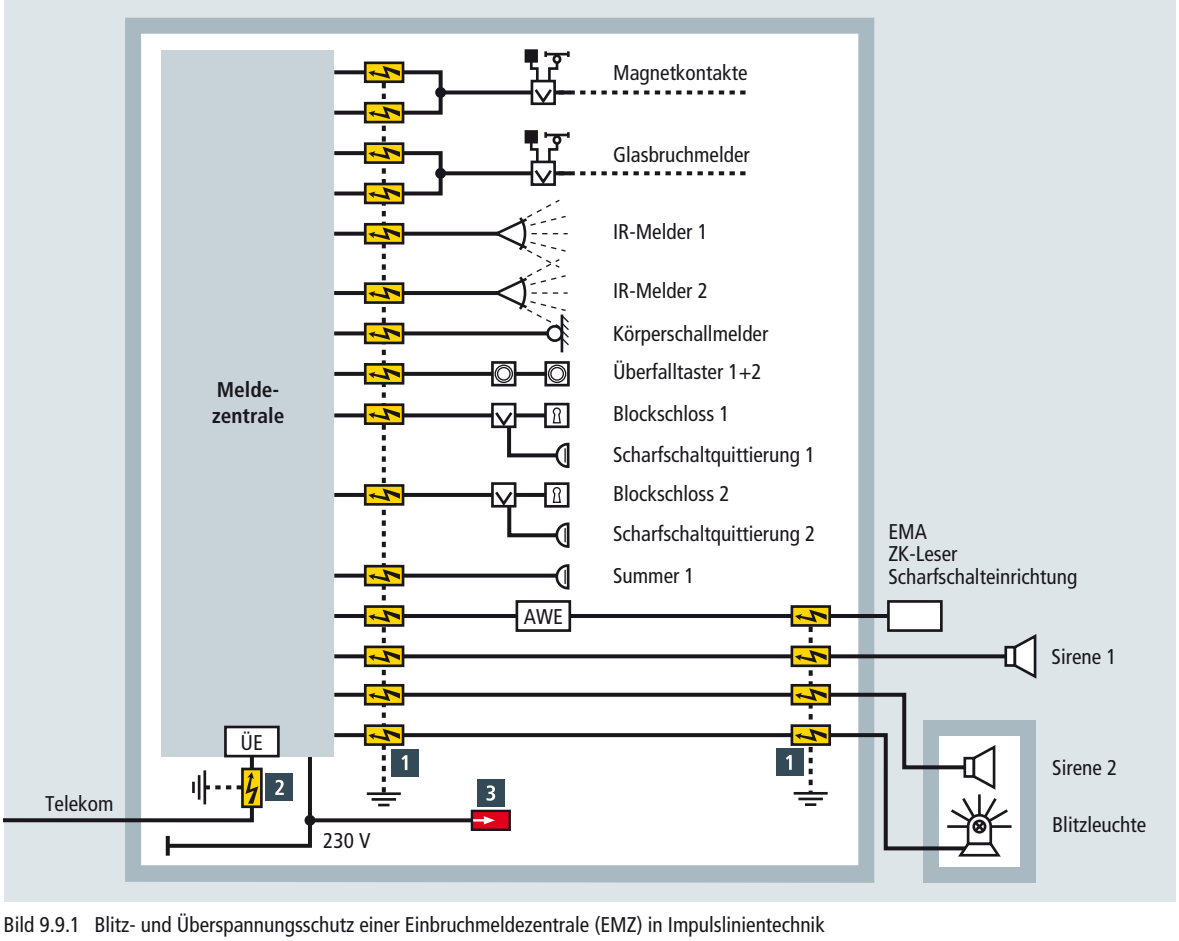


Bild 9.9.1 Blitz- und Überspannungsschutz einer Einbruchmeldezentrale (EMZ) in Impulslinientechnik

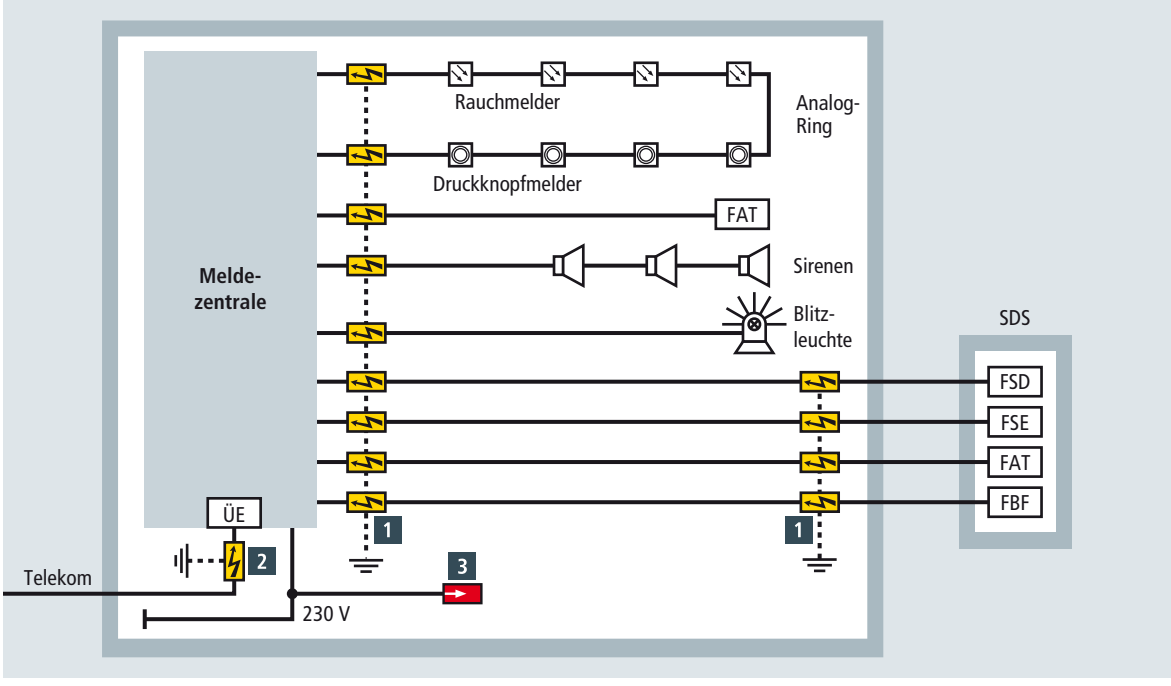


Bild 9.9.2 Blitz- und Überspannungsschutz einer Brandmeldezentrale (BMZ) in analoger Ringtechnik

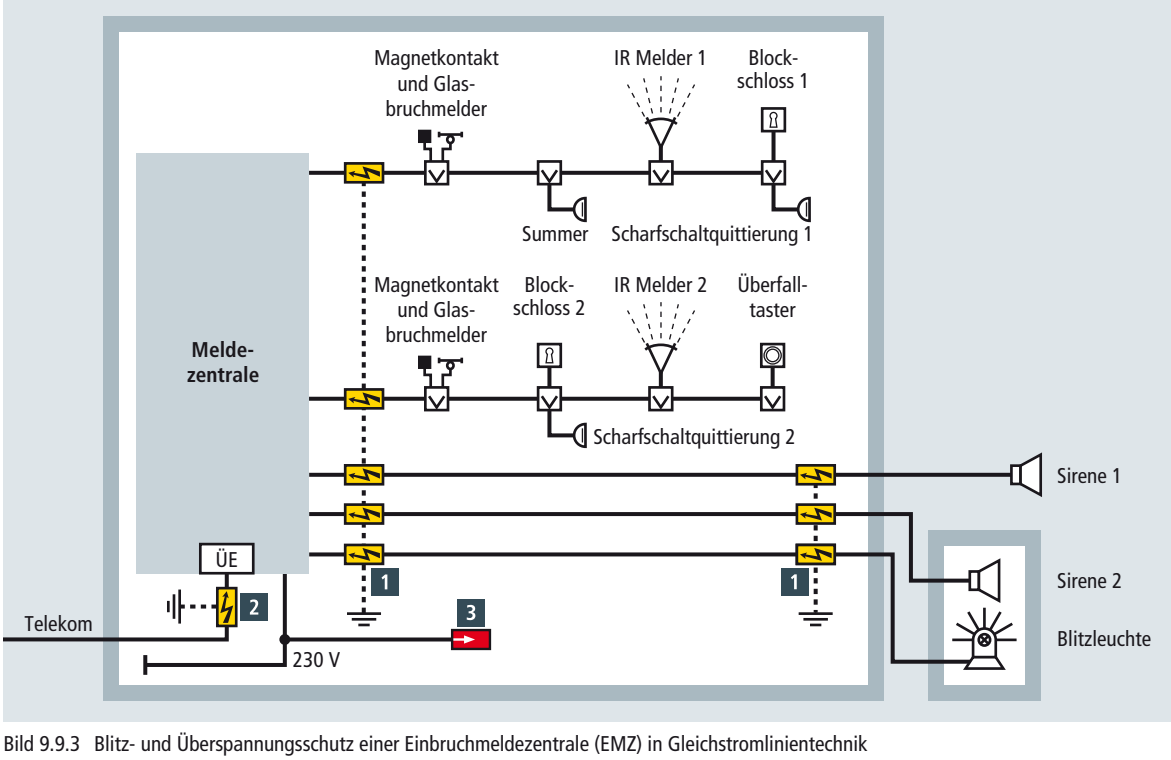


Bild 9.9.3 Blitz- und Überspannungsschutz einer Einbruchmeldezentrale (EMZ) in Gleichstromlinientechnik

Nr.	Schutz für...	Schutzgerät	Art.-Nr.
Kombi-Ableiter Informationstechnik an den Schnittstellen LPZ 0_A (0_B) ⟷ LPZ 1 bzw. Bereich 0/A (0/B) ⟷ Bereich 1			
1	Meldeliniengruppen, Außenalarme in 24 V-Technik (hier max. 0,75 A)	BXT ML2 BE S 24 (2 Adern + Beidraht) BXT ML4 BE 24 (4 Adern) + BXT BAS + STAK BXT LR (für Beidraht)	920 224 920 324 920 300 920 395
2	Amtsleitung U_{K0} des Festnetzbetreibers	BXT ML2 BD 180 + BXT BAS	920 247 920 300
Überspannungs-Ableiter Energietechnik an den Schnittstellen LPZ 0_B ⟷ LPZ 1 bzw. Bereich 0/B ⟷ Bereich 1			
3	Wechselstrom TN-S-System Wechselstrom TT-System	DG M TN 275 DG M TT 2P 275	952 200 952 110

Tabelle 9.9.1 Kombi- und Überspannungs-Ableiter in den **Bildern 9.9.1 bis 9.9.3**

Netzspannungsleitungen. Dennoch ist ein umfassender Schutz gegen Schäden durch Blitzschlag und Überspannungen nur durch Maßnahmen des äußeren und inneren Blitzschutzes (**Bilder 9.9.1 bis 9.9.3**) erreichbar.

Überwachungsprinzipien

Für Gefahrenmeldeanlagen werden unterschiedliche Überwachungsprinzipien angewendet:

- **Impulslinientechnik**
  Die Information des auslösenden Melders wird in digitaler Form übertragen. Dies ermöglicht das Erkennen des Melders und dessen genaue Lokalisierung (**Bild 9.9.1**).
- **Analoger Ring**
  Die addressierten Melder definieren jeden Melder im Ring. Leitungsunterbrechung oder Kurzschluss beeinträchtigen die Funktion nicht (**Bild 9.9.2**).
- **Gleichstromlinientechnik**
  Nach dem Ruhestromprinzip wird jede Meldelinie permanent überwacht. Spricht ein Melder in der Linie an, wird diese unterbrochen und ein Alarm in der Zentrale ausgelöst. Dabei kann nur die Meldelinie, nicht aber der einzelne Melder identifiziert werden (**Bild 9.9.3**).

Unabhängig vom verwendeten Überwachungsprinzip müssen alle bereichsübergreifenden Leitungen der Gefahrenmeldeanlage in den Blitz- und Überspannungsschutz des Gesamtsystems einbezogen werden.

Schutzempfehlung

Der BLITZDUCTOR XT, Typ BXT ML2 BE ... ist für die Schutzbeschaltung von 2-adrigen Meldelinien (Herstellerfreigabe erforderlich und bei DEHN + SÖHNE GmbH + Co.KG. zu erfragen) einzusetzen und ermöglicht mit einer EMV-Federklemme den Anschluss des Erdbeidrahtes. Bei mehr als 2-adrigen Leitungen ist eine Erweiterung mit einem 4-adrigen Model Typ BXT ML4 BE ... möglich. Die Auswahl der Schutzgeräte erfolgt entsprechend der Meldelinienspannung und beträgt in der Regel 12 – 48 V (**Tabelle 9.9.1**). Auch hinsichtlich seines geringen Innenwiderstands ist der BLITZDUCTOR empfehlenswert, da die maximalen Widerstände der Meldelinien nicht überschritten werden dürfen.
Bei den Ausgängen der Meldezentrale (akustische und optische Signalisierung) ist zu beachten, dass der Nennstrom der Schutzgeräte nicht überschritten wird.

Erfolgt die Aufschaltung der Meldezentrale auf die Amtsleitung eines Festnetzbetreibers (z. B. der Deutschen Telekom) kommt in der Regel ein Telefonanwahlgerät zum Einsatz. Für diesen Anwendungsfall eignet sich das Überspannungsschutzgerät BLITZDUCTOR XT, BXT ML2 BD 180. Für die Schutzbeschaltung der Netzversorgung empfiehlt sich der Einsatz der Überspannungsschutzgeräte DEHNguard modular (**Tabelle 9.9.1**).
GMA, die vom Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft anzuerkennen sind (VdS-Anerkennung), müssen der VDS 2095 (BMA), VDS 2311 (EMA) und der VDS 2833 (Überspannungsschutz für GMA) entsprechen.

Diese umfassende Sicherheitsveranwortung ist im Regelfall in der Vorstands- oder Geschäftsführungsebene eines Unternehmens angesiedelt. Im rechtlichen Sinne ist ein Anlagenbetreiber jedoch ein technischer Laie, der nicht abzuschätzen vermag, ob aus einer technischen Lösung Gefahren erwachsen können. Elektrofachkräfte als Anbieter technischer Lösungen müssen sich deshalb in jedem einzelnen Fall vergewissern, ob die durch sie angebotenen Lösungen auch den tatsächlichen Anforderungen genügen.

Überspannungsschutz für KNX

Elektroanlagen in Gebäuden mit umfangreichen Bedien-, Anzeige-, Steuer- und Regeleinrichtungen werden häufig mit einem Installations-Bussystem ausgestattet. Ein weitverbreitetes Installations-Bussystem ist der bereits Anfang 1990 entwickelte EIB (Europäischer Installationsbus). Dieser ist auch heute noch der Kern des KNX-Systems, welches als weltweit erster offener Standard unter der Europäischen Norm EN 50090 geführt wird.
Der Vorteil des KNX-Standards ist die Interoperabilität zwischen unterschiedlichen Geräten, und zwar herstellerunabhängig und gewerkübergreifend. Somit können die Werte eines Wind-/Regensensors oder die eines Temperatur-/Sonnensensors in unterschiedlichen haustechnischen Anlagen verarbeitet werden. Beleuchtungsanlagen lassen sich bedarfsgerecht und helligkeitsabhängig ein- oder ausschalten und in unterschiedlichen Lichtszenen programmieren. Verbrauchswerte können erfasst und für ein Lastmanagement Verwendung finden. Dies sind nur einige Beispiele aus unzähligen Möglichkeiten, die sich aus dem Einsatz des KNX-Systems ergeben. Neben diesen Vorteilen lässt sich auch der Installationsaufwand solcher Anlagen und somit deren Kosten erheblich reduzieren.

Die kleinste Installationseinheit in der Bustopologie ist die Linie; sie besteht aus max. 64 Teilnehmern (ETS 3 Starter). Werden mehr als 64 Teilnehmer erforderlich, können bis zu 15 Linien mittels Linienkoppler über eine Hauptlinie verbunden werden. Eine zusätzliche Erweiterung bis zu 15 Bereichskopplern ist über eine Bereichslinie möglich (**Bild 9.10.1**).

Der KNX-Bus wird mit einer Schutzkleinspannung (SELV) von max. 29 V versorgt. Die Leitungslänge innerhalb eines Liniensegmentes und die Länge der Busleitung zwischen zwei Teilnehmern sind begrenzt. Bei einer max. Länge von 1000 m je Liniensegment besteht, trotz hoher Eigenspannungsfestigkeit, die Gefahr einer Zerstörung durch Einkopplungen.

Bereits bei der Leitungsverlegung ist darauf zu achten, dass es nicht zur Bildung von Induktionsschleifen kommt. Daher sind die Bus- und Niederspannungsleitungen zu den Busteilnehmern in unmittelbarer räumlicher Nähe zueinander zu verlegen (**Bild 9.10.2**).
Eine Schleifenbildung entsteht auch in Verbindung mit einer an die Haupterdungsschiene angeschlossenen metallenen Konstruktion oder Rohrleitung (**Bild 9.10.3**). Auch hier empfiehlt sich eine Leitungsverlegung möglichst nahe an der Konstruktion oder Rohrleitung.

Bauliche Anlage mit äußerem Blitzschutz

Im Zuge des normativ geforderten Blitzschutz-Potentialausgleichs sind alle Kabel am Zonenübergang LPZ 0_A nach 1 mit Blitzstrom-Ableitern zu beschalten. Da eine bauliche Anlage mit äußerem Blitzschutz im Falle eines Blitzeinschlags eine höhere elektromagnetische Feldbelastung im Gebäudeinneren

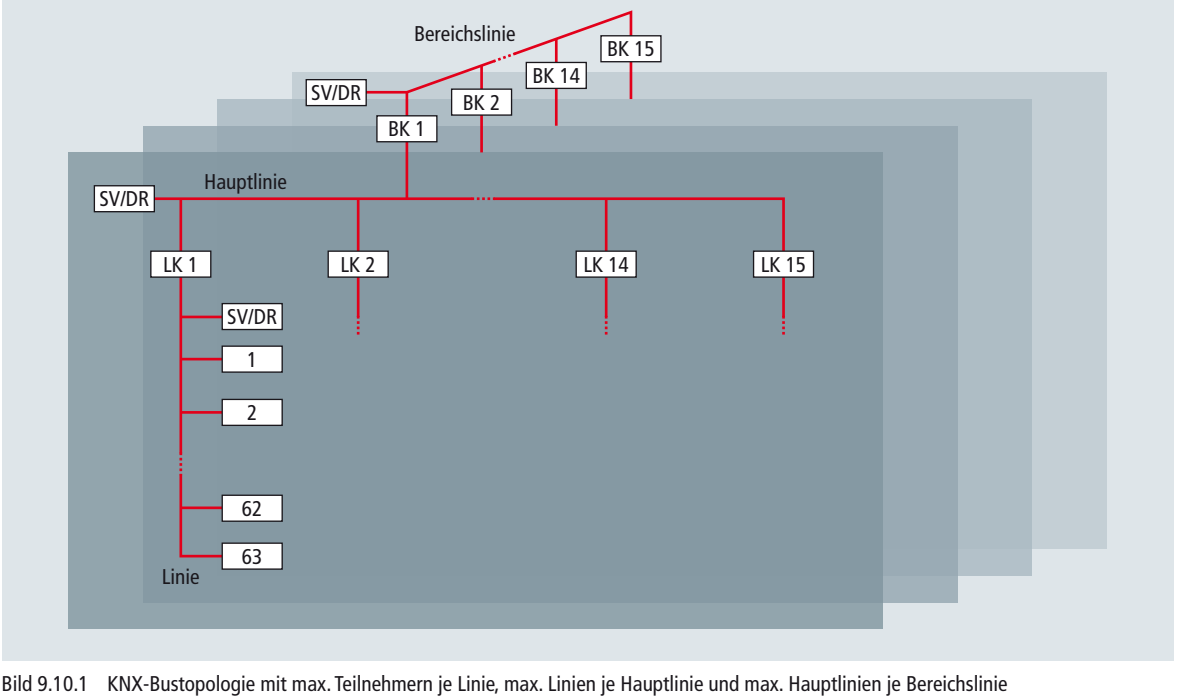


Bild 9.10.1 KNX-Bustopologie mit max. Teilnehmern je Linie, max. Linien je Hauptlinie und max. Hauptlinien je Bereichslinie

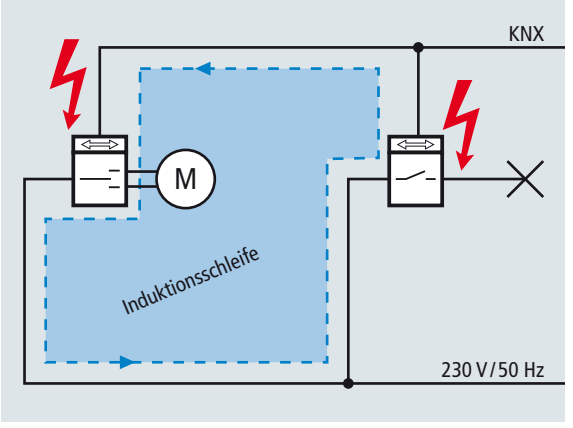


Bild 9.10.2 Induktionsschleife durch zwei niederspannungsversorgte KNX-Busteilnehmer

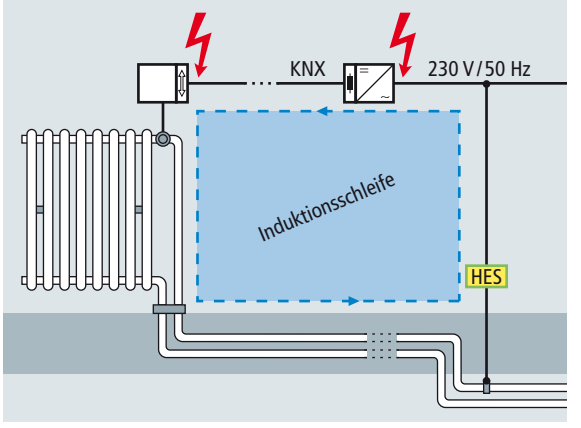
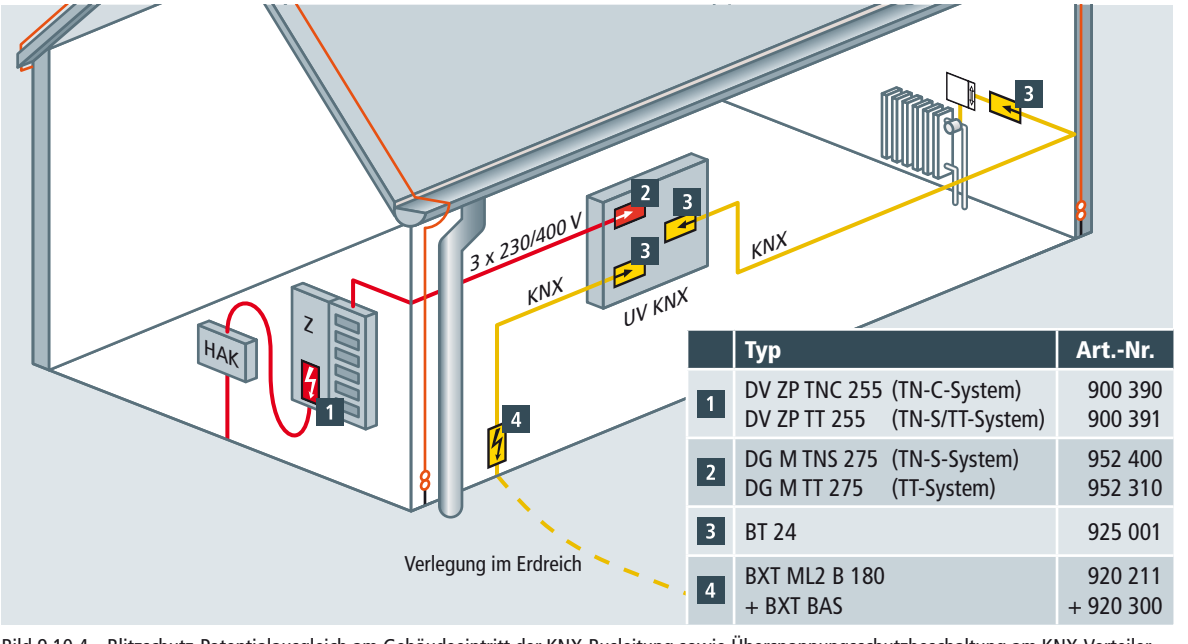


Bild 9.10.3 Induktionsschleife durch einen an einer metallenen Konstruktion bzw. Rohrleitung befindlichen KNX-Busteilnehmer



	Typ	Art.-Nr.
1	DV ZP TNC 255 (TN-C-System) DV ZP TT 255 (TN-S/TT-System)	900 390 900 391
2	DG M TNS 275 (TN-S-System) DG M TT 275 (TT-System)	952 400 952 310
3	BT 24	925 001
4	BXT ML2 B 180 + BXT BAS	920 211 + 920 300

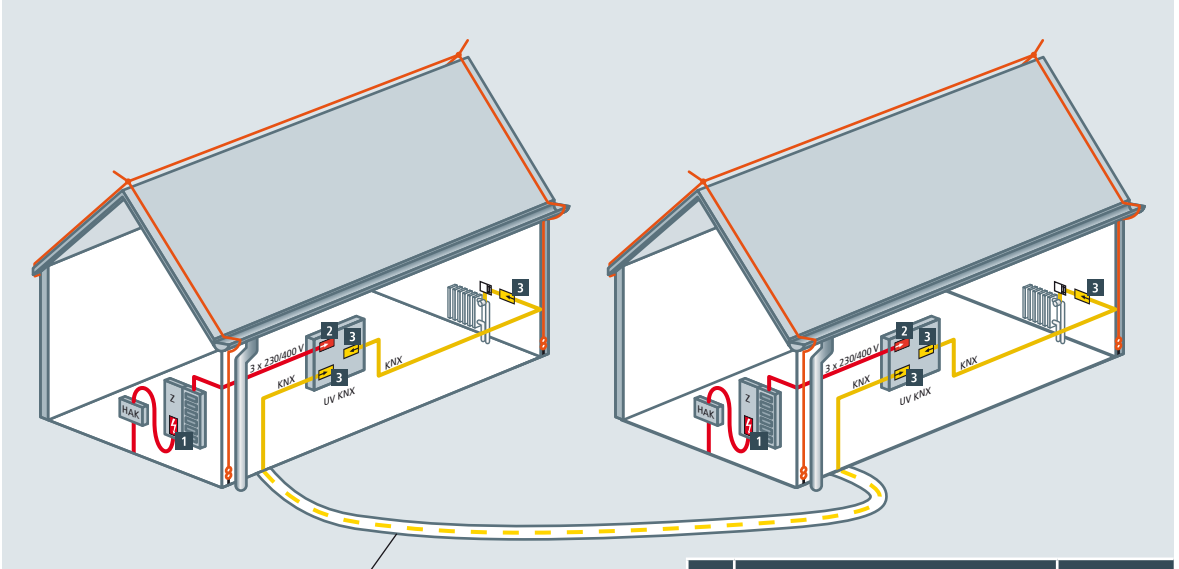
Bild 9.10.4 Blitzschutz-Potentialausgleich am Gebäudeeintritt der KNX-Busleitung sowie Überspannungsschutzbeschaltung am KNX-Verteiler und am Heizungsaktor

hervorruft, als es bei einem Ferneinschlag der Fall ist, erfordert eine bauliche Anlage mit äußerem Blitzschutz einen umfangreicheren Schutz mittels Überspannungs-Ableitern (**Bild 9.10.4**).

Erfolgt die Verlegung der Busleitung von Gebäude zu Gebäude in einem blitzstromtragfähigen, beidseitig geerdeten, geschirmten Kanal / Metallrohr, so entfällt der Blitzschutz-Potentialausgleich für die gebäudeübergreifende KNX-Leitung, und es kommen nur noch Überspannungs-Ableiter zum Einsatz (**Bild 9.10.5**).

Bauliche Anlage ohne äußeren Blitzschutz

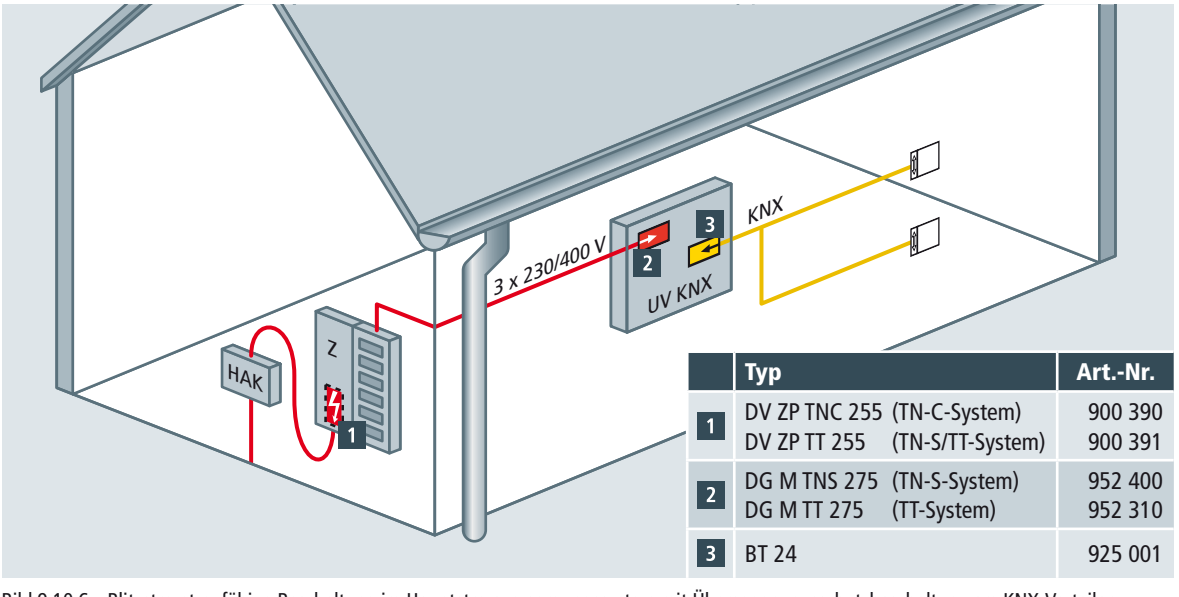
Da hinsichtlich der Gefährdung durch nahe Blitzeinschläge nach individuellen Schutzbedürfnissen dimensioniert wird, stellt sich die Frage, ob nicht am Gebäudeeintritt eine blitz-



Geschirmter Zugschacht oder Metallrohr mit
beidseitigem Anschluss an die Haupterdungsklemme

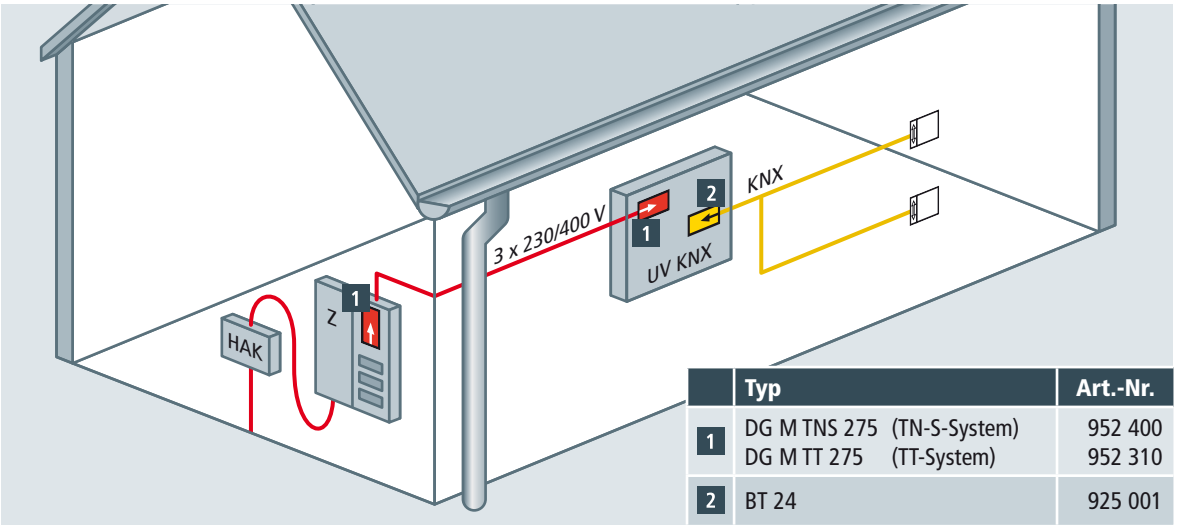
	Typ	Art.-Nr.
1	DV ZP TNC 255 (TN-C-System) DV ZP TT 255 (TN-S/TT-System)	900 390 900 391
2	DG M TNS 275 (TN-S-System) DG M TT 275 (TT-System)	952 400 952 310
3	BT 24	925 001

Bild 9.10.5 Durch Zonenausstülpung entfallender Blitzschutz-Potentialausgleich für die KNX-Leitung



	Typ	Art.-Nr.
1	DV ZP TNC 255 (TN-C-System) DV ZP TT 255 (TN-S/TT-System)	900 390 900 391
2	DG M TNS 275 (TN-S-System) DG M TT 275 (TT-System)	952 400 952 310
3	BT 24	925 001

Bild 9.10.6 Blitzstromtragfähige Beschaltung im Hauptstromversorgungssystem mit Überspannungsschutzbeschaltung am KNX-Verteiler



	Typ	Art.-Nr.
1	DG M TNS 275 (TN-S-System) DG M TT 275 (TT-System)	952 400 952 310
2	BT 24	925 001

Bild 9.10.7 Überspannungsschutzbeschaltung am Haupt- und KNX-Verteiler

stromtragfähige Beschaltung der Netzzuleitung mittels Kombi-Ableiter eingerichtet werden soll (**Bild 9.10.6**).

Unabhängig vom Einschlagsort erfolgt immer eine Überspannungsschutz-Beschaltung am KNX-Verteiler (**Bild 9.10.6 und 9.10.7**).

Durch die hohe Spannungsfestigkeit der Busleitung besteht für kurze Busleitungslängen mit isoliert angebrachten Sensoren (z. B. in Schalterdosenkombination ohne geerdete Einbaugeräte) ein geringeres Zerstörungsrisiko. Auf den Einsatz von Überspannungs-Ableitern direkt an den Busteilnehmern kann in diesem Fall verzichtet werden (**Bild 9.10.6 und 9.10.7**).

Überspannungsschutz für ETHERNET- und Fast Ethernet-Netzwerke

Die zur Zeit am weitesten verbreitete Technik für lokale Netze ist Ethernet. Der Name „Ether" (Äther) weist noch auf die ersten Funknetze hin. Angefangen hat es in den 1980er-Jahren mit dem 10 MBit-Ethernet über Koaxialkabel, dann Fast Ethernet mit 100 MBit/s und Gigabit Ethernet mit 1000 MBit/s und 10 GBit/s. Alle Ethernet-Varianten basieren auf denselben Prinzipien. Ab den 1990er-Jahren wurde es zur meistverwendeten LAN-Technologie (Local Area Network) und hat andere LAN-Standards wie z. B. Token Ring und ARCNET verdrängt. Das Ethernet besteht physikalisch aus verschiedenen Typen von 50 Ω-Koaxkabeln oder paarweise verdrillten Leitungen (Twisted-Pair), Glasfasern oder anderen Medien. Die Datenrate beträgt momentan typisch 100 MBit/s, doch eine Datenrate von 1000 MBit/s ist immer mehr im Kommen.
Überspannungen verursachen Störungen, aber auch Zerstörungen und damit Ausfälle von EDV-Anlagen. Dadurch kann der Betriebsablauf nachhaltig beeinträchtigt werden. Eine Folge davon können längere Stillstandszeiten der Anlagen und Systeme sein. Für die Zuverlässigkeit von EDV-Anlagen werden daher neben einer gesicherten Energieversorgung und einer regelmäßigen Datensicherung auch Konzepte für den Überspannungsschutz benötigt.

Schadensursachen

Ausfälle von EDV-Anlagen werden typischerweise verursacht durch:

- ferne Blitzeinschläge, die leitungsgebundene transiente Überspannungen in Energieversorgungs-, Daten- oder Fernmeldeleitungen erzeugen,
- nahe Blitzeinschläge, die elektromagnetische Felder erzeugen, durch welche transiente Überspannungen in Energieversorgungs-, Daten- oder Fernmeldeleitungen eingekoppelt werden,
- direkte Blitzeinschläge, die in den Gebäudeinstallationen unzulässige Potentialunterschiede und Blitzteilströme hervorrufen.

Strukturierte Verkabelung als einheitliches Anschlussmittel

Ein einheitliches Anschlussmittel für unterschiedliche Dienste, wie analoge Telefonie, ISDN oder verschiedenste Netzwerktechnologien, ist die strukturierte Verkabelung. Bereits bestehende Installationen lassen sich damit leicht an neu gestellte Aufgaben anpassen, ohne die Verkabelung oder Anschlusstechnik austauschen zu müssen. Ein strukturiertes Verkabelungssystem bietet eine anwendungsunabhängige, universell einsetzbare Verkabelung, die nicht spezifisch auf eine Netzwerktopologie, einen Hersteller oder ein Produkt zugeschnitten ist. Die Art der eingesetzten Kabel und die verwendete Struktur garantieren eine Nutzung mit allen derzeit und in absehbarer Zeit verfügbaren Protokollen.

Das universelle Verkabelungssystem besteht aus drei verschiedenen Hierarchiebereichen:

1. Die **Primärverkabelung** verbindet den Standortverteiler (SV) eines Gebäudekomplexes mit den Gebäudeverteilern (GV) der einzelnen Gebäude. Bei Datennetzwerken werden in diesem Bereich hauptsächlich Lichtwellenleiterkabel (LWL) 50 µm/125 µm multinode LWL (bei Entfernungen > 2 km mononode LWL) verwendet. Die max. Länge beträgt etwa 1500 m.
2. Die **Sekundärverkabelung** dient zur Verbindung der Gebäudeverteiler (GV) mit den Etagenverteilern (EV). Auch hier werden in erster Linie 50 µm Lichtwellenleiterkabel und symmetrische 100 Ohm-Kabel verwendet. Die Länge beträgt etwa 500 m.
3. Die **Tertiärverkabelung** umfasst die flächendeckende Verkabelung der Arbeitsplätze einer Etage. Die Tertiärverkabelung, welche von einem Etagenverteiler abgedeckt wird, sollte 90 m nicht überschreiten. Die Verbindung zwischen dem Etagenverteiler (EV) und den informationstechnischen Anschlussdosen wird hauptsächlich als Kupferkabel oder teilweise bereits mit Lichtwellenleiterkabeln 62,5 µm ausgeführt.

Die Schnittstellen zwischen diesen Bereichen bilden passive Verteilerfelder. Solche Verteilerfelder sind Bindeglieder zwischen dem Primär-, Sekundär- und Tertiärbereich universeller Verkabelungssysteme. Sie ermöglichen durch einfaches Umstecken (Patchen) von Rangierkabeln (Patchkabeln) die problemlose Aufschaltung von Kommunikationsdiensten an einen Arbeitsplatz. Bei Verteilerfeldern für LWL (Primär- und Sekundärbereich) und Twisted Pair (Tertiärbereich) ergibt sich eine Unterscheidung nach der Anzahl der Anschlüsse (Ports). So sind z. B. für strukturierte Verkabelungen 24-Port-Verteilerfelder und für fernmeldetechnische Installationen 25 Ports üblich. Das Standard-Installationsmaß für den Einbau in Datenschränken oder Racks ist 19".
Die Grundstruktur der anwendungsneutralen Verkabelung ist sternförmig. Alle derzeit auf dem Markt vorhandenen Protokolle können mit einer sternförmigen Verkabelungstopologie betrieben werden, unabhängig davon, ob sie ein logisches Ring- oder Bussystem darstellen.
Strukturierte Verkabelungssysteme verbinden alle Endgeräte. Sie ermöglichen die Kommunikation zwischen Telefon, Netzwerk, Sicherheitstechnik, Gebäudeautomation, LAN- und WLAN-Kopplung, den Zugang zum Intranet und zum Internet. Anwendungsneutrale Verkabelung ermöglicht dem Nutzer einen sehr flexiblen Endgeräteeinsatz. Es wird davon ausgegangen, dass Ethernet in den nächsten Jahren alle Informationen wie Daten, Sprache, Fernsehen, Automatisierung sowie Steuerung von Maschinen und Anlagen übernehmen und damit zum

universellen Übertragungskonzept werden wird. Eine konsequente EMV-Betrachtung ist daher ein Muss.

EMV-Planung

Die EMV (Elektromagnetische Verträglichkeit) ist definiert als die Fähigkeit eines Gerätes – insbesondere einer Anlage oder eines Systems – in seiner elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend zu arbeiten, ohne dabei selbst elektromagnetische Störungen zu verursachen, die für die in dieser Umgebung vorhandenen Geräte, Anlagen oder Systeme nicht zu tolerieren wären.

Für den dauerhaften störungsfreien Betrieb eines Datennetzwerkes ist es daher unerlässlich, die EMV frühzeitig in die Betrachtungen einzubeziehen. Dies betrifft nicht nur die datenseitige Verkabelung des Netzwerkes, sondern die gesamte elektrotechnische Infrastruktur der Gebäude und Gebäudekomplexe, in denen das gesamte Netzwerk installiert werden soll. Somit ist es wichtig, die elektromagnetischen Umgebungsbedingungen zu betrachten:

- Sind potentielle elektromagnetische Störer wie z. B. Richtfunkstrecken, Mobilfunksender, Produktionsstraßen oder Fahrstühle vorhanden?
- Wie sieht die Elektroenergiequalität (z. B. Oberwellen, Flicker, Spannungseinbrüche, Spannungsüberhöhungen, Transienten) aus?
- Was ist mit der Blitzschlaggefährdung (z. B. Häufigkeit)?
- Gibt es mögliche Störaussendungen?

Zur Sicherstellung der Leistungsfähigkeit von Datennetzen, auch unter den zukünftig zu erwartenden erhöhten Anforderungen, ist der elektromagnetischen Verträglichkeit der Anlage ein besonderes Augenmerk zu widmen. Daher sollte jede Planung eines Datennetzes ein Erdungs- und Potentialausgleichskonzept enthalten, das Aussagen trifft zu:

- Trassen- und Leitungsführung
- Kabelstruktur
- Aktiven Komponenten
- Blitzschutz
- Schirmung der Signalleitungen
- Potentialausgleich
- Überspannungsschutz.

Die wichtigsten Maßnahmen zur Herstellung der EMV und damit einer störungsfreien Datenübertragung sind:

- Räumliche Trennung bekannter elektromagnetischer Störer (z. B. Transformatorstationen, Aufzugsantriebe) von informationstechnischen Komponenten.
- Verwendung geschlossener und geerdeter Metallkanäle im Bereich von Störeinstrahlungen durch starke Funksender, evtl. Anschluss der Endgeräte ausschließlich über Lichtwellenleiter.
- Verwendung separater Stromkreise für die Endgeräte, ggf. Einsatz von Entstörfiltern und USV-Anlagen.
- Keine Parallelverlegung der Starkstrom- und Datenleitungen von Endgeräten mit Starkstromversorgungsleitungen leistungsstarker Verbraucher (wegen der Gefahr hoher Schaltüberspannungen beim Ein- und Ausschalten) und bekannter Störquellen (z. B. Thyristorsteuerungen).
- Verwendung geschirmter Datenkabel, die beidseitig zu erden sind (**Bild 9.11.1**). Patch- und Anschlusskabel sind in das Schirmungskonzept einzubinden.
- Potentialausgleich (**Bild 9.11.2**) für metallene Umhüllungen und Schirmungen (z. B. Kabelpritschen, Kabelkanäle) unter Einbeziehung der Bewehrung (Vermaschung).

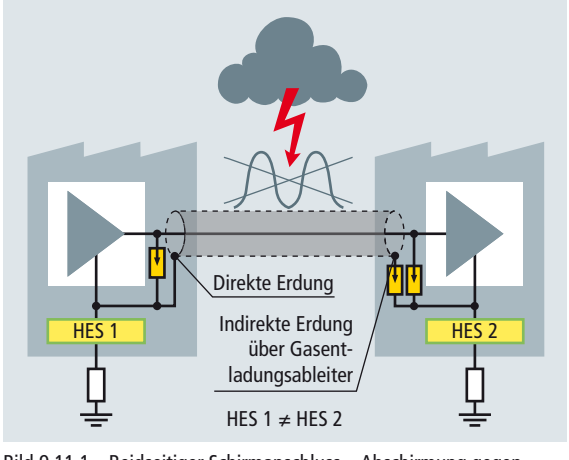


Bild 9.11.1 Beidseitiger Schirmanschluss – Abschirmung gegen kapazitive / induktive Einkopplung und Vermeidung von Ausgleichsströmen durch direkte und indirekte Schirmerdung

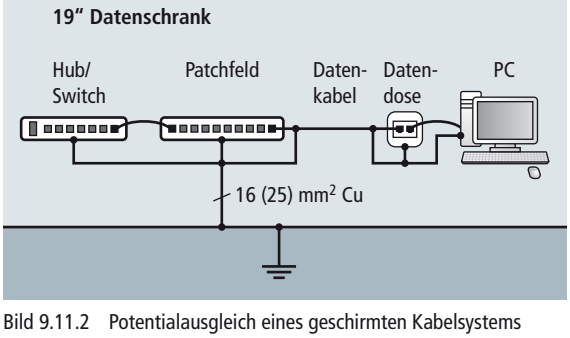


Bild 9.11.2 Potentialausgleich eines geschirmten Kabelsystems

- Geschirmte Datenkabel und Starkstromleitungen sollten im Sekundärbereich den gleichen Steigschacht nutzen. Getrennte, einander gegenüberliegende Steigschächte sind zu vermeiden. Ein Abstand von 20 cm zwischen beiden Kabelarten sollte nicht überschritten werden.
- Starkstromleitungen für die Geräte sowie die entsprechenden Datenleitungen müssen grundsätzlich über die gleiche Trasse geführt werden. Trennstege sollten vorgesehen werden. Im Tertiärbereich ist ein Abstand von max. 10 cm wünschenswert.
- Beim Vorhandensein einer Gebäudeblitzschutzanlage sind die Einhaltung von Sicherheitsabständen zwischen Starkstrom-/Datenleitungen und Einrichtungen des äußeren Blitzschutzes (Fangeinrichtungen, Ableitungen) sowie die Vermeidung der Parallelverlegung von Starkstrom-/Datenleitungen mit Ableitungen des äußeren Blitzschutzes zu beachten.
- Verwendung von Lichtwellenleitern bei der informationstechnischen Verkabelung unterschiedlicher Gebäude (Primärverkabelung).
- Einsatz von Überspannungsschutzgeräten in Starkstromkreisen und im Bereich der Tertiärverkabelung zum Schutz vor transienten Überspannungen aus Schalthandlungen und Blitzentladungen (**Bilder 9.11.3 und 9.11.4**).
- Starkstromanlage zur Vermeidung von Störströmen auf den Schirmungen der Datenleitungen als TN-S-System ausführen.
- Ausführung des Hauptpotentialausgleiches mit der Starkstromanlage (PEN) an einer Stelle im Gebäude (z. B. Hausanschlussraum).

Wichtig für einen funktionstüchtigen EMV-Schutz ist auch das Wissen um die Schutzwirkung und die richtige Auswahl von Blitzstrom- und Überspannungs-Ableitern für informatinstechnische Systeme.

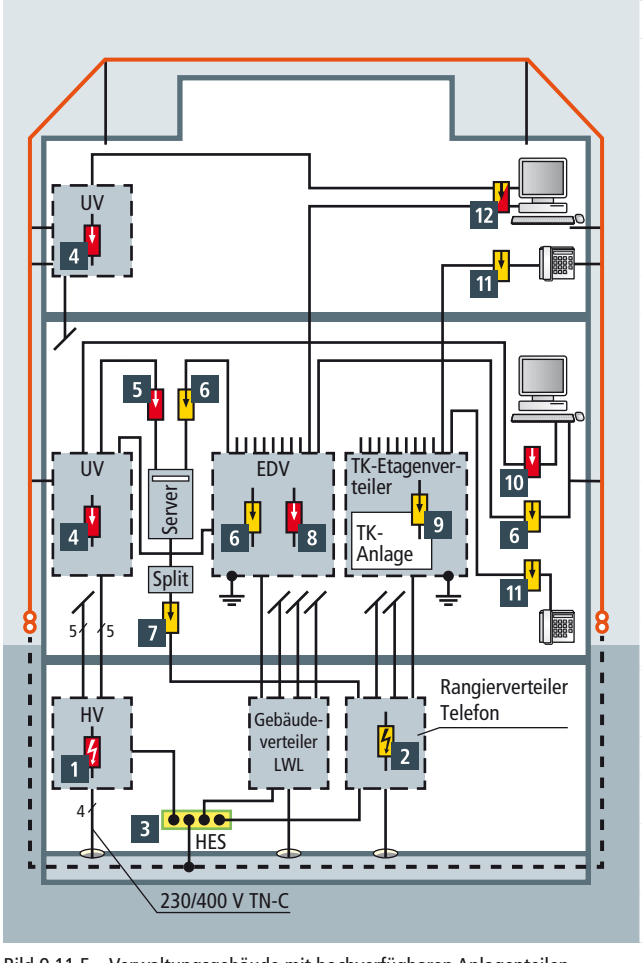
Bild 9.11.3 Universelles Überspannungsschutzgerät NET-Protector zum Schutz der Datenleitungen eines Etagenverteilers (auch für Netzwerke der Klasse D)

Schutzwirkung von Ableitern für informationstechnische Systeme

Im Rahmen der Prüfung auf elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) müssen elektrische und elektronische Betriebsmittel (Geräte) eine festgelegte Störfestigkeit gegenüber leitungsgeführten impulsförmigen Störgrößen (Surges) aufweisen.
Unterschiedliche elektromagnetische Umgebungsbedingungen erfordern, dass die Geräte auch unterschiedlichen Störfestigkeiten genügen müssen. So ist die Störfestigkeit eines Geräts an den Prüfschärfegrad gekoppelt. Zum Klassifizieren der unterschiedlichen Störfestigkeiten von Endgeräten werden die Prüfschärfegrade in vier verschiedene Stufen von 1 – 4 eingeteilt. Prüfschärfegrad 1 beinhaltet dabei die niedrigste Störfestigkeitsanforderung an das Endgerät. Der Prüfschärfegrad kann in der Regel der Gerätedokumentation entnommen oder beim Geräte-Hersteller erfragt werden.

Ableiter der Informationstechnik müssen leitungsgebundene Störungen auf ungefährliche Werte begrenzen, sodass die Störfestigkeit des Endgeräts nicht überschritten wird. Beispielsweise gilt es für ein mit Prüfschärfegrad 2 getestetes Endgerät einen Ableiter zu wählen, dessen Durchlasswert unterhalb der EMV-Prüfwerte des Endgeräts liegt: Impulsspannung < 1 kV in Kombination mit einem Impulsstrom von wenigen Ampere (in Abhängigkeit vom Einkoppelnetzwerk).
Je nach Anwendung und Aufbau weisen Endgeräte unterschiedliche Zerstörfestigkeiten für ihre informationstechnischen Schnittstellen auf. Bei der Auswahl des passenden Überspannungs-Ableiters kommt es nicht nur auf die Systemparameter an, sondern auch darauf, ob der Ableiter in der Lage ist, das Endgerät zu schützen. Zur einfachen Zuordnung wurde für die Produktlinie Yellow/Line eine Ableiterklassen-Kennzeichnung entwickelt. Sie erlaubt in Verbindung mit der Endgerätedokumentation eine genaue Aussage, ob Ableiter

Bild 9.11.4 DEHNprotector – universelles Überspannungsschutzgerät zum Schutz der Netz-und Datenleitungen eines Arbeitsplatzes



	Schutzgerät	Typ	Art.-Nr.
1	DEHNventil	DV M TNC 255	951 300
2	DEHN-Potential-ausgleich-Gehäuse	DPG LSA ... P	906 10...
	Trennleiste	TL2 10DA LSA	907 996
	DEHNrapid LSA	DRL 10 B 180 FSD	907 401
	Erdungsrahmen	EF 10 DRL	907 498
	DEHNrapid LSA	DRL PD 180	907 430
3	Potentialaus-gleichsschiene	K12	563 200
4	DEHNguard modular	DG M TNS 275	952 400
5	DEHNrail modular	DR M 2P 255	953 200
6	DEHNpatch	DPA M CAT6 RJ45H 48	929 110
7	DEHNlink (vor Splitter)	DLI TC 2 I	929 028
8	SFL-Protector	SFL PRO 6X 19"	909 251
9	NET-Protector für 8 x 2 DA	NET PRO TC 2 LSA	929 072
	19" Einbaugehäuse	EG NET PRO 19"	929 034
10	DEHNflex M	DFL M 255	924 396
11	Telefonschutz-modul DSM	DSM TC 2 SK	924 272
12	DEHNprotector	DPRO 230 LAN100	909 321

Bild 9.11.5 Verwaltungsgebäude mit hochverfügbaren Anlagenteilen

und Endgerät zueinander passen, also zueinander energetisch koordiniert sind.
Richtig dimensionierte Überspannungs-Ableiter schützen Endgeräte sicher vor Spannungs- und Energiespitzen und erhöhen somit die Verfügbarkeit der Anlage.

Moderne Kommunikationsnetze werden immer mehr zu hochfrequenten Gebilden, und damit immer empfindlicher gegenüber Störbeeinflussungen. Ein reibungsloser Netzwerkbetrieb beginnt deshalb mit einem schlüssigen EMV-Konzept, das auch den Blitz- und Überspannungsschutz der Gebäude und Systeme einbezieht (**Bild 9.11.5**).

Auswahl der Überspannungsschutzgeräte

Für einen wirksamen Überspannungsschutz ist es erforderlich, dass die Maßnahmen für die unterschiedlichen Systeme durch die Elektro- und IT-Fachkräfte sowie unter Einbeziehung der Gerätehersteller koordiniert werden. Bei größeren Projekten ist es deshalb notwendig, Sachverständige (z. B. Ingenieurbüros) hinzuzuziehen.

Überspannungsschutz für den M-Bus

Der M-Bus (Meter-Bus aus dem engl. Meter = Messgerät, Zähler) dient der Übertragung von Zählerständen für Verbrauchsmessgeräte. Alle an ein M-Bus-System angeschlossenen Geräte können zentral abgelesen werden, entweder direkt vor Ort oder per Datenübermittlung von einer externen Leitstelle. Dies erhöht z. B. die Wohnqualität von Mietern, und der Energiehaushalt eines gesamten Gebäudes kann jederzeit kontrolliert werden.

Eingesetzt wird das M-Bus-System für die Verbrauchskostenabrechnung und die Fernüberwachung von

- Nah- und Fernwärmesystemen sowie
- Mehrfamilienhäusern.

Das Auslesen der Verbrauchsmessgeräte kann durch zentrale und dezentrale Systeme erfolgen.

Befinden sich die Verbrauchsmessgeräte in unmittelbarer Nähe, so wird die einfache und preiswerte zentrale Systemarchitektur gewählt. Hier erfolgt eine sternförmige Verdrahtung jedes einzelnen Verbrauchsmessgerätes auf die Systemzentrale. Im Falle eines dezentralen Systems werden die Daten der vor Ort eingebauten Verbrauchsmessgeräte zunächst in Unterstationen gesammelt und über die Busleitung zur Systemzentrale gesendet.

Wie im **Bild 9.12.1** gezeigt, kommuniziert ein zentraler Master (im einfachsten Fall ein PC mit nachgeschaltetem Pegelwandler) über eine Busleitung mit den Busteilnehmern. Durch den Einsatz von M-Bus-Repeatern kann die Anlage in M-Bus-Segmente aufgeteilt werden. Pro Segment können bis zu max. 250 Slaves, wie Wärmezähler, Wasserzähler, Elektrozähler, Gaszähler, Sensoren und Aktoren jeglicher Art, angeschlossen werden. Immer mehr Hersteller implementieren die elektrische M-Bus-Schnittstelle samt Protokollebene in ihre Verbrauchszähler.

Der M-Bus ist ein 2-Draht-Bussystem, welches vom Bus-Master annähernd erdfrei gespeist wird. Bei allen anderen Teilneh-

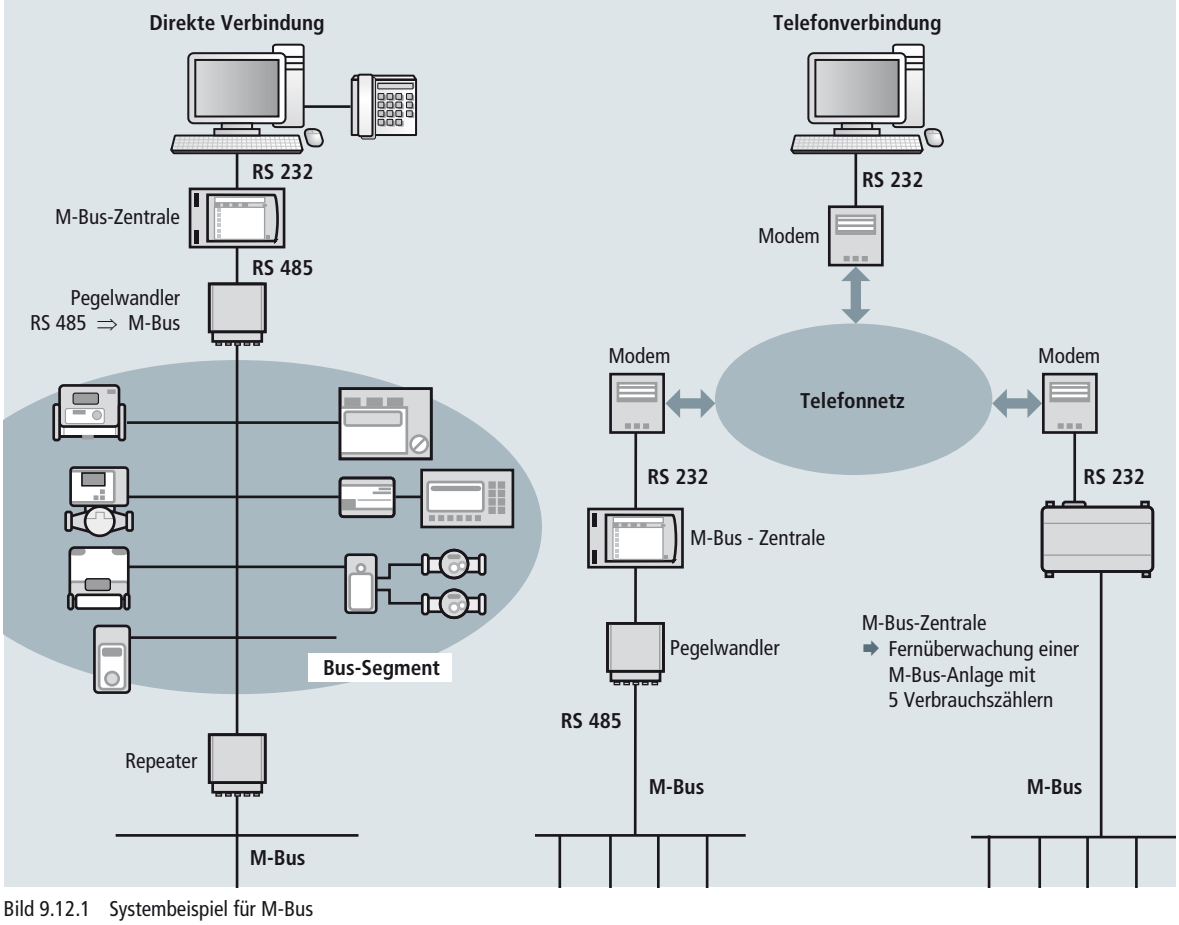


Bild 9.12.1 Systembeispiel für M-Bus

Leitung J-Y (ST) Y...x 0,8	Anzahl Busteilnehmer	Strom je Busteilnehmer	Max. auftretender Spannungsfall
0,8 km	60	z. B. 1,5 mA	5,4 V

Tabelle 9.12.1 Maximal möglicher Spannungsfall auf der Busleitung

Baudrate	Max. Buskapazität bei Baudrate 9600	Gesamtkapazität Busteilnehmer + Leitung
9600	100 nF	60 Zähler + 0,8 km J-Y (ST) Y ... · 0,8 60 · 1 nF + 0,8 km · 50 nF/km

Tabelle 9.12.2 Maximale Baudrate in Abhängigkeit der Busteilnehmer- (hier Zähler) und der Leitungskapazität

Schutzgeräte		Art.-Nr.	Kapazität: Ader/Ader	Längsimpedanz pro Ader
BLITZDUCTOR XT	BXT ML2 BD S 48	920 245	0,7 nF	1,0 Ω
BLITZDUCTOR XT	BXT ML2 BE S 24	920 224	0,5 nF	1,8 Ω
BLITZDUCTOR XT	BXT ML2 BE S 5	920 220	2,7 nF	1,0 Ω
DEHNconnect	DCO SD2 MD 48	917 942	0,6 nF	1,8 Ω
DEHNconnect	DCO SD2 ME 24	917 921	0,5 nF	1,8 Ω
DEHNconnect	DCO SD2 E 12	917 987	1,2 nF	–

Tabelle 9.12.3 Angaben über Kapazitäten und Längsimpedanzen von Überspannungsschutzgeräten

mern des M-Busses darf im Betrieb kein Bezug zur Erde entstehen. Die maximale Busspannung beträgt 42 V.
Leitungen wie auch die angeschlossenen M-Bus-Geräte und Schutzbeschaltungen belasten das M-Bus-Segment durch ihre Widerstände und Kapazitäten und beeinflussen die Busleitungslänge / Baudrate.
So hat eine M-Bus-Zentrale beispielsweise einen M-Bus-Ruhestrom von 375 mA (250 Standardlasten à 1,5 mA), welcher die Versorgung von unterschiedlichen M-Bus-Geräten mit jeweils unterschiedlichen Standardlasten (z. B. 3 Standardlasten entsprechen 4,5 mA) liefert. Der verwendete Kupferquerschnitt der Leiter in Verbindung mit der Summe der Spannungsabfälle in den Teilstrecken bis hin zum zu betrachtenden Busteilnehmer bestimmt die höchstzulässige Länge der Busleitung (**Tabelle 9.12.1**).

Ein weiterer Aspekt ist die Abhängigkeit der max. übertragbaren Baudrate, welche von der Gesamtkapazität im Bussegment abhängig ist.
Am Beispiel einer M-Bus-Zentrale, welche 100 nF Kapazität bei einer Baudrate von 9600 treiben kann, soll der Sachverhalt betrachtet werden:

- Leitungstyp J-Y (ST) Y...x 0,8
- ca. 75 Ω/km, ca. 50 nF/km M-Bus-Teilnehmer, z. B. Zähler ca. 1 nF, ca. 1,5 mA (**Tabelle 9.12.2**).

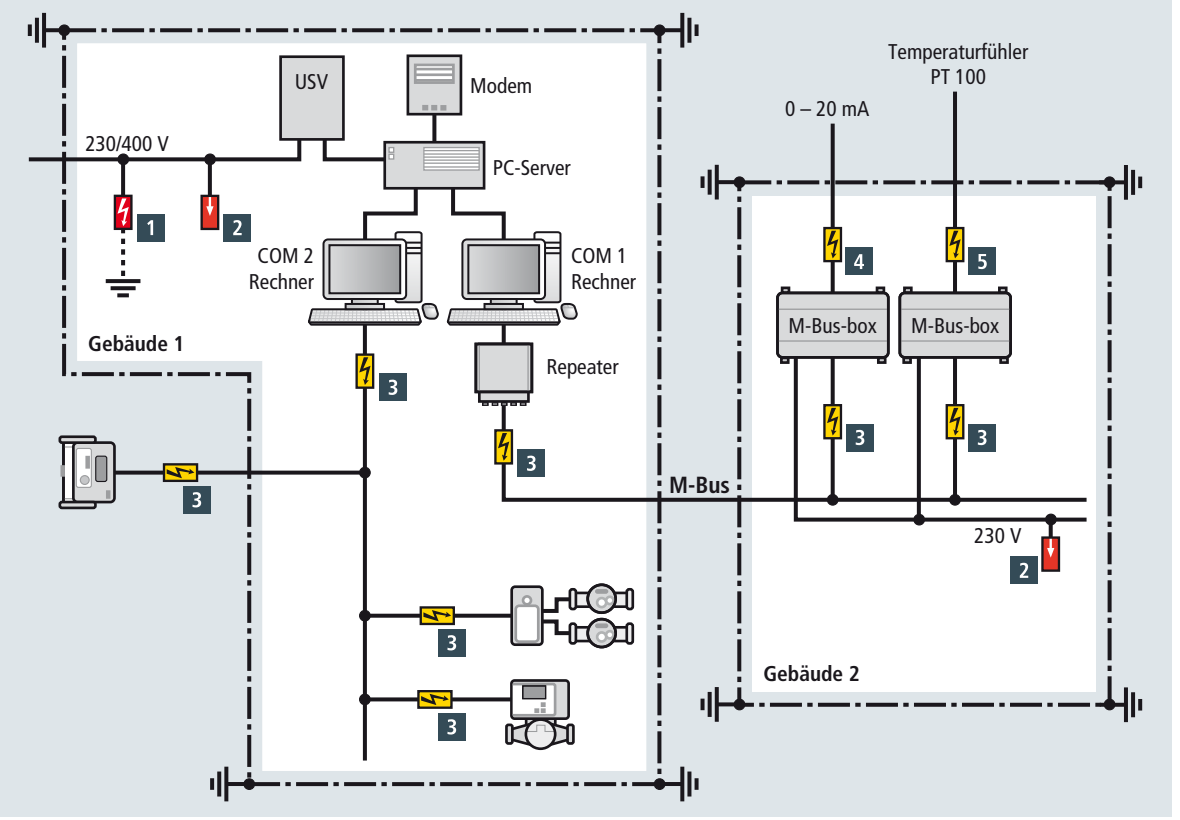
Setzt man nun Überspannungsschutzgeräte ein, so sind deren Längswiderstände und Ader/Ader-Kapazitäten zu beachten (**Tabelle 9.12.3**).

Gebäude mit äußerem Blitzschutz

Bei Gebäuden mit äußerem Blitzschutz, ist ein Blitzschutz-Potentialausgleich (BPA) erforderlich.
Alle in die bauliche Anlage führenden oder von dort abgehenden Adern von energie- und informationstechnischen Kabeln und Leitungen werden über Blitzstrom-Ableiter an den BPA angeschlossen. **Bild 9.12.2** zeigt beispielhaft die Beschaltung eines vernetzten M-Bus-Systems zum Schutz vor Blitzströmen und Überspannungen.

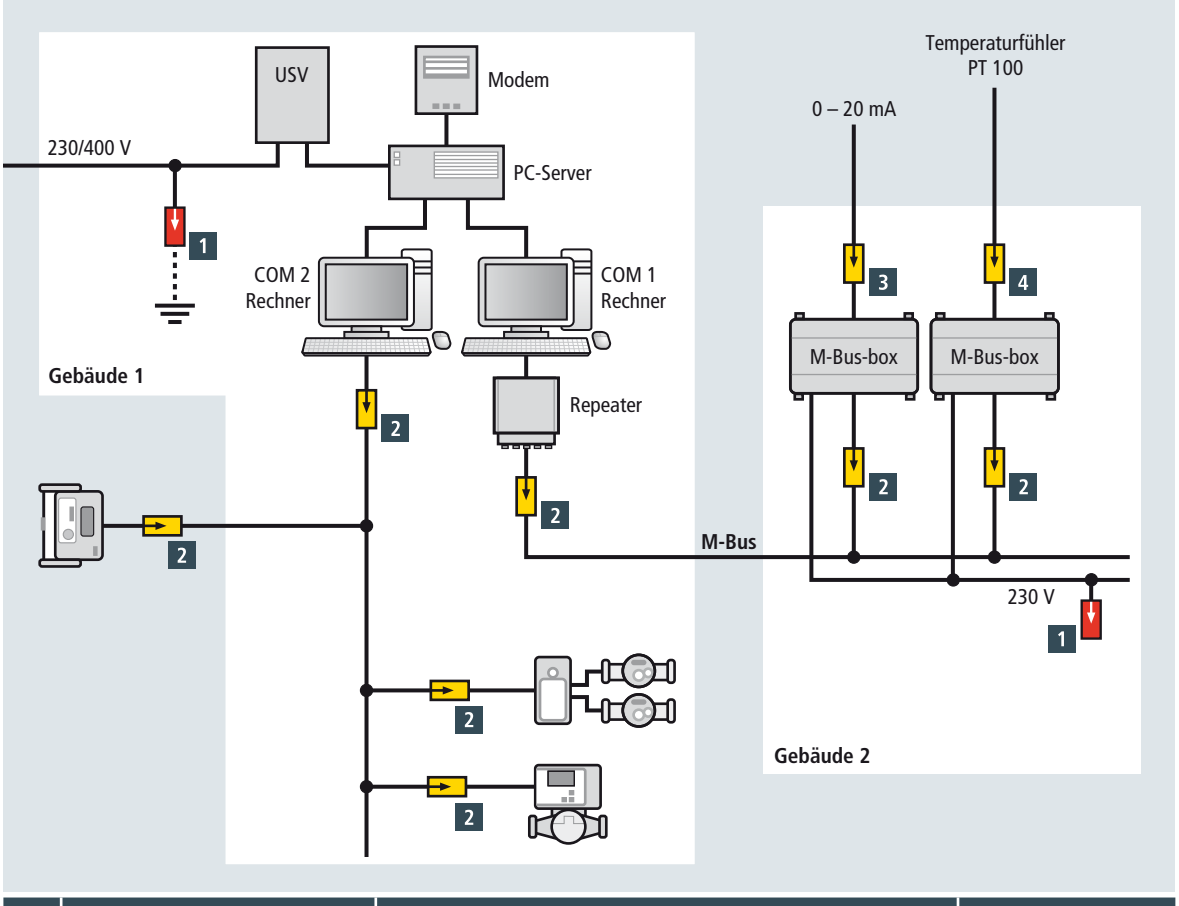
Gebäude ohne äußeren Blitzschutz

Bei Gebäuden ohne äußeren Blitzschutz ermöglicht der Überspannungsschutz den Schutz der elektrischen Anlagen und Systeme. **Bild 9.12.3** zeigt beispielhaft, wie ein vernetztes M-Bus-System beschaltet werden muss, um einen Schutz vor Überspannungen zu erhalten.



Nr.	Schutz für ...	Schutzgeräte	Art.-Nr.
Auswahl Kombi-Ableiter entsprechend dem Netzsystem (in gebäudeeintrittsnaher Hauptverteilung)			
1	Drehstrom TN-C-System Drehstrom TN-S-System Drehstrom TT-System	DEHNventil DV M TNC 255 DEHNventil DV M TNS 255 DEHNventil DV M TT 255	951 300 951 400 951 310
Überspannungsschutz für die Spannungsversorgung			
2	Drehstrom TN-S-System Drehstrom TT-System Wechselstrom TN-System Wechselstrom TT-System	DEHNguard DG M TNS 275 DEHNguard DG M TT 275 DEHNguard DG M TN 275 DEHNguard DG M TT 2P 275	952 400 952 310 952 200 952 110
Überspannungsschutz für Signalschnittstellen			
3	M-Bus	BLITZDUCTOR XT BXT ML2 BD S 48 + Basisteil BXT BAS	920 245 + 920 300
4	0–20 mA	BLITZDUCTOR XT BXT ML2 BE S 24 + Basisteil BXT BAS	920 224 + 920 300
5	Temperaturfühler PT 100	BLITZDUCTOR XT BXT ML2 BE S 5 + Basisteil BXT BAS	920 220 + 920 300

Bild 9.12.2 Schutzkonzept für ein M-Bus-System bei Gebäuden mit äußerem Blitzschutz



Nr.	Schutz für ...	Schutzgeräte	Art.-Nr.
Überspannungsschutz für die Spannungsversorgung			
1	Drehstrom TN-S-System Drehstrom TT-System Wechselstrom TN-System Wechselstrom TT-System	DEHNguard DG M TNS 275 DEHNguard DG M TT 275 DEHNguard DG M TN 275 DEHNguard DG M TT 2P 275	952 400 952 310 952 200 952 110
Überspannungsschutz für Signalschnittstellen			
2	M-Bus	DEHNconnect DCO SD2 MD 48	917 942
3	0 – 20 mA	DEHNconnect DCO SD2 ME 24	917 921
4	Temperaturfühler PT 100	DEHNconnect DCO SD2 E 12	917 987

Bild 9.12.3 Schutzkonzept für ein M-Bus-System bei Gebäude ohne äußeren Blitzschutz

Überspannungsschutz für PROFIBUS FMS, DP und PA

Sowohl durch die Anwendung des PROFIBUS als Kommunikationssystem im prozessnahen Bereich wie dessen Verwendung als zellen- und objektübergreifendes Leittechnik-Medium bestimmt den hohen Verfügbarkeitsanspruch. Diesem Verfügbarkeitsanspruch steht ein hohes Maß an Überspannungsgefährdung entgegen, da seine räumliche Ausdehnung eine hohe induktive / kapazitive Einkopplung ermöglicht.

PROFIBUS ist die Produktbezeichnung der Firma SIEMENS für Kommunikationsprodukte (Hard- und Software) entsprechend des genormten PROFIBUS-Standards (ProcessFieldBus). Alternative Bezeichnungen für PROFIBUS FMS und PROFIBUS DP sind die Siemens-Produktbezeichnungen SINEC L2 und SINEC L2-DP. Während der PROFIBUS FMS lediglich für Datenübertragungsraten bis 500 kBit/s ausgelegt ist, ist der PROFIBUS DP in der Lage, Daten mit einer Übertragungsrate bis 12 MBit/s zu übermitteln. Der Anwendungsschwerpunkt des PROFIBUS FMS (SINEC L2) liegt vor allem im Handling großer Datenmengen der Prozess- und Gruppenleitebene. Der schnelle PROFIBUS DP ist konzipiert für Anwendungen im Bereich der dezentralen SPS-Peripherie.

Die letzte Entwicklung im PROFIBUS-Segment ist der eigensichere PROFIBUS PA, der innerhalb der Verfahrenstechnik auch in explosionsgefährdeten Bereichen einsetzbar ist.
Als Übertragungsmedium dient in der Regel eine 2-Draht-Busleitung. Die physikalischen Eigenschaften des Bussystems entsprechen im Wesentlichen dem RS 485-Standard.

Der Anschluss der Busteilnehmer kann auf unterschiedliche Art erfolgen:

- Anschluss über 9-poligen D-Sub-Miniatur-Stecker (meist Pin-Belegung 3/8)
- Anschluss über Schraubklemmen
- Anschluss über Busklemmen.

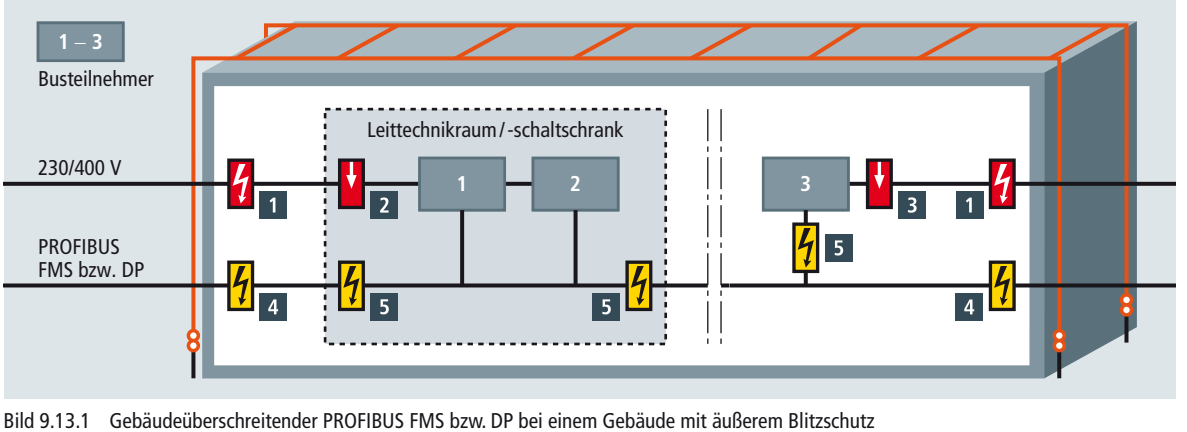


Bild 9.13.1 Gebäudeüberschreitender PROFIBUS FMS bzw. DP bei einem Gebäude mit äußerem Blitzschutz

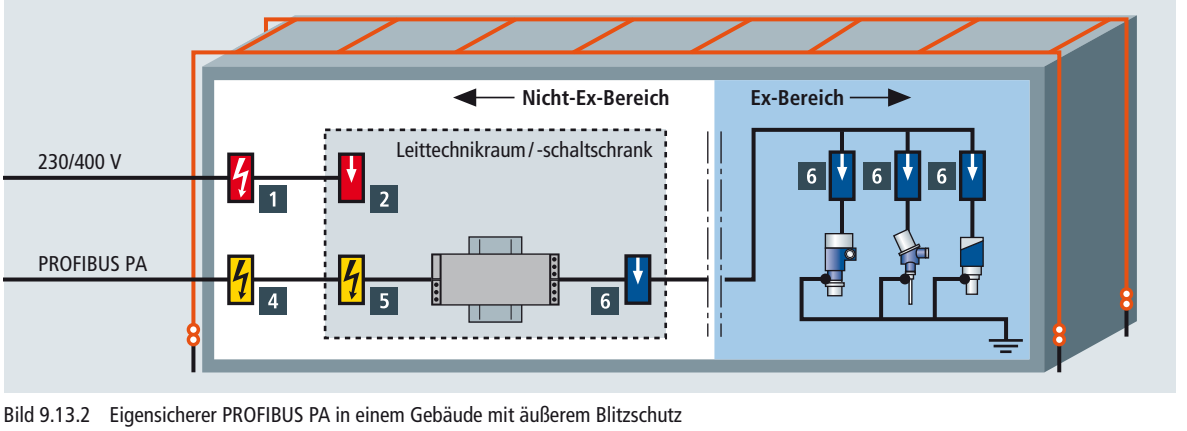


Bild 9.13.2 Eigensicherer PROFIBUS PA in einem Gebäude mit äußerem Blitzschutz

Nr. in Bild 9.13.1 und 2	Schutz für...	Schutzgerät	Art.-Nr.
1	Drehstrom TN-S-System Drehstrom TT-System	DEHNventil DV M TNS 255 DEHNventil DV M TT 255	951 400 951 310
2	Drehstrom TN-S-System Drehstrom TT-System	DEHNguard DG M TNS 275 DEHNguard DG M TT 275	952 400 952 310
3	230-V-Versorgung 24-V-DC-Versorgung	DEHNrail DR M 2P 255 DEHNrail DR M 2P 30	953 200 953 201
4	PROFIBUS	BLITZDUCTOR XT BXT ML2 B 180 + Basisteil BXT BAS	920 211 920 300
5	PROFIBUS	BLITZDUCTOR XT BXT ML2 BE HFS 5 + Basisteil BXT BAS	920 270 920 300
6	PROFIBUS im Ex-Bereich	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 BD EX 24 + Basisteil BXT BAS EX oder DEHNpipe DPI MD EX 24 M 2	920 381 920 301 929 960

Tabelle 9.13.1 Blitzstrom- und Überspannungs-Ableiter im Einsatzbereich des eigensicheren Profibus PA seine PROFIBUS FMS und DP

Gebäude mit äußerem Blitzschutz

Besitzt ein Gebäude ein Blitzschutzsystem, so ist der Blitzschutz-Potentialausgleich (BPA) obligatorisch. Dieser beinhaltet das Verbinden der Erdungsanlage mit Rohrleitungen, metallenen Installationen und geerdeten Teilen der energie- und informationstechnischen Anlagen. Zusätzlich werden alle in die bauliche Anlage ein- und austretenden energie- und informationstechnischen Kabel über Blitzstrom-Ableiter an die Erdungsanlage angeschlossen (**Bild 9.13.1 und 9.13.2**).

Eine weiterführende Maßnahme zum Schutz von elektrischen Anlagen und Systemen ist der Überspannungsschutz. Dieser ermöglicht in Verbindung mit dem Blitzschutz-Potentialausgleich den Schutz der elektrischen Anlagen und Systeme.
Werden Blitzschutz-Potentialausgleich, Überspannungsschutzmaßnahmen und der äußere Blitzschutz sorgfältig ausgeführt, reduzieren sich Ausfälle bei direkten Blitzeinschlägen auf ein Minimum.

Gebäude ohne äußeren Blitzschutz

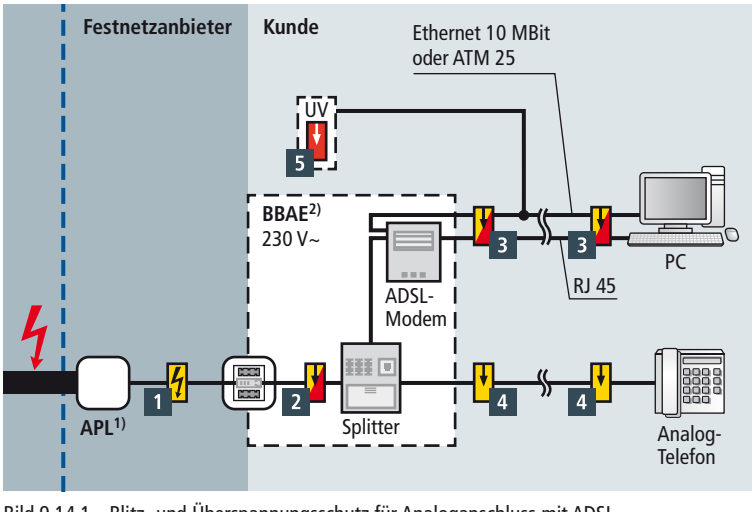
Ist kein äußerer Blitzschutz vorhanden, so sind die Busteilnehmer mit Überspannungs-Ableitern zu beschalten. Auf den Einsatz von Blitzstrom-Ableitern für energie- und informationstechnische Leitungen kann in diesem Fall verzichtet werden (Wegfall der Ableiter 1 und 4).

Überspannungsschutz für den Telekommunikations-anschluss

Telekommunikationsleitungen sind neben den energietechnischen Einspeiseleitungen die wichtigsten Leitungsverbindungen. Für den hochtechnisierten Ablauf in heutigen Industrieanlagen und Büros sind immer funktionsfähige Schnittstellen zur „Außenwelt" überlebenswichtig.
Telekommunikationsleitungen überdecken als Leitungsnetz vielfach eine Fläche von einigen km^2. Mit der Einkopplung von Überspannungen ist bei solch großflächigen Netzwerken durchaus häufiger zu rechnen.
Die sicherste Lösung, eine bauliche Anlage vor den negativen Folgen von Blitzeinwirkungen zu schützen, ist ein vollständiges Blitzschutzsystem, bestehend aus den Maßnahmen des äußeren und inneren Blitzschutzes.

Gefährdung

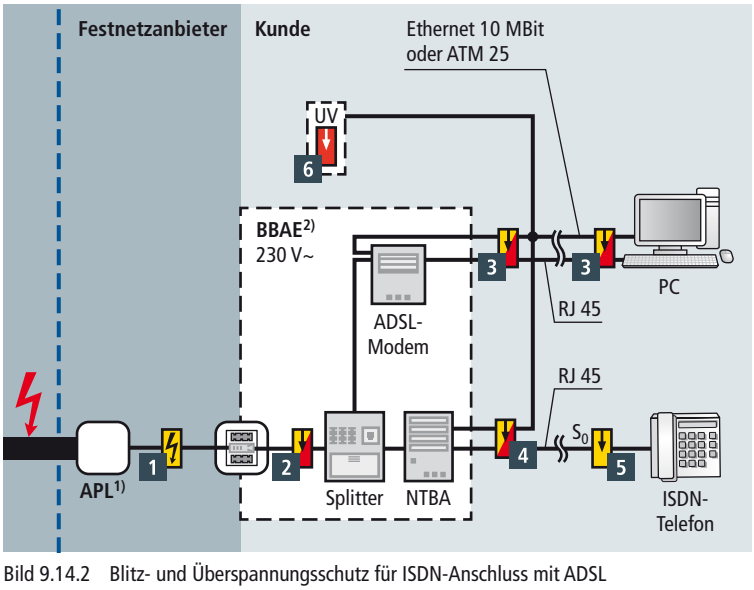
Die Verbindungsleitungen zur Ortsvermittlungsstelle sowie die betriebsinterne Verkabelung werden als Kupferkabel ausgeführt, deren Abschirmwirkung sehr gering ist. Durch die gebäudeüberschreitende Verlegung der Eingangsleitungen können hohe Potentialdifferenzen zwischen der Gebäudeinstallation und den eingehenden Leitungen entstehen. Mit einer Potentialanhebung der Adern durch galvanische und induktive



	Typ	Art.-Nr.
1	BXT ML2 BD 180 + BXT BAS	920 247 + 920 300
	DRL 10 B 180 FSD + EF 10 DRL + DRL PD 180	907 401 + 907 498 + 907 430
2	DPRO 230 NT	909 310
3	DPRO 230 LAN100	909 321
4	DLI TC 2 I	929 028
	DSM TC 2 SK	924 272
5	DG M TNS 275	952 400

1) Abschlusspunkt Linientechnik
2) Breitband-Anschlusseinheit

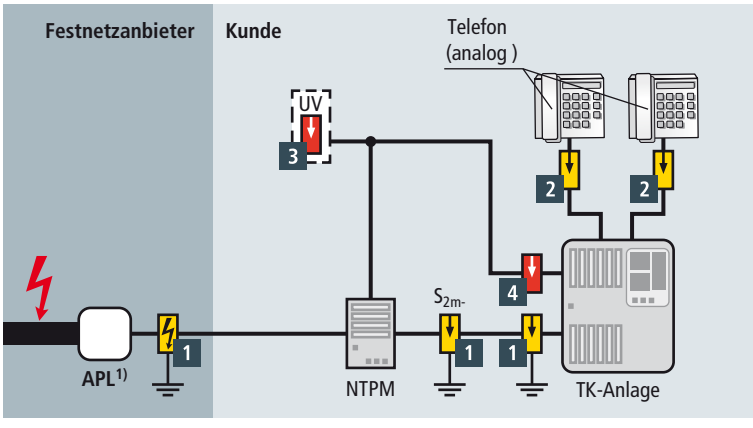
Bild 9.14.1 Blitz- und Überspannungsschutz für Analoganschluss mit ADSL



	Typ	Art.-Nr.
1	BXT ML2 BD 180 + BXT BAS	920 247 + 920 300
	DRL 10 B 180 FSD + EF 10 DRL + DRL PD 180	907 401 + 907 498 + 907 430
2	DPRO 230 NT	909 310
3	DPRO 230 LAN100	909 321
4	DPRO 230 ISDN	909 320
5	DLI ISDN I	929 024
	DSM ISDN SK	924 270
6	DG M TNS 275	952 400

1) Abschlusspunkt Linientechnik
2) Breitband-Anschlusseinheit

Bild 9.14.2 Blitz- und Überspannungsschutz für ISDN-Anschluss mit ADSL



	Typ	Art.-Nr.
1	BXT ML4 BD HF 24 + BXT BAS	920 375 + 920 300
	DRL 10 B 180 FSD + EF 10 DRL + DRL HD 24	907 401 + 907 498 + 907 470
2	DLI TC 2 I	929 028
	DSM TC 2 SK	924 272
3	DG M TNS 275	952 400
4	SFL PRO 6X	912 250

1) Abschlusspunkt Linientechnik

Bild 9.14.3 Überspannungsschutz für TK-Anlagen „ISDN-Primär-Multiplexanschluss“

Kopplung muss gerechnet werden. Bei der Parallelverlegung von Starkstrom- und Schwachstromleitungen können Schaltüberspannungen im Starkstromnetz ebenfalls Störungen verursachen, welche die Schwachstromleitungen beeinflussen.

Überspannungsschutz für ADSL-Anschluss

Zusätzlich zum herkömmlichen Telefonanschluss benötigt ein ADSL-Anschluss, je nach Zugangsvariante, eine Netzwerk- oder ATM-Karte im PC und ein spezielles ADSL-Modem sowie einen Splitter zur Trennung von Telefon- und Datenverkehr. Der Telefonanschluss kann dabei wahlweise als analoger oder ISDN-Anschluss ausgeführt sein.

Der Splitter trennt das analoge Sprachsignal oder das digitale ISDN-Signal von den ADSL-Daten unter Beachtung aller wichtigen Systemparameter wie z. B. Impedanzen, Dämpfung und Pegel. Er erfüllt somit die Funktion einer Frequenzweiche. Der Splitter ist eingangsseitig mit der TAE-Telefondose verbunden. Ausgangsseitig stellt er einerseits dem ADSL-Modem die höherfrequenten Signale des ADSL-Frequenzbandes zur Verfügung und andererseits regelt er die Kommunikation im niedrigen Frequenzbereich mit dem NTBA oder dem analogen Endgerät.
An den PC wird das ADSL-Modem über eine Ethernet- (10 Mbit/s), ATM25- oder eine USB-Schnittstelle angeschlossen. Zusätzlich benötigt das Modem eine 230 V AC-Versorgungsspannung (**Bild 9.14.1 und 9.14.2**).

Überspannungsschutz für den ISDN-Anschluss

Mit ISDN (Integrated Service Digital Network) werden unterschiedliche Dienste in einem gemeinsamen öffentlichen Netz angeboten. Durch die digitale Übertragung können sowohl Sprache als auch Daten übermittelt werden. Ein Netzabschlussgerät ist die Übergabeschnittstelle für den Teilnehmer (NTBA). Auch der NTBA wird energieseitig mit 230 V AC versorgt.
Bild 9.14.2 zeigt den Schutz eines ISDN-Anschlusses mit den entsprechenden Überspannungsschutzgeräten.

Überspannungsschutz für den Primär-Multiplexanschluss

Der Primär-Multiplexanschluss (NTPM) hat 30 B-Kanäle mit je 64 kBit/s, einen D-Kanal und einen Synchronisierungskanal mit ebenfalls 64 kBit/s. Über den Primär-Multiplexanschluss können Datenübertragungen bis 2 MBit/s geführt werden. Der NTPM wird durch die Schnittstelle U_{2m} versorgt. Die Teilnehmer-Schnittstelle hat die Bezeichnung S_{2m} . An dieser Schnittstelle werden große Nebenstellenanlagen oder Datenverbindungen mit hohem Datenvolumen angeschlossen. Den Schutz eines solchen Anschlusses gegen Überspannungen zeigt **Bild 9.14.3**. Auch der NTPM wird energieseitig mit 230 V AC versorgt.

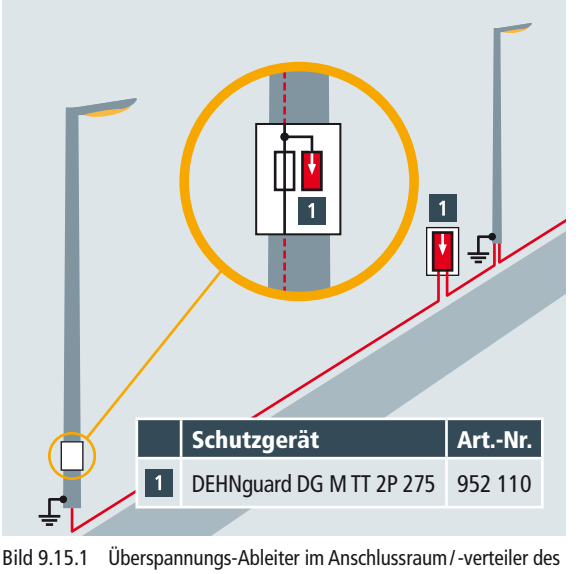
Überspannungsschutz für LED-Mastleuchten

LED-Mastleuchten werden zur Straßen-, Wege- u. Freiflächenbeleuchtung in Lichtpunkthöhen von mehreren Metern angebracht. Der Grund hierfür liegt im erforderlichen, großflächigen Ausleuchtungsfeld. Dies ist jedoch nur dann möglich, wenn die Lichtquelle über entsprechend hohe Lichtströme verfügt, was für die heutigen, hocheffizienten LEDs kein Problem mehr darstellt. Ihre Lebensdauer, die nahezu unabhängige Temperaturempfindlichkeit und die individuelle Szenenschaltbarkeit runden die Anforderungen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit und des Umweltbewusstseins ab.
LED-Masteuchten zeichnen sich aus durch:

- Hohe Lichtausbeute bis zu 110 lm/W.
- Lichtverteilung durch unterschiedliche Linsentechnik leicht der jeweiligen Beleuchtungsaufgabe anpassbar.
- Es stehen unterschiedliche Lichtfarben / Farbtemperaturen zur Verfügung.
- Die Lebensdauer der LEDs beträgt je nach Betriebsstrom zwischen 50 000 und 100 000 h.
- Der temperaturabhängige Lichtstrom der LEDs unterliegt nur geringen Schwankungen und beträgt beispielsweise bei -30 °C → 115 % und bei 40 °C → 95 %.
- Über die LED-Treiber lassen sich individuelle Szenen (z. B. Lichtstrom, Betriebszeiten, Dämmerungsabhängigkeit) voreinstellen.
- Zudem ist eine individuelle Einstellung der Szenen teilweise auch über eine 1-10 V-Schnittstelle oder DALI-Schnittstelle möglich.
- Gerade für den Bereich der Sicherheitsbeleuchtung sind die LEDs mit ihrem vollen Lichtstrom ohne Einschaltverzögerung prädestiniert.

In der Praxis kommen unterschiedlichste LED-Mastleuchten zum Einsatz, wobei in der Regel alle Leuchtenkörper aus Metall bestehen, unabhängig davon, ob es sich um LED-Mastleuchten mit der Schutzmaßnahme „Doppelte oder verstärkte Isolierung" (früher SK II) oder mit der Schutzmaßnahme „Automatische Abschaltung der Stromversorgung" (früher SK I) nach DIN VDE 0100-410 handelt. Das Metallgehäuse der LED-Mastleuchte übernimmt hierbei die großflächige Abgabe der entstehenden Wärmeverluste.
Betrachtet man nun den Mast, so besteht dieser fast ausschließlich aus Metall. Die Versorgungsspannung wird über das im Erdreich liegende Kabel in den Mast eingeführt. Kleinere Maste haben im unteren Bereich einen mit Werkzeug zu öffnenden Anschlussraum, von welchem eine beidseitig zugentlastete Gummischlauchleitung zur Leuchte führt. In diesem Anschlussraum befinden sich die Anschlussklemmen und die Überstromschutzeinrichtung. Größere Maste verfügen über einen Einspeiseverteiler, und sofern die Netz- und Ersatzstromversorgung gespeist werden, ist dieser – entsprechend der normativen Vorgaben – hierfür räumlich unterteilt.
Werden LED-Mastleuchten oder Maste aus PVC eingesetzt, ist weiterhin eine sich einstellende elektrostatische Aufladung zu beachten. Dies ist jedoch nicht Gegenstand dieser Ausarbeitung.

Vergleicht man nun die Kosten für einen überspannungsbedingten Betriebsmittelaustausch der früheren Mastleuchten mit Hochdrucklampen mit einem Betriebsmittelaustausch der heutigen LED-Mastleuchten, so stellt man fest, dass bei den früheren Hochdrucklampen Schäden am Leuchtmittel, Zündgerät und am induktiven Vorschaltgerät auftraten. Bei den heutigen LED-Mastleuchten sind es die LED-Treiber, ihre Parametrierung und die LEDs, welche mit hohen Kosten zu Buche schlagen. Auch wenn die Lebensdauer der LED-Mastleuchten eine Amortisierung im überschaubaren Zeitrahmen erwarten lässt, so stellt sich doch die Frage, welche Gewährleistung der Hersteller für das gesamte System (LED-Treiber u. LEDs) gibt, denn Überspannungsbeanspruchungen wirken sich negativ auf die systemtypische Lebensdauer aus. Zwar hat die Leuchtenindustrie hierauf bereits mit einer höheren Spannungsfestigkeit der LED-Treiber reagiert und weist für neuere LED-Mastleuchten Stoßstromfestigkeiten in der Größenordnung von 2 kA und Spannungsfestigkeiten von 4 kV aus, doch überschreiten die im Netz auftretenden Stoßströme und Überspannungen diese Werte teilweise um ein Vielfaches. Insbesondere sollte man be-



	Schutzgerät	Art.-Nr.
1	DEHNguard DG M TT 2P 275	952 110

Bild 9.15.1 Überspannungs-Ableiter im Anschlussraum / -verteiler des metallischen Mastes zum Schutz der metallischen LED-Mastleuchte vor netzgeführten Überspannungen durch ferne atmosphärische Ereignisse und Schalthandlungen

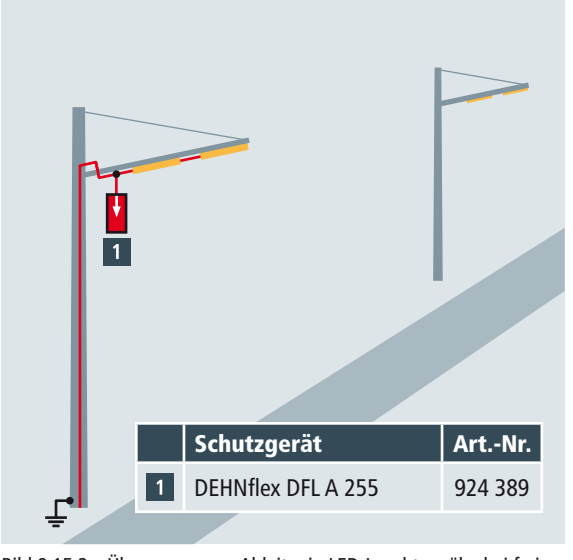


Bild 9.15.2 Überspannungs-Ableiter in LED-Leuchtennähe bei frei verlegter Mastleuchtenzuleitung zum Schutz vor feldgebundenen Einkopplungen oder als alleiniger Schutz vor netzgeführten Überspannungen durch ferne atmosphärische Ereignisse und Schalthandlungen

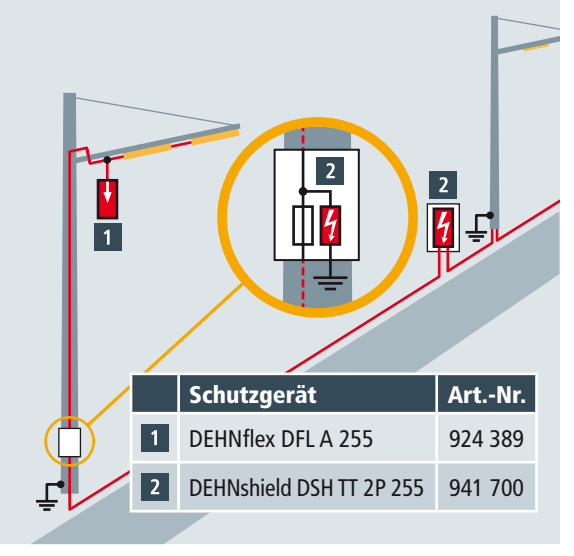


Bild 9.15.3 Kombi-Ableiter im Anschlussraum / -verteiler des metallischen Mastes in Verbindung mit einem Überspannungs-Ableiter zum Schutz der LED-Mastleuchte vor nahen atmosphärischen Ereignissen und zum Schutz vor netzgeführten Überspannungen durch Schalthandlungen

achten, dass sich die Spannungsfestigkeiten L zu N gegenüber L/N zu PE deutlich voneinander unterscheiden.
Durch einen metallischen Mast, in Verbindung mit einer metallischen LED-Mastleuchte, minimiert sich die Wahrscheinlichkeit einer feldgebundenen Kopplung. Daher müssen nur die Überspannungen betrachtet werden, welche sich über das Leitungsnetz ausbreiten. In diesem Fall kann ein Überspannungs-Ableiter im Anschlussraum / -verteiler des Mastes eingesetzt werden (**Bild 9.15.1**). Dies hat den Vorteil, dass die Überprüfung des Überspannungs-Ableiters ohne Hubwagen erfolgen kann.

Verhält es sich jedoch so, dass eine metallische LED-Mastleuchte mit ihrem metallischen Mast kein geschlossenes System darstellt, weil die LED-Mastleuchtenzuleitung ab Mastaustritt frei verlegt wurde und sich mehrere LED-Mastleuchten auf einer Auslegerplattform befinden, ist in LED-Mastleuchtennähe ein Überspannungs-Ableiter einzusetzen (**Bild 9.15.2**). Dies empfiehlt sich auch als alleinige Überspannungsschutzmaßnahme, wenn die Überspannungswahrscheinlichkeit als gering eingeschätzt werden kann. Hinsichtlich des Einsatzes eines Überspannungs-Ableiters in der LED-Mastleuchte ist die jeweilige Schutzmaßnahme der LED-Mastleuchte zu beachten. So darf eine nach DIN VDE 0100-410 ausgeführte „Doppelte oder verstärkte Isolierung" (früher SK II) der LED-Mastleuchte nicht durch basisisolierte (Isolierung von gefährlichen aktiven Teilen als Basisschutz) Überspannungs-Ableiter beeinträchtigt werden.

Kommt es zu einem Blitzeinschlag in den metallischen Mast, wirkt dieser schirmend auf das in ihm verlegte Kabel, und der am Fußpunkt des Mastes befindliche anwendungsoptimierte Kombi-Ableiter leitet den Blitzstrom ab und schützt mit seinem niedrigen Schutzpegel die LED-Leuchte (**Bild 9.15.3**). Diese Beschaltung erfordert immer einen Vertikal- oder einen Horizontalerder; und je nach Leitungsführung wird an der LED-Mastleuchte ein zusätzlicher Überspannungs-Ableiter gemäß **Bild 9.15.2** erforderlich.

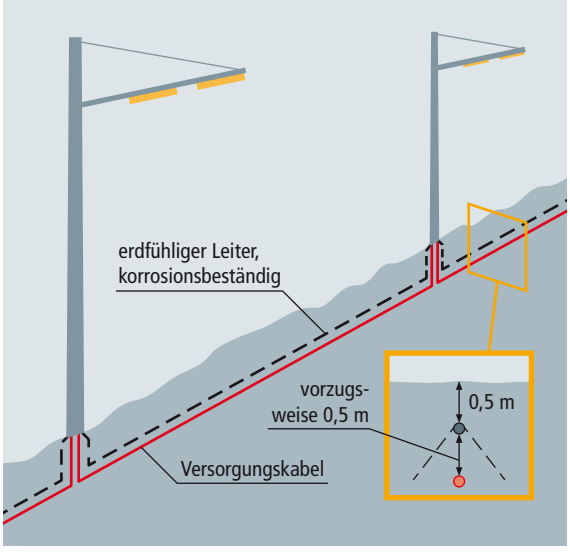


Bild 9.15.4 Erdungsleiter zum Schutze der Kabeltrasse und zur Masterdung

Prinzipiell ist die beschriebene Beschaltungsvariante mittels Kombi-Ableiter immer dann vorzusehen, wenn eine Risikobewertung ein höheres Schutzziel erfordert, als es durch den Einsatz eines Überspannungs-Ableiters erreicht werden kann. Beispielhaft hierfür sind sehr hohe Maste, an denen großflächige LED-Mastleuchten an Auslegerplattformen angebracht sind (bei Großparkplätzen, Stadien usw.), und LED-Mastleuchten, welche von einem Gebäude mit einem Blitzschutzsystem gespeist werden, da der Blitzstrom durch den Blitzschutz-Potentialausgleich zur LED-Mastleuchte hin ausgeleitet wird.

Für Neuanlagen, bei denen sowohl die Maste wie auch die Kabelverlegung noch erstellt werden müssen, ist über der Kabeltrasse ein blanker Erdungsleiter vorzusehen.
Kommt es zu einem Blitzeinschlag in den Mast (nicht in die Leuchte selbst) oder in das Erdreich, hat der Erdungsleiter die Funktion des erforderlichen Erders und bewirkt eine Linearisierung des Potentialgefälles. Überschläge in das Kabel werden dadurch vermieden (**Bild 9.15.4**).

Blitz- und Überspannungs-schutz für Windenergie-anlagen

Windenergieanlagen (WEA) sind aufgrund ihrer exponierten Lage und Bauhöhe direkten Blitzeinwirkungen ausgesetzt. Da die Blitzeinschlagsgefahr quadratisch mit der Bauhöhe zunimmt, lässt sich abschätzen, dass eine Megawatt-WEA ca. alle 12 Monate von einem direkten Blitzeinschlag betroffen ist. Die hohen Investitionskosten müssen sich durch die Einspeisevergütung in wenigen Jahren amortisieren, d. h., Stillstandzeiten aufgrund von Blitz- und Überspannungsschäden und damit verbundene Reparaturkosten sind zu vermeiden. Ein umfassender Blitz- und Überspannungsschutz ist deshalb notwendig. Für die Dimensionierung von Blitzschutzmaßnahmen muss berücksichtigt werden, dass bei Objekten mit einer Höhe von > 60 m und blitzexponierter Lage neben Wolke-Erde-Blitze auch Erde-Wolke-Blitze, sogenannte Aufwärtsblitze, in Betracht zu ziehen sind. Deren hohe Ladungsinhalte sind vor allem für die Schutzmaßnahmen an Rotorblättern und für die Auslegung von Blitzstrom-Ableitern von großer Bedeutung.

Normung

Bei der Auslegung des Schutzkonzeptes dienen die IEC 61400-24 – DIN EN 61400-24 (VDE 0127-24), die Normen der Reihe DIN EN 62305 und die Richtlinien des Germanischen Lloyd (z. B. GL 2010 IV – Teil 1: Richtlinie für die Zertifizierung von Windenergieanlagen) als Basis.

Schutzmaßnahmen

Die DIN EN 61400-24 empfiehlt, dass alle Teilkomponenten des Blitzschutzsystems einer WEA gemäß Gefährdungspegel LPL I (Lightning Protection Level) geschützt werden sollen, es sei denn, durch eine Risikoanalyse kann nachgewiesen werden, dass auch ein niedrigerer LPL ausreichend ist. Eine Risikobewertung kann zudem ergeben, dass verschiedenen Teilkomponenten unterschiedliche Gefährdungspegel zugewiesen werden. Als Grundlage des Blitzschutzes wird in der DIN EN 61400-24 ein vollständiges Blitzschutzkonzept empfohlen.

Der Blitzschutz (LP – Lightning Protection) einer WEA besteht aus dem äußeren Blitzschutzsystem (LPS – Lightning Protection System) und dem Überspannungsschutz (SPM – Surge Protection Measure) zum Schutz der elektrischen und elektronischen Einrichtungen. Für die Planung der Schutzmaßnahmen ist es vorteilhaft, die WEA in Blitzschutzzonen (LPZ – Lightning Protection Zone) einzuteilen.

Der Blitzschutz von Windkraftanlagen beinhaltet den Schutz von zwei Teilsystemen, die in ihrer Art so nur in WEAs zu finden sind, die Rotorblätter und der mechanische Antriebsstrang. Dem Schutz dieser besonderen Anlagenteile und dem Nachweis der Schutzwirkung der Blitzschutzmaßnahmen werden in DIN EN 61400-24 deshalb ein entsprechend breiter Raum eingeräumt. Die Norm empfiehlt, die Blitzstromfestigkeit dieser Systeme durch Hochstromtests mit dem ersten Blitzstoßstrom und dem Langzeitstrom, soweit möglich in einer gemeinsamen Entladung, nachzuweisen.

Nachfolgend wird schwerpunktmäßig die Realisierung von Blitz- und Überspannungs-Schutzmaßnahmen für die elektrischen und elektronischen Geräte / Systeme einer WEA aufgezeigt.

Die komplexen Probleme des Schutzes von Rotorblättern und drehbar gelagerten Teilen / Lagern bedürfen einer detaillierten Untersuchung und sind hersteller- und typspezifisch. Wichtige Hinweise dazu gibt die DIN EN 61400-24.

Blitzschutzzonen-Konzept

Das Blitzschutzzonen-Konzept ist eine Strukturierungsmaßnahme, um innerhalb eines Objektes ein definiertes EMV-Klima zu schaffen. Das definierte EMV-Klima wird durch die Störfestigkeit der verwendeten elektrischen Betriebsmittel spezifiziert. Das Blitzschutzzonen-Konzept beinhaltet daher, als Schutzmaßnahme die leitungs- und feldgebundenen Störgrößen an Schnittstellen auf vereinbarte Werte zu reduzieren. Aus diesem Grund wird das zu schützende Objekt in Schutzzonen unterteilt.

Die Bestimmung Zonen LPZ 0_A, also der Anlagenteile, die einem direkten Blitzeinschlag ausgesetzt sein können, und LPZ 0_B, die jenen Anlagenteilen zugeordnet wird, die durch externe Fangeinrichtungen oder in Anlagenteilen integrierte Fangeinrichtungen (wie z. B. im Rotorblatt) vor Direkteinschlägen geschützt sind, erfolgt durch das Blitzkugelverfahren. Das Blitzkugelverfahren ist laut DIN EN 61400-24 nicht für die Rotorblätter selbst anwendbar. Die Ausführung der Fangeinrichtung sollte deshalb entsprechend Kapitel 8.2.3 der DIN EN 61400-24 überprüft werden. **Bild 9.16.1** zeigt die prinzipielle Anwendung des Blitzkugelverfahrens und **Bild 9.16.4** die mögliche Einteilung einer WEA in verschiedene Blitzschutzzonen. Dabei ist die Einteilung in Blitzschutzzonen vom Aufbau der WEA abhängig. Sie sollen deren Struktur berücksichtigen. Entscheidend ist jedoch, dass die von außen in der Blitzschutzzone LPZ 0_A einwirkenden Blitzparameter an allen Zonengrenzen durch geeignete Schirmungsmaßnahmen und den Einbau von Überspannungsschutzgeräten soweit reduziert werden, dass die innerhalb der WEA befindlichen elektrischen und elektronischen Geräte und Systeme störungsfrei betrieben werden können.

Schirmungsmaßnahmen

Die Gondel sollte als ein in sich geschlossener, metallener Schirm aufgebaut werden. Innerhalb der Gondel wird dadurch ein Volumen mit einem gegenüber außen erheblich geschwächten, elektromagnetischen Feld erreicht. Ein röhrenförmiger Stahlturm, wie er bei großen WEA oft eingesetzt wird, kann nach DIN EN 61400-24 als fast perfekter Faradayscher Käfig zur elektromagnetischen Schirmung angesehen werden. Die Schalt- und Steuerschränke in der Gondel, und wenn vorhanden, im Betriebsgebäude, sollten ebenfalls aus Metall sein. Die Verbindungsleitungen sollten mit einem äußeren,

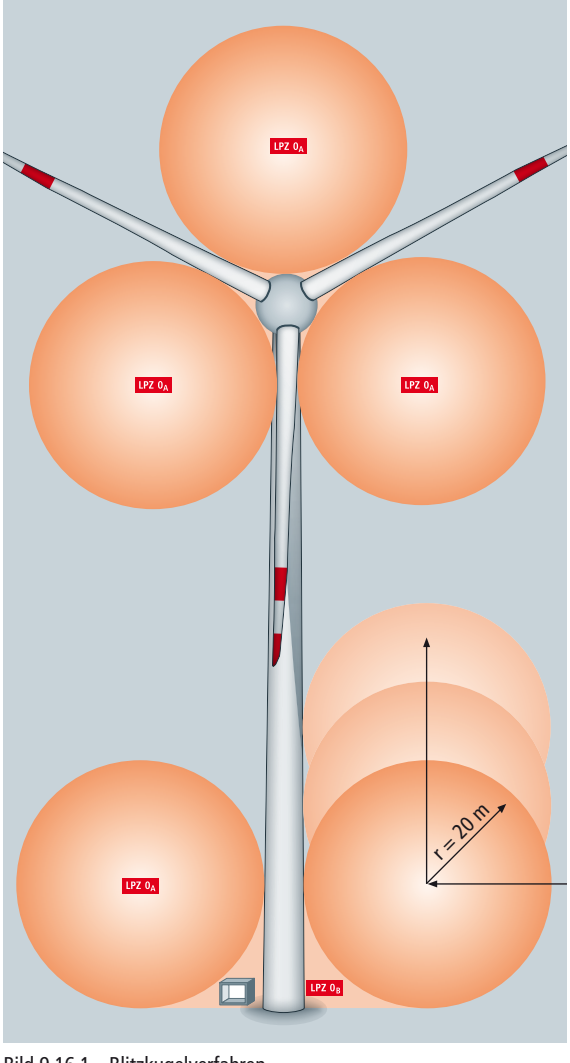


Bild 9.16.1 Blitzkugelverfahren

blitzstromtragfähigen Schirm versehen sein. Im störschutztechnischen Sinne sind geschirmte Leitungen nur dann gegen EMV-Einkopplungen wirksam, wenn die Schirme beidseitig mit dem Potentialausgleich verbunden werden. Die Kontaktierung der Schirme muss mit rundum (360°) kontaktierenden Anschlussklemmen erfolgen, ohne dass EMV-untaugliche, lange „Anschlusszöpfe" anlagenseitig installiert werden.
Die magnetische Schirmung und Leitungsführung sollte nach DIN EN 62305-4, Abschnitt 4, durchgeführt werden. Deshalb sollten die allgemeinen Richtlinien für eine EMV-verträgliche Installationspraxis nach IEC/TR 61000-5-2 angewendet werden.

Schirmungsmaßnahmen sind z. B.:

- Anbringen eines Metallgeflechts an Gondeln mit GFK-Beschichtung
- metallener Turm
- metallener Schaltschrank
- metallene Steuerschränke
- blitzstromtragfähig geschirmte Verbindungsleitungen (metallener Kabelkanal, geschirmtes Rohr oder dergleichen)
- Leitungsschirmung.

Maßnahmen zum äußeren Blitzschutz

Hierzu zählen:

- Fang- und Ableitungseinrichtungen in den Rotorblättern
- Fangeinrichtungen zum Schutz der Gondelaufbauten, der Gondel und der Nabe
- Nutzung des Turms als Fangeinrichtung und Ableitung
- Fundamenterder in Kombination mit einem Ringerder als Erdungsanlage.

Das äußere Blitzschutzsystem (LPS) hat die Aufgabe, direkte Blitzeinschläge einschließlich der Einschläge in den Turm der WEA einzufangen und den Blitzstrom vom Einschlagpunkt zur Erde abzuleiten. Weiterhin dient es dazu, den Blitzstrom in der Erde zu verteilen, ohne thermische oder mechanische Schäden oder gefährliche Funkenbildung zu verursachen, die einen Brand oder eine Explosion auslösen und Personen gefährden können.
Die potentiellen Einschlagstellen in eine Windenergieanlage können, außer bei den Rotorblättern, mit Hilfe des Blitzkugelverfahren bestimmt werden (**Bild 9.16.1**). Für WEA wird die Blitzschutzklasse I empfohlen. Daher wird zur Ermittlung der Einschlagstellen eine Blitzkugel mit einem Radius r = 20 m über die WEA gerollt. Überall dort, wo die Kugel die WEA berührt, sind potentielle Blitzeinschlagpunkte und somit Fangeinrichtungen erforderlich.
Die Gondelkonstruktion sollte Teil des Blitzschutzes sein, sodass sichergestellt ist, dass in die Gondel einschlagende Blitze entweder natürliche Metallteile treffen, die der Beanspruchung standhalten können, oder eine Blitzfangeinrichtung, die für diesen Zweck konstruiert worden ist. Gondeln mit einer GFK-Beschichtung oder dergleichen sollten mit einer Blitzfangeinrichtung und mit Ableitungen ausgerüstet werden, die einen Käfig um die Gondel bilden (Metallgeflecht). Die Blitzfangeinrichtung, einschließlich der freiliegenden Leiter in diesem Käfig, sollte in der Lage sein, Blitzen entsprechend dem gewählten Gefährdungspegel standzuhalten. Weitere Leiter im Faradayschen Käfig sollten so ausgelegt sein, dass sie dem Anteil des Blitzstromes standhalten, dem sie ausgesetzt sein können. Nach DIN EN 61400-24 sollten Blitzfangeinrichtungen zum Schutz von Messgeräten usw. an der Außenseite

der Gondel nach den allgemeinen Vorschriften in IEC 62305-3 ausgeführt und Ableitungen an den beschriebenen Käfig angeschlossen werden.
„Natürliche Bestandteile" aus leitenden Werkstoffen, die immer in/auf der WEA verbleiben und nicht geändert werden (z. B. Blitzschutz der Rotorblätter, Lager, Maschinenrahmen, Hybridturm), dürfen als Teil des LPS verwendet werden. Bestehen WEAs aus einer metallenen Konstruktion, so kann davon ausgegangen werden, dass diese die Voraussetzungen für den äußeren Blitzschutz der Blitzschutzklasse I nach der DIN EN 62305 erfüllt.
Voraussetzung ist, dass der Blitz sicher vom Blitzschutzsystem der Rotorblätter gefangen wird und über die natürlichen Bestandteile, wie Lager, Maschinenträger, Turm und/oder den Umgehungssystemen (z. B. offene Funkenstrecken, Kohlebürsten) zur Erdungsanlage abgeleitet werden kann.

Fangeinrichtung / Ableitung

Wie aus **Bild 9.16.1** ersichtlich, können

- die Rotorblätter,
- die Gondel mit Aufbauten (**Bild 9.16.2, Tabelle 9.16.1**),
- die Rotornabe und
- der Turm der WEA

vom Blitz getroffen werden. Wenn diese alle in der Lage sind, den maximal zu erwartenden Blitzstoßstrom von 200 kA sicher zu fangen und zur Erdungsanlage abzuleiten, können sie als „natürliche Bestandteile" der Fangeinrichtung des äußeren Blitzschutzsystems der WEA genutzt werden.
Für den Blitzschutz der Rotorblätter wird häufig in die GFK-Blattspitze ein metallischer Rezeptor eingebracht, der für den Blitz einen definierten Einschlagspunkt darstellt. Vom Rezeptor wird eine Ableitung im Blatt bis zur Blattwurzel geführt. Bei Blitzeinwirkung ist davon auszugehen, dass der Blitz in die Blattspitze (Rezeptor) einschlägt und dann über die Blitzableitung im Blattinneren den weiteren Weg zur Erdungsanlage über das Maschinenhaus und den Turm nimmt.

Erdungsanlage

Die Erdungsanlage einer Windenergieanlage muss mehrere Funktionen in sich vereinen, wie z. B. den Personenschutz, den EMV- und den Blitzschutz.
Zur Verteilung von Blitzströmen und zur Verhinderung einer Zerstörung der WEA ist eine wirksame Erdungsanlage (**Bild 9.16.3**) unbedingt notwendig. Die Erdungsanlage muss darüber hinaus Menschen und Tiere vor elektrischem Schlag schützen. Bei Blitzeinschlägen muss die Erdungsanlage mögliche hohe Blitzströme in die Erde ableiten und dort verteilen, ohne dass gefährliche thermische und/oder elektrodynamische Wirkungen auftreten.

Es ist allgemein wichtig, dass für eine WEA eine Erdungsanlage aufgebaut wird, welche sowohl für den Blitzschutz als auch für die Erdung des Stromversorgungsnetzes genutzt wird.
Hinweis: Für die Ausführung der Erdungsanlage zur Verhinderung hoher Schritt- und Berührungsspannungen durch Kurzschlüsse im Hoch- oder Mittelspannungsnetz sind elektrische Hochspannungsvorschriften wie CENELEC HO 637 S1 oder einschlägige nationale Normen zu beachten. Für die Sicherheit von Personen wird in der DIN EN 61400-24 auf DIN IEC/TS 60479-1 und IEC 60479-4 verwiesen.

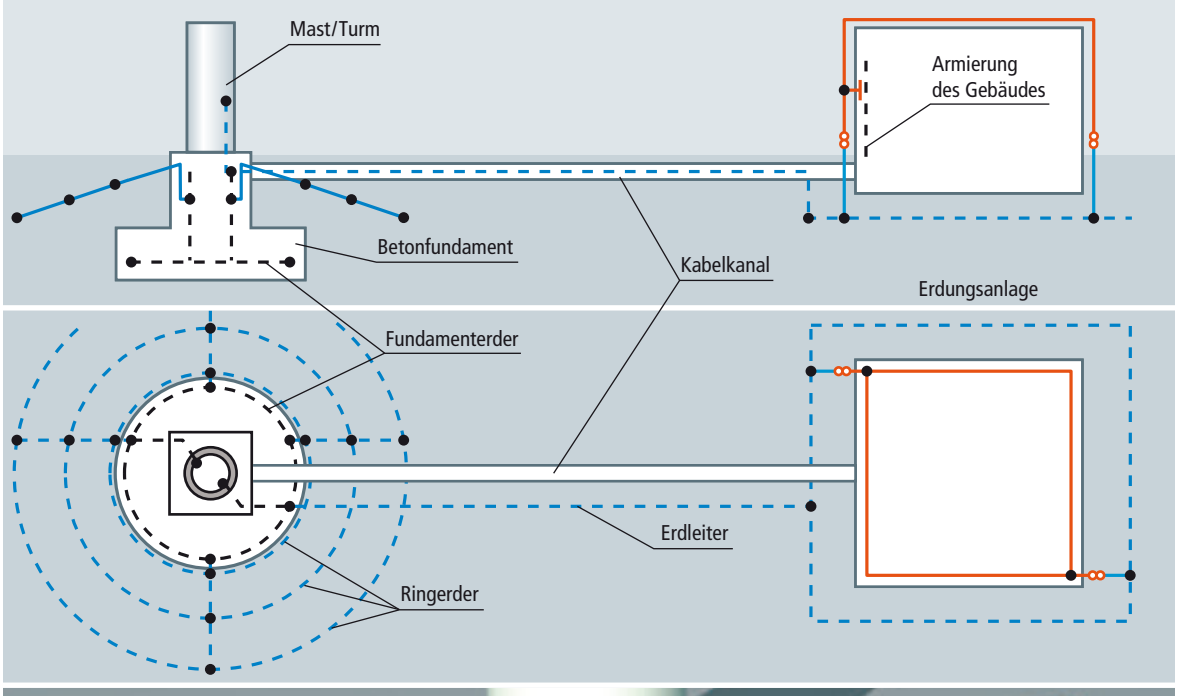
Anordnungen von Erdern

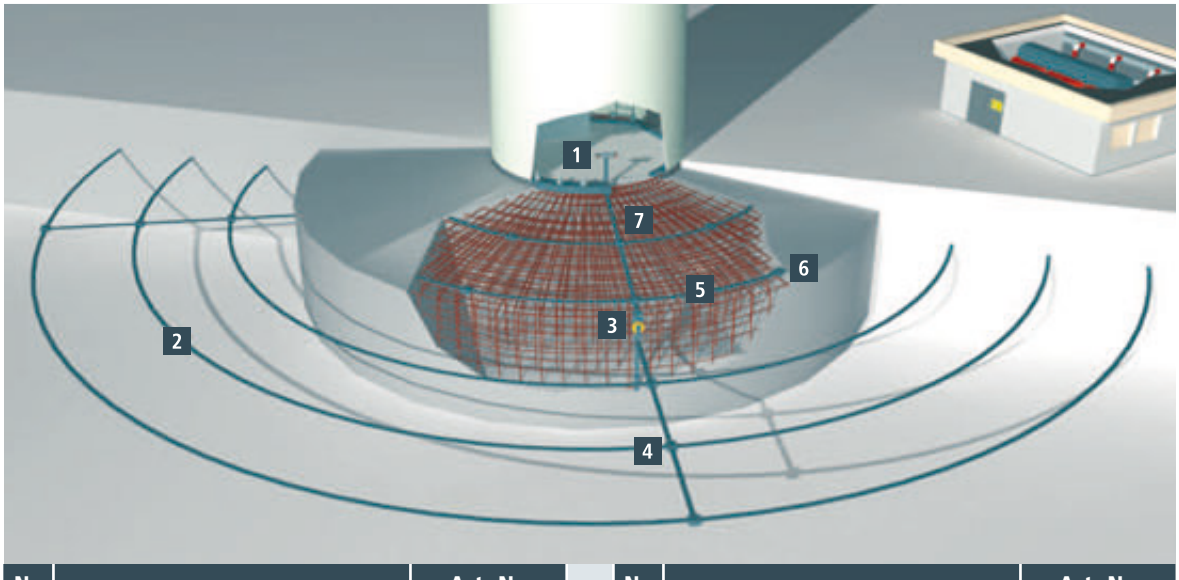
In DIN EN 62305-3 werden zwei Grundarten von Erderanordnungen beschrieben, die für WEA gelten:

Typ A: Diese Anordnung kann entsprechend dem informativen Teil, Anhang I, der DIN EN 61400-24 nicht für WEA, aber für Nebengebäude von WEAs angewendet werden (z. B. Gebäude, die Messeinrichtungen enthalten, oder Bürobaracken, die in Verbindung mit einem Windpark stehen). Erdungsanordnungen des Typs A bestehen aus Horizontal- oder Vertikalerdern, die mit mindestens zwei Ableitungen am Bauwerk verbunden sind.

Typ B: Entsprechend dem informativen Teil, Anhang I, der DIN EN 61400-24 müssen für WEA Erderanordnungen vom Typ B angewendet werden. Diese bestehen entweder aus einem äußeren Ringerder, der im Erdboden verlegt ist, oder aus einem Fundamenterder. Ringerder und Metallteile im Fundament müssen mit der Turmkonstruktion verbunden sein.
Für die Erdung einer WEA sollte in jedem Falle die Armierung des Turmfundamentes mit verwendet werden. Die Erdung des Turmfußes und des Betriebsgebäudes sollte durch ein Erder-Maschennetz verbunden werden, um eine möglichst großflächige Erdungsanlage zu erhalten. Zur Vermeidung zu hoher

Bild 9.16.2 Beispiel einer Fangeinrichtung für die Wetterstation und die Flugbefeuerung





Nr.		Art.-Nr.	Nr.		Art.-Nr.
1	Potentialausgleichsschiene Industrie	472 209	5	Band, 30 mm x 3,5 mm St/tZn	810 335
2	Edelstahldraht NIRO (V4A)	860 010	6	Druckbügelklemme	308 031
3	Erdungsfestpunkt NIRO (V4A)	478 011	7	MAXI-MV-Klemme Zulassung UL467B	308 040
4	Kreuzstück NIRO (V4A)	319 209			

Bild 9.16.3 Erdungsanlage einer Windenergieanlage

Schrittspannungen im Falle eines Blitzeinschlags sind zum Zwecke des Personenschutzes um den Turmfuß potentialsteuernde, korrosionsfeste Ringerder (aus NIRO (V4A), z. B. Werkstoff-Nr. 1.4571) zu verlegen (**Bild 9.16.3**).

Fundamenterder

Der Fundamenterder ist sowohl in technischer wie auch in wirtschaftlicher Hinsicht vorteilhaft und wird in den technischen Anschlussbedingungen (TAB) der Verteilnetzbetreiber (VNB) gefordert. Der Fundamenterder gilt als Bestandteil der elektrischen Anlage und erfüllt wesentliche Sicherheitsfunktionen. Seine Errichtung muss deshalb durch eine Elektrofachkraft oder unter Aufsicht einer Elektrofachkraft erfolgen.
Metalle für Erder müssen den in DIN EN 62305-3, Tabelle 7, aufgeführten Werkstoffen entsprechen. Das Verhalten des Metalls hinsichtlich Korrosion im Erdboden muss immer beachtet werden.
Als Werkstoff für den Fundamenterder ist Stahl (Rund- oder Bandstahl) zu verwenden, der sowohl verzinkt als auch unverzinkt sein kann. Rundstahl muss mindestens einen Durchmesser von 10 mm haben, bei Bandstahl müssen die Abmessungen mindestens 30 mm x 3,5 mm betragen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass dieses Material mit mindestens 5 cm Beton zu überdecken ist (Korrosionsschutz). Zudem ist eine Verbindung zwischen Fundamenterder und Haupterdungsschiene (HES) in der WEA herzustellen. Anschlüsse sind korrosionfest über Erdungsfestpunkte oder Anschlussfahnen aus NIRO (V4A) herzustellen. Ebenso ist ein Ringerder aus NIRO (V4A) im Erdreich zu verlegen.

Maßnahmen des inneren Blitzschutzes

- Erdungs- und Potentialausgleichsmaßnahmen
- räumliche Schirmung und Trennungsabstand
- Leitungsführung und Leitungsschirmung
- Installation von koordinierten Überspannungsschutzgeräten.

Schutz der Leitungen am Übergang von Blitzschutzzone LPZ 0_A auf LPZ 1 und höher

Für den sicheren Betrieb der elektrischen und elektronischen Geräte ist neben der Schirmung gegen feldgebundene Störgrößen auch der Schutz gegen leitungsgebundene Störgrößen an den Schnittstellen der Blitzschutzzonen (LPZ) zu realisieren (**Bild 9.16.4 und 9.16.5**). Am Übergang LPZ 0_A auf LPZ 1 (klassisch auch als Blitzschutz-Potentialausgleich bezeichnet) müssen Schutzgeräte eingesetzt werden, die in der Lage sind, erhebliche Blitzteilströme zerstörungsfrei abzuleiten. Diese Schutzgeräte werden als Blitzstrom-Ableiter SPD Typ 1 bezeichnet und mit Stoßströmen der Wellenform 10/350 µs geprüft. Am Übergang LPZ 0_B auf LPZ 1 und LPZ 1 und höher sind energieschwache Stoßstromimpulse als Folge von außen induzierten Spannungen oder im System selbst erzeugten Überspannungen zu beherrschen. Diese Schutzgeräte werden als Überspannungs-Ableiter SPD Typ 2 bezeichnet und mit Stoßströmen der Wellenform 8/20 µs geprüft.
Nach dem Blitzschutzzonen-Konzept sind an der Schnittstelle zwischen LPZ 0_A und LPZ 1 oder zwischen LPZ 0_A und LPZ 2 ausnahmslos alle von außen kommenden Kabel und Leitungen mit Blitzstrom-Ableitern SPD Typ 1 in den Blitzschutz-Potentialausgleich einzubeziehen. Bei jeder weiteren Zonenschnittstelle innerhalb des zu schützenden Volumens ist ein zusätzlicher örtlicher Potentialausgleich einzurichten, in den alle Kabel und Leitungen, die diese Schnittstelle durchdringen, einbezogen werden müssen. Beim Übergang von LPZ 0_B auf LPZ 1 und beim Übergang von LPZ 1 auf LPZ 2 sind Überspannungs-Ableiter SPD Typ 2 zu installieren. Beim Übergang von LPZ 2 auf LPZ 3 sind Überspannungs-Ableiter SPD Typ 3 zu installieren. Aufgabe der Überspannungs-Ableiter SPD Typ 2 und Typ 3 ist es, sowohl die Restgröße der vorgelagerten Schutzstufen weiter zu reduzieren als auch die in die WEA induzierten oder dort selbst erzeugten Überspannungen zu begrenzen.

Auswahl von SPDs anhand des Schutzpegels (U_p) und der Störfestigkeit der Betriebsmittel

Zur Beschreibung des geforderten Schutzpegels U_p in einer LPZ ist es erforderlich, die Störfestigkeitspegel der Betriebsmittel innerhalb einer LPZ festzulegen, z. B. für Netzleitungen und Anschlüsse von Betriebsmitteln nach IEC 61000-4-5 und IEC 60664-1, für Telekommunikationsleitungen und Anschlüsse von Betriebsmitteln nach IEC 61000-4-5, ITU-T K.20 und ITU-T K.21 sowie für andere Leitungen und Anschlüsse von Betriebsmitteln nach den vom Hersteller angegebenen Informationen. Hersteller von elektrischen und elektronischen Baugruppen oder Geräten sollten in der Lage sein, die benötigten Informationen über den Störfestigkeitspegel nach den EMV-Normen zu liefern. Ansonsten sollte der WEA-Hersteller Prüfungen zur Festlegung des Störfestigkeitspegels durchführen. Der festgelegte Störfestigkeitspegel von Bauteilen in einer LPZ definiert unmittelbar den erforderlichen Schutzpegel, der an den LPZ-Grenzen erzielt werden muss. Die Störfestigkeit eines Systems muss, falls zutreffend, mit allen installierten SPDs und mit den zu schützenden Betriebsmitteln nachgewiesen werden.

Schutz der Energietechnik

Der Trafo der WEA kann an unterschiedlichen Orten untergebracht werden (im separaten Schalthaus, im Turmfuß, im Turm, in der Gondel). Bei sehr großen WEA beispielsweise wird das ungeschirmte 20 kV-Kabel in den Turmfuß auf die Mittelspannungsschaltanlage geführt, bestehend aus einem Vakuum-Leistungsschalter, einem mechanisch verriegelten Sammelschienentrennschalter, einem Abgangserdungsschalter und

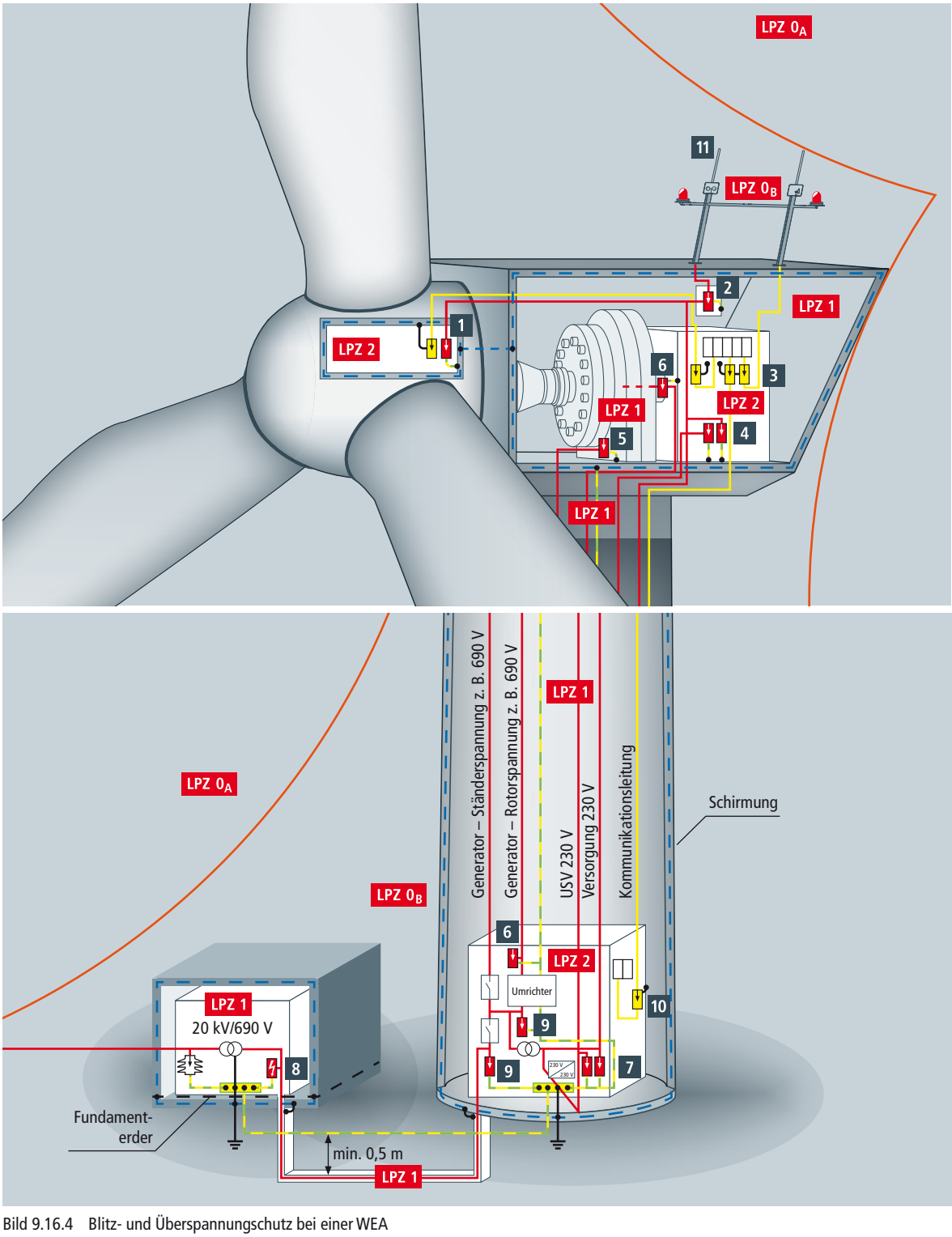


Bild 9.16.4 Blitz- und Überspannungschutz bei einer WEA

Nr. in 9.16.4	Zu schützender Bereich	Schutzgerät	Art.-Nr.
1	Spannungsversorgung Nabe Signalleitungen Gondel – Nabe	DEHNguard TN 275 FM BLITZDUCTOR XT BE 24 * DENHpatch DPA M CAT6 RJ45S48	952 205 920 324 929 121
2	Schutz der Flugbefeuerung	DEHNguard M TN 275 FM	952 205
3	Signalleitung Wetterstation	BLITZDUCTOR XT ML4 BE 24 * BLITZDUCTOR XT ML2 BE S 24 *	920 324 920 224
4	Steuerschrank in der Gondel Spannungsversorgung 230/400 V	DEHNguard M TNC 275 FM DEHNguard M TNC CI 275 FM	952 305 952 309
5	Schutz der Statorseite	DEHNguard M WE 600 FM	952 307
6	Schutz des Rotors	Neptun-Ableiterkombination: 3+1 (DG 1000 FM 3x, TFS SN1638 1x)	989 405/ SN 1673
7	Spannungsversorgung des Steuerschranks im Turmfuß, 230/400 V TN-C System	DEHNguard M TNC 275 FM DEHNguard M TNC CI 275 FM	952 305 952 309
8	Haupteinspeisung 400/690 V TN-System	3x DEHNbloc M 1 440 FM	961 145
9	Schutz des Umrichters	DEHNguard M WE 600 FM	952 307
10	Schutz der Signalleitungen im Steuerschrank Turmfuß	BLITZDUCTOR XT ML4 BE 24 * BLITZDUCTOR XT ML2 BE S 24 *	920 324 920 224
11	Schutz der Gondelaufbauten	Fangstangen Bandrohrschelle für Fangstangen	103 449 540 105

Tabelle 9.16.1 Schutz einer WEA (Blitzschutzzonen-Konzept nach **Bild 9.16.4**)

* zugehöriges Basisteil BXT BAS, Art.-Nr. 920 300

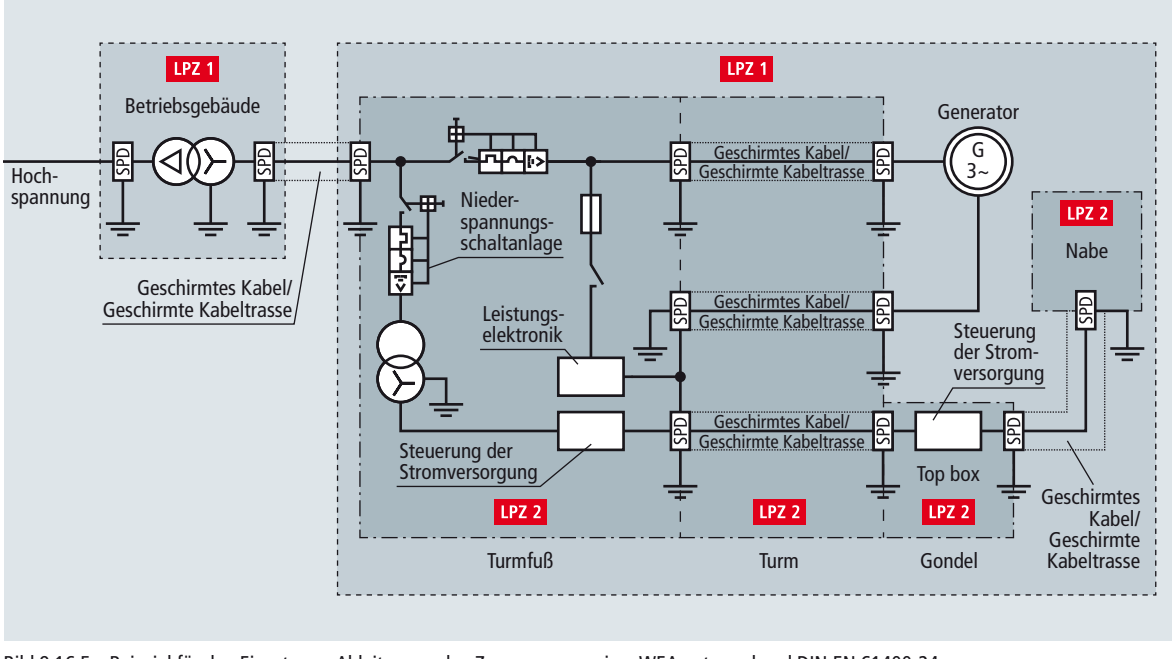


Bild 9.16.5 Beispiel für den Einsatz von Ableitern an den Zonengrenzen einer WEA entsprechend DIN EN 61400-24

Bild 9.16.6 Modularer Überspannungs-Ableiter Typ 2 zum Schutz der 230/400 V-Versorgung

Bild 9.16.8 Schutz der Rotorwicklung des Generators (Neptun-Schaltung)

Bild 9.16.7 Koordinierter Überspannungs-Ableiter Typ 1

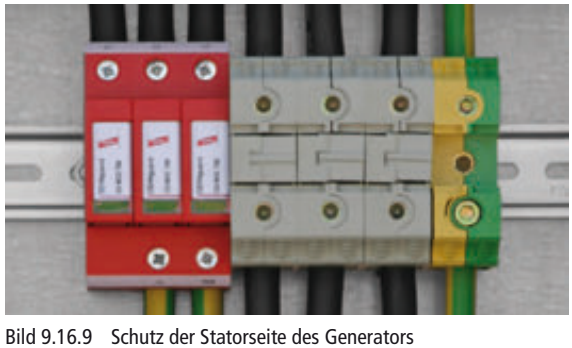


Bild 9.16.9 Schutz der Statorseite des Generators

einem Schutzrelais. Die Mittelspannungskabel verlaufen dann von der Mittelspannungsschaltanlage im Turm der WEA zum Trafo, der sich in der Gondel befindet. Der Transformator versorgt den Steuerschrank im Turmfuß, den Schaltschrank in der Gondel und das Pitch-System in der Nabe mit Hilfe eines TN-C-Systems (L1, L2, L3, PEN-Leiter). Vom Schaltschrank in der Gondel werden die elektrisch betriebenen Einrichtungen in der Gondel mit einer Wechselspannung von 230/400 V versorgt.

Laut IEC 60364-4-44 (VDE 0100-443) müssen alle in der WEA installierten elektrischen Betriebsmittel eine festgelegte Bemessungs-Stehstoßspannung, entsprechend der Nennspannung der Anlage, aufweisen (s. DIN EN 60664-1, Tabelle 1 Isolationskoordination). Daraus ergibt sich, dass die zu installierenden Überspannungs-Ableiter, wiederum entsprechend der Nennspannung der Anlage, mindestens den aufgeführten Schutzpegel aufweisen müssen. Die Überspannungs-Ableiter, die zum Schutz der 400/690 V-Versorgung eingesetzt werden, müssen mindestens einen Schutzpegel von $U_p \leq 2{,}5$ kV und die für die 230/400 V-Versorgung einen Schutzpegel von $U_p \leq 1{,}5$ kV zum Schutz für empfindliche elektrische / elektronische Betriebsmittel besitzen. Um diese Forderung zu erfüllen, sind Schutzgeräte für die 400/690 V-Versorgung zu installieren, die in der Lage sind, den Blitzstrom der Wellenform 10/350 µs zerstörungsfrei zu führen und einen Schutzpegel von $U_p \leq 2{,}5$ kV sicherzustellen.

230/400 V-Versorgung

Die Spannungsversorgung des Steuerschranks im Turmfuß, des Schaltschranks in der Gondel und des Pitch-Systems in der Nabe mit einem 230/400 V TN-C-System, sollte mit Überspannungs-Ableitern SPD Typ 2, z. B. DEHNguard M TNC 275 FM, geschützt werden (**Bild 9.16.6**).

Schutz der Flugbefeuerung

Die Flugbefeuerung, die sich auf dem Sensormast in der Blitzschutzzone 0_B (LPZ 0_B) befindet, sollte an den jeweiligen Zonenübergängen (LPZ $0_B \rightarrow 1$, LPZ $1 \rightarrow 2$) ebenfalls mit einem Überspannungs-Ableiter SPD Typ 2 geschützt werden (**Tabelle 9.16.1**).

400/690 V-Versorgung

Zum Schutz des Trafo 400/690 V, der Umrichter, Netzfilter und der Messeinrichtung sind koordinierte, einpolige Blitzstrom-

Ableiter mit hoher Folgestrombegrenzung für 400/690 V-Systeme, z. B. DEHNbloc M 1 440 FM (**Bild 9.16.7**), einzusetzen.

Schutz der Generatorleitungen

Für den Schutz der Rotorwicklung des Generators und der Zuleitung zum Umrichter sind unter Berücksichtigung hoher Spannungstoleranzen Überspannungs-Ableiter SPD Typ 2 („Neptun"-Ableiterkombination: 3+1, s. **Bild 9.16.8**) für Nennspannungen bis zu 1000 V zu installieren. Ein zusätzlicher Funkenstreckenableiter mit einer Bemessungs-Stehwechselspannung von $U_{N/AC}$ = 2,2 kV (50 Hz) dient zur Potentialtrennung und vermeidet ein vorzeitiges Ansprechen der Varistorableiter durch betriebsbedingte Spannungsschwankungen im Umrichterbetrieb. Die Statorseite des Generators wird beidseitig mit je einem 3-poligen, modularen Überspannungs-Ableiter SPD Typ 2 DEHNguard M WE 600 FM, mit erhöhter Varistor-Bemessungsspannung für 690 V-Systeme beschaltet. (**Bild 9.16.9**).

Der DEHNguard M WE 600 FM ist ein 3-poliger, modularer Überspannungs-Ableiter SPD Typ 2, der speziell für Windenergieanlagen entwickelt worden ist. Die Varistor-Bemessungsspannung U_{mov} beträgt 750 V AC. Dadurch werden Spannungsschwankungen, die im Betrieb auftreten können, berücksichtigt.

Überspannungs-Ableiter der Informationstechnik

Überspannungs-Ableiter zum Schutz von elektronischen Einrichtungen in telekommunikations- und signalverarbeitenden Netzwerken vor indirekten und direkten Auswirkungen von Blitzeinschlägen und anderen transienten Überspannungen werden nach IEC 61643-21 und DIN EN 61643-21 (VDE 0845-3-1) beschrieben und nach dem Blitzschutzzonen-Konzept an den Zonengrenzen installiert (**Bild 9.16.4, Tabelle 9.16.1**). Ableiter, die aus mehreren Stufen bestehen, müssen frei von Blind-Spots ausgelegt werden, d. h., es ist sicherzustellen, dass die verschiedenen Schutzstufen zueinander koordiniert sind. Andernfalls werden Schutzstufen nur teilweise ansprechen und zu Fehlern im Schutzgerät führen. Häufig erfolgt die Einspeisung informationstechnischer Leitungen in die WEA und die Verbindung der Steuerschränke vom Turmfuß zur Gondel durch Glasfaserkabel. Die Verkabelung der Aktoren und Sensoren von den Steuerschränken aus erfolgt hingegen mittels geschirmter Kupferleitungen. Die Glasfaserkabel brauchen nicht mit Überspannungs-Ableitern beschaltet werden, da eine Beeinträchtigung durch eine elektromagnetische Umgebung nicht auftreten kann, es sei denn, das Glasfaserkabel hat eine metallene Umhüllung, die dann direkt oder über Überspannungsschutzgeräte in den Potentialausgleich einbezogen werden muss.

Im Allgemeinen sind folgende geschirmte Signalleitungen zu beschalten, die Aktoren und Sensoren mit den Steuerschränken verbinden:

Bild 9.16.10 Schutz einer Windmesseinrichtung (Anemometer)

- Signalleitungen der Wetterstation auf dem Sensormast
- Signalleitungen, die zwischen der Gondel und dem Pitchsystem in der Nabe verlaufen
- Signalleitungen für das Pitchsystem.

Signalleitungen der Wetterstation

Die Signalleitungen (4–20 mA-Schnittstellen), die von den Sensoren der Wetterstation in den Schaltschrank führen, kommen aus der LPZ 0_B und laufen in die LPZ 2 und können mit dem Kombi-Ableiter BLITZDUCTOR XT ML4 BE 24 oder dem Kombi-Ableiter BLITZDUCTOR XT ML2 BE S 24 geschützt werden (**Bild 9.16.10**). Diese Ableiter sind platzsparende Kombi-Ableiter mit LifeCheck zum Schutz von 4 und 2 Einzeladern mit gemeinsamem Bezugspotential sowie unsymmetrischen Schnittstellen und wahlweise direkter oder indirekter Schirmerdung. Die Schirmerdung erfolgt mittels Schirmanschlussklemmen mit nachsetzendem Federelement für die dauerhafte und niederimpedante Schirmkontaktierung der geschützten und ungeschützten Seite des Ableiters.

Wenn die Windmesseinrichtungen (Anemometer) mit einer Heizung ausgestattet werden, kann der BLITZDUCTOR BVT ALD 36 als Schutzelement hierfür eingesetzt werden. Der BVT ALD ist ein energetisch koordinierter Kombi-Ableiter zum Schutz von erdfreien DC-Versorgungen für die Hutschienenmontage (**Bild 9.16.10**).

Signalleitungen für das Pitchsystem

Erfolgt der Informationsaustausch zwischen Gondel und Pitchsystem über 100 MB-Ethernet-Datenleitungen kann der universelle Überspannungs-Ableiter DEHNpatch DPA M CLE RJ45B 48 genutzt werden. Dieser ist einsetzbar für Industrial Ethernet und ähnliche Anwendungen in strukturierten Verkabelungen

Bild 9.16.11 Beispiel für den Schutz in einem Pitchsystem

Bild 9.16.12 Kundenspezifische Prüfung im Stoßstromlabor

nach Klasse E bis 250 MHz für alle Datendienste bis 48 V DC zum Schutz von 4 Adernpaaren (**Bild 9.16.11**).
Einsetzbar für den Schutz der 100 MB Ethernet-Datenleitungen ist auch der Ableiter DEHNpatch DPA M CAT6 RJ45S48. Bei diesem Schutzgerät handelt es sich um ein anschlussfertiges Standard-Patchkabel mit integriertem Überspannungs-Ableiter.
Die Beschaltung der Signalleitungen für das Pitchsystem ist abhängig von den eingesetzten Sensoren, die je nach Hersteller unterschiedliche Parameter aufweisen können. Werden zum Beispiel Sensoren verwendet, die mit 24 V DC oder kleineren Spannungen versorgt werden, so kann zum Schutz dieser Signalleitungen der Überspannungs-Ableiter BLITZDUCTOR BXT ML4 BE 24 verwendet werden. Er ist einsetzbar nach dem Blitzschutzzonen-Konzept an den Schnittstellen LPZ 0_A auf LPZ 2 und höher.

Condition Monitoring

Das Thema Anlagenverfügbarkeit bei WEA wird, speziell bei Offshore-Anlagen, immer bedeutender. Wichtig dabei ist die Zustandsüberwachung (Condition Monitoring) der Blitzstrom- und Überspannungs-Ableiter auf Vorbelastung.
Durch den gezielten Einsatz von Condition Monitoring können die Serviceeinsätze gezielt geplant und somit Kosten eingespart werden.
DEHN bietet bei den Ableitern BLITZDUCTOR für informationstechnische Systeme den integrierten LifeCheck – ein einfaches und ideales System zur Überwachung der Ableiter – um Vorbelastungen frühzeitig zu erkennen und den Austausch dieser Ableiter im nächsten Serviceintervall miteinzuplanen. LifeCheck überwacht ständig den ordnungsgemäßen Zustand des Ableiters. Gleich einem Frühwarnsystem erkennt LifeCheck eine drohende elektrische oder thermische Überlastung der Schutzkomponenten. Der LifeCheck-Status lässt sich in berührungsloser RFID-Technik auslesen. Stationär installiert, unterstützt eine Condition Monitoring-Einheit die zustandsorientierte Wartung von 10 Ableitern vom Typ BLITZDUCTOR. Zwei Systeme stehen zur Auswahl:

1. DRC MCM XT (**Bild 9.16.11**) – Multiple Condition Monitoring System, ein kompaktes Tragschienengerät zur zustandsorientierten Überwachung:
   - ➡ Zustandsorientierte Überwachung von Ableitern mit LifeCheck
   - ➡ Kaskadierbar überwacht das System bis zu 150 Ableiter (600 Signaladern) permanent
   - ➡ Minimaler Verdrahtungsaufwand
   - ➡ Fernsignalisierung über RS485 oder FM-Kontakte (1 Öffner- und 1 Schließer-Kontakt).
2. DRC SCM XT – Single Condition Monitoring Einheit. Dieses Gerät ist ideal geeignet für kleinere Anlagen mit maximal zehn Ableitern:
   - ➡ Zustandsorientierte Überwachung von Ableitern mit LifeCheck
   - ➡ Überwacht bis zu 10 Ableiter (40 Signaladern) permanent
   - ➡ Minimaler Verdrahtungsaufwand
   - ➡ Fernsignalisierung über FM-Kontakt (1 Öffner-Kontakt).

Laborprüfungen nach DIN EN 61400-24

Die DIN EN 61400-24 beschreibt für WEA zwei grundlegende Prüfverfahren zur Störfestigkeitsprüfung auf Systemebene:

- ➡ Bei Stoßstromtests unter Betriebsbedingungen werden in die einzelnen Leitungen eines Steuerungssystems bei anliegender Netzspannung Impulsströme oder Blitzteilströme

eingekoppelt. Dabei werden die zu schützenden Betriebsmittel inklusive aller SPDs einer Stoßstromprüfung unterzogen.

- Die zweite Prüfprozedur beschreibt ein Verfahren zur Nachbildung der elektromagnetischen Auswirkungen des LEMP. Dabei wird der volle Blitzstrom in die Struktur eingekoppelt, die den Blitzstrom ableitet und das Verhalten des elektrischen Systems mit einer möglichst realen Nachbildung der Verkabelung unter Betriebsbedingungen untersucht. Der entscheidende Prüfparameter ist die Blitzstromsteilheit.

Herstellern von Windenergieanlagen bietet DEHN Engineering und Prüfleistungen (**Bild 9.16.12**) an, wie z. B.:

- Blitzstromtests an Lagern und Getrieben des mechanischen Antriebstranges
- Hochstromtests an den Rezeptoren und Ableitungen von Rotorblättern
- Störfestigkeitsprüfungen auf Systemebene von wichtigen Steuersystemen, wie beispielsweise von Pitch-Systemen, Windsensoren oder der Flugbefeuerung
- Test kundenspezifischer Anschlusseinheiten.

Solche Systemtests sollten entsprechend DIN EN 61400-24 für wichtige Steuersysteme durchgeführt werden.

Schutz von Mobilfunk-systemen (4G / LTE)

Mit der kommerziellen Einführung der UMTS-Technologie im Jahr 2003 setzte sich neben der Sprachkommunikation auch die mobile Datenkommunikation durch. Die globale Nachfrage nach mehr Bandbreite ist u. a. dem steigenden Bedarf an Datenvolumina geschuldet.
Die zunehmende Nutzung von Smartphones und anderen mobilen Endgeräten führt zu einer wesentlich höheren Auslastung der bestehenden und konventionell aufgebauten Mobilfunknetze.
Problematisch für Mobilfunkbetreiber, die auf moderne, innovative Technik setzen, sind zum einen die hohen Investitionskosten in neue Netzwerkinfrastrukturen und Systemtechnik sowie zum anderen hohe Wartungs- und Betriebskosten für bestehende Mobilfunkanlagen. Folglich ist es ihr Ziel, Service- und Betriebskosten effizient zu senken und zudem der wachsenden Gruppe der Mobilfunkanwender eine deutlich höhere Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit zu bieten.
Mobilfunkbetreiber und Systemtechnik-Hersteller verwenden weltweit immer mehr die Remote Radio Head / Unit-Technologie für UMTS (3G) und LTE (4G). Remote Radio Head / Unit (RRH / RRU) ist eine Weiterentwicklung der dritten Mobilfunkgeneration.
Nicht nur bei kommerziell genutzten Mobilfunkanwendungen kommt die Remote Radio Head-Technologie zum Einsatz. Auch in Anlagen des digitalen Behördenfunks (BOS), z. B. bei Polizei und Rettungsdiensten, wird diese Technologie verwendet, haben doch gerade dort hohe Ausfallsicherheit und Anlagenverfügbarkeit oberste Priorität.

Konventioneller Aufbau von Mobilfunkanlagen

Konventionell aufgebaute Mobilfunkanlagen verwenden Koaxialkabel, sogenannte Wellmantel-Kabel. Nachteile dieser Technologie sind die erheblichen Verluste bei der Sendeleistung (bis zu 50 %), abhängig von der Leitungslänge und den Kabelquerschnitten der Hochfrequenzkabel. Negativ wirkt sich zudem aus, dass die komplette Funkübertragungstechnik in der Basisstation / Radio Base Station (RBS) integriert ist, was eine stetige Kühlung der Technikräume erfordert und einen erhöhten Energieverbrauch sowie hohe Unterhaltskosten nach sich zieht (**Bild 9.17.1**).

Aufbau mit Remote Radio Heads / Units

Remote Radio Heads / Units beinhalten die ausgelagerte Hochfrequenztechnik, die ursprünglich zentral in der Basisstation integriert war. Das HF-Signal wird direkt an der Antenne erzeugt und übertragen. Die RRHs / RRUs werden unmittelbar an den Antennen montiert und stellen somit weniger Verluste und eine höhere Übertragungsgeschwindigkeit sicher. Ein weiterer Vorteil ist die Reduzierung der Klimatechnik aufgrund der Eigenkühlung der abgesetzten HF-Köpfe. Die Datenübertragung zwischen Basisstation / Radio Base Station und Remote Radio Heads / Units ist bis zu 20 km über Lichtwellenleiter möglich. Durch die Auslagerung der Systemtechnik und den Einsatz moderner, kleiner Basisstationen werden einerseits Energiekosten eingespart, andererseits werden durch die Reduzierung von Technikräumen auch Einsparungen bei Miet- und Standortkosten erreicht (**Bild 9.17.1**).

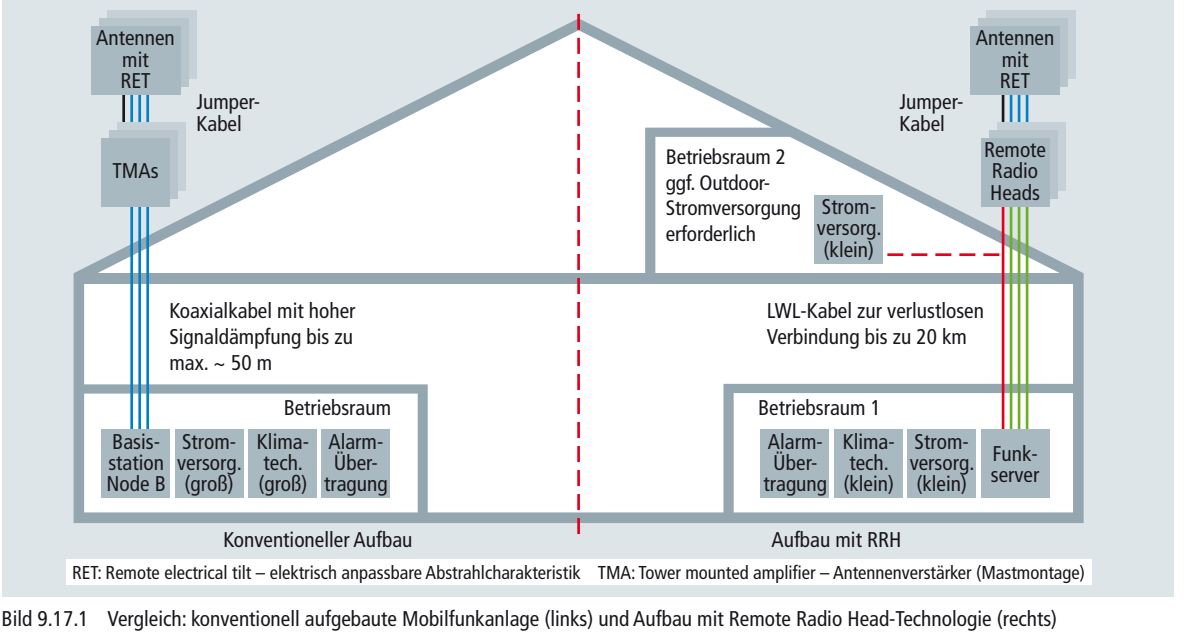


Bild 9.17.1 Vergleich: konventionell aufgebaute Mobilfunkanlage (links) und Aufbau mit Remote Radio Head-Technologie (rechts)

Äußerer Blitzschutz

Die Antennen der oben genannten Anlagen werden vielfach auf gemieteten Dachflächen errichtet. Zwischen dem Betreiber der Antennen und dem Eigentümer der baulichen Anlage besteht in der Regel die Vereinbarung, dass durch die Errichtung der Antennen die bauliche Anlage nicht zusätzlich gefährdet werden darf. In Bezug auf den Blitzschutz bedeutet dies, dass bei einem Blitzeinschlag in die Tragwerkskonstruktion kein Blitzteilstrom in die bauliche Anlage gelangen darf. Ein Blitzteilstrom im Inneren der baulichen Anlage würde die elektrischen und elektronischen Einrichtungen gefährden.

Die **Bilder 9.17.2 und 9.17.3** zeigen Antennentragwerkskonstruktionen mit getrennter Fangeinrichtung.

Die Fangspitze muss isoliert durch ein Stützrohr aus nicht leitendem Werkstoff an der Antennentragwerkskonstruktion befestigt werden. Die Höhe der Fangspitze richtet sich nach der Tragwerkskonstruktion, eventuell vorhandenen elektrischen Einrichtungen der Antennenanlage und der Basisstation (RBS), um diese im Schutzbereich der Fangeinrichtung vor Blitzeinschlägen zu schützen. Bei baulichen Anlagen mit mehreren Antennensystemen sind mehrfach getrennte Fangeinrichtungen zu installieren.

Aufbau von Basisstationen (RBS) mit Kombi-Ableiter DEHNvap CSP

Die Energieversorgung der RBS ist als separate, von der Energieversorgung des Gebäudes unabhängige Versorgungsleitung auszuführen. Für Mobilfunkanlagen ist eine eigener, separater Elektro-Unterverteiler / Etagenverteiler vorzusehen. Jede Unterverteilung wird standardmäßig mit Blitz- und Überspannungs-Schutzkomponenten (Kombi-Ableiter; SPD Typ 1) ausgerüstet. Zusätzlich wird im Nachzählerbereich, d. h. hinter den Zählerabgangssicherungen, ein Kombi-Ableiter (SPD Typ 1) installiert. Aus Gründen der energetischen Koordination sind an beiden Installationsstandorten Überspannungsschutzgeräte (SPD – Surge Protective Device) eines Herstellers einzusetzen. Umfassende Labortests bei DEHN mit Stromversorgungen unterschiedlicher Hersteller belegen die Notwendigkeit der Koordination von Kombi-Ableitern, wie DEHNvap CSP (CSP = Cell Site Protection), mit integrierten PSU-Eingangsbeschaltungen. Zum Schutz der Stromversorgung (Power Supply Unit, PSU) einer Basisstation werden kombinierte Blitzstrom- und Überspannungs-Ableiter auf Funkenstreckenbasis vom Typ DEHNvap CSP 3P 100 FM installiert. Dieses SPD Typ 1 ist speziell für die Belange des Schutzes von Stromversorgungen in Funksende- / Funkempfangssystemen konzipiert.

Auf das Qualitätsmerkmal „Ausschaltselektivität" zu vorgelagerten Sicherungen ist beim Einsatz von kombinierten Blitzstrom- und Überspannung-Schutzeinrichtungen oder auch Kombi-Ableitern besonders zu achten. Nur durch ein ausreichendes Folgestromlösch- und Folgestrombegrenzungsvermögen ist es möglich, ein Fehlauslösen von Anlagensicherungen und somit das Abschalten der Energieversorgung zu vermeiden.

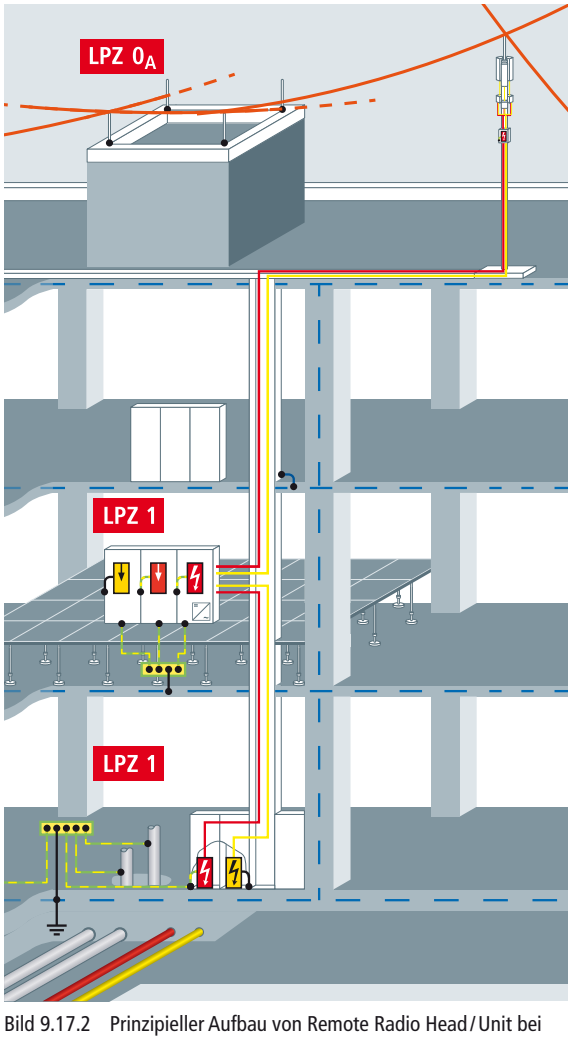


Bild 9.17.2 Prinzipieller Aufbau von Remote Radio Head / Unit bei Aufdachanlagen

Aufbau von Remote Radio Head / Unit-Anwendungen

Eine Mobilfunkanlage besteht aus:

- Basisstation / Radio Base Station als Indoor- oder Outdoor-Cabinet
- Baseband Unit / Radio Server
- Remote Radio Heads / Units (RRHs / RRUs).

Für den Betrieb der Remote Radio Heads / Units (aktive Systemtechnik) wird eine separate Spannungsversorgung 48 V DC aus dem Betriebsraum benötigt. Im Regelfall werden ge-

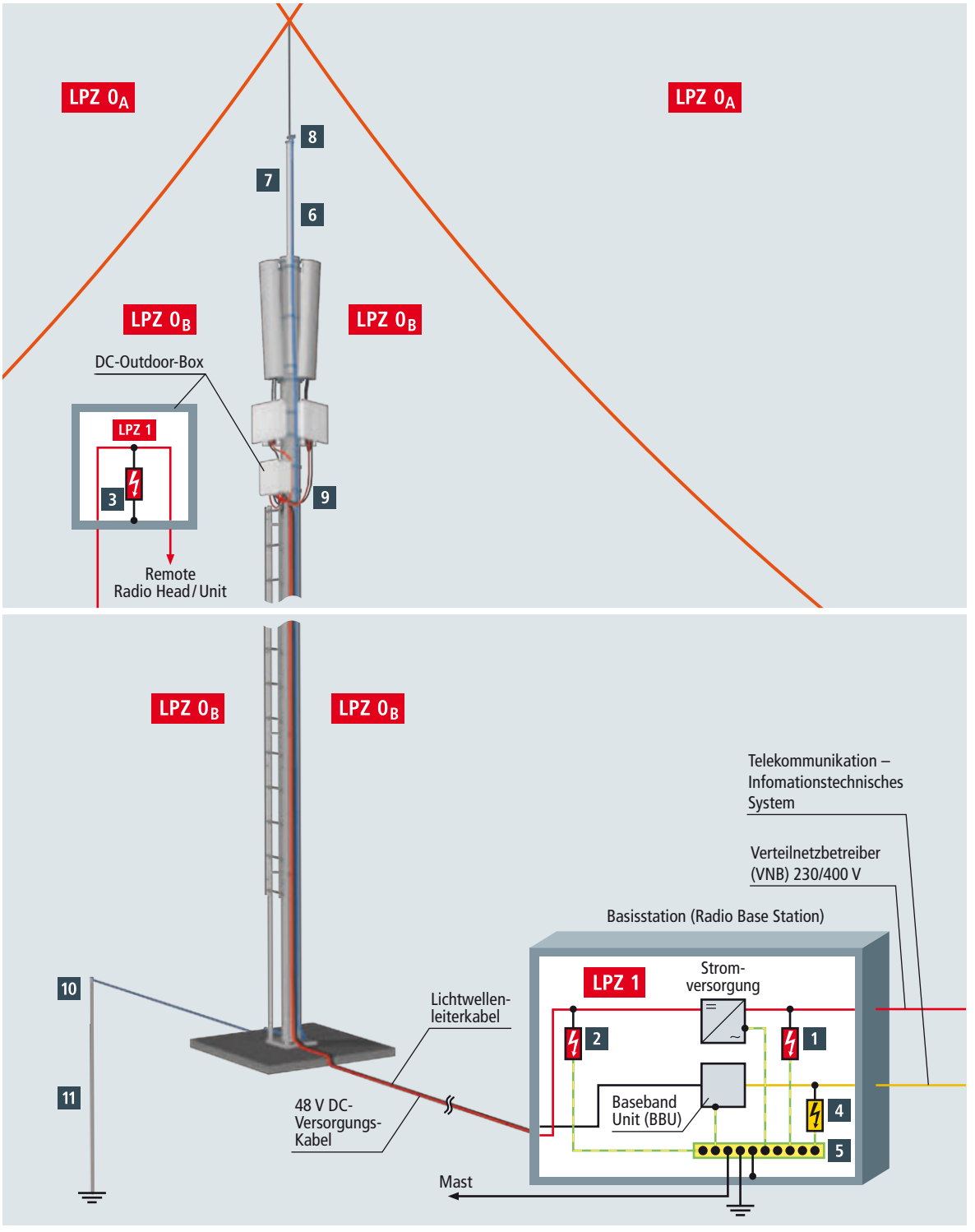


Bild 9.17.3 Remote Radio Head / Unit und Basisstation (RPS) bei Maststandorten

Nr. in 9.17.3	Schutz	Typ	Art.-Nr.
AC-Stromversorgung			
1	Basisstation 230/400 V AC	DEHNvap CSP 3P 100 FM	900 360
DC-Stromversorgung			
2	Stromversorgung 48 V DC	DEHNsecure DSE M 1 60 FM	971 126
3	Remote Radio Head 48 V DC	DEHNsecure DSE M 2P 60 FM	971 226
Festnetz-Anbindung			
4	Telekommunikationsleitungen	BLITZDUCTOR XT BXT ML4 B 180 + Basisteil BXT BAS	920 310 920 300
Äußerer Blitzschutz			
5	Maststandorte / Aufdachanlagen	Potentialausgleichsschiene, 10 Anschlüsse	472 219
6	Maststandorte / Aufdachanlagen	HVI-Leitung III	819 025
7	Maststandorte / Aufdachanlagen	Stützrohr GFK/Al	105 306
8	Maststandorte / Aufdachanlagen	Anschlussplatte	301 339
9	Maststandorte / Aufdachanlagen	Antennnen-Bandrohrschelle	540 100
10	Maststandorte	Anschlussschelle NIRO	620 915
11	Maststandorte	Tiefenerder NIRO	620 902

Tabelle 9.17.1 Blitz- und Überspannungsschutz für Mobilfunkanlagen

schirmte Mehrleiter-Kupferkabel mit 6 – 16 mm² Anschlussquerschnitt eingesetzt. Die Verlegung dieser DC-Kabel erfolgt meist außerhalb des Gebäudes bis zur Dachfläche und zu den RRHs / RRUs oder von der Basisstation zum Mast. Die Datenkommunikation zwischen RRHs / RRUs und der Systemtechnik wird, anstelle der bisher eingesetzten Wellmantelkabel, über vorkonfektionierte Glasfaserkabel realisiert. Bei beiden Installationsformen sind die DC-Versorgungskabel sowie die Systemtechnik im Falle eines Direkteinschlages Blitzströmen ausgesetzt.

Blitz- und Überspannungsschutzgeräte müssen daher in der Lage sein, Blitzströme sicher zum Erdungssystem zu führen. Aus diesem Grund kommen Blitzstrom-Ableiter SPD Typ 1 nach DIN EN 61643-11 (Class I, IEC 61643-1/-11) zum Einsatz. Nur SPD Typ 1 mit Funkenstrecken-Technologie ermöglichen eine sichere energetische Koordination zu nachgeschalteten Eingangs-Schutzbeschaltungen von Endgeräten. Durch den Einsatz von Funkenstrecken für den Schutz von Basisstationen, Stromversorgungen und Remote Radio Heads / Units werden Blitzströme von der Systemtechnik ferngehalten. Sie bieten somit den größtmöglichen Anlagenschutz und stellen die Verfügbarkeit der Station auch bei Blitzbeeinflussung sicher (**Bild 9.17.2 und 3**).

Kundenspezifische Lösungen für Remote Radio Head / Unit 48 V DC (SPD Typ 1)

DC-Ableiter: Modularer Blitzstrom-Ableiter SPD Typ 1, DEHNsecure 60 ... (FM)

Die DC-Versorgung der RRHs / RRUs erfolgt zentral aus dem Betriebsraum. Das geschirmte Versorgungskabel ist normativ in die Antennenerdung nach DIN VDE 0855-300 und bei vorhandener Gebäudeblitzschutzanlage nach DIN EN 62305 Teil 3 einzubinden.

In der DC-Indoor-Box nahe der Stromversorgung im Technikraum und in der DC-Outdoor-Box am Antennenmast werden eigens für die RRH- / RRU-Anwendung entwickelte Typ 1-Ableiter für DC mit tiefem Schutzpegel eingesetzt. In der DC-Box am Mast ist eine „1+1"-Schaltung realisiert. D. h., der +Pol und Kabelschirm sind zur Vermeidung von Korrosions- und Streuströmen über eine sogenannte Summenfunkenstrecke indirekt miteinander verbunden. In der Stromversorgung ist der +Pol direkt geerdet. Dort kommen im Regelfall einpolige Typ 1-Ableiter für DC zum Einsatz.

Vorverdrahtete DC-Schaltgerätekombinationen (DC-Box) für Indoor- und Outdoor-Installationen mit Blitzstrom-Ableiter SPD Typ 1 für DC DEHNsecure DSE M 1 60 FM und

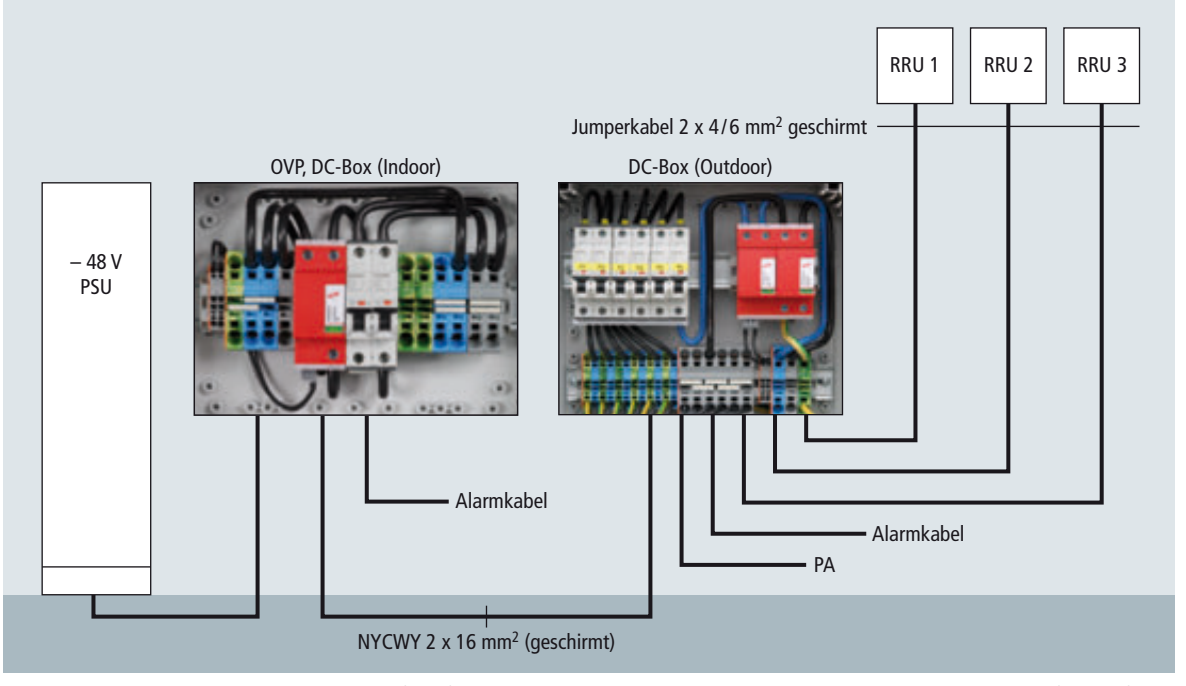


Bild 9.17.4 Schaltbild von Remote Radio Heads (RRHs) bei räumlich getrennten Funktionspotentialausgleichsebenen mit DC-Box (Outdoor) und DEHNsecure DSE M 2P 60 FM sowie OVP-Box (Indoor) und DEHNsecure DSE M 1 60 FM

DSE M 2P 60 FM (SPD Typ 1) stellen einen wirksamen Anlagenschutz sicher. Der Schutzpegel U_p der Blitzstrom-Ableiter SPD Typ 1 muss niedriger sein als die Spannungsfestigkeit der Systemtechnik.
Vorteile des neuen DC-Schutzgerätekonzeptes sind zum einen eine ausreichend hohe Reserve bei Nennlastströmen bis 2000 A für zukünftige Erweiterungen des Standortes, kein Auftreten von Netzfolgeströmen bis max. 60 V DC, Leckstromfreiheit und zum anderen eine hervorragende Schutzwirkung für das Endgerät aufgrund der niedrigen Restspannung von ≤ 0,4 kV bei 5 kA (Schutzpegel 1,5 kV (10/350 µs)).
Bild 9.17.4 zeigt das Schutzkonzept für eine RRH-/RRU-Anwendung bei räumlich getrennten Funktionspotentialausgleichsebenen.

Kombi-Ableiter SPD Typ 1 für RRH-/RRU-Installationen

Bild 9.17.5 verdeutlicht beispielhaft eine kundenspezifische Schaltgerätekombination als Systemlösung mit einem Ableiter SPD Typ 1 nach IEC 61643-1/-11 auf Funkenstreckenbasis.
Bei einem max. Ableitvermögen von 12,5 kA pro Pol (10/350 µs) und einem Schutzpegel U_p von 1,5 kV bietet der platzsparende DEHNshield mit nur 2 Teilungseinheiten (2 TE) Endgeräteschutz. Mit einer solchen Schaltgerätekombination können bis zu 6 RRHs/RRUs mit 48 V DC (max. 60 V und max.

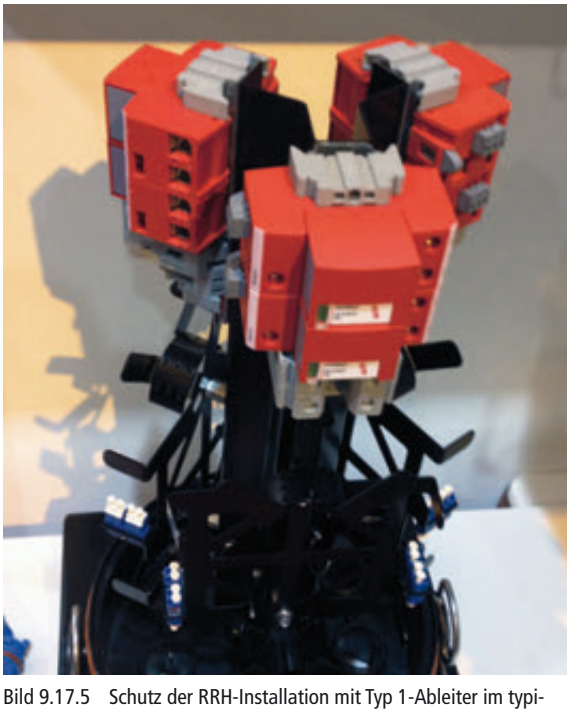


Bild 9.17.5 Schutz der RRH-Installation mit Typ 1-Ableiter im typischen Installationsumfeld

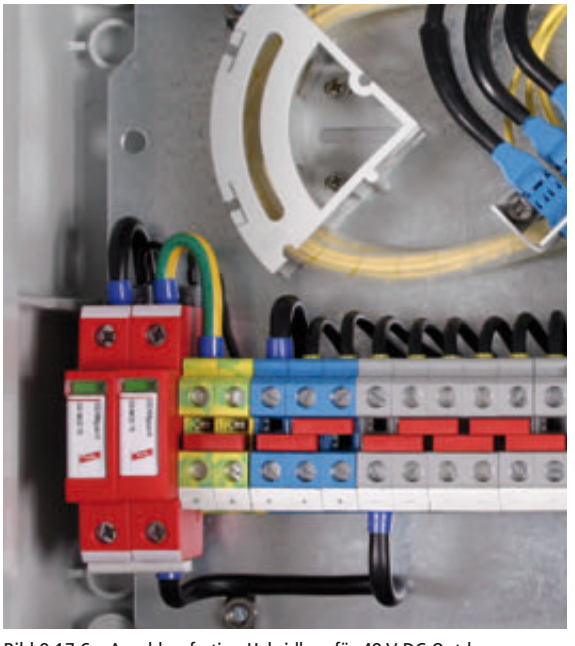


Bild 9.17.6 Anschlussfertige Hybridbox für 48 V DC Outdoor-Installationen mit DEHNguard Typ 2-Ableiter

80 A) und Glasfaser für die Datenkommunikation versorgt werden. Der Aufbau der DC-Box stellt zudem eine sehr geringe Windlast und eine einfache Mastinstallation sicher.

Kundenspezifische Lösungen für Remote Radio Head / Unit 48 V DC (SPD Typ 2)

Abhängig von der Schutzphilosophie der Mobilfunkbetreiber und Systemhersteller sowie den technischen Spezifikationen und aufgrund von landesspezifischen Gegebenheiten finden auch Typ 2-Schutzgerätekombinationen nach DIN EN 61439-1/-2 Anwendung. SPD Typ 2, wie der DEHNguard DG S 75 FM, bieten Endgeräteschutz, basieren auf Varistor-Technologie mit sehr tiefem Schutzpegel und kommen für RRH-/RRU-Installationen mit einer Nennspannung bis 48 V DC zum Einsatz.

Bild 9.17.6 zeigt eine anschlussfertige Typ 2-Schutzgerätekombination als Hybrid-Ausführung (DC-Box) für Indoor- und Outdoor-Installationen. Das abschließbare, glasfaserverstärkte Gehäuse (GFK) mit Schutzgrad IP 66 bietet Platz für max. 6 RRHs / RRUs. Alle zu- und abgehenden Leitungen bis 48 V DC werden auf Reihenklemmen aufgelegt, was für den Installateur vor Ort deutliche Montagevorteile vor allem bei Mastinstallationen, aber auch bei Nachinstallationen mit sich bringt. Für die Datenkommunikation sind bis zu 12 LC-Duplex-Adapter in der DC-Hybrid-Box zur Aufnahme des vorkonfektionierten Glasfaserkabels aus dem Technikraum vorbereitet. Mit sogenannten „Jumper-Kabeln" erfolgt die kurze Verbindung zu den Antennenköpfen (Heads / Units). Montagefreundliches Zubehör wie Wandbefestigungen und Masthalterungen mit Spannband stellen zudem eine einfache und schnelle Installation sicher.

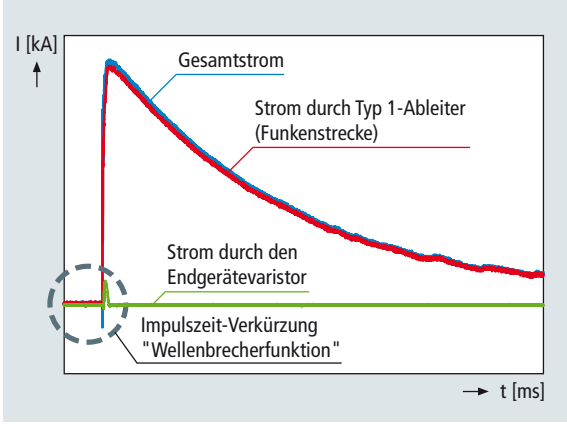


Bild 9.17.7 Typ 1 SPD auf Funkenstreckenbasis (typischer Verlauf)

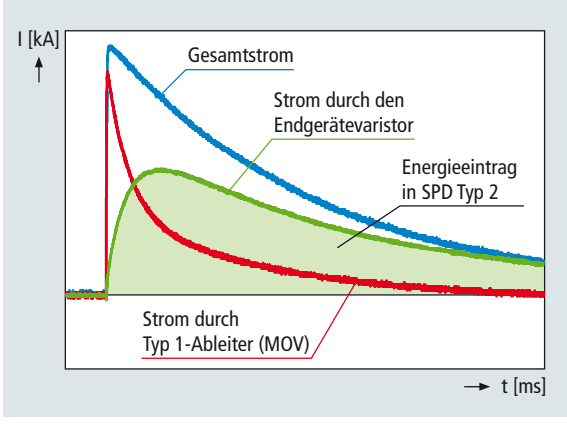


Bild 9.17.8 Typ 1 SPD auf Varistorbasis (typischer Verlauf)

Vergleich der Schutzwirkung von SPD Typ 1 mit Funkenstrecken oder MOVs

Ein wichtiges Kriterium für den Einsatz von Funkenstrecken als Typ 1-Ableiter im Vergleich zu MOVs (Metalloxidvaristoren), unter Berücksichtigung von Blitzströmen 10/350 µs, ist die energetische Koordination zum zu schützenden Endgerät.

Durch das schnelle Ansprechverhalten der Funkenstrecke im Mikrosekundenbereich wird eine sogenannte „Wellenbrecherfunktion" erreicht, sodass nach dem Zünden der Funkenstrecke nahezu kein Strom mehr in das zu schützende Endgerät fließt (**Bild 9.17.7**). Somit wird auch bei sehr hohen Impulsströmen

nur eine relativ kleine Energiemenge in das Endgerät eingetragen, die jedoch unkritisch für die Eingangs-Schutzbeschaltung des Endgerätes ist.
Im Vergleich dazu fließt bei der Verwendung von MOV-Schutzgeräten der Strom während der gesamten Impulsdauer in das zu schützende Endgerät. In vielen Fällen bedeutet dies eine Schädigung, im schlimmsten Fall sogar eine vollständige Zerstörung der angeschlossenen AC-/DC-Stromversorgung sowie der Systemtechnik (**Bild 9.17.8**).

Systemtests mit Mobilfunkequipment unterschiedlicher Hersteller zeigen deutlich, dass für diesen Anwendungsfall nur Funkenstrecken die notwendige Schutzwirkung sicherstellen.

Blitz- und Überspannungs-schutz für Photovoltaik-Dachanlagen

Weit über eine Million PV-Anlagen sind derzeit in Deutschland installiert. Der lohnenswerte Eigenverbrauch und das Streben nach einem Stück Unabhängigkeit bei der Energieversorgung werden PV-Anlagen künftig zu einem festen Bestandteil der Elektroinstallation machen. Dabei sind die PV-Anlagen den Witterungseinflüssen ausgesetzt und müssen diesen über Jahrzehnte widerstehen.
Üblicherweise wird die PV-Verkabelung in das Gebäude eingeführt und es ergeben sich oft große Leitungsstrecken bis zum Netzanschlusspunkt.
Blitzentladungen verursachen feld- und leitungsgebundene elektrische Störungen. Mit Zunahme der Leitungslänge oder der Leiterschleifengröße verstärkt sich dieser Effekt. Durch Überspannungen hervorgerufene Schäden treten nicht nur an den angeschlossenen PV-Modulen, Wechselrichtern und deren Überwachungselektronik auf, sondern auch Geräte der übrigen Hausinstallation sind davon betroffen. In gewerblichen Gebäuden können zusätzlich Schäden an Produktionsanlagen verursacht werden, die Fertigungsausfälle nach sich ziehen können. Werden Überspannungen auf netzferne Anwendungen, sogenannte PV-Inselsysteme, eingekoppelt, so können diese dann eine Betriebsstörung der solarversorgten Anlagen (z. B. medizinische Geräte, Wasserversorgung) bewirken.

Notwendigkeit eines Blitzschutzsystems auf Gebäuden

Bei einem direkten Blitzeinschlag in ein Gebäude steht der Personen- und Brandschutz an erster Stelle. Die freigesetzte Energie einer Blitzentladung ist eine der häufigsten Brandursachen.
Schon bei der Planung einer PV-Anlage ist in der Regel ersichtlich, ob das Gebäude bereits mit Blitzschutz ausgestattet ist. Für öffentliche Gebäude (z. B. Versammlungsstätten, Schulen und Krankenhäuser) fordern die Bauordnungen der Länder Blitzschutzsysteme. Bei baulichen Anlagen gewerblicher oder privater Natur wird die Notwendigkeit des Blitzschutzes nach Lage, Bauart und Nutzung unterschieden. Es ist zu ermitteln, wie leicht ein Blitzeinschlag eintreten oder zu schweren Folgen führen kann. Schutzbedürftige Anlagen sind daher mit dauerhaft wirksamen Blitzschutzsystemen zu versehen.
Nach dem aktuellen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse erhöht die Installation von PV-Modulen nicht das Risiko eines Blitzeinschlags, sodass Blitzschutzmaßnahmen nicht unmittelbar daraus abgeleitet werden können. Durch diese Anlagen können jedoch schwerwiegende blitzbedingte Störungen in das Gebäude eingeleitet werden. Deshalb ist das Schadensrisiko durch Blitzeinschlag entsprechend DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2) zu ermitteln. Die Ergebnisse sind beim Bau der Solarstromanlage umzusetzen. DEHN bietet zur Ermittlung des Schadenrisikos die Software DEHNsupport-Toolbox an. Eine hiermit erstellte Analyse zeigt ein für alle Beteiligten nachvollziehbares Ergebnis. Dabei wird das Risiko dem technischen Aufwand gegenübergestellt und ein wirtschaftlich optimierter Schutz aufgezeigt.
In der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) Beiblatt 5 wird unter Punkt 4.5 – Risikomanagement – beschrieben, dass ein Blitzschutzsystem, welches für Schutzklasse III (LPL III, Lightning Protection Level) ausgelegt ist, den normalen Anforderungen für PV-Anlagen entspricht. Daneben führt der Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) in seiner VdS-Richtlinie 2010 „Risikoorientierter Blitz- und Überspannungsschutz für Objekte" entsprechende Blitzschutzmaßnahmen auf. Auch hieraus ist für PV-Anlagen (>10 kW_p) auf Gebäuden der Gefährdungspegel LPL III anzusetzen und somit die Blitzschutzanlage nach Schutzklasse III zu errichten. Zusätzlich werden Maßnahmen zum Überspannungsschutz gefordert.
Grundsätzlich gilt, photovoltaische Anlagen auf Gebäuden dürfen bereits vorhandene Blitzschutzmaßnahmen nicht beeinträchtigen.

Notwendigkeit von Überspannungsschutz innerhalb von PV-Installationen

Bei Blitzentladungen werden Überspannungen in elektrische Leiter induziert. Zum Schutz der elektrischen Systeme vor diesen zerstörenden Spannungsspitzen haben sich Überspannungsschutzgeräte (SPD: engl. Surge Protective Device) bewährt. Diese sind vor den zu schützenden Geräten auf der AC-, DC- und Datenseite zu installieren. Vielfach werden diese SPDs in Versicherungsbedingungen für Photovoltaikanlagen auch bereits gefordert. Die DIN CLC/TS 50539-12 (VDE V 0675-39-12) – Auswahl und Anwendungsgrundsätze – Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Photovoltaik-Installationen – bezeichnet unter Punkt 9.1 „Notwendigkeit für den Einsatz von SPDs" den Einsatz von Überspannungsschutzgeräten als obligatorisch, solange die vorgenannte Risikoberechnung keine andere Aussage liefert. Nach VDE 0100-443 ist Überspannungsschutz auch für Gebäude ohne äußeren Blitzschutz zu installieren, wie beispielsweise Gewerbe- und Industrieanlagen, dazu zählen u. a. landwirtschaftliche Betriebe. Im Beiblatt 5 der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) werden Art und Einbauort der SPDs detailliert beschrieben.

Leitungsführung von PV-Installationen

Bei der Leitungsverlegung ist darauf zu achten, dass keine flächigen Leiterschleifen gebildet werden. Dies gilt für die Verschaltungen der DC-Stromkreise zum String und auch für mehrere Strings untereinander. Ferner ist zu vermeiden, dass Daten- oder Sensorleitungen quer über mehrere Strings hinwegführen und in Kombination mit den Stringleitungen großflächige Leiterschleifen ausbilden. Für die Verbindung vom Wechselrichter zum Netzanschluss ist dies ebenso zu beachten. Wichtig ist, dass die Energieleitungen (DC und AC) im

gesamten Verlauf gemeinsam mit dem Potentialausgleich zu verlegen sind. Gleiches gilt für die Datenleitungen (z. B. Strahlungssensor, Ertragsüberwachung).

Erdung von PV-Anlagen

PV-Module werden überwiegend auf metallenen Montagesystemen befestigt. Die aktiven DC-seitigen PV-Komponenten weisen eine doppelte oder verstärkte Isolierung (vergleichbar mit früherer Schutzisolierung) nach DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410) auf. Die Kombination einer Vielzahl von Technologien auf der Modul- und auf der Wechselrichterseite (z. B. mit oder ohne galvanische Trennung) haben unterschiedliche Erdungsanforderungen zur Folge. Darüber hinaus ist die in Wechselrichtern integrierte Isolationsüberwachung nur dann durchgängig wirksam, wenn das Montagesystem eine Erdverbindung besitzt. Das Beiblatt 5 der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) gibt klare Hinweise zur praktischen Umsetzung. So wird eine Funktionserdung der metallenen Unterkonstruktion durchgeführt, wenn sich die Anlage im Schutzbereich von Fangeinrichtungen befindet und der Trennungsabstand eingehalten wird. Unter Punkt 7 wird für die Funktionserdung ein Leiterquerschnitt von mindestens 6 mm² Cu oder gleichwertig genannt (**Bild 9.18.1**). Mit Leitern dieses Querschnitts sind die Modulgestellschienen auch untereinander dauerhaft zu verbinden. Ist das Montagesystem direkt mit dem äußeren Blitzschutz verbunden, weil der Trennungsabstand s nicht eingehalten werden kann, werden diese Leitungen Teil des Blitzschutz-Potentialausgleiches. Eine Blitzstromtragfähigkeit dieser Elemente ist damit eine Grundvoraussetzung. Die Mindestanforderung bei einer Blitzschutzanlage nach Schutzklasse III sind 16 mm² Cu oder gleichwertiger Leitwert. Auch hier sind die Modulgestellschienen untereinander dauerhaft mit Leitern dieses Querschnitts zu verbinden. Die Verlegung des Funktionserdungs-/Blitzschutz-Potentialausgleichsleiters sollte parallel und in möglichst engem Kontakt zu den DC- und AC- Kabeln/-Leitungen erfolgen (**Bild 9.18.2**).

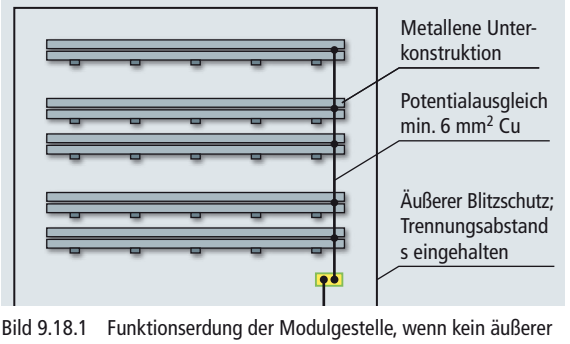


Bild 9.18.1 Funktionserdung der Modulgestelle, wenn kein äußerer Blitzschutz vorhanden oder der Trennungsabstand eingehalten ist (DIN EN 62305-3, Beiblatt 5)

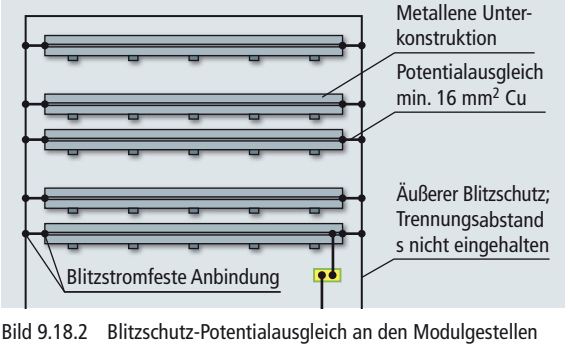


Bild 9.18.2 Blitzschutz-Potentialausgleich an den Modulgestellen bei Nichteinhaltung des Trennungsabstands

Bild 9.18.3 UNI-Erdungsklemme: Ein Edelstahl-Zwischenelement vermeidet Kontaktkorrosion. Dadurch werden langjährige sichere Verbindungen zwischen unterschiedlichen Leiterwerkstoffen geschaffen

Die UNI-Erdungsklemme (**Bild 9.18.3**) kann auf den gängigen Montagesystemen befestigt werden. Sie verbindet z. B. 6 mm² oder 16 mm² Cu-Leiter, wie auch blanke Runddrähte (8–10 mm Ø) blitzstromtragfähig mit dem Montagegestell. Korrosionsschutz gegenüber den Montagesystemen (Al) wird durch die integrierte Kontaktplatte aus NIRO (V4A) erreicht.

Trennungsabstand s nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3)

Der Trennungsabstand s zwischen Blitzschutzsystem und Photovoltaikanlage ist zu berücksichtigen. Er beschreibt den ausreichenden Abstand, der verhindert, dass es bei einem Einschlag in den äußeren Blitzschutz zu einem unkontrollierten Überschlag in benachbarte metallene Teile kommt. Ein unkontrollierter Überschlag kann im schlimmsten Fall einen Gebäudebrand auslösen. Schäden an der PV-Anlage geraten dann zur Nebensache. Details zur Berechnung des Trennungsabstands s sind im Kapitel 5.6 enthalten und können mit der Software DEHN Distance Tool (Kapitel 3.3.2) schnell und einfach ermittelt werden.

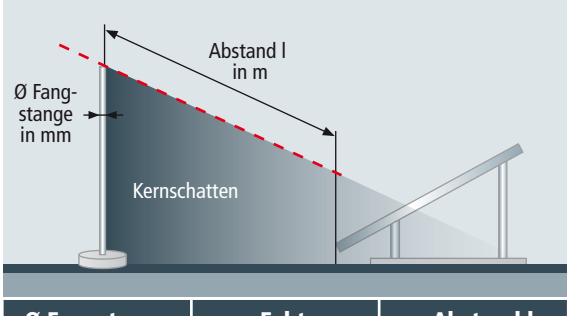
Kernschatten auf Solarzellen

Der Abstand zwischen dem Solargenerator und dem äußeren Blitzschutz ist ein wichtiger Aspekt, den es zu beachten gilt, um eine übermäßige Beschattung zu vermeiden. Ein diffuser Schatten, wie er sich beispielsweise durch Freileitungen abbildet, ist anlagen- und ertragstechnisch unbedeutend. Ein Kernschatten hingegen zeichnet sich durch klar umrissene verdunkelte Konturen auf der dahinterliegenden Fläche ab. Nur dieser ist in der Lage, den Stromfluss in den PV-Modulen relevant zu verändern. Die Belastung sowohl der Zellen als auch der zugehörigen Bypass-Dioden ist zu vermeiden. Ein ausreichender Abstand verhindert die Kernschattenbildung. Beispielsweise reduziert sich der Kernschatten bei einer 10 mm Fangstange mit steigendem Abstand zum Modul immer weiter. Nach 1,08 m hat er sich gänzlich in einen diffusen Schatten gewandelt (**Bild 9.18.4**). Das Beiblatt 5 der DIN EN 62305-3 erläutert im Anhang A die Berechnung des Kernschattens.

Spezielle Schutzgeräte für die Gleichspannungsseite von Photovoltaik-Systemen

Die U/I-Kennlinien photovoltaischer Stromquellen unterscheiden sich deutlich von klassischen Gleichstromquellen. Sie haben eine nichtlineare Charakteristik (**Bild 9.18.5**) und sind Ursache für das massive Aufrechterhalten von gezündeten Lichtbögen. Diese Eigenheit wirkt sich nicht nur auf die größere Bauform von PV-Schaltern und PV-Sicherungen aus; sie erfordert auch für Überspannungsschutzgeräte eine eigens darauf abgestimmte Abtrennvorrichtung. Diese muss in der Lage sein, die PV-Ströme zu beherrschen. Die Auswahl der hierfür geeigneten SPD wird in DIN EN 62305-3 Beiblatt 5 unter 5.6.1 Tabelle 1 beschrieben.

Um für den Anwender diese Wahl bei Typ I SPDs zu vereinfachen, kann aus den **Tabellen 9.18.1 und 9.18.2** die notwendige Blitzstoßstromtragfähigkeit I_{imp} in Abhängigkeit von der Blitzschutzklasse, der Anzahl der Ableitungen der äußeren



Ø Fangstange	x Faktor	= Abstand l
10 mm	108	1,08 m
16 mm	108	1,76 m

Bild 9.18.4 Kernschattenfreier Abstand Modul zu Fangstange

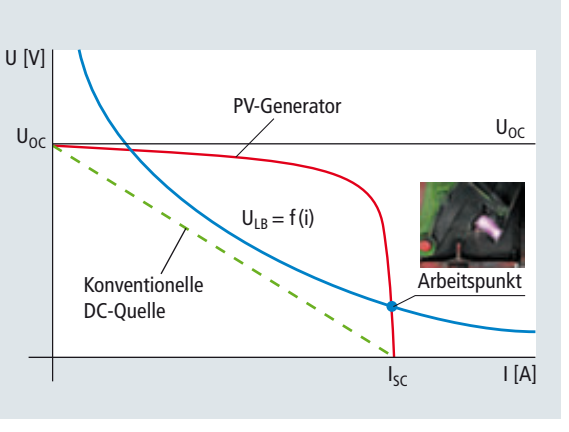


Bild 9.18.5 Quellenkennlinie einer konventionellen DC-Quelle vs. der eines PV-Generators; beim Schalten von PV-Quellen wird der Bereich der Lichtbogenbrennspannung durchlaufen

Blitzschutzklasse und maximaler Blitzstrom (10/350 µs)		Anzahl der Ableitungen der äußeren Blitzschutzanlage			
		< 4		≥ 4	
		Werte für spannungsbegrenzende SPD Typ 1 oder kombinierte SPD Typ 1 (Reihenschaltung) basierend auf einer Auswahl $I_{8/20}$ (8/20 µs) und $I_{10/350}$ (10/350 µs)			
		$I_{SPD1} = I_{SPD2}$ $I_{8/20}/I_{10/350}$	$I_{SPD3} = I_{SPD1} + I_{SPD2} = I_{total}$ $I_{8/20}/I_{10/350}$	$I_{SPD1} = I_{SPD2}$ $I_{8/20}/I_{10/350}$	$I_{SPD3} = I_{SPD1} + I_{SPD2} = I_{total}$ $I_{8/20}/I_{10/350}$
I oder unbekannt	200 kA	17/10	34/20	10/5	20/10
II	150 kA	12,5/7,5	25/15	7,5/3,75	15/7,5
III und IV	100 kA	8,5/5	17/10	5/2,5	10/5

Tabelle 9.18.1 Auswahl des Mindestableitvermögens von spannungsbegrenzenden SPD Typ 1 (Varistoren) oder kombinierten SPD Typ 1 (Reihenschaltung von Varistoren und Funkenstrecken); entsprechend Beiblatt 5 der DIN EN 62305-3 (Tabelle 2)

Blitzschutzklasse und maximaler Blitzstrom (10/350 µs)		Anzahl der Ableitungen der äußeren Blitzschutzanlage			
		< 4		≥ 4	
		Werte für spannungsschaltende SPD Typ 1 oder kombinierte SPD Typ 1 (Parallelschaltung)			
		$I_{SPD1} = I_{SPD2}$ I_{imp}	$I_{SPD3} = I_{SPD1} + I_{SPD2} = I_{total}$ I_{imp}	$I_{SPD1} = I_{SPD2}$ I_{imp}	$I_{SPD3} = I_{SPD1} + I_{SPD2} = I_{total}$ I_{imp}
I oder unbekannt	200 kA	25	50	12,5	25
II	150 kA	18,5	37,5	9	18
III und IV	100 kA	12,5	25	6,25	12,5

Tabelle 9.18.2 Auswahl des Mindestableitvermögens von spannungsschaltenden SPD Typ 1 (Funkenstrecken) oder kombinierten SPD Typ 1 (Parallelschaltung von Varistoren und Funkenstrecken); entsprechend Beiblatt 5 der DIN EN 62305-3 (Tabelle 3)

Bild 9.18.6 Kombi-Ableiter Typ 1, DEHNcombo YPV SCI, zum Schutz von Photovoltaik-Systemen vor Überspannungen und bei direkten Blitzteilströmen

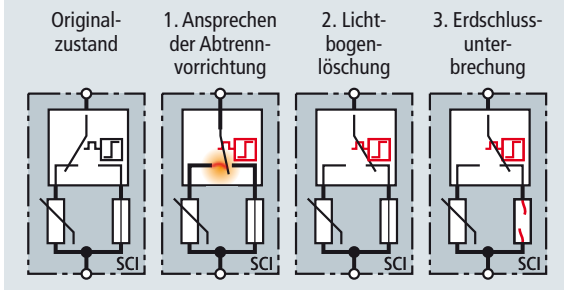


Bild 9.18.7 Schaltphasen der dreistufigen Gleichstrom-Schaltvorrichtung im DEHNguard M YPV SCI ... (FM)

Bild 9.18.8 Kombi-Ableiter Typ 1 auf Funkenstreckenbasis DEHNlimit PV 1000 V2

Blitzschutzanlagen sowie des SPD-Typs (spannungsbegrenzende Varistorableiter oder spannungsschaltende Funkenstreckenableiter) entnommen werden. Es sind SPD zu verwenden, welche der hierfür relevanten Herstellerprüfnorm EN 50539-11 entsprechen. Die CLC/TS 50539-12 nimmt unter Punkt 9.2.2.7 ebenfalls Bezug auf diese Herstellerprüfnorm.

DC-PV-Ableiter Typ 1: Mehrpoliger DC-Kombi-Ableiter Typ 1, DEHNcombo YPV SCI (FM)

Der Kombi-Ableiter DEHNcombo YPV SCI (FM) (**Bild 9.18.6**) erfüllt mit seiner integrierten SCI-Technologie die vorgenannten Anforderungen. Neben der bewährten fehlerresistenten Y-Schutzbeschaltung ist eine dreistufige DC-Schalteinrichtung integriert – SCI-Technologie. Diese besteht aus einer kombinierten Abtrenn- und Kurzschließvorrichtung mit Thermo-Dynamik-Control und einer Schmelzsicherung im Bypass. Diese Schaltung (**Bild 9.18.7**) trennt den Ableiter bei Überlast sicher von der anstehenden Generatorspannung und löscht DC-Lichtbögen zuverlässig. PV-Generatoren mit bis zu 1000 A können dadurch mit DEHNcombo YPV SCI (FM) vorsicherungsfrei geschützt werden. Dieser Kombi-Ableiter vereint die Funktion Blitzstrom- und Überspannungs-Ableiter in einem Gerät. Damit wird ein hochwirksamer Endgeräteschutz erreicht. Mit seinem Ableitvermögen I_{total} von 12,5 kA (10/350 µs) lässt er sich flexibel selbst in die höchsten Blitzschutzklassen einsetzen. Er ist für Spannungen U_{CPV} 600 V, 1000 V und 1500 V verfügbar. Seine Baubreite beträgt dabei lediglich 4 TE. Er ist somit der ideale Typ 1 Kombi-Ableiter für den Einsatz in photovoltaischen Stromerzeugungsanlagen.

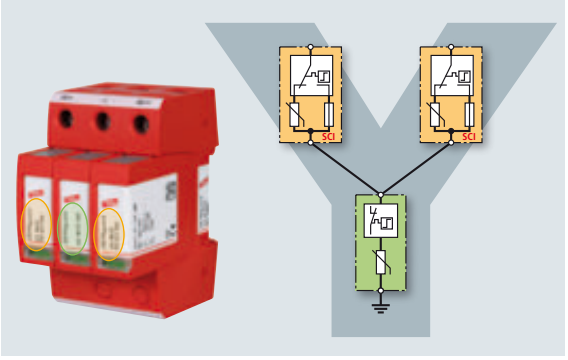


Bild 9.18.9 Modularer Überspannungs-Ableiter Typ 2 DEHNguard M YPV SCI ... (FM) mit fehlerresistenter Y-Schaltung und 3-stufiger DC-Schalteinrichtung

Bild 9.18.10 Einfache V-Verdrahtung mit STAK 25

Eine weitere, sehr leistungsfähige Technologie, um Blitzteilströme bei PV-DC-Systemen abzuleiten, sind spannungsschaltende SPD Typ 1 auf Funkenstreckenbasis. Hier steht das Schutzgerät DEHNlimit PV 1000 V2 zur Verfügung (**Bild 9.18.8**). Diese Geräteserie zeichnt sich durch ein sehr hohes Blitzstromableitvermögen von I_{total} = 50 kA 10/350 µs aus, welches am Markt einzigartig ist. Diese Leistungsfähigkeit wird durch eine Funkenstreckentechnologie erreicht, die mit einem Gleichstrom-Löschkreis kombiniert ist. Dies bewirkt einen hochwirksamen Schutz nachfolgender Elektronik.

DC-PV-Ableiter Typ 2: Modularer DC-Überspannungs-Ableiter Typ 2, DEHNguard M YPV SCI ... (FM)

Der sichere Betrieb von SPDs an DC-PV-Stromkreisen ist ebenso bei Anwendungen mit Typ 2-Überspannungsschutzgeräten unerlässlich. Beim DEHNguard M YPV SCI ... (FM) ist deshalb ebenfalls die fehlerresistente Y-Schutzschaltung mit der SCI-Technologie kombiniert (**Bild 9.18.9**). Auch bei diesem TYP 2

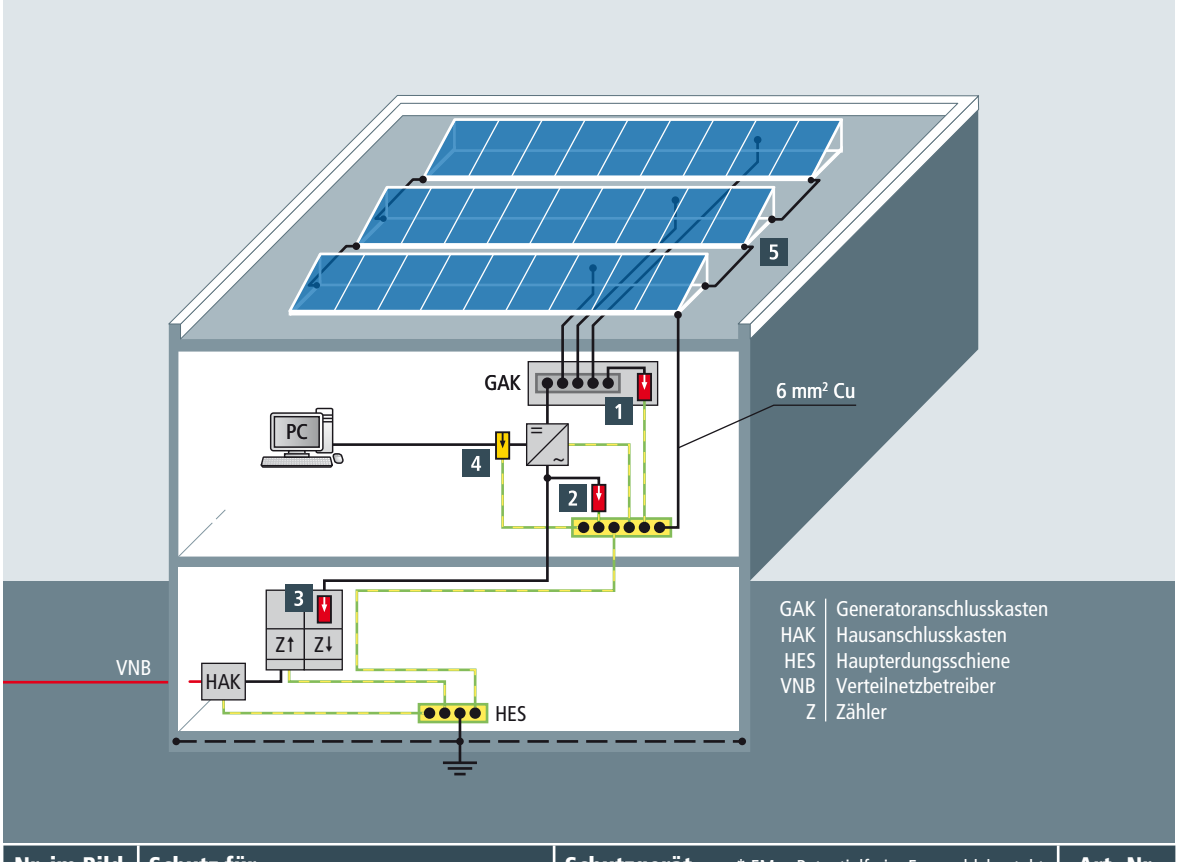
Bild 9.18.11 Im Wechselrichter integrierter Überspannungsschutz DEHNguard SPD Typ 2 für die AC- und DC-Seite

Ableiter erfolgt der Anschluss vorsicherungsfrei in PV-Generatoren bis 1000 A.

Die Anschlussklemme STAK 25 (**Bild 9.18.10**) kann am SPD aufgerastet werden. Damit lässt sich in vielen Anwendungen die V-Verdrahtung einfach realisieren. Die Summe der im DEHNguard M YPV SCI ... (FM) eingesetzten Technologien vermeidet eine Schutzgeräteschädigung durch Isolationsfehler im PV-Stromkreis sowie die Gefahr einer Brandentwicklung eines überlasteten Ableiters und versetzt diesen Ableiter in einen sicheren elektrischen Zustand, ohne das Betriebsverhalten der PV-Anlage zu beeinträchtigen. Diese Sicherheitsschaltung ermöglicht es, die spannungsbegrenzende Eigenschaft von Varistoren auch in PV-DC-Stromkreisen in der gesamten Bandbreite zu nutzen. Zudem lässt sich dadurch die Vielzahl kleinerer Spannungsspitzen minimieren. Die SCI-Technologie der DEHNguard M YPV SCI ... (FM)-Geräte trägt somit dazu bei, die Lebenserwartung des gesamten DC-seitigen PV-Systems zu erhöhen.

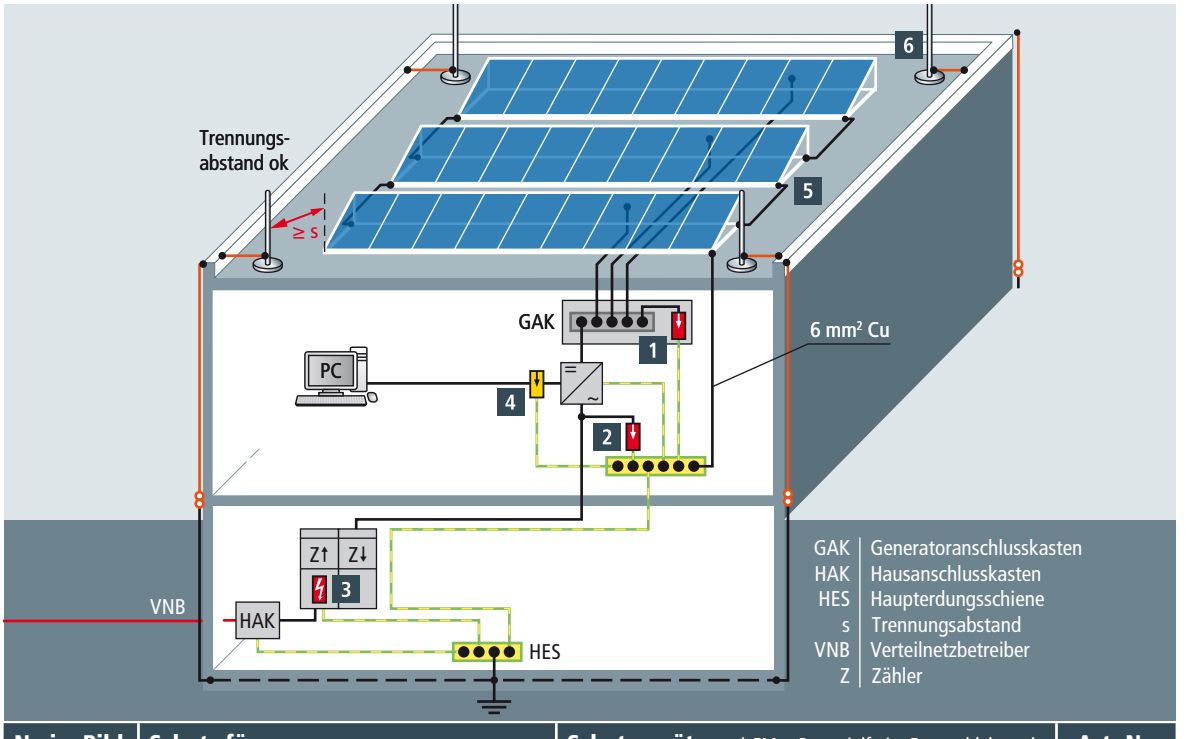
Auswahl von SPD entsprechend dem Schutzpegel U_p

Die DC-Seite von Photovoltaiksystemen kann, je nach Anlage, unterschiedlichste Betriebsspannungen aufweisen. Derzeit sind Werte bis zu 1500 V DC möglich. Dementsprechend besitzen die Endgeräte ebenfalls unterschiedlichste Spannungsfestigkeiten. Um einen wirksamen Schutz der Anlage sicherzustellen, muss der Schutzpegel U_p des SPDs niedriger sein als die Spannungsfestigkeit der Anlage, die geschützt werden soll. Mindestens 20 % Sicherheitsabstand sollte entsprechend CLC/TS 50539-12 zwischen der Spannungsfestigkeit der Anlage und U_p eingehalten werden. Die energetische Koordination zwischen SPD Typ 1 oder SPD Typ 2 und dem Geräteeingang



Nr. im Bild	Schutz für	Schutzgerät * FM = Potentialfreier Fernmeldekontakt	Art.-Nr.
DC-Eingang Wechselrichter			
1	Je (MPP) String	DEHNguard DG M YPV SCI 1000 FM*	952 515
AC-Ausgang Wechselrichter			
2	TN-C-System	DEHNguard DG M TNC 275 FM*	952 305
	TN-S-System	DEHNguard DG M TNS 275 FM*	952 405
	TT-System	DEHNguard DG M TT 275 FM*	952 315
NS-Eingang			
3	TN-C-System	DEHNguard DG M TNC CI 275 FM*	952 309
	TN-S-System	DEHNguard DG M TNS CI 275 FM*	952 406
	TT-System	DEHNguard DG M TT CI 275 FM*	952 327
Datenschnittstelle			
4	zwei Doppeladern auch unterschiedlicher Betriebsspannung bis 180 V	BLITZDUCTOR BXTU ML4 BD 0-180 + Basisteil BXT BAS	920 349 + 920 300
Funktionserdung			
5	Funktionspotential	UNI-Erdungsklemme	540 250

Bild 9.18.12 PV-Anlage auf Gebäude ohne äußeren Blitzschutz – Situation A (Bbl. 5 der DIN EN 62305-3)



Nr. im Bild	Schutz für	Schutzgerät * FM = Potentialfreier Fernmeldekontakt	Art.-Nr.
DC-Eingang Wechselrichter			
1	Je (MPP) String	DEHNguard DG M YPV SCI 1000 FM*	952 515
AC-Ausgang Wechselrichter			
2	TN-C-System	DEHNguard DG M TNC 275 FM*	952 305
	TN-S-System	DEHNguard DG M TNS 275 FM*	952 405
	TT-System	DEHNguard DG M TT 275 FM*	952 315
NS-Eingang			
3	TN-C-System	DEHNventil DV ZP TNC 255 DEHNventil DV M TNC 255 FM*	900 390 951 305
	TN-S-System	DEHNventil DV M TNS 255 FM*	951 405
	TT-System	DEHNventil DV ZP TT 255 (auch für TN-S) DEHNventil DV M TT 255 FM*	900 391 951 315
Datenschnittstelle			
4	zwei Doppeladern auch unterschiedlicher Betriebsspannung bis 180 V	BLITZDUCTOR BXTU ML4 BD 0-180 + Basisteil BXT BAS	920 349 + 920 300
Funktionserdung / äußerer Blitzschutz			
5	Funktionspotential	UNI-Erdungsklemme	540 250
6	PV-Module	Fangstange mit Betonsockel 8,5 kg	101 000 + 102 075

Bild 9.18.13 PV-Anlage auf Gebäude mit äußerem Blitzschutz unter Einhaltung des Trennungsabstands – Situation B (Bbl. 5 der DIN EN 62305-3)

Bild 9.18.14 Ermittlung des Schutzraumes mittels Schutzwinkelverfahren

ist zu beachten. Sind Ableiter bereits im Endgerät integriert, ist die Koordination zwischen SPD Typ 2 und der Eingangsbeschaltung des Endgerätes bereits herstellerseitig berücksichtigt (**Bild 9.18.11**).

Anwendungsbeispiele:

Gebäude ohne äußeren Blitzschutz (Situation A)

Bild 9.18.12 zeigt das Überspannungsschutz-Konzept für eine PV-Anlage auf einem Gebäude ohne äußeren Blitzschutz. Gefährliche Überspannungen werden hier induktiv durch Naheinschläge von Blitzen in die PV-Anlage eingekoppelt oder wirken vom Versorgungsnetz über den Hausanschluss auf die Verbraucheranlage. Ein Schutz wird mittels SPDs Typ 2 erreicht. Einbauorte sind:

- DC-Bereich der Module und Wechselrichter
- AC-Ausgang des Wechselrichters
- Niederspannungs-Hauptverteiler
- Drahtgebundene Kommunikationsschnittstellen.

Jeder DC-Eingang (MPP) des Wechselrichters ist mit einem Überspannungsschutzgerät vom Typ 2, z. B. dem DEHNguard M YPV SCI ... (FM), zu beschalten. Mit diesem Überspannungsschutzgerät können PV-Anlagen auf der Gleichspannungsseite sicher geschützt werden. Die CLC/TS 50539-12 (VDE V 0675-39-12) sieht bei Entfernungen von mehr als 10 m zwischen Wechselrichtereingang und PV-Generator einen weiteren DC-Ableiter Typ 2 auf der Modulseite vor.

Befinden sich PV-Wechselrichter nicht weiter entfernt als 10 m vom Einbauort des Typ 2-Ableiters am Netzanschlusspunkt (NS-Einspeisung), dann sind die AC-Ausgänge der Wechselrichter ausreichend geschützt. Bei größeren Leitungslängen ist ein weiterer Überspannungsschutz Typ 2, z. B. DEHNguard M … 275, vor dem AC-Eingang des Wechselrichters gemäß CLC/TS 50539-12 (VDE V 0675-39-12) obligatorisch.

Im gezählten Bereich der NS-Einspeisung kommt ein Überspannungsschutzgerät Typ 2, DEHNguard M … CI 275 (FM), zum Einsatz. Das CI (Circuit Interruption) steht für eine integrierte, koordinierte Schmelzsicherung im Schutzpfad des Ableiters. Damit lässt sich dieser vorsicherungsfrei im AC-Stromkreis nutzen. Er ist für jedes Niederspannungssystem (TN-C, TN-S, TT) lieferbar.

Sind Wechselrichter mit Daten- und Sensorleitungen für die Ertragsüberwachung verkabelt, sind ebenfalls geeignete Überspannungsschutzgeräte notwendig. Für Datensysteme auf der Basis von RS 485 steht der Ableiter BLITZDUCTOR XTU zur Verfügung. Er hat Anschlüsse für zwei Doppeladern, beispielsweise für ankommende und abgehende Datenleitung.

Gebäude mit äußerem Blitzschutz und Einhaltung des Trennungsabstands s (Situation B)

Das Überspannungs-Schutzkonzept für eine PV-Anlage mit äußerem Blitzschutz und mit ausreichendem Trennungsabstand s des PV-Systems zum äußeren Blitzschutz zeigt **Bild 9.18.13**. Primäres Schutzziel ist die Vermeidung von Personen- und Sachschäden (Gebäudebrand) durch Blitzeinwirkung. Die PV-Anlage darf die Funktion des äußeren Blitzschutzes nicht beeinträchtigen. Zudem ist sie selbst vor einem direkten Blitzschlag zu schützen, was heißt, dass sie im Schutzbereich des äußeren Blitzschutzes zu installieren ist. Fangeinrichtungen (z. B. Fangstangen) bilden diesen Schutzbereich aus und verhindern direkte Blitzeinschläge in die PV-Module und die Verkabelung. Die Bestimmung des Schutzbereichs kann z. B. mittels Schutzwinkelverfahren (**Bild 9.18.14**) oder Blitzkugelverfahren (**Bild 9.18.15**) nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3), Abs. 5.2.2 erfolgen. Zu beachten ist, dass zwischen allen elektrisch

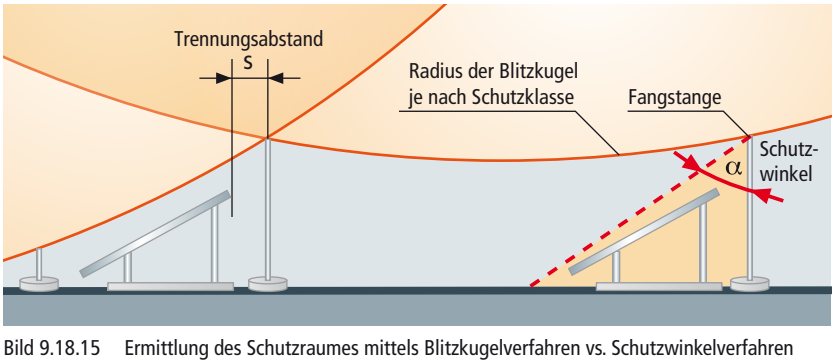
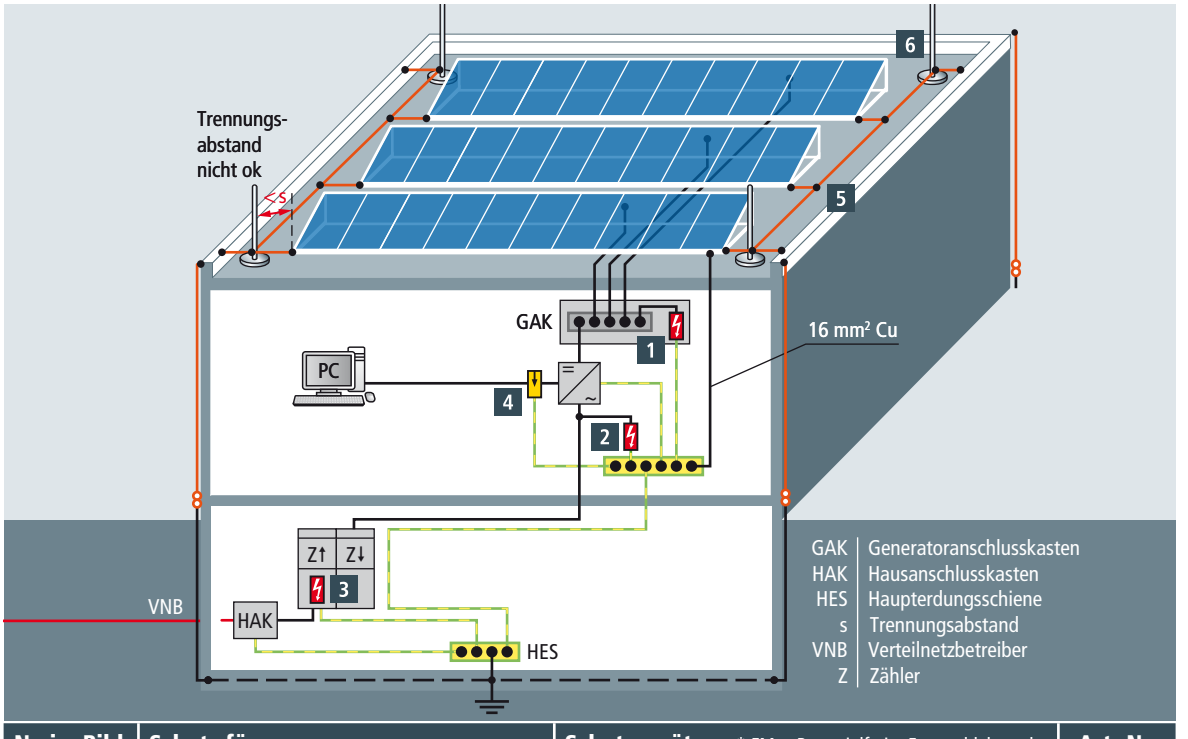


Bild 9.18.15 Ermittlung des Schutzraumes mittels Blitzkugelverfahren vs. Schutzwinkelverfahren



Nr. im Bild	Schutz für	Schutzgerät * FM = Potentialfreier Fernmeldekontakt	Art.-Nr.
DC-Eingang Wechselrichter			
1	Je (MPP) String	DEHNcombo DCB YPV SCI 1000 FM*	900 066
AC-Ausgang Wechselrichter			
2	TN-C-System	DEHNshield DSH TNC 255	941 300
	TN-S-System	DEHNshield DSH TNS 255	941 400
	TT-System	DEHNshield DSH TT 255	941 310
NS-Eingang			
3	TN-C-System	DEHNventil DV ZP TNC 255 DEHNventil DV M TNC 255 FM*	900 390 951 305
	TN-S-System	DEHNventil DV M TNS 255 FM*	951 405
	TT-System	DEHNventil DV ZP TT 255 (auch für TN-S) DEHNventil DV M TT 255 FM*	900 391 951 315
Datenschnittstelle			
4	zwei Doppeladern auch unterschiedlicher Betriebsspannung bis 180 V	BLITZDUCTOR BXTU ML4 BD 0-180 + Basisteil BXT BAS	920 349 + 920 300
Funktionserdung / äußerer Blitzschutz			
5	Funktionspotential	UNI-Erdungsklemme	540 250
6	PV-Module	Fangstange mit Betonsockel 8,5 kg	101 000 + 102 075

Bild 9.18.16 PV-Anlage auf Gebäude mit äußerem Blitzschutz ohne Einhaltung des Trennungsabstands – Situation C (Bbl. 5 der DIN EN 62305-3)

leitenden Teilen der PV-Anlage und der Blitzschutzanlage ein Trennungsabstand s einzuhalten ist. Dabei ist, wie bereits beschrieben, ein Kernschatten, z. B. durch ausreichenden Abstand der Fangstangen zum PV-Modul, zu vermeiden.

Wesentlicher Bestandteil eines Blitzschutzsystems ist der Blitzschutz-Potentialausgleich. Er ist für alle von außen ins Gebäude eingeführten leitfähigen Systeme und Leitungen, die blitzstrombehaftet sein können, durchzuführen. Der Blitzschutz-Potentialausgleich wird durch den direkten Anschluss aller metallenen Systeme und den indirekten Anschluss aller unter Spannung stehenden Systeme über Blitzstrom-Ableiter Typ 1 an die Erdungsanlage erreicht. Der Blitzschutz-Potentialausgleich soll möglichst nahe am Gebäudeeintritt erfolgen, um ein Eindringen von Blitzteilströmen in das Gebäude zu verhindern. Der Netzanschlusspunkt ist mit einem mehrpoligen SPD Typ 1, z. B. dem Kombi-Ableiter DEHNventil ZP mit Funkenstreckentechnologie, auszurüsten. Dieser Ableiter entspricht den VDN-Richtlinien und kann direkt auf das Sammelschienensystem im Vorzählerbereich installiert werden.

Ist kein Sammelschienensystem vorhanden, empfiehlt sich der Einsatz des SPD Typ 1-Kombi-Ableiters DEHNventil M ... 255. Diese Kombi-Ableiter vereinen Blitzstrom- und Überspannungs-Ableiter in einem Gerät. Bei Leitungslängen kleiner 10 m zwischen dem Ableiter und dem Wechselrichter besteht ein ausreichender Überspannungsschutz. Bei größeren Leitungslängen ist die Installation weiterer Überspannungsschutzgeräte SPD Typ 2 DEHNguard M vor dem AC-Eingang der Wechselrichter entsprechend CLC/TS 50539-12 (VDE V 0675-39-12) obligatorisch.

Jeder DC-Eingang (MPP) des Wechselrichters ist mit einem Typ 2 PV-Ableiter, z. B. dem DEHNguard M YPV SCI ... (FM), zu schützen. Dies gilt auch bei trafolosen Geräten. Sind die Wechselrichter mit Datenleitungen, z. B. zur Ertragsüberwachung, ausgerüstet, so sind Überspannungsschutzgeräte für die Datenübertragung einzubauen. Hier kann der BLITZDUCTOR XTU mit seiner actiVsense-Technologie eingesetzt werden und sowohl Leitungen mit analogem Signal als auch Datenbussysteme wie z. B. RS485 schützen. Er erkennt automatisch die anliegende Betriebsspannung des Nutzsignals und passt den Schutzpegel an diese Betriebsspannung an.

Hochspannungsfeste isolierte Leitung, HVI

Eine weitere technische Möglichkeit, den Trennungsabstand s zu realisieren, ist der Einsatz von hochspannungsfesten, isolierten Leitungen, wie der HVI-Leitung. Damit lässt sich ein Trennungsabstand s von bis zu 0,9 m in Luft erreichen. HVI-Leitungen können somit direkt nach dem abgesteuerten Bereich mit der PV-Anlage in Kontakt kommen. Details zur Anwendung und Montage der HVI-Leitung sind im Blitzplaner beschrieben oder der Montageanleitung zu entnehmen.

Gebäude mit äußerem Blitzschutz ohne Einhaltung des Trennungsabstands s (Situation C)

Ist die Dachhaut aus Metall oder wird sie durch die PV-Anlage selbst gebildet, kann aus montagetechnischer Sicht der Trennungsabstand s nicht eingehalten werden. Die metallenen Komponenten des PV-Montage-Systems müssen mit einer blitzstromtragfähigen Verbindung (min. 16 mm^2 Cu oder gleichwertigem Leitwert) an den äußeren Blitzschutz angeschlossen werden. Dies bedeutet, dass nun auch für die ins Gebäude eingeführten PV-Leitungen der Blitzschutz-Potentialausgleich ausgeführt werden muss (**Bild 9.18.16**). Entsprechend dem Beiblatt 5 der DIN EN 62305-3 und CLC/TS 50539-12 (VDE V 0675-39-12) sind die DC-Leitungen mit einem PV-SPD Typ 1 zu beschalten.

Zum Einsatz kommt der Typ 1 + Typ 2 Kombi-Ableiter DEHNcombo YPV SCI (FM). Der Blitzschutz-Potentialausgleich muss ebenfalls in der NS-Einspeisung ausgeführt werden. Sind der oder die PV-Wechselrichter weiter als 10 m von dem dort notwendigen SPD Typ 1 für den Netzanschlusspunkt entfernt, so ist ein weiteres SPD Typ 1 im AC-Bereich des oder der Wechselrichter einzusetzen (z. B. Typ 1 + Typ 2 Kombi-Ableiter DEHNshield ... 255). Ist eine Ertragsüberwachung vorgesehen, so sind für die entsprechenden Datenleitungen gleichfalls geeignete Schutzgeräte vorzusehen. Für Datensysteme z. B. auf Basis von RS 485 findet das Überspannungsschutzgerät BLITZDUCTOR XTU Anwendung.

PV-Anlagen mit Modul-Wechselrichtern

Modul-Wechselrichter (Micro-Inverter) erfordern ein anderes Überspannungskonzept. Hierbei wird die DC-Leitung eines Moduls oder eines Modulpaares direkt an dem Kleinwechselrichter angeschlossen. Die Modul-DC-Leitungen sind unter Vermeidung unnötiger Leiterschleifen zu verlegen. Direkte induktive Einkopplungen in solch kleine DC-Strukturen haben meist nur ein geringes energetisches Zerstörungspotential. Die räumlich ausgedehnte Verkabelung der PV-Anlage erfolgt bei Anlagen mit Modul-Wechselrichtern über die AC-Seite (**Bild 9.18.17**). Sitzt der Modul-Wechselrichter unmittelbar am Modul, dann kann die Beschaltung mit Überspannungsschutzgeräten ausschließlich auf der AC-Seite erfolgen:

- Gebäude ohne äußeren Blitzschutz = Typ 2, Ableiter DEHNguard M … 275 für Wechselstrom / Drehstrom in unmittelbarer Nähe der Modul-Wechselrichter und DEHNguard … 275 CI an der NS-Einspeisung
- Gebäude mit äußerem Blitzschutz; Trennungsabstand s ist eingehalten = Typ 2-Ableiter, z. B. DEHNguard M … 275, in unmittelbarer Nähe der Modul-Wechselrichter und blitzstromtragfähige Typ 1-Ableiter, z. B. DEHNventil ZP, an der NS-Einspeisung
- Gebäude mit äußerem Blitzschutz; Trennungsabstand s ist nicht eingehalten = Typ 1-Ableiter, z. B. DEHNshield … 255,

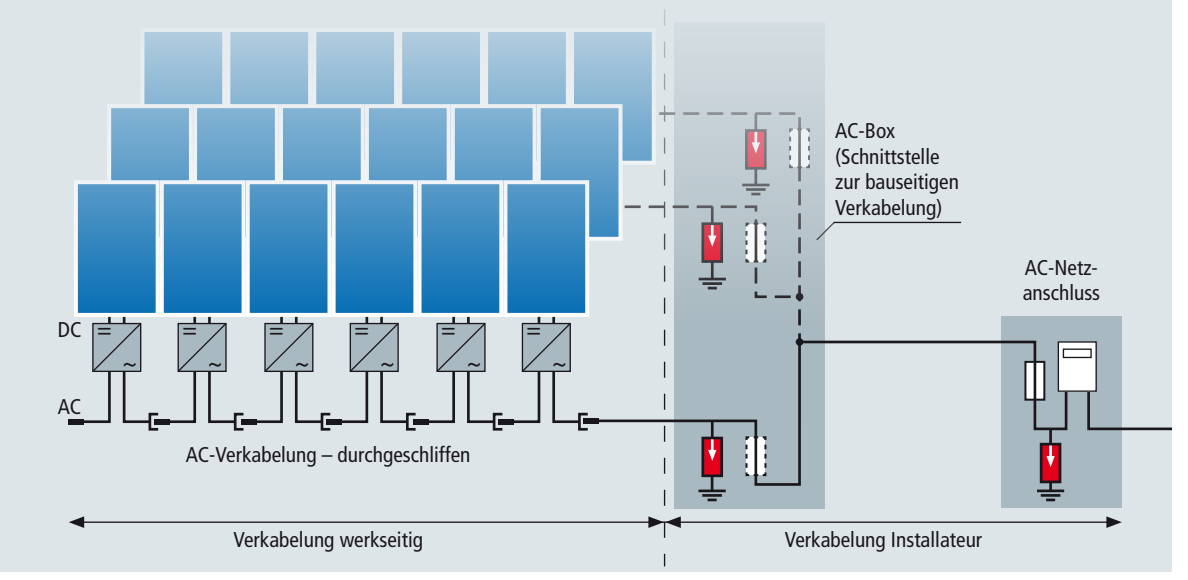


Bild 9.18.17 Beispiel: Gebäude ohne äußeren Blitzschutz; Überspannungsschutz für Modulwechselrichter befindet sich im Anschlussgehäuse der bauseitigen Verkabelung

in unmittelbarer Nähe der Modul-Wechselrichter und blitzstromtragfähige Typ 1-Ableiter DEHNventil ZP an der NS-Einspeisung.

Herstellerübergreifend besitzen Modul-Wechselrichter Anlagendatenüberwachungen. Werden die Daten über die Modulwechselrichter auf die Wechselstromleitungen aufmoduliert, ist an den separaten Empfangseinheiten (Auskopplung / Datenaufbereitung) ein Überspannungsschutz vorzusehen (z. B. DEHNbox DBX KT BD). Gleiches gilt für Schnittstellenverbindung und deren Spannungsversorgung zu nachgeordneten Bussystemen (z. B. Ethernet, ISDN).

Solarstromerzeugungsanlagen sind Bestandteil heutiger Elektrotechnik. Ihre fachgerechte Ausführung umfasst den Blitz- und Überspannungsschutz, der zu einer möglichst langjährigen störungsfreien Nutzung dieser elektrischen Energiequellen beiträgt.

Blitz- und Überspannungs-schutz für Photovoltaik-Freiland-Kraftwerke

Mit jährlich etlichen Gigawatt neu installierter Leistung, entwickeln sich Photovoltaik-Freiland-Kraftwerke in vielen Ländern zu einem relevanten Teil der modernen Energieversorgung. Großkraftwerke mit 100 MW und mehr werden mittlerweile realisiert. Sie sind direkt an die Mittel- und Hochspannungsebene angebunden. Photovoltaik, als fester Bestandteil der Versorgung, hat damit auch Bedingungen zum stabilen Netzbetrieb zu erfüllen. Etwaige Produktionsausfälle werden zudem durch die Ertragsüberwachung aufgezeichnet und belasten die jährliche Performance Ratio der Anlage. Folglich machen das Investitionsvolumen und die geforderte 20-jährige Mindestlebensdauer es notwendig, das Schadensrisiko durch Blitzschlag zu bewerten und Schutzmaßnahmen zu ergreifen.

Blitzrisiko für bauliche Einrichtungen wie PV-Kraftwerke

Es besteht ein Zusammenhang zwischen Sonneneinstrahlung, Luftfeuchte und Häufigkeit von Blitzentladungen. Regionen mit hoher Sonnenintensität und hoher Luftfeuchte sehen sich einem unmittelbar höheren Blitzrisiko ausgesetzt. Die regionale Blitzhäufigkeit (Einschläge pro Quadratkilometer / Jahr) sowie die Lage und Größe des PV-Kraftwerkes, sind Grundlage zur Wahrscheinlichkeitsberechnung von Blitzeinschlägen in die Anlage. PV-Anlagen sind über Jahrzehnte dem lokalen Witterungseinfluss von Gewittern ausgesetzt.

Schäden und Notwendigkeit des Blitzschutzes

Schäden in PV-Systemen entstehen sowohl durch die zerstörerische Wirkung des direkten Einschlags, als auch infolge von induktiv oder kapazitiv eingekoppelter Spannungen aus dem elektromagnetischen Blitzfeld. Weiterhin können Spannungsspitzen aus Schalthandlungen des vorgelagerten Wechselstromnetzes Schäden verursachen. Defekte können an PV-Modulen, Wechselrichtern, Ladereglern und deren Überwachungs- und Kommunikationssystemen auftreten.

Der wirtschaftliche Schaden schlägt neben den Wiederbeschaffungs- und Reparaturkosten auch im Ertragsverlust zu Buche und gipfelt in den Kosten zum Abruf von Reserve-Kraftwerksleistung. Blitzimpulsbelastungen führen auch zu einer vorzeitigen Alterung von Bypass-Dioden, Leistungshalbleitern und den Ein- und Ausgangsbeschaltungen der Datensysteme, was wiederum einen erhöhten Reparaturaufwand für die Folgezeit bedeutet.

Zudem werden von Netzbetreibern Anforderungen an die Verfügbarkeit der erzeugten Energie gestellt. Diese werden beispielsweise in Deutschland durch das neue Energiewirtschaftsgesetz gestützt (Grid Codes). Vermehrt werden diese Punkte auch von Seiten der Finanzierung und Versicherung betrachtet. Dabei werden in den sogenannten Due Diligence Prüfungen zur Finanzierung auch Blitzschutzmaßnahmen herangezogen. Der Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) nennt in seiner VdS-Richtlinie 2010 „Risikoorientierter Blitz- und Überspannungsschutz für Objekte mit alternativen regenerativen Energieversorgungsanlagen" Blitzschutzmaßnahmen (Schutzklasse III) für Photovoltaikanlagen > 10 kW.

Das Schadensrisiko durch Blitzeinschlag ist anhand der DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2) zu ermitteln und die daraus resultierenden Ergebnisse bei der Planung zu berücksichtigen. DEHN + SÖHNE bietet dafür die Software DEHNsupport an. Die hier vorgegebene Risikoanalyse stellt sicher, dass ein für alle Beteiligten nachvollziehbares Blitzschutz-Konzept erstellt wurde, das technisch und wirtschaftlich optimiert ist und bei überschaubarem Aufwand den notwendigen Schutz bieten kann.

Maßnahmen zum Schutz von PV-Kraftwerken gegen Blitzeinwirkungen

Für einen wirksamen Schutz ist ein Blitzschutzsystem notwendig, dessen Elemente optimal aufeinander abgestimmt sind. Beginnend mit Fangeinrichtung, Erdungsanlage, Blitzschutz-Potentialausgleich bis hin zu Überspannungsschutzgeräten für die Energie- und Datenseite.

Fangeinrichtung und Ableitungen

Zum Schutz gegen direkte Blitzeinschläge in die elektrischen Systeme eines PV-Kraftwerkes ist es notwendig, diese im Schutzbereich von Fangeinrichtungen anzuordnen. Bei der Planung nach der VdS-Richtlinie 2010 wird die Schutzklasse III zugrunde gelegt. Entsprechend dieser Schutzklasse kann mittels Blitzkugelverfahren (**Bild 9.19.1**) aus der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) die Anzahl der Fangstangen ermittelt werden. Sie bilden über Modultische, Betriebsräume und Verkabelung einen Schutzraum aus. In Bezug auf die induktive Einkopplung von Störungen empfiehlt es sich, an Modultischen angebrachte Generatoranschlusskästen und dezentrale Wechselrichter möglichst entfernt von Fangeinrichtungen zu montieren. Die hohen Masten auf welchen Videoüberwachungssysteme montiert werden, wirken ebenfalls als Fangeinrichtungen.

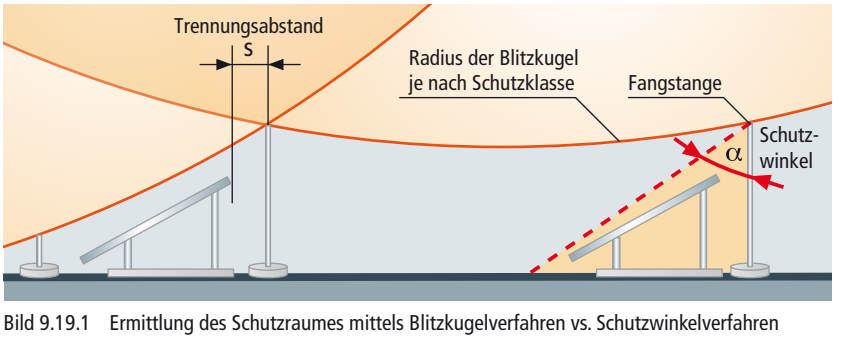


Bild 9.19.1 Ermittlung des Schutzraumes mittels Blitzkugelverfahren vs. Schutzwinkelverfahren

Bild 9.19.2 Blitzschutz mit DEHNiso-Befestigungshalter

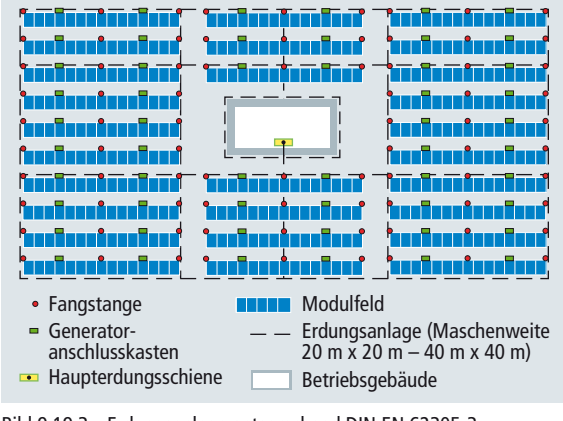


Bild 9.19.3 Erdungsanlage entsprechend DIN EN 62305-3

Das Kamerasystem selbst ist wiederum so zu montieren, dass es sich im Schutzraum des Masts befindet. Alle Ableitungen dieser Fangeinrichtungen sind mit den Anschlussfahnen der Erdungsanlage zu verbinden. Aufgrund der Korrosionsgefahr an der Austrittsstelle der Anschlussfahnen aus dem Erdreich oder Beton sind diese korrosionsbeständig auszuführen (nichtrostender Stahl V4A, z. B. Werkst.-Nr. 1.4571). Bei Verwendung von Anschlussfahnen aus verzinktem Stahl sind diese mit entsprechenden Maßnahmen zu schützen, z. B. Densobinde oder Schrumpfschlauch.

Zur mechanischen Befestigung können die Fangeinrichtungen oftmals mit den Modultischen verbunden werden. Beispielsweise kommen hier die DEHNiso-Distanzhalter (**Bild 9.19.2**) zum Einsatz. Im Sockelbereich können die Fangeinrichtungen mit der Erdungsanlage über Rammfundamente verbunden werden. Dies erleichtert die spätere Grundstückspflege.

Erdungsanlage

Die Erdungsanlage (**Bild 9.19.3**) ist die Basis, um wirkungsvolle Blitz- und Überspannungsschutzmaßnahmen in PV-Kraftwerken umzusetzen. Entsprechend Anhang D, aus Beiblatt 5 der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) ist ein Erdungswiderstand R_A von kleiner 10 Ω für die Erdungsanlage empfohlen. 10 mm Edelstahldraht in Form einer Masche (20 m x 20 m bis 40 m x 40 m) ausgeführt und unter Frosttiefe verlegt, ist entsprechend langzeitbeständig und hat sich in der Praxis bewährt. Die metallenen Modultische können als Teil der Masche genutzt werden, wenn diese einen Mindestleitwert entsprechend der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) aufweisen. Im Beiblatt 5 dieser Norm wird empfohlen, beim Einsatz von metallenen Tragtischen diese untereinander zu verbinden. Die Masche wird häufig entsprechend der bestehenden Kabelgräben verlegt. Es ist dabei jedoch eine geschlossene Masche anzustreben. Speziell für die Erdungsanlagen der Betriebsgebäude sind die dafür gültigen Normen DIN EN 61936-1 und DIN EN 50522 (VDE 0101-1 und 2) zu berücksichtigen. Die Erdungsanlagen der PV-Generatoren und der Betriebsgebäude sind miteinander mittels Flachband 30 mm x 3,5 mm oder Runddraht Ø 10 mm (Werkstoffe NIRO (V4A), z. B. Werkstoff-Nr. 1.4571, oder Kupfer oder Stahl verzinkt) zu verbinden. Der Zusammenschluss der einzelnen Erdungsanlagen verkleinert den Gesamterdungswiderstand. Durch die Vermaschung der Erdungsanlagen entsteht eine Äquipotentialfläche, die die Spannungsbeanspruchung der elektrischen Verbindungsleitungen bei Blitzbeeinflussung zwischen PV-Modulfeld und Betriebsgebäude deutlich reduziert. Um den Erdungswiderstand während der vielen Betriebsjahre dauerhaft stabil zu halten, sind Einflüsse von Korrosion, Bodenfeuchte und Frost zu beachten. Für die wirksame Erderlänge sind nur die Bereiche unterhalb der Frosttiefe heranzuziehen. Die Maschen sind mit entsprechenden blitzstromgeprüften Verbindungsbauteilen untereinander zu verbinden. Die metallenen Traggestelle, auf denen die PV-Module befestigt sind, sind untereinander und mit der Erdungsanlage zu verbinden. Gestellkonstruktionen in Ramm- oder Schraubfundamenttechnik können als Erder verwendet werden (**Bild 9.19 4**), sofern deren Material und deren Wandstärke die Angaben aus der Tabelle 7 der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) erfüllen. Die geforderte Mindestlänge von 2,5 m im Bereich unterhalb der Frosttiefe kann bei blitzstromfest verbundenen Einzelelementen addiert werden. Diese Fundamente sind untereinander blitzstromtragfähig zu verbinden, beispielsweise mit 8 mm Edelstahldraht (z. B. Werkstoff-Nr. 1.4571) und der UNI-Falzklemme (**Bild 9.19.5).**

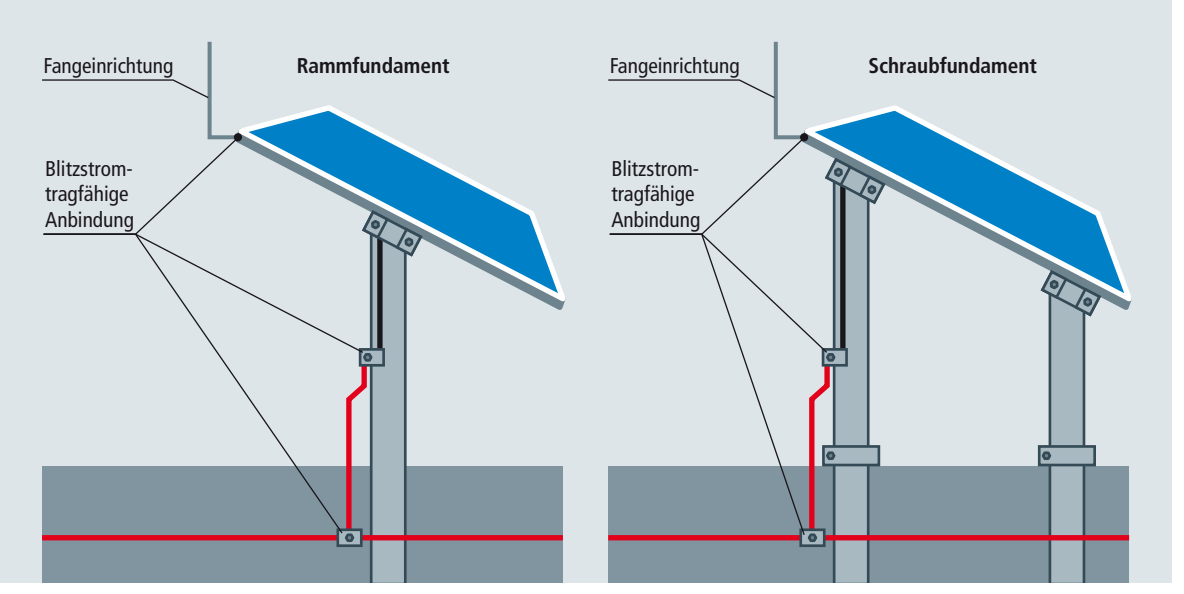


Bild 9.19.4 Ramm- und Schraubfundament mit blitzstromtragfähiger Verbindung von Fangeinrichtung und Erdungsanlage

Blitzschutz-Potentialausgleich

Der Blitzschutz-Potentialausgleich ist die direkte blitzstromtragfähige Verbindung aller metallenen Systeme. Befinden sich die Module, die gesamte Verkabelung sowie das Betriebsgebäude nebst Wetterstation im Schutzbereich des äußeren Blitzschutzes, so sind keine direkten Blitzströme auf den Leitungen zu erwarten. Erfolgt der Netzanschluss zum Verteilnetzbetreiber (VNB) auf der Niederspannungsebene, dann wird diese „Übergabe" über Blitzstrom-Ableiter SPD Typ 1 (z. B. DEHNventil) mit der Haupterdungsschiene (HES) verbunden, da hier ein Teil des Blitzstromes fließt. Gleiches gilt auch für die ankommenden Telekommunikationskabel. Hier sind z. B. ein Typ 1-Ableiter wie BLITZDUCTOR oder DEHNbox (**Bild 9.19.6**) einzusetzen.

Solargenerator und Einrichtungen des äußeren Blitzschutzes

Die Fangeinrichtungen des äußeren Blitzschutzsystems sind notwendig. Ein unkontrollierter Einschlag in das PV-System würde das Fließen von Blitzströmen in der elektrischen Anlage zur Folge haben und zu schweren Schäden innerhalb des Systems führen. Bei der Errichtung des äußeren Blitzschutzes ist darauf zu achten, dass relevante Schattenbildung auf die Solarzellen, z. B. durch Fangstangen, vermieden wird. Diffuser Schatten, wie er sich durch weit entfernte Stangen oder Leitungen bildet, ist dabei anlagen- und ertragstechnisch unbedeutend. Kernschatten hingegen bewirkt eine unnötige Belastung der Zellen als auch der zugehörigen Bypass-Dioden. Der notwendige Abstand ist ebenfalls berechenbar. Er steht im festen Verhältnis zum Durchmesser der Fangstange. Der Kernschatten beispielsweise einer Fangstange mit 10 mm Durchmesser hat sich nach 1,08 m in einen diffusen Schatten zerstreut. Das Beiblatt 5 von DIN EN 62305-3 im Anhang A, widmet sich der Berechnung des Kernschattens.

Leitungsführung innerhalb von PV-Installationen

Bei der gesamten Leitungsverlegung ist darauf zu achten, dass eine flächige Ausbildung von Leiterschleifen vermieden wird. Dies gilt innerhalb der einpoligen seriellen Verschaltungen der DC-Stromkreise (String), als auch bei mehreren Strings untereinander. Ebenso ist zu vermeiden, dass Daten- oder Sensorleitungen quer über mehrere Strings hinwegführen und zusammen mit den Stringleitungen großflächige Leiterschleifen ausbilden. Die Leitungen für Energie (DC und AC), Erdung und Potentialausgleich sind möglichst gemeinsam zu führen.

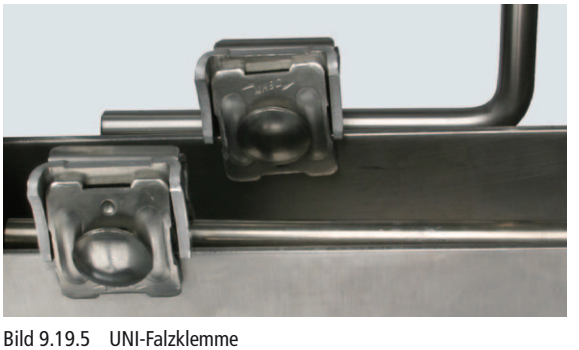
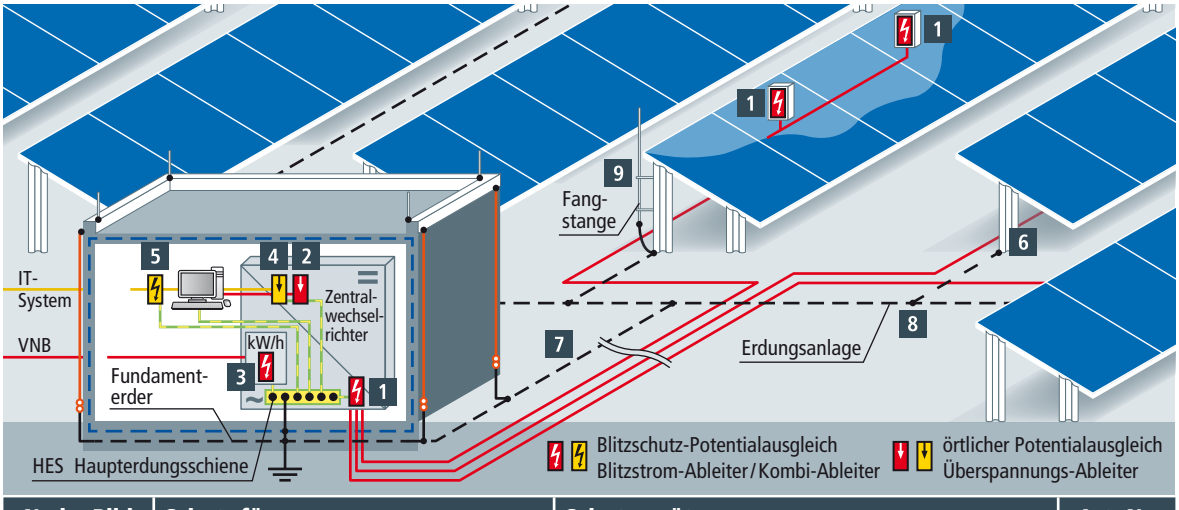


Bild 9.19.5 UNI-Falzklemme



Nr. im Bild	Schutz für	Schutzgerät * FM = Potentialfreier Fernmeldekontakt	Art.-Nr.
DC-Eingang Wechselrichter			
1	Zentralwechselrichter + GAK	DEHNcombo DCB YPV 1000 FM	900 066
AC-Versorgung des Zentralwechselrichters			
2	TN-C-System	DEHNguard DG M TNC 275 FM*	952 305
	TN-S-System	DEHNguard DG M TNS 275 FM*	952 405
	TT-System	DEHNguard DG M TT 275 FM*	952 315
AC-Leistungsausgang des Zentralwechselrichters			
3	TN-C-System	DEHNventil DV M TNC 255 FM*	951 305
	TN-S-System	DEHNventil DV M TNS 255 FM*	951 405
	TT-System	DEHNventil DV M TT 255 FM*	951 315
Datenschnittstelle			
4	zwei Doppeladern auch unterschiedlicher Betriebsspannung bis 180 V	BLITZDUCTOR BXTU ML4 BD 0-180 + Basisteil BXT BAS	920 349 + 920 300
Fernwartung			
5	ISDN bzw. DSL	DEHNbox DBX U4 KT BD S 0-180	922 400
Erdungsanlage			
6	Potentialausgleich	UNI-Falzklemme	365 250
7	Erdungsleiter	Runddraht Ø 10 mm St/tZn Runddraht Ø 10 mm NIRO (V4A) Bandstahl 30 x 3,5 mm St/tZn Bandstahl 30 x 3,5 mm NIRO (V4A)	800 310 860 010 852 335 860 325
8	Verbindungselement	MV-Klemme NIRO (V4A) alt. SV-Klemme St/tZn	390 079 308 220
9	Fangeinrichtung	z. B. Rohrfangstange, Länge 3 m, befestigt mit DEHNiso-Distanzhalter	103 440 106 226

Bild 9.19.6 Blitzschutzkonzept eines PV-Kraftwerkes

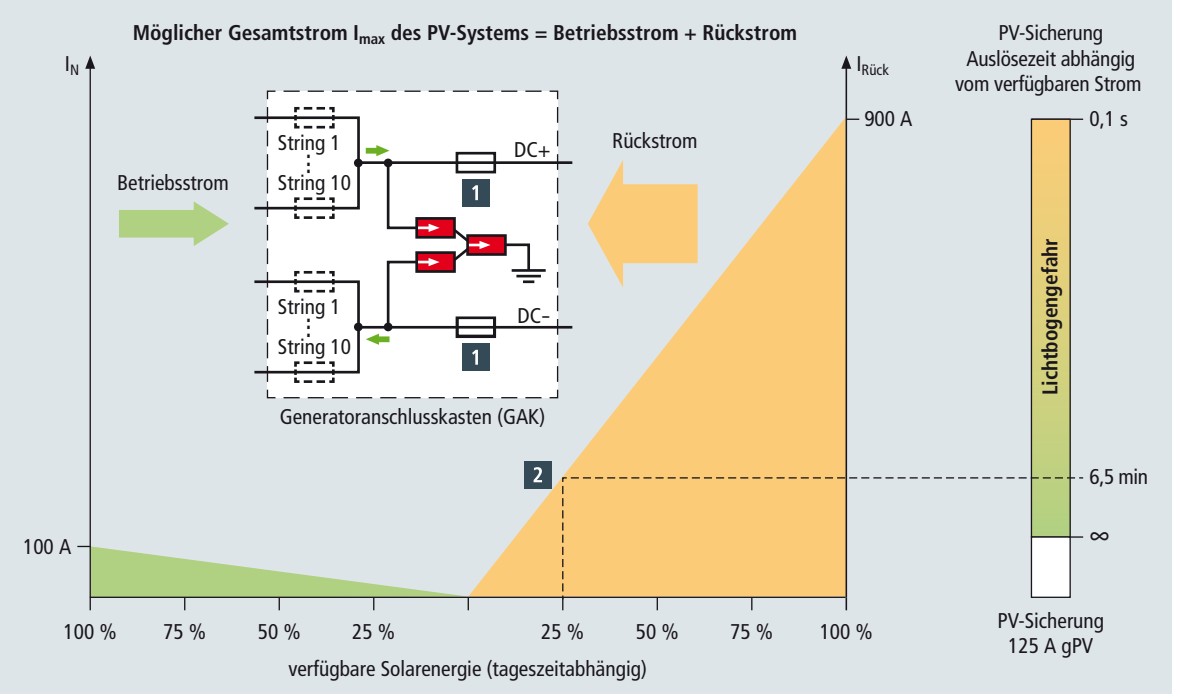


Bild 9.19.7 PV-System mit I_{max} von 1000 A: tageszeitabhängiger prospektiver Kurzschlussstrom am PV-Ableiter

Überspannungs-Schutzmaßnahmen für PV-Kraftwerke

Für den Schutz der elektrischen Systeme innerhalb von PV-Kraftwerken sind Überspannungsschutzgeräte (SPD – Surge Protective Device) (**Bild 9.19.6**) zu verwenden. Bei einem Einschlag in den äußeren Blitzschutz einer Freiflächenanlage werden zum einen hohe Spannungsimpulse in sämtliche elektrischen Leiter induziert, zum anderen kommt es zu Blitzteilströmen innerhalb jeglicher Art der Park-Verkabelung (DC-, AC- und Datenverkabelung), deren Höhe u. a. von der Ausführung des Erdungssystems, dem spezifischen Erdungswiderstand vor Ort und der Ausführung der Verkabelung beeinflusst wird. Anlagenkonzepte mit Zentralwechselrichter-Technologie (**Bild 9.19.6**) bringen im Feld ausgedehnte Gleichstrom-Verkabelungen mit sich. Anhang D des Beiblatts 5 der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) benennt für spannungsbegrenzende TYP 1 DC-SPD ein Mindestableitvermögen von I_{total} von 10 kA (10/350 µs).

Es sind SPD zu verwenden, die einen ausreichenden maximalen Kurzschlussstrom I_{SCPV} aufweisen, der mit der Herstellerprüfnorm EN 50539-11 ermittelt wird und vom Hersteller auszuweisen ist. Dies gilt auch in Bezug auf eventuelle Rückströme.

In PV-Systemen mit Zentralwechselrichtern dienen Sicherungen dem Schutz vor Rückstrom. Der maximal verfügbare Strom hängt von der aktuellen Einstrahlung ab. In bestimmten Betriebszuständen sprechen Rückstromsicherungen erst nach einigen Minuten an (**Bild 9.19.7**). Überspannungsschutzgeräte in Generatoranschlusskästen müssen deshalb für den möglichen Gesamtstrom – bestehend aus Betriebsstrom und Rückstrom – ausgelegt sein und bei Überlast selbstständig abtrennen, ohne dabei Lichtbögen auszubilden ($I_{SCPV} > I_{max}$ des PV-Systems).

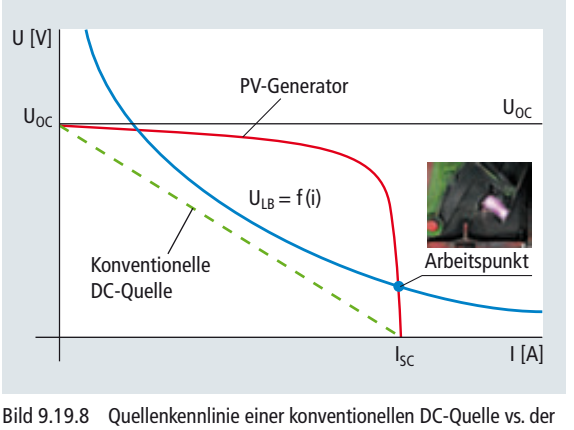


Bild 9.19.8 Quellenkennlinie einer konventionellen DC-Quelle vs. der eines PV-Generators; beim Schalten von PV-Quellen wird der Bereich der Lichtbogenbrennspannung durchlaufen

Blitzschutzklasse und maximaler Blitzstrom (10/350 µs)		Werte für spannungsbegrenzende oder kombinierte (Reihenschaltung) SPD Typ 1				Werte für spannungsschaltende oder kombinierte (Parallelschaltung) SPD Typ 1	
		$I_{10/350}$		$I_{8/20}$		$I_{10/350}$	
		Pro Schutzpfad [kA]	I_{total} [kA]	Pro Schutzpfad [kA]	I_{total} [kA]	Pro Schutzpfad [kA]	I_{total} [kA]
III und IV	100 kA	5	10	15	30	10	20

Tabelle 9.19.1 Mindestableitvermögen von spannungsbegrenzenden oder kombinierten SPD Typ 1 und spannungsschaltenden SPD Typ1 für eine PV-Freiflächenanlage bei LPL III; entsprechend Beiblatt 5 der DIN EN 62305-3 (Tabelle D.1)

Spezielle Schutzgeräte für die Gleichspannungsseite von Photovoltaik-Systemen

Die typischen U/I Kennlinien photovoltaischer Stromquellen unterscheiden sich deutlich von klassischen Gleichstromquellen. Sie haben eine nichtlineare Charakteristik (**Bild 9.19.8**) und unterscheiden sich besonders im Verhalten von Gleichstromlichtbögen erheblich. Diese Eigenschaft wirkt sich nicht nur auf die Bauform und Größe von PV-DC-Schaltern und PV-Sicherungen aus, sie erfordert auch für die eingesetzten Überspannungsschutzgeräte (SPD) eine darauf abgestimmte Konstruktion. Diese muss in der Lage sein, die PV-DC-Folgeströme zu beherrschen. Der sichere Betrieb, auch für den Überlastfall von Überspannungsschutzgeräten auf der Gleichstromseite, wird in DIN EN 62305-3 Beiblatt 5 sowie in der CLC/TS 50539-12 (VDE V 0675-39-12) gefordert.

Das Beiblatt 5 der DIN EN 62305-3 enthält eine exaktere Abschätzung der Blitzstromverteilung durch Computersimulationen, wie dies in DIN EN 62305-4 Beiblatt 1 beschrieben ist. Zur Berechnung der Blitzstromaufteilung müssen die Ableitungen des Blitzschutzsystems, die mögliche Erdungsverbindung des Modulfelds und die Gleichstromleitungen berücksichtigt werden. Es wird gezeigt, dass die Höhe und Amplitude der Blitzteilströme, die über die SPDs in die DC-Leitungen geführt werden, nicht nur von der Anzahl der Ableitungen abhängt, sondern auch durch die Impedanz der SPDs beeinflusst wird. Diese SPD-Impedanz ist wiederum abhängig von der Bemessungsspannung der SPDs, der SPD-Topologie und des SPD-Typs (spannungsschaltend oder spannungsbegrenzend). Charakteristisch für die Blitzteilströme durch SPDs auf der DC-Seite der PV-Anlage ist eine Verkürzung der Impulsform. Bei der Auswahl geeigneter SPDs müssen sowohl der maximal auftretende Stoßstrom als auch die Impulsladung berücksichtigt werden. Beispielhaft werden in Beiblatt 1 der DIN EN 62305-4 diese Zusammenhänge erläutert.

Um für den Anwender die Ableiterauswahl zu vereinfachen, kann die notwendige Blitzstoßstromtragfähigkeit I_{imp} der Typ I SPDs in Abhängigkeit des SPD-Typs (spannungsbegrenzende Varistorableiter oder spannungsschaltende Funkenstreckenableiter) nach **Tabelle 9.19.1** ausgewählt werden. Es werden die maximal auftretenden Stoßströme berücksichtigt sowie die Blitzteilströme der Wellenform 10/350 µs, damit die SPDs die Impulsladung der Blitzströme ableiten können.

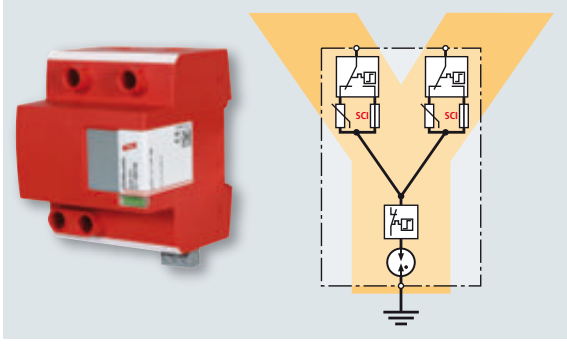


Bild 9.19.9 DEHNcombo YPV SCI – Kombinierter Überspannungs-Ableiter Typ 1 + Typ 2 mit fehlerresistenter Y-Schaltung und dreistufiger DC-Schalteinrichtung

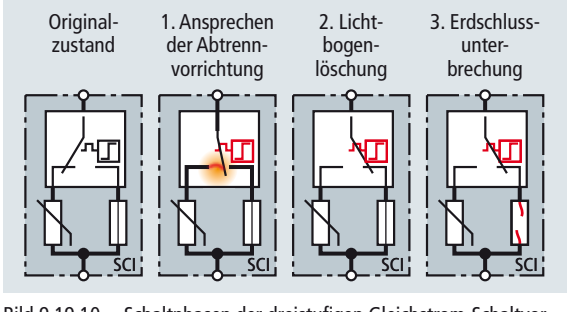


Bild 9.19.10 Schaltphasen der dreistufigen Gleichstrom-Schaltvorrichtung im DEHNcombo YPV SCI ... (FM)

Der DEHNcombo YPV SCI ... (FM) enthält neben der bewährten fehlerresistenten Y-Schutzbeschaltung eine dreistufige DC-Schalteinrichtung (**Bild 9.19.9**). Diese besteht aus einer kombinierten Abtrenn- und Kurzschließvorrichtung mit Ther-

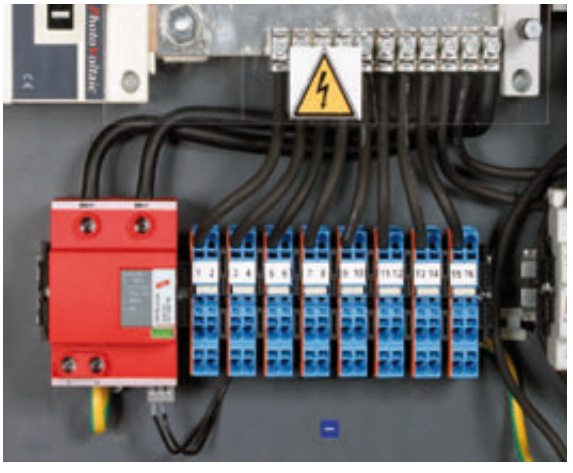


Bild 9.19.11 Überspannungsschutz in Monitoring-GAK

mo-Dynamik-Control. In deren Bypass-Pfad ist eine Schmelzsicherung integriert. Diese Schaltung (**Bild 9.19.10**) trennt den Ableiter bei Überlast sicher von der weiter anstehenden Generatorspannung und unterbindet DC-Lichtbögen zuverlässig. PV-Generatoren mit Systemleistungen bis 1000 A können dadurch vorsicherungsfrei mit DEHNcombo YPV SCI ... (FM) am Wechselrichter wie auch im Generatoranschlusskasten (GAK) geschützt werden (**Bild 9.19.11**). Die im Bypasspfad integrierte Sicherung unterbricht im Fehlerfall den weiteren Stromfluss und versetzt die gesamte Einheit in einen sicheren Zustand.

Kommt String-Monitoring zum Einsatz, so lassen sich die potentialfreien Fernmeldekontakte zur Zustandsüberwachung der SPDs in diese Überwachungssysteme einbinden.
Die Summe der im DEHNcombo YPV SCI eingesetzten Technologien vermeidet eine Schutzgeräteschädigung durch Isolationsfehler im PV-Stromkreis, minimiert deutlich die Gefahr einer Brandentwicklung eines überlasteten Ableiters und versetzt diesen Ableiter in einen sicheren elektrischen Zustand, ohne das Betriebsverhalten der PV-Anlage zu beeinträchtigen. Diese Sicherheitsschaltung ermöglicht es, die spannungsbegrenzende Eigenschaft von Varistoren über deren gesamten Bereich, nun auch in PV-DC-Stromkreisen zu nutzen. Der Ableiter ist entsprechend auch bei der Vielzahl kleinerer Spannungsspitzen aktiv. Die SCI-Technologie trägt somit dazu bei, die Lebenserwartung von Bypass-Dioden und den DC-Eingängen der Wechselrichter zu steigern.

PV-Kraftwerke mit dezentralen Stringwechselrichtern

Sind Sonnenkraftwerke mit dezentralen String-Wechselrichtern konzipiert, verlagert sich ein großer Anteil der Leistungsverkabelung von der DC- auf die AC-Seite. Die Wechselrichter werden im Feld unter den Modultischen der jeweiligen Solargeneratoren montiert. Durch die Nähe zu den Modulen übernimmt der Wechselrichter auch typische Funktionen von GAKs. Im Beiblatt 5 wird erläutert, dass abhängig von der energietechnischen Verkabelung (String- oder als Zentralwechselrichter) die Blitzstromverteilung beeinflusst wird. Ergänzend zum Beiblatt 5 zeigt **Bild 9.19.12** die beispielhafte Darstellung der Blitzstromverteilung bei Stringwechselrichtern. Auch bei String-

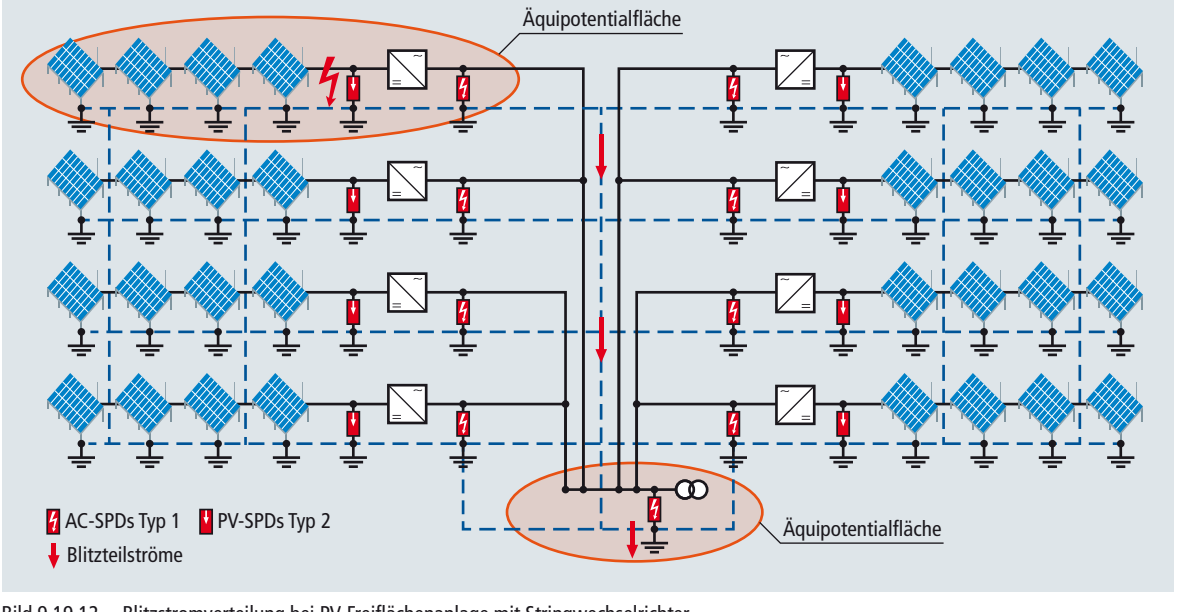
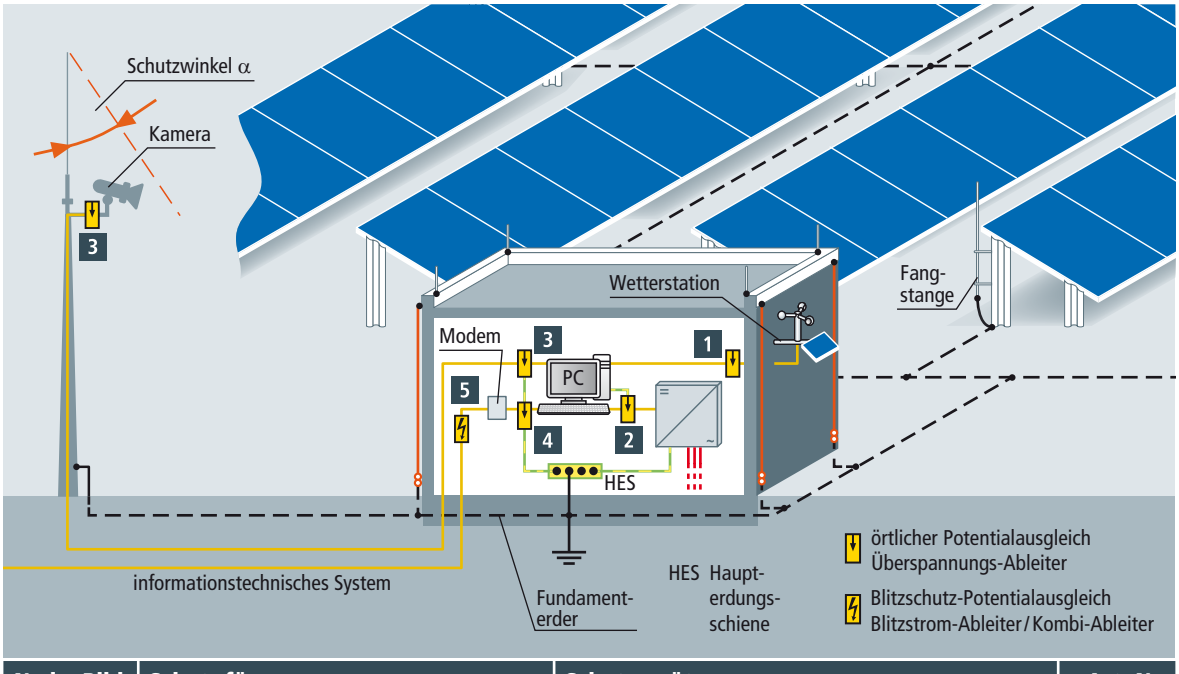


Bild 9.19.12 Blitzstromverteilung bei PV-Freiflächenanlage mit Stringwechselrichter



Nr. im Bild	Schutz für	Schutzgerät	Art.-Nr.
Ertragsüberwachung			
1	Analogsignale Wetterdaten	DEHNbox DBX U4 KT BD S 0-180	922 400
Wechselrichterüberwachung			
2	Datenbus Wechselrichter	BLITZDUCTOR BXT ML4 BE HF 5 + Basisteil BXT BAS	920 370 920 300
	Zubehör für Indirekte Schirmerdung	EMV-Federklemme SAK BXT LR	920 395
Diebstahlschutz			
3	Koaxiale Kamerasignale	DEHNgate BNC VCD	909 710
Leitwarte			
4	Ethernet-Bus	DEHNpatch M CAT6 RJ45S 48	929 100
Fernwartung			
5	ISDN oder ADSL	BLITZDUCTOR BXTU ML2 BD S 0-180 + Basisteil BXT BAS	920 249 + 920 300

Bild 9.19.13 Schutzkonzept für die Datentechnik der Anlagenüberwachung

wechselrichtern wirkt die energietechnische Verkabelung als Potentialausgleichsleiter zwischen dem „lokalen" Erdpotential des Modulfelds, in dem der Blitzeinschlag erfolgte, und der „fernen" Äquipotentialfläche des Einspeisetransformators. Der Unterschied zur Anlage mit Zentralwechselrichter liegt nur darin, dass bei Anlagen mit Stringwechselrichtern die Blitzteilströme auf den AC-Leitungen fließen. Dementsprechend sind SPD Typ 1 wie der spannungsschaltende Ableiter DEHNshield auf der AC-Seite der Stringwechselrichter und der Niederspannungsseite des Einspeisetransformators zu installieren. Das Mindestableitvermögen von Typ 1 SPDs ist, abhängig von der SPD-Technologie, in **Tabelle 9.19.1** aufgeführt. Auf der DC-Seite der Stringwechselrichter sind SPD Typ 2 wie DEHNguard M YPV SCI ausreichend. Die Stringwechselrich-

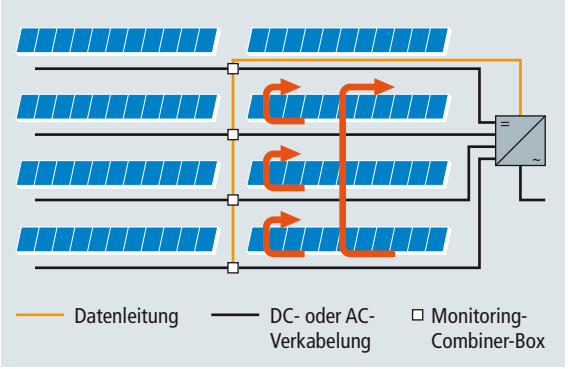


Bild 9.19.14 Prinzipdarstellung Induktionsschleifen bei PV-Kraftwerk

ter und das damit verbundene Modulfeld bilden bei entsprechend nach Beiblatt 5 ausgeführtem Erdungssystem eine lokale Äquipotentialfläche, sodass auf der DC-Verkabelung keine Blitzströme zu erwarten sind, sondern die Ableiter im wesentlich induzierte Störimpulse begrenzen. Sie übernehmen damit auch den Überspannungsschutz der Module in räumlicher Nähe. In sogenannten AC-Sammelverteilern werden mehrere Wechselstrom-Ausgänge dieser Outdoor-Wechselrichter zusammengefasst und zwischengesichert. Werden dort Überspannungsschutzgeräte vom Typ 1, beispielsweise DEHNshield ... 255, eingesetzt, schützen diese alle Wechselrichterausgänge in einer Entfernung bis zu 10 m (leitungsgebunden). Die weitere AC-Feldverkabelung wird im Betriebsgebäude zusammengeführt. Der leistungsfähige Typ 1 + Typ 2 Kombi-Ableiter DEHNventil schützt an diesem Knotenpunkt die geforderten elektrischen Ausrüstungen für den Netzübergabepunkt. Weitere Betriebseinrichtungen wie NA-Schutz, Alarmzentrale oder Web-Server, die weniger als 10 m (leitungsgebunden) von diesem SPD entfernt sind, werden bezüglich ihrer Netzversorgung ebenfalls geschützt.

Überspannungs-Schutzmaßnahmen für informationstechnische Systeme

In Betriebsgebäuden werden die Dateninformationen aus dem Feld, der Fernwartung des Anlagenbetreibers sowie der Leistungsmessung und Steuerung durch den Netzbetreiber zusammengeführt. Damit das Servicepersonal per Ferndiagnose Störungsursachen ermitteln und gezielt vor Ort beheben kann, ist ein verlässlicher Datentransfer jeder Zeit sicherzustellen. String- und Wechselrichterüberwachung, Wetterdatenerfassung, Diebstahlschutz als auch die externe Kommunikation basieren auf den unterschiedlichsten physikalischen Schnittstellen. Die Auswahl geeigneter Schutzgeräte zeigt **Bild 9.19.13**. Wind- und Strahlungssensoren mit analoger Signalübertragung können mit der DEHNbox DBX geschützt werden. Durch die ActiVsens Techologie ist DEHNbox DBX für Signalspannung bis 180 V einsetzbar und passt den Schutzpegel automatisch an. Wird bei der Kommunikation zwischen den Wechselrichtern eine RS 485 Schnittstelle verwendet, ist der BLITZDUCTOR XT ideal. Für Kamerasysteme mit koaxialer Bildübertragung, wie sie für Diebstahl-Schutzanlagen Verwendung finden, kommt DEHNgate BNC VC zum Einsatz. Stehen Substationen großer PV-Kraftwerke über Ethernet untereinander in Verbindung, eignet sich als Schutzgerät DEHNpatch M CAT6, das auch für PoE (Power over Ethernet) Anwendungen eingesetzt werden kann. Egal ob ISDN oder ADSL – die Geräte zur Verbindung mit der Außenwelt werden auch über die Datenleitung mit den erforderlichen Schutzgeräten geschützt (**Bild 9.19.13**).

Anlagenüberwachung auf Stringebene: Bei Kraftwerken mit Zentralwechselrichtern sind im Feld GAKs mit zusätzlicher Messsensorik installiert. Wird die Anlage mit Stringwechselrichtern realisiert, übernimmt deren integrierte Stringüberwachung diese Aufgabe. In beiden Fällen werden die Messwerte aus dem Feld über Datenschnittstellen übertragen. Die Datenleitungen werden, vom Betriebsraum aus, zusammen mit den Energiekabeln (AC oder DC) verlegt. Aufgrund der begrenzten Leitungslängen von Feldbussystemen werden die Datenkabel dann auch einzeln quer zu den Modultischen geführt. Bei einem direkten Einschlag übertragen diese „Querverbindungen" dann auch Blitzteilströme. Diese können die Eingangsbeschaltungen beschädigen sowie Überschläge zur Leistungsverkabelung zur Folge haben. Im Zusammenspiel von Leistungskabeln, metallenen Modultischreihen und Datenleitungen werden darüber hinaus auch großflächige Induktionsschleifen ausgebildet (**Bild 9.19.14**). Ein ideales Umfeld für transiente Überspannungen infolge von Blitzentladungen, die in diese Leitungen eingekoppelt werden können. Derartige Spannungsspitzen sind in der Lage, die Isolations-/Impulsfestigkeit dieser Systeme zu überschreiten. Überspannungsschäden sind die Folge. In diesen Monitoring-GAKs, beziehungsweise in den dezentralen Stringwechselrichtern, sind deshalb auch SPDs für die Datenübertragung einzusetzen. Kabelschirme müssen normgerecht an allen Anschlusspunkten angeschlossen werden (DIN EN 50174-2 (VDE 0800-174-2) Abs. 5.3.6.3). Um Funktionsstörungen wie Rippel und vagabundierende Ströme zu unterbinden, kann dies auch über eine indirekte Schirmerdung erfolgen. Beispielsweise kann hier der BLITZDUCTOR XT (**Bild 9.19.13**) zusammen mit der EMV Federklemme SAK BXT LR, zur indirekten Schirmerdung, eingesetzt werden.

Ein durchgängiger Blitz- und Überspannungsschutz aller Systeme ist in der Lage, die Performance Ratio dieser Kraftwerke deutlich anzuheben. Der Service- und Wartungsaufwand reduziert sich ebenso wie die Reparatur- und Ersatzteilkosten. Die gesamte Wertigkeit des PV-Kraftwerks wird dementsprechend angehoben.

Überspannungsschutz für Local Operating Network (LON)

Medium	Transceiver	Übertragung	Netzausdehnung	Knoten ➡ Knoten	Knotenversorgung
2-Draht	TP/XF-78	78 kbit/s	1400 m Bus/Linie		separat
2-Draht	TP/XF-1250	1250 kbit/s	130 m Bus/Linie		separat
2-Draht	**FTT10-A**	78 kbit/s	2700 m Bus/Linie 500 m freie Struktur	J-Y(ST)Y 2x2x0,8 320 m freie Struktur	separat
2-Draht	**LPT-10**	78 kbit/s	2200 m Bus/Linie 500 m freie Struktur	J-Y(ST)Y 2x2x0,8 320 m freie Struktur	über Busleitung

Tabelle 9.20.1 Transceiver (gebräuchliche in Fettdruck) mit ihren Übertragungsraten und max. zulässigen Netzausdehnungen

Mittels der LONWorks-Technologie können dezentrale Automationssysteme realisiert werden. Dabei kommunizieren intelligente Knoten über das LonTalkProtokoll®. Das Herzstück eines Knotens ist der Neuron-Chip (3120, 3150 und verschiedenste Weiterentwicklungen), der mittels Transceiver auf ein Übertragungsmedium zugreift und über eine E/A-Beschaltung für den Anschluss von Schaltern, Relais, Analogausgaben, Analogwert-Messungen usw. verfügt (**Bild 9.20.1**).

Übertragungsmedien

Neben der beschriebenen 2-Draht-Verbindung gibt es noch die 230 V-, LWL-, Koaxialkabel-, LAN- und die Funk-Übertragung.

Übertragungsmedium 2-Draht-Busleitung

Die Transceiver für eine 2-Draht-Busleitung (z. B. J-Y(ST) Y 2x2x0,8) unterscheiden sich durch ihre Übertragungsrate (kbit/s) und somit auch hinsichtlich ihrer max. Netzausdehnung in Metern Leitungslänge (**Tabelle 9.20.1**).
Aufgrund der Möglichkeit der freien Verlegung werden die Geräte in der LON-Gebäudeinstallation überwiegend mit FTT (Freie-Topologie-Transceiver) und LPT (Link-Power-Transceiver) ausgerüstet (LPT sind mit FTT am gleichen Bus kompatibel).

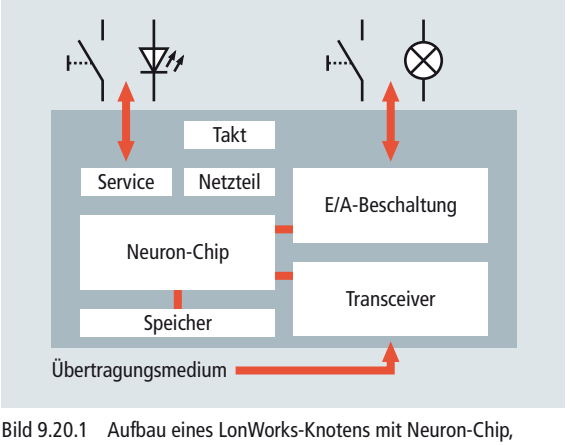


Bild 9.20.1 Aufbau eines LonWorks-Knotens mit Neuron-Chip, Transceiver und E/A-Beschaltung

Die Transceiver in FTT-/LPT-Netzwerksystemen haben die in **Tabelle 9.20.2** angeführten Kapazitätswerte zwischen den Adern und zwischen jeder Ader gegenüber Erde. Beim Einsatz von Überspannungsschutzgeräten sind deren Kapazitäten (Ader/Ader und Ader/Erde) zu berücksichtigen, denn dementsprechend reduziert sich die max. Anzahl der einsetzbaren Transceiver (**Tabelle 9.20.3**).

Entstehung von Überspannungen durch Induktionsschleifen

Bereits bei der Leitungsverlegung ist darauf zu achten, dass es nicht zur Bildung von Induktionsschleifen kommt. Daher sind die Bus- und Niederspannungsleitungen zu den Busteilnehmern in unmittelbarer räumlicher Nähe zueinander zu verlegen (**Bild 9.20.2**). Bei der Spannungsfestigkeit von 2,5 kV für

Transceiver	Kapazität	
	Ader/Ader	Ader/Erde
FTT10-A	300 pF	10 max. 20 pF
LPT-10	150 pF	10 pF

Tabelle 9.20.2 Kapazitätswerte von Transceivern in FTT-/LPT-Netzwerken

Überspannungs-schutzgerät	Kapazität	
	Ader/Ader	Ader/Erde
BXT ML2 BD S 48	700 pF	25 pF

Tabelle 9.20.3 Kapazitätswerte von Überspannungsschutzgeräten

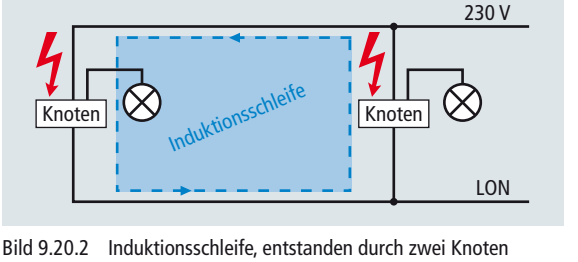


Bild 9.20.2 Induktionsschleife, entstanden durch zwei Knoten

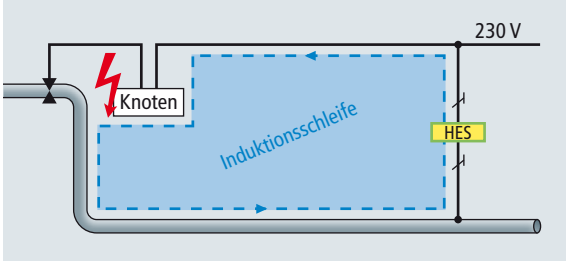


Bild 9.20.3 Induktionsschleife entstanden durch ein Magnetventil an einer metallischen Rohrleitung

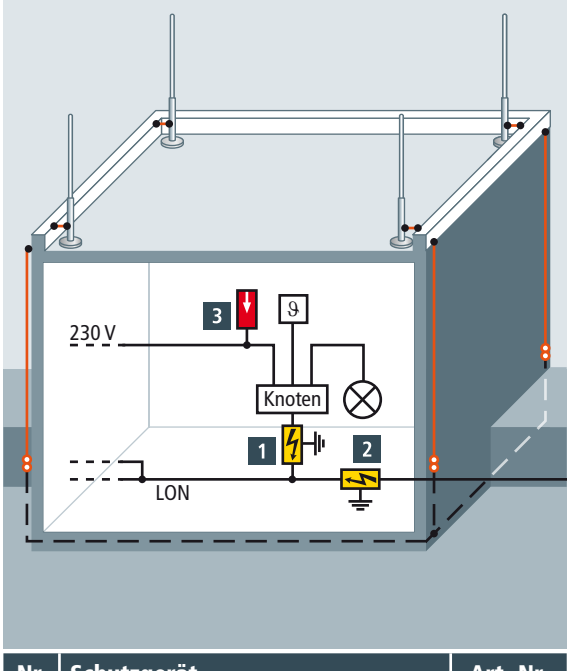
ein J-Y(ST)Y kann die direkte Parallelverlegung zu einer Niederspannungsleitung erfolgen. Nach Entfernung des J-Y(ST)Y-Leitungsmantels sind jedoch 10 mm Abstand erforderlich.

Eine Schleifenbildung entsteht außerdem bei einem Knoten, der an einer metallischen Konstruktion / Rohrleitung angebracht ist, welche an die Haupterdungsschiene angeschlossen wurde (**Bild 9.20.3**). Auch hier empfiehlt sich eine möglichst nahe Leitungsverlegung zur Konstruktion / Rohrleitung.

Überspannungsschutz bei einer gemischt-verzweigten Topologie

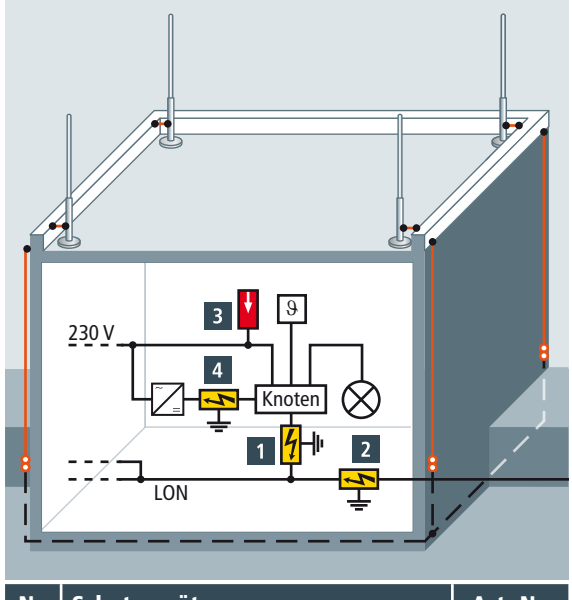
Sofern sich die am Knoten angeschlossenen Ein- / Ausgänge in unmittelbarer Nähe zu diesem befinden, kann auf eine Schutzbeschaltung verzichtet werden.

Bild 9.20.4 zeigt den Schutz von LPT-Transceivern, die über die 2-adrige Busleitung spannungsversorgt werden. Der Schutz von direkt spannungsversorgten FTT-Transceivern (i. d. R. 24 V DC) bei längeren Netzgeräteanschlussleitungen wird im **Bild 9.20.5** dargestellt.



Nr.	Schutzgerät	Art.-Nr.
1	BXT ML2 BD S 48 + BXT BAS	920 245 920 300
2	wie 1 (Blitzschutz-Potentialausgleich)	
3	DR M 2P 255	953 200

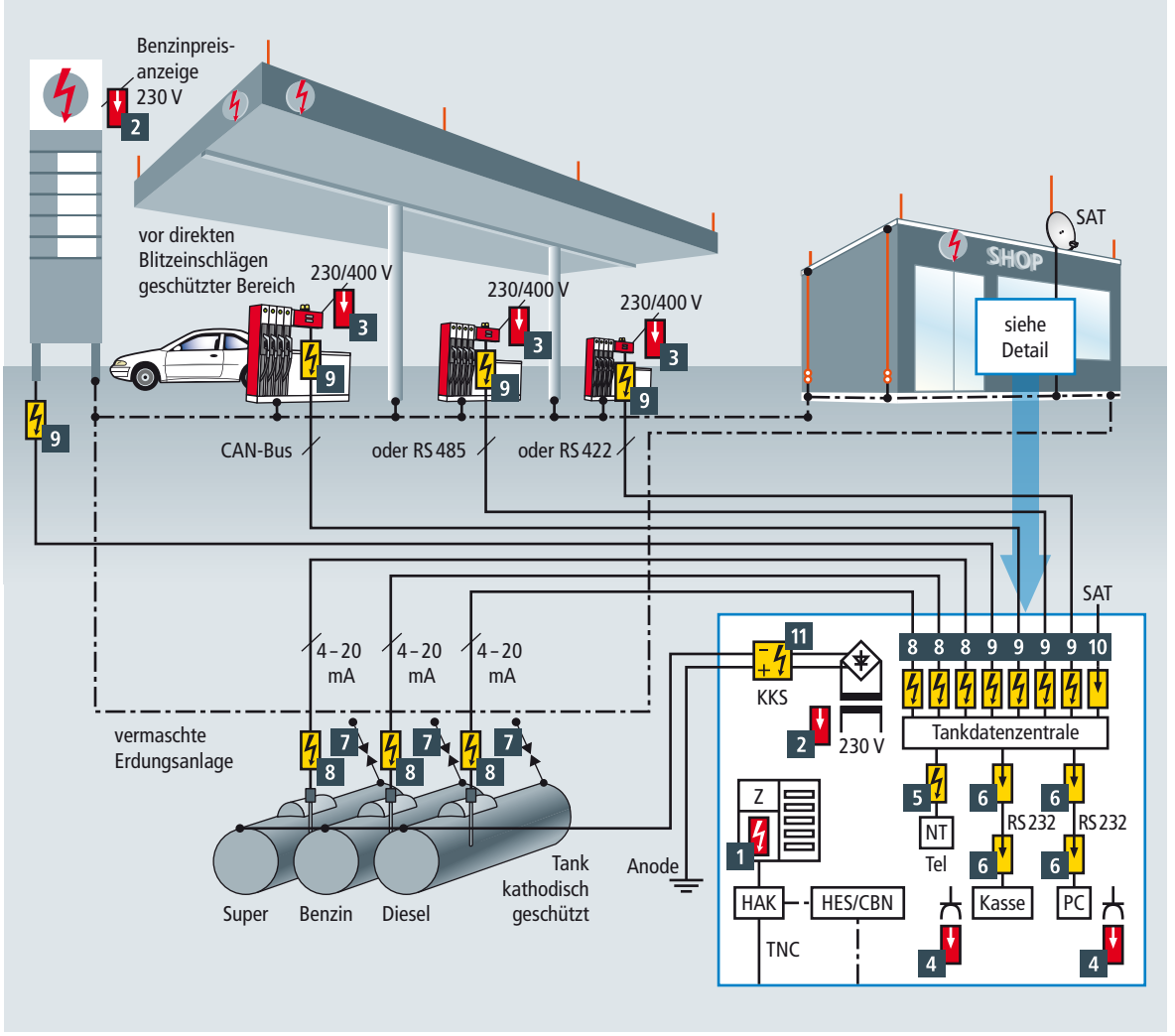
Bild 9.20.4 Einsatz von Überspannungsschutzgeräten bei LPT-Transceiver in einer gebäudeübergreifenden, gemischt-verzweigten Topologie



Nr.	Schutzgerät	Art.-Nr.
1	BXT ML2 BD S 48 + BXT BAS	920 245 920 300
2	wie 1 (Blitzschutz-Potentialausgleich)	
3	DR M 2P 255	953 200
4	BXT ML2 BE S 24 + BXT BAS	920 224 920 300

Bild 9.20.5 Einsatz von Überspannungsschutzgeräten bei FTT-Transceiver in einer gebäudeübergreifenden, gemischt-verzweigten Topologie

Überspannungsschutz für Tankstellen



	Einsatz	Typ	Art.-Nr.
1	T...-System, 3~ T...-System	DV M T... 255 alternativ: DV ZP T...	951... 900 3...
2	TN-System, 1~ TT-System, 1~	DG M TN 275 DG M TT 2P 275	952 200 952 110
3	TN-S-System, 3~ TT-System, 3~	DG M TNS 275 DG M TT 275	952 400 952 310
4	1~	DPRO 230	909 230
5	Telefon	BXT ML2 BD 180 + BXT BAS	920 247 920 300
6	D-Sub, 25p.	FS 25E HS 12	924 018

	Einsatz	Typ	Art.-Nr.
7	Zone 1 oder 2	EXFS 100	923 100
8	4 – 20 mA, 2p. 4 – 20 mA, 4p.	BXT ML2 BE S 24 BXT ML4 BE 24 + BXT BAS	920 224 920 324 920 300
9	CAN, RS 485, RS 422, 2p. CAN, RS 485, RS 422, 2p.	BXT ML2 BE HFS 5 BXT ML4 BE HF 5 + BXT BAS	920 270 920 370 920 300
10	SAT	DGA FF TV	909 703
11	Schutzstromkreis	BVT KKS ALD 75	918 420

Bild 9.21.1 Tankstellenanlage mit Blitzschutzsystem, vermaschter Erdungsanlage, Schutz- und Funktionspotentialausgleich und Überspannungsschutzmaßnahmen

Tankstellen sind durch Blitz und Überspannung besonders gefährdet. Leit- und Anzeigesysteme reagieren extrem empfindlich bei Blitzströmen und Überspannungen.
Die Notwendigkeit eines Blitzschutzsystems für Tankstellen ist u. a. auf der Basis einer Gefährdungsanalyse nach der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV), den Technischen Regeln für Betriebssicherheit (TRBS 2152 Teil 3), den VDE-Bestimmungen und den brandschutztechnischen Forderungen der jeweiligen Landesbauordnung (LBO) zu ermitteln.
So schreibt die BetrSichV vor, dass jegliche Zündquellen ausgeschlossen werden müssen. Einige LBO formulieren wie folgt: *„Bauliche Anlagen, bei denen nach Lage, Bauart oder Nutzung Blitzschlag leicht eintreten oder zu schweren Folgen führen kann, sind mit dauernd wirksamen Blitzschutzanlagen zu versehen."*

Zur Beurteilung einer Gefährdung kann die Risikoanalyse im Teil 2 der Blitzschutznorm (DIN EN 62305-2) genutzt werden. Anlagenspezifische Parameter bestimmen das vorhandene Risiko einer baulichen Anlage. Sind die ermittelten Werte der Risiken höher als die in der Norm aufgeführten akzeptierbaren Werte, so sind Maßnahmen (äußerer Blitzschutz, Überspannungsschutz, Brandmeldetechnische Sicherheits- u. Schutzsysteme usw.) zu wählen, welche die zu hohen vorhandenen Risiken auf akzeptierbare Risiken reduzieren.
Bereits in der DIN VDE 0100-100 ist die Aussage zu finden, dass Sachwerte gegen Schäden durch Überspannung als Folge atmosphärischer Einwirkungen oder Schalthandlungen geschützt sein müssen.
Die hier vorgeschlagenen Überspannungsschutzgeräte beziehen sich auf einen Einbau außerhalb evtl. vorhandener Ex-Zonen (Zone 0, 1 und 2). Befinden sich die Überspannungsschutzgeräte innerhalb von Ex-Zonen, muss durch entsprechende Maßnahmen (z. B. zugelassene Gehäuse und/oder zugelassene Überspannungsschutzgeräte) sichergestellt werden, dass keine Zündung erfolgt.

Die außerhalb des Tankstellengebäudes liegenden Einrichtungen (z. B. die Benzinpreisanzeige) sind durch direkte Blitzeinschläge gefährdet und werden am Gebäudeeintritt mit Blitzstrom-Ableitern beschaltet. Das gilt auch für die von außen kommende VNB-Zuleitung.
Die Zapfsäulen befinden sich unter einem Vordach aus Metall und somit innerhalb eines Bereiches, der vor direkten Blitzeinschlägen geschützt ist. Aus diesem Grund und durch die vorhandene vermaschte Erdungsanlage (**Bild 9.21.1**) wurden für die Schutzbeschaltungen der zu der Zapfsäulenelektronik geführten Leitungen am Leitungseintritt in das Tankstellengebäude und am Leitungseintritt in die Zapfsäule Überspannungs-Ableiter verwendet.

Grundvoraussetzung für einen Schutz vor direkten Blitzeinschlägen ist ein nach DIN VDE fachgerecht ausgeführter äußerer Blitzschutz in Kombination mit einem konsequenten Blitzschutz-Potentialausgleich und zusätzlichen Überspannungsschutzmaßnahmen. Die Tabelle im **Bild 9.21.1** zeigt die Schutzgeräte-Typen, die sich für die Beschaltung der verschiedenen Schnittstellen und Systemkomponenten eignen.
Wichtig ist es, dass alle Metallkonstruktionen (z. B. Rohrleitungen, Zapfsäulengehäuse, Tanks) zusammengeschlossen und mit der Erdungsanlage des Tankstellengebäudes verbunden werden. Die Erdungsanlage sollte nach DIN EN 62305-3 einen Erdungswiderstand $< 10\ \Omega$ haben (Empfehlung). Tankanlagen mit einem kathodischen Korrosionsschutz dürfen nur über Ex-Funkenstrecken mit der Erdungsanlage verbunden werden.

Die im **Bild 9.21.1** beschriebenen Bussysteme, Sensoren und informationstechnischen Anschlüsse wurden beispielhaft aufgeführt und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Für die Errichtung sind ausschließlich die Angaben der jeweiligen Detailplanung und die Vorgaben und Hinweise der abnehmenden Institution maßgebend.

Berührungs- und Schrittspannungsschutz für Sportanlagen

Die Notwendigkeit von Blitzschutzsystemen für Spiel- und Sportflächen sowie für angrenzende Zuschauerbereiche wird zunehmend öffentlich diskutiert. Schadensereignisse in jüngster Vergangenheit sowie die Zunahme der Gewitterhäufigkeit (**Bild 9.22.1**) sind Belege für den Bedarf von Schutzmaßnahmen. Durch Blitzeinschläge in Flutlichtanlagen, in Tribünen und Zaunanlagen oder gar in Spielflächen entsteht ein hohes Gefahrenpotential für Sportler und Zuschauer. Personen, die direkt vom Blitz getroffen werden oder die in der Nähe blitzstromführender Anlagenteile stehen und durch einen Überschlag ebenfalls von Blitzteilströmen durchflossen werden, haben mit schwersten Verletzungen bis hin zum Tod zu rechnen. Personen, die nicht direkt getroffen werden, sich jedoch im Nahbereich der Blitzeinschlagstelle (Spannungstrichter) befinden, überbrücken mit den Beinen oder durch Berührung anderer Personen eine lebensgefährliche Spannungsdifferenz (Schrittspannung). Diese hat Verletzungen wie Herzkammerflimmern, Herzrhythmusstörungen, Herzstillstand und nicht zuletzt Verletzungen, die durch panikartiges Verlassen des Geländes vorprogrammiert sind, zur Folge. Aus diesem Grund wird in den Landesbauordnungen verschiedener Bundesländer auf dieses Risiko wie folgt verwiesen:

Bauliche Anlagen, bei deren Lage, Bauart oder Nutzung ein Blitzeinschlag leicht eintreten oder zu schweren Folgen führen kann, sind mit dauernd wirksamen Blitzschutzanlagen zu versehen. (Bayerische Bauordnung, Bay Bo Art. 44)
Dieser Artikel findet auch Anwendung bei Sportstätten.

In Fachkreisen wurden daher organisatorische Verhaltensregeln und Warnhinweise erarbeitet, die vorbeugend auf Risiken durch Blitzschlag hinweisen. Rechtzeitiges Erkennen der Bedrohung bedeutet, man kann die gefährdeten Bereiche räumen und sich in Gebäude oder ausgewiesene Schutzbereiche zurückziehen. Zusätzliche Blitzschutzmaßnahmen reduzieren das Verletzungsrisiko in der kritischen Umgebung von Flutlichtanlagen, entlang metallener Zäune und auf Fluchtwegen. Informationen hierzu sind in der Fachveröffentlichung des Verbandes Deutscher Elektrotechniker (VDE) „Richtiges Verhalten bei Gewittern" oder in Ausarbeitungen des Ausschusses für Blitzschutz und Blitzforschung (ABB), z. B. „Überlegungen zum Blitzeinschlag auf dem Sportplatz in Wald-Michelbach am 08.08.2008", zu finden. Das Errichten von fest installierten Schutzsystemen auf Gebäuden, an Beleuchtungsanlagen oder auf Tribünen wird in der aktuellen Blitzschutznorm DIN EN 62305-3, Beiblatt 2, beschrieben.

Gebäudeblitzschutz / Blitzschutz-Potentialausgleich

Unterstände, Umkleidekabinen und Sportheime dienen als Zuflucht bei plötzlich einsetzendem Starkregen und bei Gewittern. Die Installation einer Blitzschutzanlage entsprechend der Blitzschutzklasse III nach DIN EN 62305-3 ist mindestens erforderlich für Gebäude dieser Nutzung. Nach DIN EN 62305-3, Beiblatt 2, ist bei Zuschauerplätzen auf Tribünen und Rängen ohne Überdachung die Schutzklasse II anzuwenden. Metallene Zaunanlagen und Tribünenteile sowie Fahnenmaste oder Anzeigetafeln können bei Blitzeinschlägen ebenfalls von Blitzteilströmen durchflossen werden. Daraus resultierende Potentialdifferenzen sind die Ursache für unkontrollierte Überschläge.

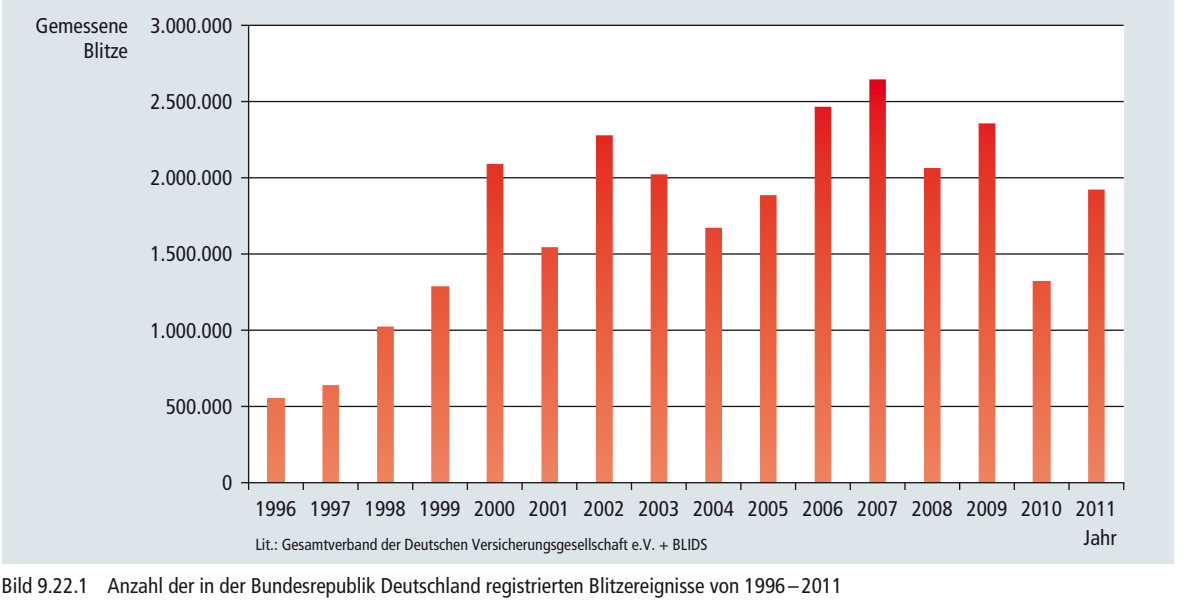


Bild 9.22.1 Anzahl der in der Bundesrepublik Deutschland registrierten Blitzereignisse von 1996 – 2011

Bild 9.22.2 Blitzschutz-Potentialausgleich mit DEHNventil M

Bild 9.22.3 DEHNconductor HVI-light-Leitung

Diese verursachen Brände und gefährden Personen und Tiere, die sich in unmittelbarer Nähe aufhalten. Um dies zu verhindern, müssen diese Anlagenteile miteinander leitfähig verbunden werden. **Bild 9.22.2** zeigt die Verbindung des Blitzschutzsystems mit dem elektrischen Netzsystem der Energietechnik 230/400 V am Eintritt der Niederspannungs-Hauptverteilung mit einem Kombi-Ableiter DEHNventil. Der dazugehörige Blitzschutz-Potentialausgleich für metallene und elektronische Systeme verhindert zusätzlich die Entstehung eines Brandes innerhalb dieser baulichen Anlagen.

Getrennte Fangeinrichtung

Nach dem Stand der Blitzschutztechnik werden metallene Flutlichtmaste, Tribünenteile, Anzeigetafeln sowie Fahnenmaste mit getrennt angebrachten Fangeinrichtungen gegen direkte Blitzeinschläge geschützt. Diese Anlagenteile haben leitfähige Verbindungen über elektrische Leitungen zu empfindlichen elektrischen/elektronischen Einrichtungen. Durch getrennte Fangeinrichtungen mit dem DEHNconductor HVI-System (hochspannungsfeste isolierte Leitung; **Bild 9.22.3**) werden Überschläge ausgeschlossen. Die metallenen Flutlichtmaste, Anzeigetafeln, Tribünenteile und Fahnenmaste bleiben somit blitzstromfrei, und es wird vermieden, dass gefährliche Blitzströme zu empfindlichen elektrischen Systemen fließen können. **Bild 9.22.4** verdeutlicht den Aufbau eines blitzstromgeschützten Mastes mit DEHNconductor HVI-System. Die Höhe der Fangspitze richtet sich nach der jeweiligen Blitzschutzklasse, die vorher bestimmt werden muss. Die hochspannungsfeste isolierte Ableitung (HVI-Leitung) kann mit systemspezifischem Zubehör, unter Beachtung der Montagenleitung, direkt am Mast befestigt werden. Der Blitzstrom wird am Mast und an der elektrotechnischen Installation vorbeigeleitet.

Bild 9.22.4 HVI-Leitung, am Mast installiert

Blitzschutz an Flutlichtanlagen

Flutlichtanlagen, die nahe am Spielfeldrand oder an Zuschauertribünen stehen, sollten mit einer Blitzschutzanlage versehen werden. Die Erdungsanlagen der einzelnen Maste sollten untereinander und mit den Erdungsanlagen der Vereinsgebäude (Sportheime, Umkleidekabinen oder Technikgebäude) verbunden werden. Diese zusätzlichen Verbindungen verbessern den Potentialausgleich sowie die Wirksamkeit der einzelnen Fun-

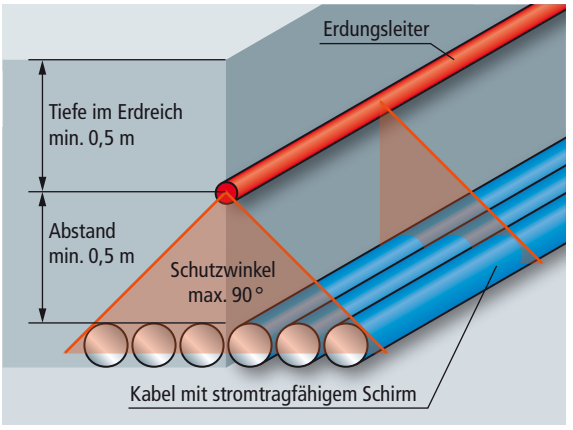


Bild 9.22.5 Schutzbereich für Kabeltrasse

damenterder und bilden bei richtiger Verlegung einen Schutzbereich bei direktem Blitzeinschlag in die Kabeltrassen der Flutlichtanlage (**Bild 9.22.5**).

Standortisolierung, Berührungs- und Schrittspannung (Potentialsteuerung)

Personen, die sich während eines Blitzeinschlages direkt neben Flutlichtmasten, Ballfangzäunen, Fahnenmasten oder in Unterständen aufhalten, die von Blitzströmen durchflossen werden, überbrücken mit ihren Beinen hohe Potentialdifferenzen (Schrittspannung) oder können unter Umständen direkt die leitfähigen Konstruktionen berühren (Berührungsspannung). Das daraus resultierende Verletzungsrisiko kann reduziert werden, indem der Standort entsprechend isoliert, also eine sogenannte Standortisolierung errichtet wird. Dies vermindert die Gefahr einer unzulässig hohen Berührungs- und Schrittspannung im Falle eines Blitzeinschlages. Eine Isolierschicht aus mindestens 5 cm dickem Asphalt um die Anlagenteile kann nach DIN EN 62305 gegen Berührungsspannung als ausreichend angesehen werden. Eine Alternative ist der Einsatz von CUI-Leitungen mit Spannungsfestigkeiten von ≥ 100 kV (1,2/50 µs).

Zur Verringerung der Schrittspannung ist auch die Installation einer Potentialsteuerung nach DIN EN 62305-3, Beiblatt 1, möglich. Hierfür werden zusätzliche Erderleitungen um die Maste oder metallenen Tribünen im Erdreich verlegt und miteinander verbunden (**Bild 9.22.6a**). Die Potentialdifferenz im

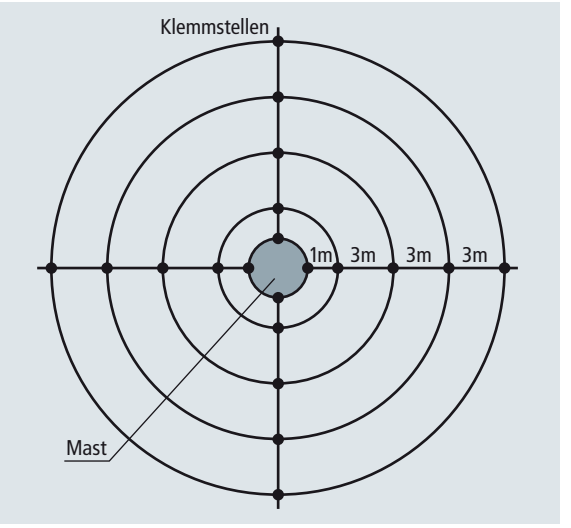


Bild 9.22.6a Potentialsteuerung an einem Mast

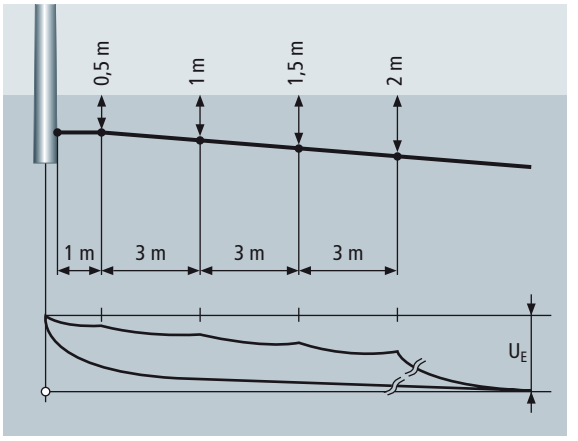


Bild 9.22.6b Potentialsteuerung an einem Mast

Bereich der Potentialsteuerung wird geringer. Der Blitzstrom kann sich gleichmäßiger im Erdreich verteilen. Mit zunehmender Entfernung zum Mast soll die Tiefe jeweils um 0,5 m vergrößert werden (**Bild 9.22.6b**). Die Schrittspannungs-Potentialdifferenz wird niedriger, je gleichmäßiger die Erder verlegt werden, und das Verletzungsrisiko wird deutlich reduziert.

Blitz- und Überspannungs-schutz für Golfanlagen

Golfplätze sind Anlagen mit ausgedehnter und umfangreicher Infrastruktur. Sie bestehen in der Regel aus einem Clubhaus, einer Caddy-/Trolley-Halle (oft mit integrierter Driving Range), Umkleide- und Sozialhütten, Schutzhütten und Cart-Abstellplätzen/-Halle (mit Ladestationen). Eine großflächige Bewässerungsanlage stellt die Rasenqualität sicher. Golfplätze sind oft so weit von bestehenden Niederspannungsnetzen entfernt, dass der Verteilungsnetzbetreiber (VNB) eine Mittelspannungsversorgung (Kompaktstation) vorsieht.
Generell ist es sinnvoll, das Schadensrisiko durch Blitzschlag entsprechend DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305 Teil 2) für verschiedene Anlagenteile des Golfplatzes abzuschätzen und die daraus resultierenden Ergebnisse in die Planung der Schutzmaßnahmen einzubeziehen.
Blitzschutzmaßnahmen sind eine Kombination aus Maßnahmen des äußeren Blitzschutzes und des Blitzschutz-Potentialausgleichs für alle am Gebäude ein- und austretenden Serviceleitungen (z. B. metallene Rohrleitungen für Gas, Wasser sowie elektrische Versorgungs- und Steuerleitungen).

Die Maßnahmen des Blitzschutz-Potentialausgleichs nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305 Teil 3) sind z. B.:

- Einsatz von Blitzstrom-Ableitern Typ 1 (z. B. DEHNventil) für elektrische Leitungen
- die direkte Anbindung metallener Systeme an den Potentialausgleich.

Der Schutz vor transienten Überspannungen (resultierend aus indirekten Blitzeinwirkungen oder Schalthandlungen aus dem elektrischen Versorgungsnetz) wird durch den Einsatz von Überspannungs-Ableitern (Typ 2-Ableiter, z. B. DEHNguard) erreicht. Dies erhöht die Sicherheit und die Verfügbarkeit der Anlagen. Normative Hinweise hierzu finden sich in der DIN EN 62305-4, DIN VDE 0100-443 sowie in DIN EN 50 174-2.

Schutzhütten

Schutzhütten, z. B. auf Golfplätzen, müssen nicht nur Schutz vor Sturm und Regen bieten, sondern auch vor den Auswirkungen von Blitzen.
Ein äußerer Blitzschutz, kombiniert mit Maßnahmen zur Verringerung unzulässig hoher Schritt- und Berührungsspannungen im Zugangsbereich und im Hütteninneren, ist hier ebenfalls notwendig, um mögliche Gefahren bei Blitzeinschlag zu vermeiden (**Bild 9.23.1**). Für den Standort der Schutzhütte sollten exponierte Stellen (auf Anhöhen, am Waldrand, unter allein stehenden Bäumen) gemieden werden. Lesen Sie Näheres dazu im Kapitel 9.28.

Das Clubhaus

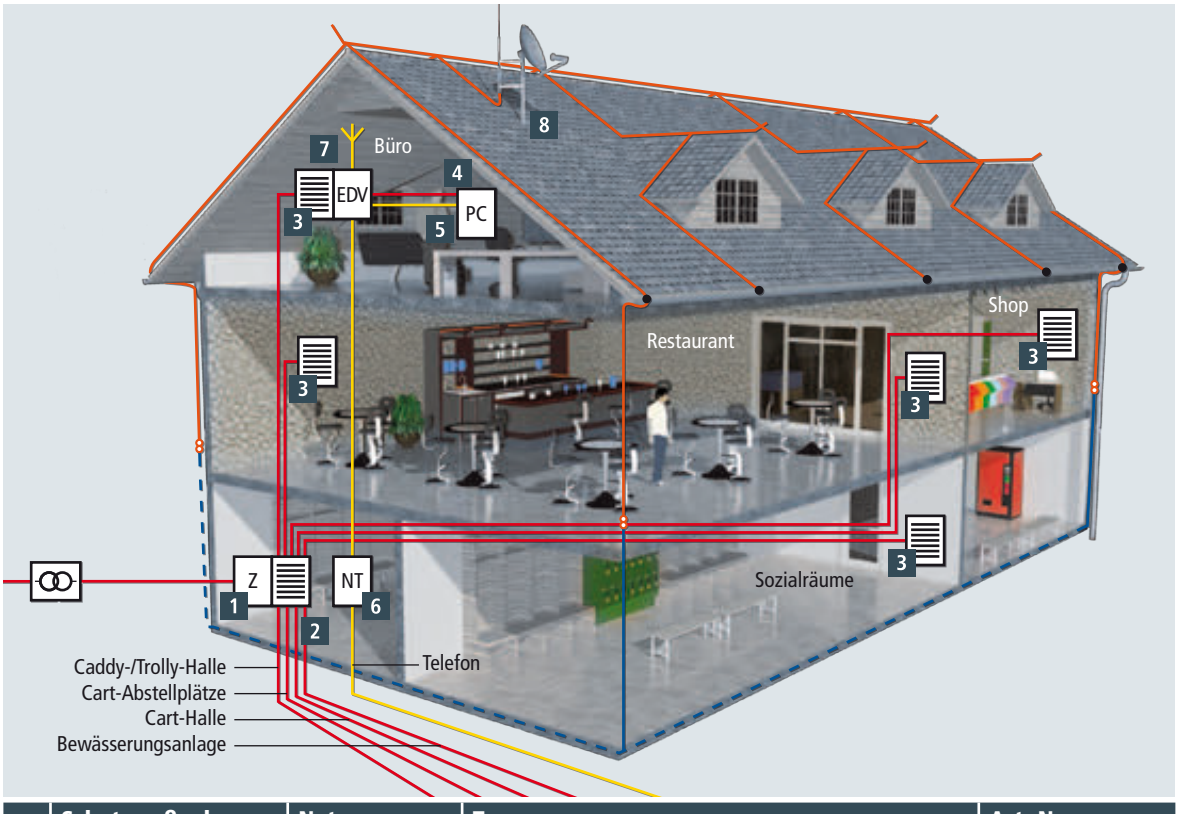
Wird die elektrische Versorgungsleitung in das Clubhaus eingespeist, so befindet sich oft im Untergeschoss die Niederspannungs-Hauptverteilung (NSHV). Diese NSHV versorgt

Bild 9.23.1 Schutz vor Schritt- und Berührungsspannung für eine Schutzhütte mit einem Eingang und definierter Zugangsrichtung

wiederum die einzelnen Unterverteilungen (Restaurants, Sozialräume, Büros, Shops und weitere abgesetzte Gebäude). Unabhängig davon, ob ein äußerer Blitzschutz vorhanden ist, wird in der NSHV ein Kombi-Ableiter Typ 1 eingesetzt, da eine mögliche Gefährdung durch Blitzströme über die Versorgungsleitung ausgeschlossen werden soll (**Bild 9.23.2**). In den Unterverteilungen werden Überspannungs-Ableiter des Typs 2 eingesetzt.
Auch die Telefon-/Datenanbindung endet üblicherweise im Technikraum des Clubhauses. Im einfachsten Fall werden mehrere Leitungen (U_{k0}-Leitungen) für Telefon und Daten-/Internetzugang eingeführt.
Für die U_{k0}-Leitungen wird zudem nahe am Gebäudeeintritt ein Kombi-Ableiter Typ 1 für die Informationstechnik eingesetzt.
Die Bürokommunikation, die RFID-Systeme für die Ballausgabe, Zugangsberechtigungen und Cart-Freigaben sind wichtige Funktionen. Deshalb sollte die Netzwerkkarte durch einen Überspannungs-Ableiter für den LAN-Anschluss und die Versorgungsspannung durch einen Überspannungs-Ableiter Typ 3 geschützt werden.
Nicht zu vergessen ist die Schutzbeschaltung der Sende-/Empfangsantenne des RFID-Systems oder die der SAT-Antenne für den Fernseh- und Radioempfang am Gebäudeeintritt.

Caddy-/Trolley-Halle mit integrierter Driving Range

Maßnahmen zur Vermeidung unzulässig hoher Schritt- und Berührungspannungen bei Blitzeinwirkung sind häufig unumgängliche Sicherheitsmaßnahmen in Verbindung mit dem äußerem Blitzschutz. Diese sind an Eingangs- und Unterstellbereichen mit hohem Publikumsverkehr anzuwenden. Hierzu können verschiedene Maßnahmen ergriffen werden.



	Schutzmaßnahmen	Netz	Typ	Art.-Nr.
1	Kombi-Ableiter Hutschiene	TN-C-System TN-S-System TT-System	DEHNventil DV M TNC 255 DEHNventil DV M TNS 255 DEHNventil DV M TT 255	951 300 951 400 951 310
	Kombi-Ableiter Stromschiene	TN-C-System TN-S-System TT-System	DEHNventil DV ZP TNC 255 DEHNventil DV ZP TT 255 DEHNventil DV ZP TT 255	900 390 900 391 900 391
2	l_{uv} ➡ Gebäudeaustritt < 15 m, Blitzstrom-Ableiter Hutschiene	TN-S-System TT-System	4 x DEHNbloc DB M 1 255 3 x DEHNbloc DB M 1 255 + 1 x DEHNgap DGP M 255	961 120 961 120 + 961 101
3	Überspannungs-Ableiter Hutschiene	TN-S-System TT-System	DEHNguard DG M TNS 275 DEHNguard DG M TT 275	952 400 952 310
4	Überspannungs-Ableiter Dose / Steckdose	Alle	DEHNflex DFL M 255 ÜS-Modul für Steckdosen STC 230 SFL-Protector SFL PRO 6X	924 396 924 350 909 250
	Schnittstelle		**Typ**	**Art.-Nr.**
5	LAN – Datennetzwerk		DEHNpatch DPA M CAT6 RJ45S 48	929 100
6	Telefon	1 Amtsleitung 2 Amtsleitungen	BLITZDUCTOR BXT ML2 BD 180 + Basisteil BXT BAS BLITZDUCTOR BXT ML4 BD 180 + Basisteil BXT BAS	920 247 + 920 300 920 347 + 920 300
7	WLAN-Antenne		DEHNgate DGA G BNC + Befestigungswinkel	929 042 + 106 329
8	SAT-Antenne		DEHNgate DGA FF TV	909 703

Bild 9.23.2 Überspannungsschutz der niederspannungs- und informationstechnischen Versorgung eines Clubhauses

	Ableiter	Netz	Typ	Art.-Nr.
1	Kombi-Ableiter, Hutschiene	TN-S-System TT-System	DEHNventil DV M TNS 255 DEHNventil DV M TT 255	951 400 951 310
2	Überspannungs-Ableiter, in Dose Überspannungs-Ableiter, Hutschiene	Alle	DEHNflex DFL M 255 DEHNrail DR M 2P 255	924 396 953 200
	Schnittstelle		**Typ**	**Art.-Nr.**
3	WLAN-Antenne		DEHNgate DGA G BNC + Befestigungswinkel	929 042 + 106 329

Bild 9.23.3 Schutz vor Überspannung, Schritt- und Berührungsspannung für die Caddy-/Trolly-Halle mit integrierter Driving Range

Eine ist beispielsweise die Einhaltung eines Oberflächenwiderstandes ≥ 100 kΩ in einem eingegrenzten Schutzbereich von 3 m um die Ableitung herum (z. B. 5 cm Asphalt).

Wie einführend beschrieben, ist für die verschiedenen Systeme der Blitzschutz-Potentialausgleich nahe am Gebäudeeintritt durchzuführen, und, wenn nötig (Risikoanalyse), sind weiterführende Überspannungs-Schutzmaßnahmen bis hin zum Endgerät vorzunehmen (**Bild 9.23.3**).
Bei den Cart-Abstellplätzen und der Cart-Halle wird bei den Schutzmaßnahmen nach dem gleichen Prinzip wie beim Clubhaus oder der Caddy-/Trolley-Halle mit Driving Range verfahren.

Bewässerungsanlage

Sie wird meistens aus einem künstlichen Teich gespeist. Die hierfür erforderlichen Pumpen befinden sich in unterirdischen Schächten und werden aus einem Technikgebäude angesteuert (**Bild 9.23.4**).

Die Druckwasserleitung verläuft über das gesamte Golfplatzareal. Über Abzweige versorgte Beregner bewässern die einzelnen Grüns und Abschläge. Magnetventile, die sich entweder am Beregner selbst befinden oder aber in ebenerdigen Boxen montiert sind, geben den Wasserdurchfluss frei und lassen die Beregner aus ihrer ebenerdigen Lage ausfahren. Zur Aktivierung der einzelnen Beregner werden die Magnetventile von Decodern angesteuert. Über eine zweiadrige Ringleitung erfolgen die Datenübertragung und die Spannungsversorgung für die Ventile (z. B. 35 V/1 Hz, 1,1 A). Diese zweiadrige Leitung kann teilweise über 10 km lang sein. Die Anschlussleitungen zu den Magnetventilen überschreiten jedoch eine Länge von 150 m nicht, da es sonst zu unzulässig hohen Spannungsverlusten kommen würde.

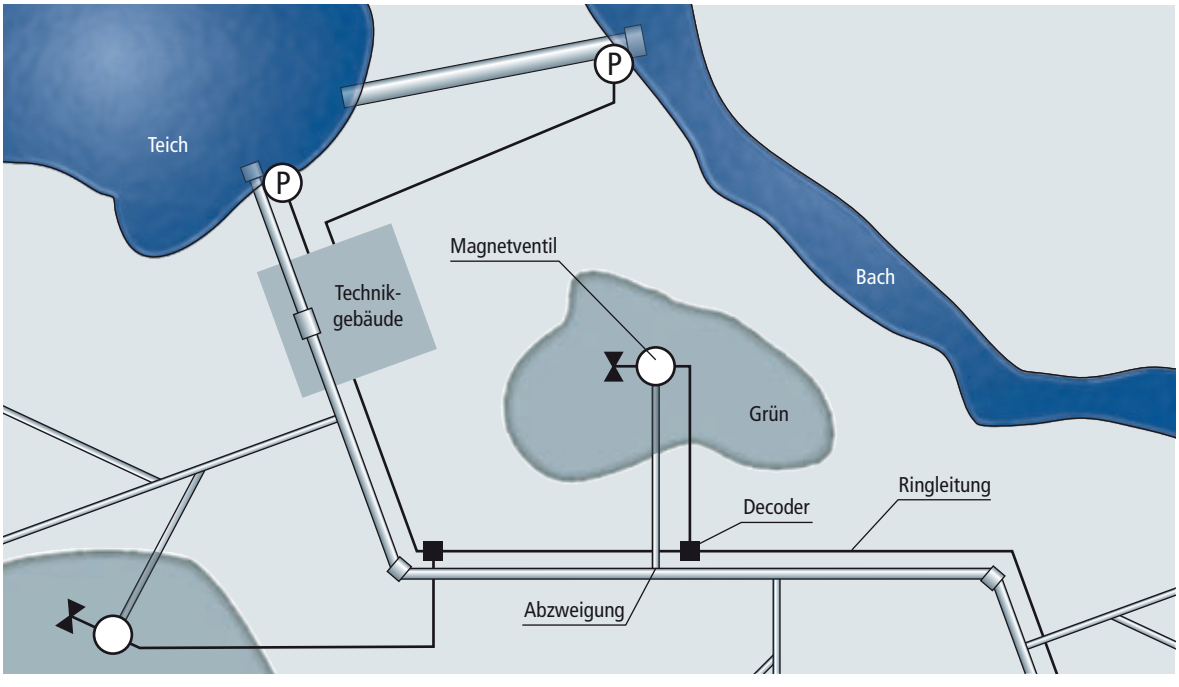
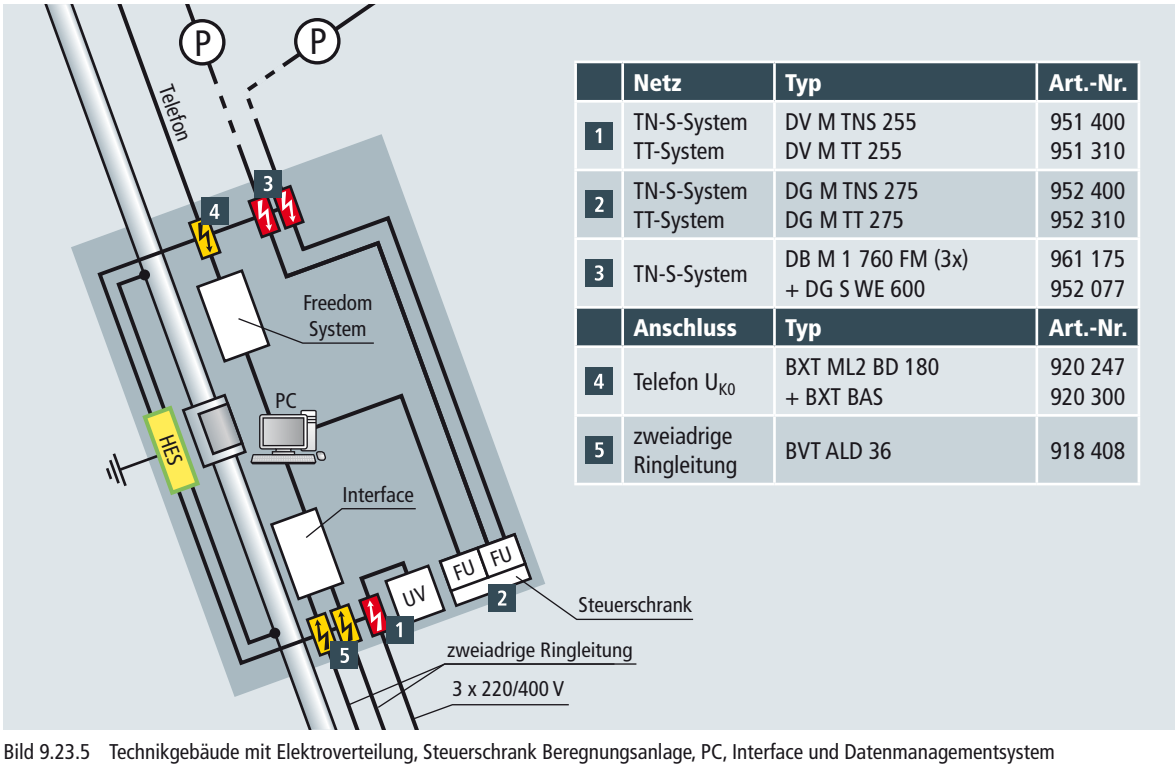


Bild 9.23.4 Druckleitung mit Abzweigen, Magnetventilen, 2-adriger Ringleitung und Decodern



	Netz	Typ	Art.-Nr.
1	TN-S-System TT-System	DV M TNS 255 DV M TT 255	951 400 951 310
2	TN-S-System TT-System	DG M TNS 275 DG M TT 275	952 400 952 310
3	TN-S-System	DB M 1 760 FM (3x) + DG S WE 600	961 175 952 077
	Anschluss	**Typ**	**Art.-Nr.**
4	Telefon U_{K0}	BXT ML2 BD 180 + BXT BAS	920 247 920 300
5	zweiadrige Ringleitung	BVT ALD 36	918 408

Bild 9.23.5 Technikgebäude mit Elektroverteilung, Steuerschrank Beregnungsanlage, PC, Interface und Datenmanagementsystem

Die lange zweiadrige Ringleitung und auch die teilweise sehr langen Leitungen zu den Magnetventilen stellen hier die größte überspannungstechnische Gefährdung dar. In der Praxis werden deshalb bei der zweiadrigen Ringleitung in Abständen von ca. 150 m entsprechende Überspannungsschutzgeräte eingesetzt. Bereits während der Installation der Druckwasser- und zweiadrigen Ringleitung ist für das Erstellen von geeigneten, korrosionsfesten Erdungsanlagen (Tiefenerder oder mitverlegter Strahlenerder) zu sorgen, um die Überspannungsschutzgeräte örtlich erden zu können.

Technikgebäude

Am Eintritt in das Technikgebäude ist ein Blitzschutz-Potentialausgleich für die Druckwasserleitung, für die zweiadrige Ringleitung, die informations- und energietechnische Zuleitung und für die Pumpenleitung zu erstellen.
Je nach Größe des Gebäudes können für die interne Leitungsverlegung weitere Überspannungs-Schutzmaßnahmen vor den jeweiligen Steuerungsanlagen notwendig werden (**Bild 9.23.5**).

Alle hier vorgestellten Schutzlösungen sind Beispiele. Der Blitz- und Überspannungsschutz muss an die jeweiligen Gegebenheiten angepasst werden.

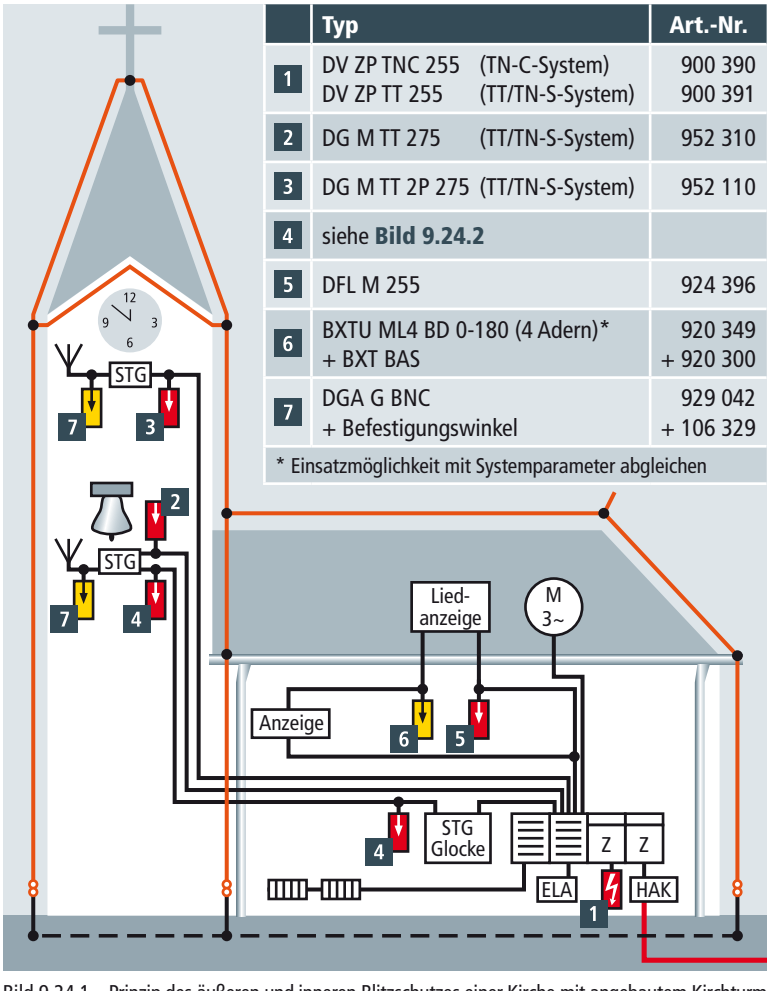
Überspannungsschutz für Kirchen

Kirchen als Gebäude mit hohem kulturellen Wert wie auch als Stätten mit größeren Menschenansammlungen sind mit dauerhaft wirksamen Blitzschutzanlagen auszustatten. In der Blitzschutznorm DIN EN 62305-3, Beiblatt 2 wird diese Thematik im Abschnitt 18 behandelt.
Der Überspannungsschutz wird in der Blitzschutznorm DIN EN 62305-4 beschrieben. In der DIN VDE 0100-100, Absatz 131.6.2 heißt es dazu: „Sachwerte müssen gegen Schäden durch Überspannung, welche als Folge atmosphärischer Einwirkungen oder durch Schalthandlungen entstanden sind, geschützt sein".

Ein in der Praxis oft anzutreffender Ausstattungsumfang ist im **Bild 9.24.1** dargestellt und das Beschaltungsdetail der Steuerleitung Glockensteuerung im **Bild 9.24.2**.
Die Einhaltung des Trennungsabstands s zwischen den Ableitungen bzw. blitzstrombehafteten leitfähigen Teilen und den im Kirchturm verlegten Leitungen schließt zwar die Überschlaggefahr aus, nicht jedoch die elektromagnetische Kopplung. Zu deren Minimierung sind folgende Maßnahmen möglich:

- kurze Leitungslängen
- keine / geringe Schleifenbildung.

Sofern dies nicht möglich ist, wird der Einsatz von Überspannungsschutzgeräten erforderlich.



	Typ		Art.-Nr.
1	DV ZP TNC 255 DV ZP TT 255	(TN-C-System) (TT/TN-S-System)	900 390 900 391
2	DG M TT 275	(TT/TN-S-System)	952 310
3	DG M TT 2P 275	(TT/TN-S-System)	952 110
4	siehe **Bild 9.24.2**		
5	DFL M 255		924 396
6	BXTU ML4 BD 0-180 (4 Adern)* + BXT BAS		920 349 + 920 300
7	DGA G BNC + Befestigungswinkel		929 042 + 106 329

* Einsatzmöglichkeit mit Systemparameter abgleichen

Bild 9.24.1 Prinzip des äußeren und inneren Blitzschutzes einer Kirche mit angebautem Kirchturm

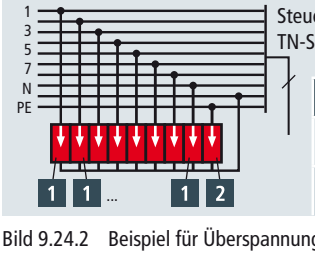
Blitzschutz-Potentialausgleich

Eine Blitzschutzanlage erfordert den Blitzschutz-Potentialausgleich, und diesen sowohl für metallische Systeme wie auch für alle aus dem Erdreich eingeführten Kabel. Bei Kirchen betrifft dies immer die Niederspannungsversorgung und eventuell weitere Kabel (z. B. Wegebeleuchtung).

Überspannungsschutz

Die im Glockenturm und im Kirchenschiff verlegten Leitungen sind oft lang und/oder zeigen Schleifenbildungen. Vorrangig betrifft dies die Leitungen der elektrischen Kirchturmuhr wie auch die der Glockensteuerung. Beide Systeme werden heutzutage über das DCF 77 Signal zeitsynchronisiert.
Sofern die Liedanzeige nicht durch Funktechnik gesteuert wird, ist hier ebenfalls mit einer erhöhten elektromagnetischen Kopplung zu rechnen.

Neben den vorgenannten Anlagentechniken lässt sich die Liste der betroffenen Systeme um die Rohrheizung, die Orgel und die Beschallungsanlage erweitern.
Die energietechnischen Überspannungsschutzgeräte Typ 2 (230 V bzw. 230/400 V) erfordern im gezeigten Beispiel keinen separaten Erdungsleiter zur Haupterdungsschiene, da das erste Überspannungsschutzgerät bereits die erforderliche Erdung aufweist.



Steuerleitung NYY-J 10 x 2,5 mm²
TN-S- bzw. TT-System

	Typ	Art.-Nr.
1	DG S 275	952 070
2	DGP C S	952 030

Bild 9.24.2 Beispiel für Überspannungsschutz der Glockensteuerung

Überspannungsschutz für Lichtbänder

Lichtbänder in der Industrie, im Gewerbe und in der Landwirtschaft werden aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten mit stabförmigen Leuchtstofflampen (Durchmesser 26 mm bzw. 16 mm) und mit elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) betrieben.

Bei hohen Hallen finden Lichtbandleuchten mit tiefstrahlender Ausleuchtungscharakteristik ihren Einsatz. Allein der turnusmäßige Austausch der Leuchtmittel (ca. 16.000 Brennstunden bei 26 mm Röhren, ca. 20.000 Brennstunden bei 16 mm Röhren) ist in einem solchen Fall mit hohen Kosten verbunden. Hierfür werden Steiger benötigt, und der Austausch wird in der Regel in die betriebsfreien Zeiten verlegt.

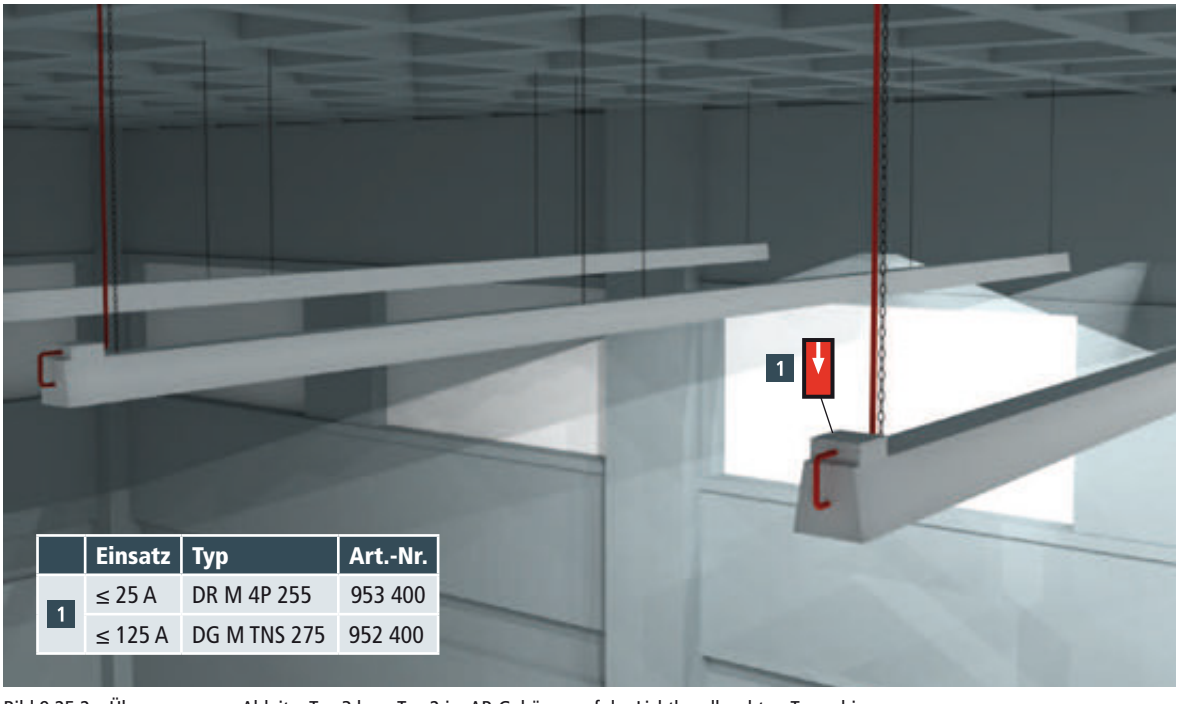
Wie aber ist es, wenn einzelne EVGs durch Überspannung zerstört werden oder gar ein ganzes Lichtband ausfällt? Dann besteht ein sofortiger Handlungsbedarf, denn oft steht die erforderliche Mindestbeleuchtungsstärke nicht mehr zur Verfügung, was neben einer nachlassenden Arbeitsleistung auch Unfallgefahren zur Folge haben kann.
Die DIN VDE 0100-443 regelt den Schutz vor Überspannungen infolge atmosphärischer Einflüsse oder von Schaltvorgängen. Als Lösung für gewerbliche Anlagen in Deutschland beschreibt die Norm unter 443.3.2.2 den Einsatz von Überspannung-Schutzeinrichtungen (Ableiter SPD Typ 2 bzw. Typ 3).

Die oft langen Zuleitungen zu den Lichtbändern bieten eine hohe Einkoppelmöglichkeit. Auch ein vorhandener Überspannungs-Ableiter SPD Typ 2 oder Kombi-Ableiter SPD Typ 1 in der speisenden Verteilung kann die eingekoppelte Spannungsspitze an den Leuchten nicht verhindern. Es bedarf eines zusätzlichen Überspannungs-Ableiters in unmittelbarer Lichtbandnähe.

Eine erhöhte Einkopplungsgefahr auf die Lichtbänder selbst, wird bei der sehr oft verwendeten Lichtbandausführung in der Schutzklasse I (PE-Anschluss) stark reduziert. Sofern Lichtbänder mit Leuchten in doppelter oder verstärkter Isolierung bestückt werden, sind die Lichtbandverdrahtungen sehr oft in einem metallenen Trageprofil verlegt und somit durch dessen geschirmte Ausführung weitestgehend geschützt.

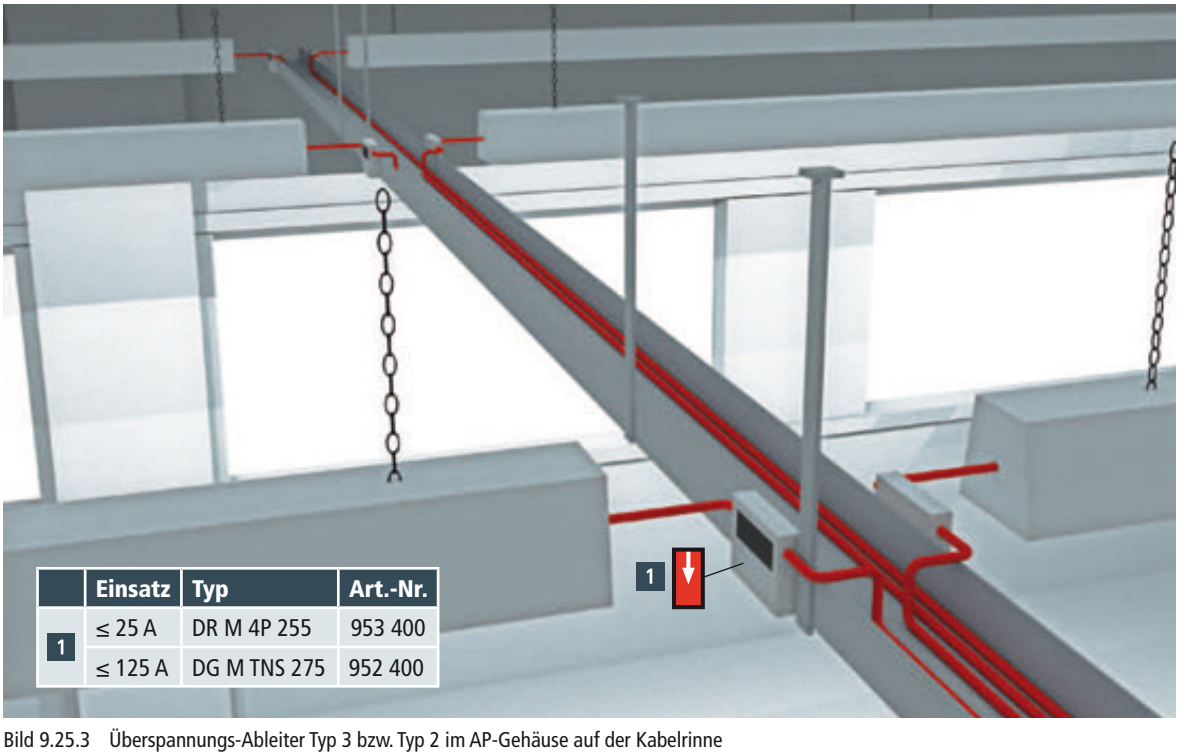
In der Praxis findet man sowohl Lichtbänder mit Wechselstromeinspeisungen 230 V/50 Hz wie auch mit Drehstromeinspeisungen 3 x 230/400 V/50 Hz. Für beide gilt, dass die maximale Anzahl der anzuschließenden Leuchten durch den Querschnitt der Durchgangsverdrahtung bestimmt wird. Um bei der Absicherung den Einschaltströmen der EVGs Rechnung zu tragen, gibt der Leuchtenhersteller die max. Anzahl der jeweiligen Leuchten in Abhängigkeit der Bemessungsströme von Überstromschutzorganen an. D. h., dass z. B. an

Bild 9.25.1 Überspannungs-Ableiter Typ 3 in Büroraumleuchten



	Einsatz	Typ	Art.-Nr.
1	≤ 25 A	DR M 4P 255	953 400
	≤ 125 A	DG M TNS 275	952 400

Bild 9.25.2 Überspannungs-Ableiter Typ 3 bzw. Typ 2 im AP-Gehäuse auf der Lichtbandleuchten-Tragschiene



	Einsatz	Typ	Art.-Nr.
1	≤ 25 A	DR M 4P 255	953 400
	≤ 125 A	DG M TNS 275	952 400

Bild 9.25.3 Überspannungs-Ableiter Typ 3 bzw. Typ 2 im AP-Gehäuse auf der Kabelrinne

einem 16 A-Leitungsschutzschalter der Charakteristik B nur 13 Stück 2-lampige EVG-Leuchten T26/58 W angeschlossen werden dürfen, obwohl der Betriebsstrom bei 13 x 0,58 A = 7,54 A liegt. Da Leuchten keine Überlast verursachen, braucht die Leitung nur gegen Kurzschluss geschützt zu werden. Auch der Spannungsfall wird nicht nach dem Bemessungsstrom des Überstromschutzorganes, sondern nach dem Betriebsstrom der Leuchten bestimmt.

In der Praxis kommen bei kleineren, mit Wechselstrom gespeisten Lichtbändern, mit Absicherungen bis 16 A, Überspannungs-Ableiter SPD Typ 3 zum Einsatz (**Bild 9.25.1**). Die kleine Bauform dieser Überspannungs-Ableiter ermöglicht die Anbringung im Leuchtengehäuse.

Für Drehstromlichtbänder bieten sich bei einer Absicherung bis 25 A Überspannungs-Ableiter SPD Typ 3 an, welche als REG in einem AP-Gehäuse mit entsprechender Schutzart unmittelbar auf der Tragschiene montiert werden können (**Bild 9.25.2**). Diese Montagevariante empfiehlt sich bei Leuchtenzuleitungen, welche über eine lange Abpendelung (mehrere Meter) eingespeist werden.

Sind die vorgenannten Lichtbänder in Deckennähe montiert, sollte die Installation des vorstehend beschriebenen AP-Gehäuses an der Kabelrinne gewählt werden (**Bild 9.25.3**).

Werden leistungsstarke Drehstromlichtbänder (Nennstrom > 25 A) über lange Leitungsstrecken versorgt, müssen zur Einhaltung des Spannungsfalls und der Schleifenimpedanz oftmals größere Querschnitte verlegt werden. In solchen Fällen wird der Leiterquerschnittt kurz vor der Anschlussstelle des Lichtbandes über eine Verteilerdose auf den an die Anschlussklemme anschließbaren Querschnitt (meist 2,5 mm^2) verjüngt. Hier bietet sich der Einsatz von Überspannungs-Ableitern SPD Typ 2 an. Diese sind am Markt für das TN-S und auch das TT-System erhältlich. Die beschriebenen Überspannungs-Ableiter dürfen bis max. 125 A vorgesichert werden, was aufgrund der Kurzschlussbelastung der Lichtbandverdrahtung ohnehin nicht infrage kommt.

Überspannungsschutz für Aufzüge

Aufzüge finden ihre Verwendung zur Beförderung von Personen und Lasten in allen privaten und gewerblichen Bereichen. Bei geringen Förderhöhen kommen oft hydraulische Aufzüge zum Einsatz, ansonsten Seilaufzüge mit Gegengewichten. Die Geschwindigkeiten von Personenaufzügen beginnen bei ca. 1 m/s, betragen bei mittleren Gebäuden / Hochhäusern bis 8 m/s und erreichen bei Hochhäusern der nächsten Generation bis zu 17 m/s. Lastenaufzüge erreichen Förderkapazitäten von bis zu 5 Tonnen.

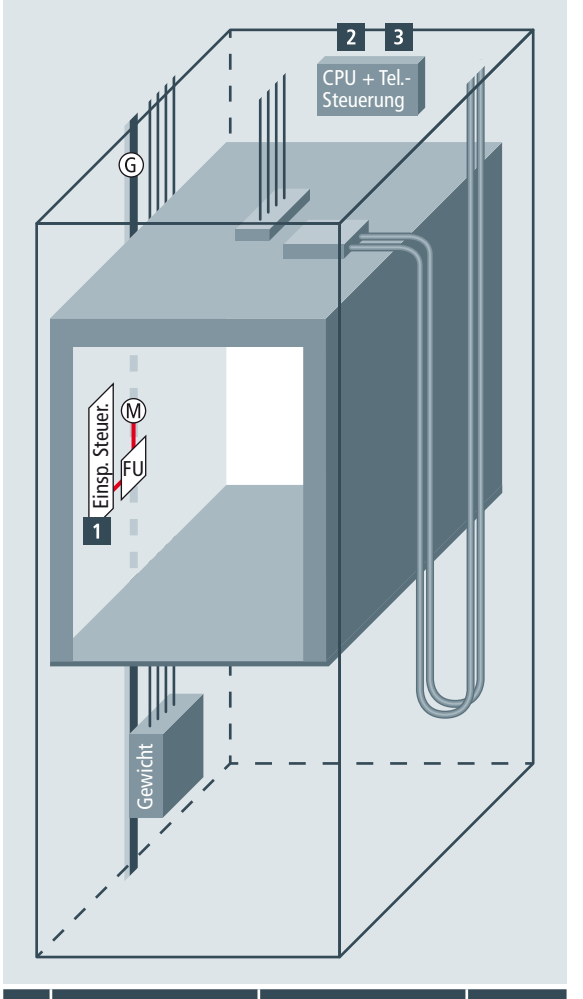
Aufzüge verfügen über zahlreiche Funktionen wie:

- sanftes, durch Frequenzumrichter gesteuertes Anfahren und Abbremsen
- Verkehrsoptimierungsmaßnahmen (z. B. Vorbeifahren bei Volllast, Vorzugsfahrten, Verhalten von Aufzügen im Brandfall)
- Energieeinsparfunktionen, welche bei Leerfahrten oder beim Stillstand die Kabinenbeleuchtung und den Ventilator ausschalten
- Energieeinspeisefunktion, welche bei Lastfahrten zum Erdgeschoss wie auch bei Leerfahrten zu den Obergeschossen die entstandene kinetische Energie ins Netz einspeist.

Diese Funktionen sind nur mittels hochsensibler Elektronik möglich.

Bereits die Hersteller von Aufzugsanlagen setzen zahlreiche Maßnahmen um, damit Einkopplungen auf die Aufzugsverkabelung / -technik auf ein akzeptables Maß reduziert werden. Doch ob es metallische und somit schirmend wirkende Verteiler sind oder ob es die Art der Leitungsführung bzw. -beschaffenheit ist, alle diese Maßnahmen können nicht verhindern, dass leitungsgeführte, transiente Überspannungen die Aufzugsanlage schädigen.

In der Aufzugstechnik werden die peripheren Einheiten (z. B. Stockwerktableaus oder Stockwerksanzeigen) mit konfektionierten, steckbaren Verbindungsleitungen angeschlossen. Eine Überspannungsschutzbeschaltung beschränkt sich somit auf den energietechnischen Netzanschluss, die Telefonleitung und, sofern vorhanden oder vorgesehen, die Aufschaltung der Brandmeldeanlage (**Bild 9.26.1**).



	Einsatz	Typ	Art.-Nr.
1	TN-S-System TT-System	DG M TNS 275 DG M TT 275	952 400 952 310
2	Telefon U_{K0}/ Nebenstelle	BXT ML2 BD 180 + BXT BAS	920 247 920 300
3	Aufschaltung BMZ ➡ SPS	BXT ML2 BE S 24 + BXT BAS	920 224 920 300

Bild 9.26.1 Überspannungsschutzbeschaltung eines Aufzugs

Überspannungsschutz für Rauch- und Wärme-abzuganlagen

Um im Brandfall eine bauliche Anlage gefahrlos verlassen zu können, ist es erforderlich, dass die Rettungswege rauchfrei gehalten werden, denn Rauch beeinträchtigt die Orientierung und die Atmung des Menschen.
Rauch- und Wärmeabzuganlagen (RWA) verfügen sowohl über Handmelder wie auch über automatische Melder, die den entstandenen Rauch bzw. die Wärme detektieren und über elektromechanisch oder pneumatisch angetriebene Fenster bzw. Lichtkuppeln aus dem Bereich des Rettungsweges leiten. Neben dieser Hauptaufgabe werden die angesteuerten Fenster bzw. RWA-Lichtkuppeln zu Lüftungszwecken genutzt. Hierfür stehen zusätzliche Schaltgeräte zur Verfügung, welche Schaltbefehle untergeordneter Priorität absetzen können. Bedingt durch die erforderliche Funktionsbereitschaft auch bei einem Netzspannungsausfall, verfügen die Zentralen über interne Akkus, welche die Spannungsversorgung der Rauchwarnanlage sicherstellen. Aus diesem Grund werden die Stellantriebe der Fenster und Lichtkuppeln für Gleichspannungsbetrieb ausgelegt.

In den nachstehend aufgeführten Beispielen wurde die branchenübliche Spannung von 24 V DC zur Dimensionierung der Überspannungsschutzgeräte zugrunde gelegt. Des Weiteren betrachten wir die RWA-Lichtkuppeln, welche über elektromechanische Antriebe betätigt werden und deren Nennstrom 1,8 A bzw. 4 A DC nicht überschreitet.

Bauliche Anlage mit nichtmetallenem Dach und äußerem Blitzschutz

Eingelassene oder vorstehende Dachaufbauten von baulichen Anlagen mit äußerem Blitzschutz sind entsprechend DIN EN 62305-3 unter Einhaltung des Trennungsabstands s in den Schutzraum von Fangeinrichtungen zu bringen, sofern sie folgende Grenzwerte überschreiten:

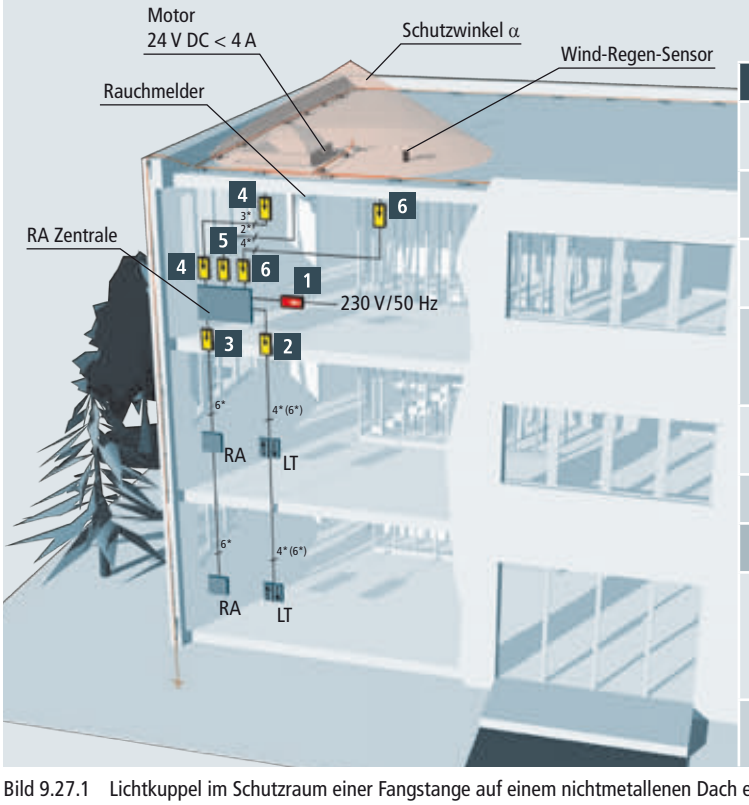
Eingelassene oder vorstehende metallene Dachaufbauten:

- 0,3 m Höhe über dem Dachniveau
- 1,0 m² Gesamtfläche des Aufbaus
- 2,0 m Länge des Aufbaus.

Eingelassene oder vorstehende nichtmetallene Dachaufbauten:

- 0,5 m Höhe über der Fangeinrichtung.

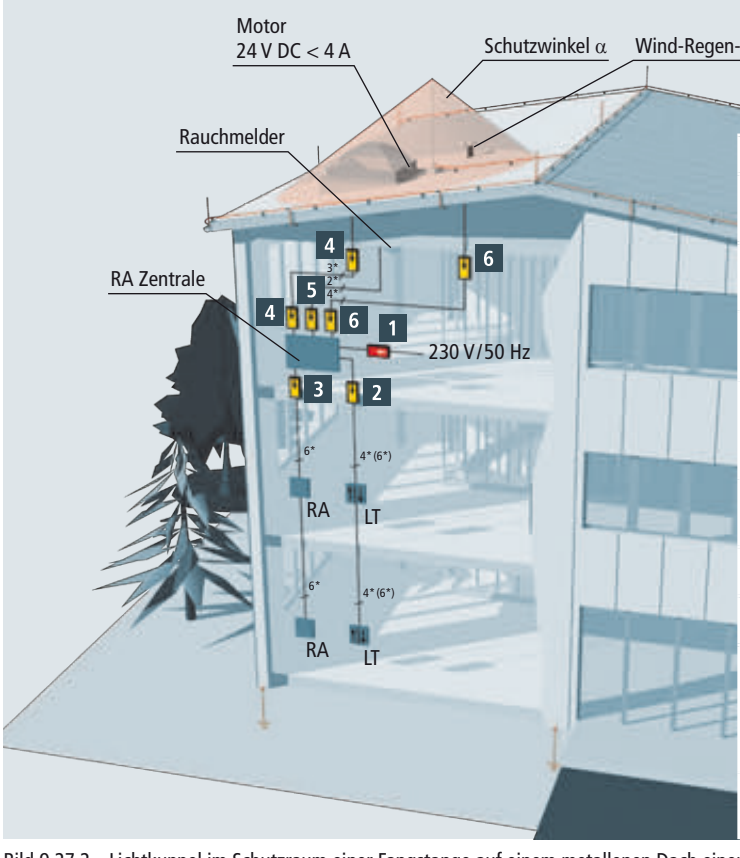
Aufgrund der vorstehenden Forderungen sind RWA-Lichtkuppeln entsprechender Größe vor Blitzeinschlägen zu schützen.



Nr.	Schutzgerät	Art.-Nr.
1	DG M TN 275 (TN-S-Netz) DG M TT 2 P 275 (TT-Netz)	952 200 952 110
2	BXT ML4 BE 24 + BXT BAS	920 324 920 300
3	2 Stk. BXT ML4 BE 24 + 2 Stk. BXT BAS	920 324 920 300
4	BXT ML4 BE 36 (1,8 A) + BXT BAS oder 2 x BVT ALD 36 (4 A)	920 336 920 300 918 408
5	BXT ML2 BE S 24 + BXT BAS	920 224 920 300
6 = 2		
Alternativ 2 3 5 6		
	TL2 10DA CC DRL 10 B 180 FSD EF 10 DRL 8 Stk. DRL RE 24	907 991 907 401 907 498 907 422

* Mindestanzahl der erforderlichen Adern (individuelle Herstellerangaben beachten)

Bild 9.27.1 Lichtkuppel im Schutzraum einer Fangstange auf einem nichtmetallenen Dach einer baulichen Anlage mit äußerem Blitzschutz



Nr.	Schutzgerät	Art.-Nr.
1	DG M TN 275 (TN-S-Netz) DG M TT 2 P 275 (TT-Netz)	952 200 952 110
2	BXT ML4 BE 24 + BXT BAS	920 324 920 300
3	2 Stk. BXT ML4 BE 24 + 2 Stk. BXT BAS	920 324 920 300
4	BXT ML4 BE 36 (1,8 A) + BXT BAS oder 2 x BVT ALD 36 (4 A)	920 336 920 300 918 408
5	BXT ML2 BE S 24 + BXT BAS	920 224 920 300
6 = 2		
Alternativ 2 3 5 6		
	TL2 10DA CC DRL 10 B 180 FSD EF 10 DRL 8 Stk. DRL RE 24	907 991 907 401 907 498 907 422

* Mindestanzahl der erforderlichen Adern (individuelle Herstellerangaben beachten)

Bild 9.27.2 Lichtkuppel im Schutzraum einer Fangstange auf einem metallenen Dach einer baulichen Anlage mit metallener Ableiterstruktur (Stahlskelett, verbundener Stahlbeton oder geerdete Metallfassade)

Durch den Einsatz von Fangstangen befinden sich die RWA-Lichtkuppeln in der Blitzschutzzone LPZ 0_B , welche keine Blitzstrombeeinflussung für dort eingesetzte Betriebsmittel darstellt (**Bild 9.27.1**). Ein Überspannungs-Ableiter erfüllt die in dieser Zone an ihn gestellten Anforderungen hinsichtlich der induktiven Einkopplungen.

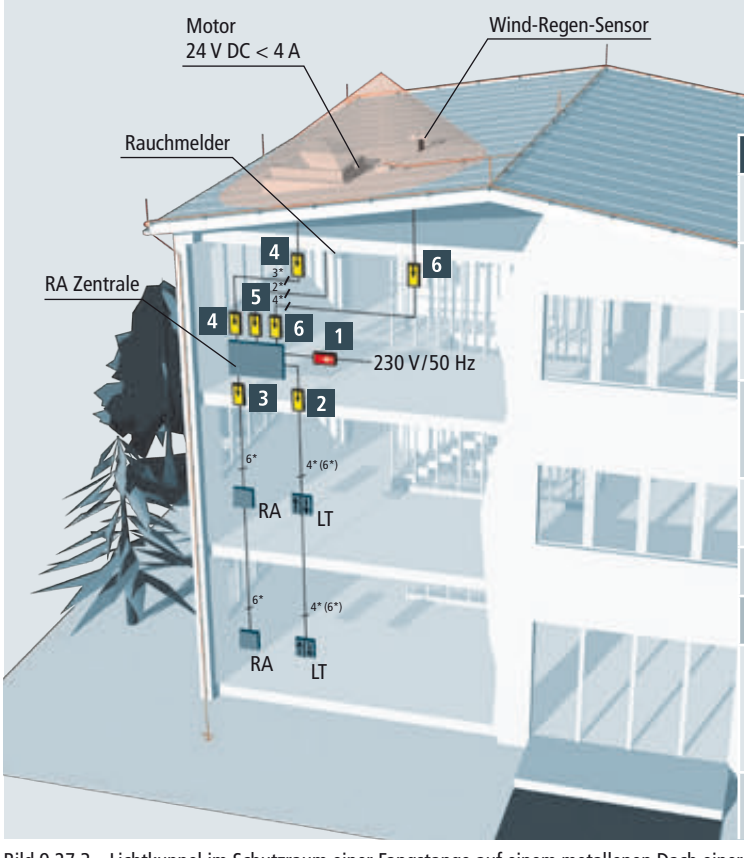
Bauliche Anlage mit metallenem Dach und äußerem Blitzschutz

Im Gegensatz zu den baulichen Anlagen mit nichtmetallenen Dächern und äußerem Blitzschutz unterscheidet man hier unterschiedliche, normative Aussagen zur Verwendbarkeit von metallenen Dächern hinsichtlich ihrer Blitzstromtragfähigkeit als Fangeinrichtung:

1. Das metallene Dach kann als natürliche Fangeinrichtung genutzt werden, wenn der Hersteller die Verwendbarkeit als Fangeinrichtung bestätigt (DIN EN 62305-3, Bbl. 4).
2. Das metallene Dach erfüllt nicht die erforderliche Dicke t` (DIN EN 62305-3, Tabelle 3) und muss durch Fangeinrichtungen vor Direkteinschlägen geschützt werden, da eine Durchlöcherung aufgrund leicht entflammbaren Materials (oder Holzbretter) unter dem Blechdach zum Brand führen könnte bzw. auch die Wasserdichtigkeit nicht mehr gegeben wäre. Hierbei sind die Fangeinrichtungen untereinander mit blitzstromtragfähigen Leitern zu verbinden, sofern keine anderweitige, blitzstromtragfähige Verbindung vorliegt (z. B. durch geprüfte Klemmen, Hartlöten, Schweißen, Quetschen, Falzen, Schrauben od. Nieten).
3. Das metallene Dach erfüllt die erforderliche Dicke t (DIN EN 62305-3, Tabelle 3).

In Verbindung mit den beschriebenen Ausführungsvarianten der metallenen Dächern unterscheidet man noch zwei Varianten von Ableitungen:

A. Die Wände bestehen aus einer durchgängig blitzstromtragfähig durchverbundenen Stahlbewehrung oder einem



Nr.	Schutzgerät	Art.-Nr.
1	DG M TN 275 (TN-S-Netz) DG M TT 2 P 275 (TT-Netz)	952 200 952 110
2	BXT ML4 BE 24 + BXT BAS	920 324 920 300
3	2 Stk. BXT ML4 BE 24 + 2 Stk. BXT BAS	920 324 920 300
4	BXT ML4 BE 36 (1,8 A) + BXT BAS oder 2 x BVT ALD 36 (4 A)	920 336 920 300 918 408
5	BXT ML2 BE S 24 + BXT BAS	920 224 920 300
6 = 2		
Alternativ 2 3 5 6		
	TL2 10DA CC DRL 10 B 180 FSD EF 10 DRL 8 Stk. DRL RE 24	907 991 907 401 907 498 907 422

* Mindestanzahl der erforderlichen Adern (individuelle Herstellerangaben beachten)

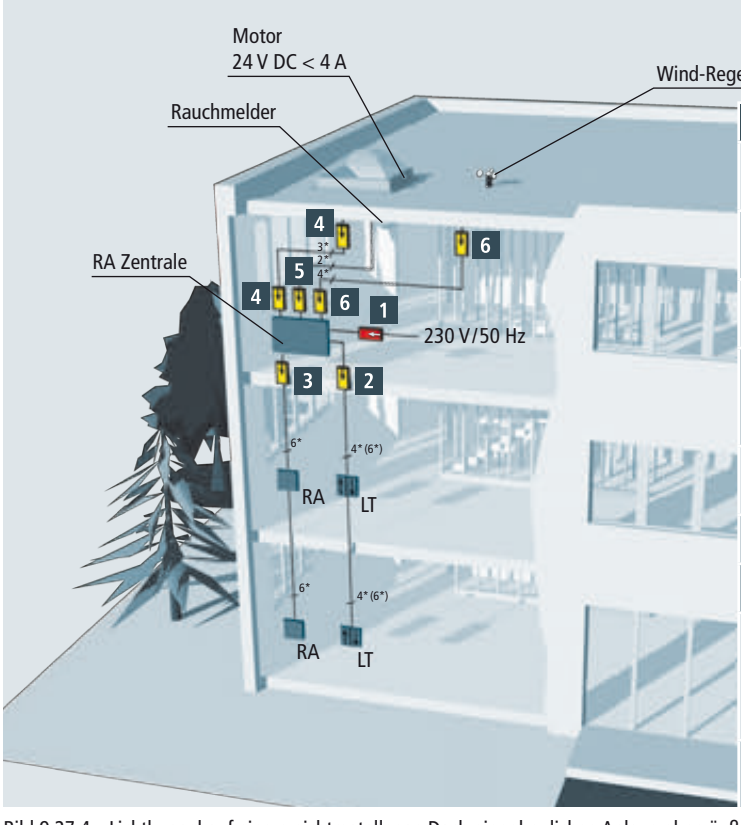
Bild 9.27.3 Lichtkuppel im Schutzraum einer Fangstange auf einem metallenen Dach einer baulichen Anlage mit konventionellen Ableitern

Stahlskelettbau. In diesen Fällen ist der Trennungsabstand nicht zu berücksichtigen, da entweder durch die Vielzahl der Strompfade (Armierungen) der jeweilige Strom sehr gering ist oder durch die niedrige Induktivität (Stahlträger) keine Durchschlagsgefahr auf andere metallene Systeme stattfinden kann. Metallfassaden, die am Tiefpunkt (Erdboden) alle 15 m an die Erdungsanlage angeschlossen sind, erfüllen ebenfalls die vorstehenden Aussagen.

B. Die Wände bestehen aus nicht leitfähigem Material (Ziegel, Holz usw.), und die Ableitungen werden in den jeweiligen Abständen gemäß der anzuwendenden Schutzklasse des Blitzschutzsystems zur Erdungsanlage geführt.

Bauliche Anlagen treten in unterschiedlichen Kombinationen aus Fangeinrichtungen (s. vorstehende Punkte 1., 2., 3.) und Ableitungen (s. vorstehende Punkte A., B.) auf. Hinsichtlich der Gefährdung durch zündende Überschläge sind bauliche Anlagen mit Fang- und Ableitungen in den Kombinationen 1.+A., 2.+A. oder 3.+A. unkritisch. Blitzeinschläge in RWA-Lichtkuppeln sind durch Fangeinrichtungen zu vermeiden. Die RWA-Lichtkuppeln sind dadurch vor direkten Einschlägen geschützt, befinden sich jedoch nicht in der Blitzschutzzone LPZ 0_B, da die Fangeinrichtungen den Blitzstrom direkt auf das metallene Dach leiten, was zu einer großflächigen Aufteilung des Blitzstromes führt. Da der Blitzeinschlag auch in der Nähe der RWA-Lichtkuppeln stattfinden kann, empfiehlt sich der Einsatz eines Blitzstrom-Ableiters (**Bild 9.27.2**).

Als kritisch stellt sich eine bauliche Anlage dar, welche mit einem metallenen Dach und konventionellen Ableitungen ausgestattet ist (**Bild 9.27.3**). Im Einschlagsfall wird sich der Blitzstrom symmetrischer auf die Ableitungen aufteilen. Dennoch besteht eine Gefährdung und somit die Notwendigkeit der Einhaltung des erforderlichen Trennungsabstands. Auch bei diesen baulichen Anlagen ist der Direkteinschlag durch Fangeinrichtungen zu vermeiden, aber auch hier setzt die Fang-



Nr.	Schutzgerät	Art.-Nr.
1	DG M TN 275 (TN-S-Netz) DG M TT 2 P 275 (TT-Netz)	952 200 952 110
2	BXT ML4 BE 24 + BXT BAS	920 324 920 300
3	2 Stk. BXT ML4 BE 24 + 2 Stk. BXT BAS	920 324 920 300
4	BXT ML4 BE 36 (1,8 A) + BXT BAS oder 2 x BVT ALD 36 (4 A)	920 336 920 300 918 408
5	BXT ML2 BE S 24 + BXT BAS	920 224 920 300
6 = 2		
Alternativ 2 3 5 6		
	TL2 10DA CC DRL 10 B 180 FSD EF 10 DRL 8 Stk. DRL RE 24	907 991 907 401 907 498 907 422

* Mindestanzahl der erforderlichen Adern (individuelle Herstellerangaben beachten)

Bild 9.27.4 Lichtkuppel auf einem nichtmetallenen Dach einer baulichen Anlage ohne äußeren Blitzschutz

einrichtung die RWA-Lichtkuppel nicht in die Blitzschutzzone LPZ 0_B. Da hier anteilige Blitzströme über die Leitung des RWA-Antriebs in die bauliche Anlage fließen können, ist ein Blitzstrom-Ableiter erforderlich. Bauliche Anlagen mit RWA-Lichtkuppeln verfügen in der Regel aufgrund ihrer Größe über mehrere Ableitungen, welche dazu führen, dass mit einer Überlastung des Blitzstrom-Ableiters nicht zu rechnen ist.

Bauliche Anlage ohne äußeren Blitzschutz

Hier bedarf es keiner Unterscheidung hinsichtlich eines metallenen oder nichtmetallenen Daches, da jeder Direkteinschlag in die bauliche Anlage ein Brandrisiko darstellt. Auch ein direkter Einschlag in die RWA-Lichtkuppeln ist mit Blitzstrom-Ableitern nicht zu beherrschen. Ein Überspannungs-Ableiter erfüllt die Anforderungen hinsichtlich induktiver Einkopplungen (**Bild 9.27.4**).

Allgemeine Hinweise zum Blitzschutz für Schutzhütten

Pro Jahr werden in Deutschland mehr als 1,5 Millionen Blitzereignisse registriert. So aufregend und schön das Naturschauspiel auch ist, es werden doch Jahr für Jahr Menschen und Tiere dabei getötet und materielle Werte vernichtet. Besonders die Personen, die sich im Freien aufhalten, wie Golfspieler und Wanderer, sind gefährdet. Jährlich werden aus aller Welt schwere Blitzunfälle mit Verletzungen und Toten gemeldet, insbesondere auf Golfplätzen. Zum Schutz vor den Auswirkungen des Blitzes ist den Schutzhütten daher besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Nachfolgend finden Sie allgemeine Hinweise zu Blitzschutzmaßnahmen bei Schutzhütten.

Schutzhütten, z. B. auf Golfplätzen, müssen nicht nur Schutz vor Sturm und Regen bieten, sondern auch vor den Auswirkungen von Blitzen. Es steht deshalb außer Frage, dass für eine Schutzhütte auch ein Blitzschutz erforderlich ist. So hat z. B. ein Golfplatzbetreiber gegenüber seinen Mitgliedern / Golfern eine erhöhte Sorgfaltspflicht zu wahren. Die Basis der Haftung von z. B. Golfplatzbetreibern bilden die sogenannten Verkehrssicherungspflichten. *„Hiernach hat ein Golfplatzbetreiber gegenüber allen Benutzern seiner Anlage die Verpflichtung, alle bestehenden oder möglicherweise noch entstehenden Gefahren abzuwehren, soweit ihm dies möglich und zumutbar ist. Dies sind neben organisatorischen Maßnahmen insbesondere auch bauliche Vorkehrungen. Anzahl, Ausstattung, Größe und Verortung der Blitzschutzhütten hängen dabei maßgeblich von der Größe, Lage und Ausgestaltung der jeweiligen Golfanlage ab. Dabei hat die Blitzschutzhütte den jeweils geltenden aktuellen technischen Erfordernissen zu entsprechen. Eine Haftungsbegrenzung, z. B. durch einen entsprechenden Aushang oder durch schriftliche Vereinbarung eines entsprechenden Haftungsausschlusses, wegen Fehlens oder einer nicht ausreichenden Anzahl von Blitzschutzhütten oder deren unzureichender Ausstattung, ist nicht möglich."* (aus Magazin Golfmanager 6/2010 Seite 7, Autor: Daniel Witaschek)

Schutzhütte

Für den Standort der Schutzhütte sollten exponierte Stellen (auf Anhöhen, am Waldrand, unter allein stehenden Bäumen) gemieden werden. Ebenso ist es wichtig , dass Schutzhütten im Umkreis von ca. 3 m frei von Hecken, Ästen usw. gehalten werden. Eine Schutzhütte ist nur dann auch bei Gewitter sicher, wenn diese

- über einen geeigneten Blitzschutz mit entsprechender Potentialsteuerung verfügt,
- im Fall von elektrisch leitfähigen Systemen (z. B. Elektrokabel) diese in den Potentialausgleich eingebunden sind und
- die entsprechenden Maßnahmen zur Vermeidung von Berührungsspannungen getroffen wurden.

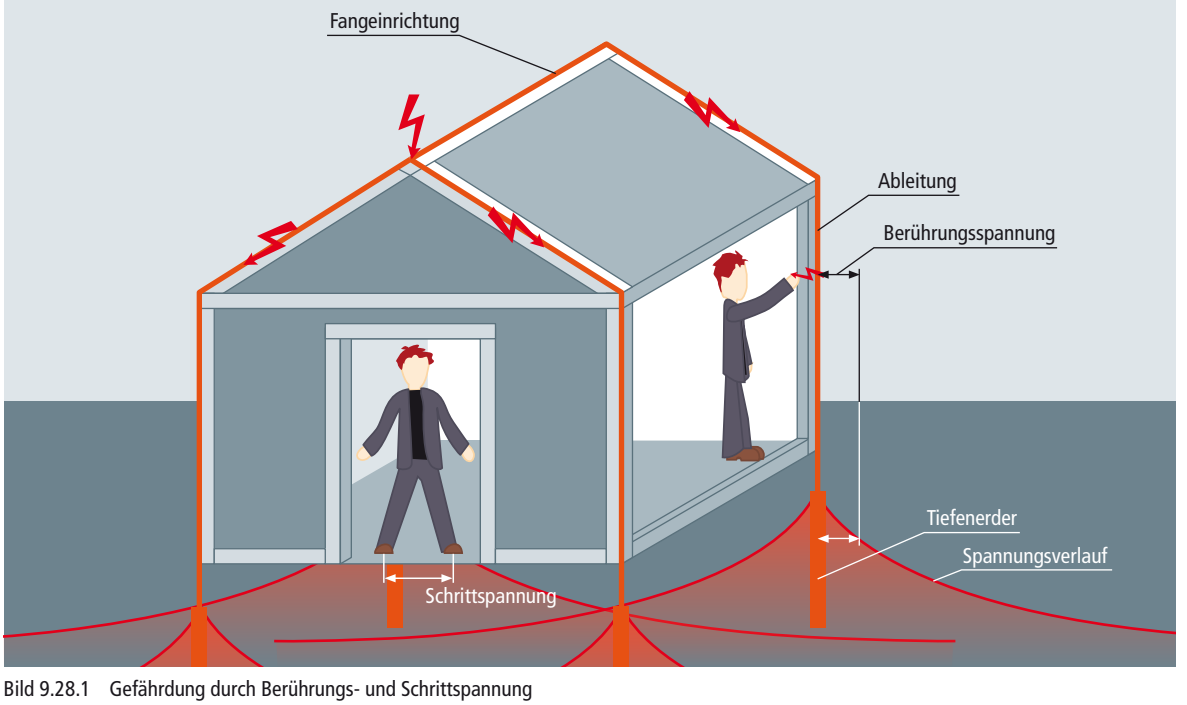


Bild 9.28.1 Gefährdung durch Berührungs- und Schrittspannung

Blitzschutz

Ein Blitzschutzsystem wird umgangssprachlich oft einfach Blitzableiter genannt. Für eine Schutzhütte besteht es, wie in **Bild 9.28.1** dargestellt, aus einer Fangeinrichtung auf dem Dach (Fangleitung und/oder Fangstange), einer Ableitung an der Wand (Ableitungsdraht) und einer Erdungsanlage (meist Tiefenerder). Der Blitzableiter hat die Aufgabe, den Blitz zu fangen und diesen dann gezielt und sicher in den Erdboden zu leiten, um gefährliche Funkenbildung zu vermeiden und so vor Brand und mechanischer Zerstörung zu schützen. Für in der Hütte befindliche Personen besteht eine Gefährdung durch die Ausbildung einer hohen „Blitzspannung" im Erdboden. Fachleute bezeichnen dies als Potentialtrichter. Diese lebensgefährliche Spannung kann der Mensch über einen Schritt abgreifen. Sie wird deshalb als Schrittspannung bezeichnet. Auch benötigen die Personen genügend Sicherheitsabstand zum Blitzableiter, damit keine gefährlichen Berührungsspannungen auftreten können (**Bild 9.28.1**).

Mit relativ geringem Aufwand lassen sich für Schutzhütten wirksame Blitzschutzmaßnahmen erreichen, die Golfer, Wanderer usw. vor den Auswirkungen von Blitzen schützen können. Neben den technischen Maßnahmen ist jedoch auch das ordnungsgemäße Verhalten von Personen bei Gewitter wichtig. So sollte bei Aufkommen eines Gewitters die Schutzhütte frühzeitig aufgesucht werden und diese auch während des Gewitters nicht verlassen werden.

Für die weiteren Betrachtungen wird die häufig übliche Holzbauform von Schutzhütten herangezogen.

Vermeidung von Berührungsspannungen

Um eine gefährlich hohe Berührungsspannung zu vermeiden, muss genügend Sicherheitsabstand zwischen dem Blitzableiter und den in der Schutzhütte befindlichen Personen vorhanden sein. Für die im **Bild 9.28.2** dargestellte Schutzhütte von ca. 3 m x 3 m, mit einer Traufhöhe von 3 m und dem dargestellten Blitzableiter sind dafür mind. 10 cm Holzbalken erforderlich.

Eine Mindesthöhe der Hütte von ca. 3 m erfüllt den bereits erwähnten Sicherheitsabstand zum Blitzableiter auf dem Dach (Fangleitung oder Fangstange). Allerdings ist es schwerer, genügend Abstand zu den Außenwänden einzuhalten. Deswegen muss die Wand bzw. die Wandkonstruktion, auf der der Blitzableiter (Ableitungsdraht) zum Erdboden geführt wird, genügend Wandstärke aufweisen (**Bild 9.28.2**). Zum Anschluss und zur Kontaktierung des Blitzableiters an den Erdboden werden für solche Zwecke meist Tiefenerder (Metallstäbe definierter Länge, dem Einsatzort angepasstes Material) eingesetzt. Die Tiefenerder werden vertikal an jeder Ableitung je nach Bodenart ca. 6 m bis 9 m tief im Erdreich versenkt (**Bild 9.28.2 bis 9.28.5**).

Bei blockhausähnlichen Schutzhütten ist diese Wandstärke i. d. R. gegeben. Anders sieht es bei Schutzhütten aus, die nur dünne Holzwände aufweisen. Hier müssen die Ableitungen unmittelbar an den Außenecken im Bereich der Wandkonst-

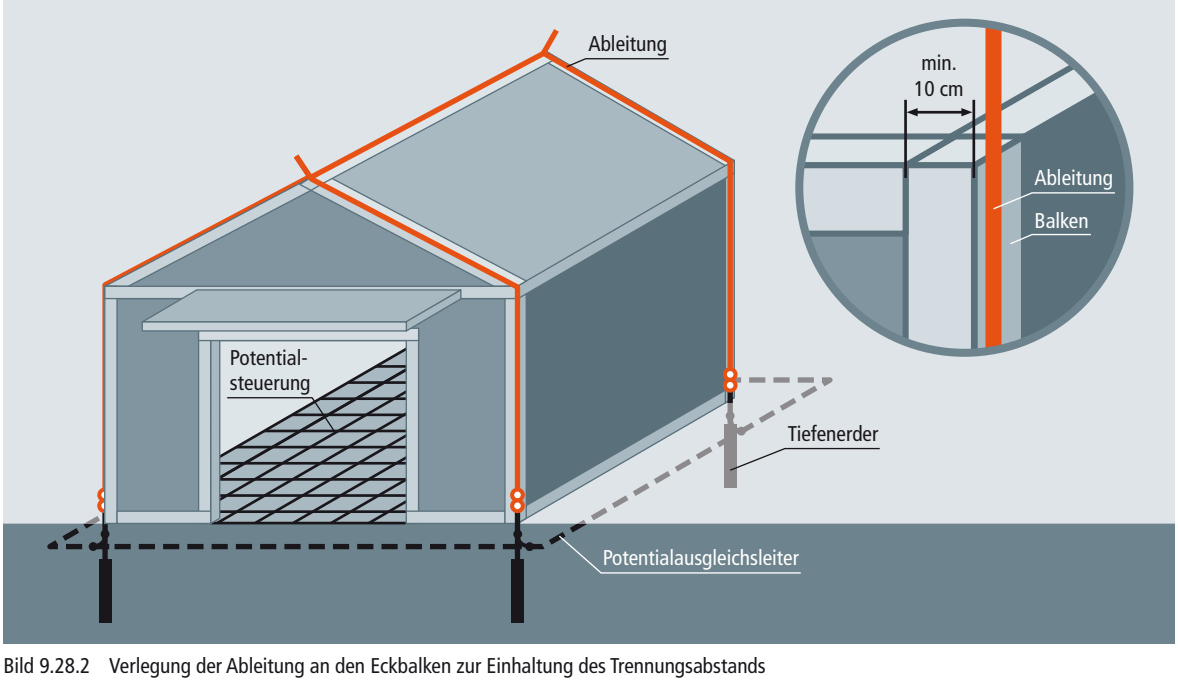


Bild 9.28.2 Verlegung der Ableitung an den Eckbalken zur Einhaltung des Trennungsabstands

ruktion verlegt werden, um die größtmögliche Wandstärke als Sicherheit zu erhalten (**Bild 9.28.2**). Ein Aufbau ist alternativ als isoliertes Blitzschutzsystem (getrenntes Blitzschutzsystem*) möglich.
(*Hierfür sind umfangreiche Spezialkenntnisse erforderlich. Fragen Sie deshalb dazu eine VDE/VDB-zertifizierte Blitzschutz-Fachkraft (VDE: Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V., VDB: Verband Deutscher Blitzschutzfirmen e.V.))
Eine weitere Möglichkeit den für den Blitzschutz notwendigen Sicherheitsabstand zu beherrschen, ist der Einsatz von hochisolierenden Blitzableitern, wie sie unter dem Handelsnamen CUI-Leitung von DEHN gefertigt werden (**Bild 9.28.3**). Dies ist unumgänglich vor allem bei noch kleineren Hütten als zuvor beschrieben.

Vermeidung von Schrittspannungen

In der Schutzhütte selbst darf sich weder durch Blitzeinschläge in den eigenen Blitzableiter, noch durch Naheinschläge eine gefährlich hohe Schrittspannung einstellen. Um dies sicher zu stellen, gibt es zwei Möglichkeiten.

a) Vermeidung von gefährlichen Schrittspannungen durch Isolierung des Bodens

Das heißt, der Untergrund muss z. B. mit einer Asphaltschicht von 5 cm Dicke ausgeführt sein. Alternativ kann auch ein Holzboden zum Einsatz kommen, der zum Erdboden genügend Abstand aufweist, um eine ordentliche Durchlüftung zu erhalten und der Holzboden somit unter allen Umständen trocken bleibt. Auch muss ein Durch-

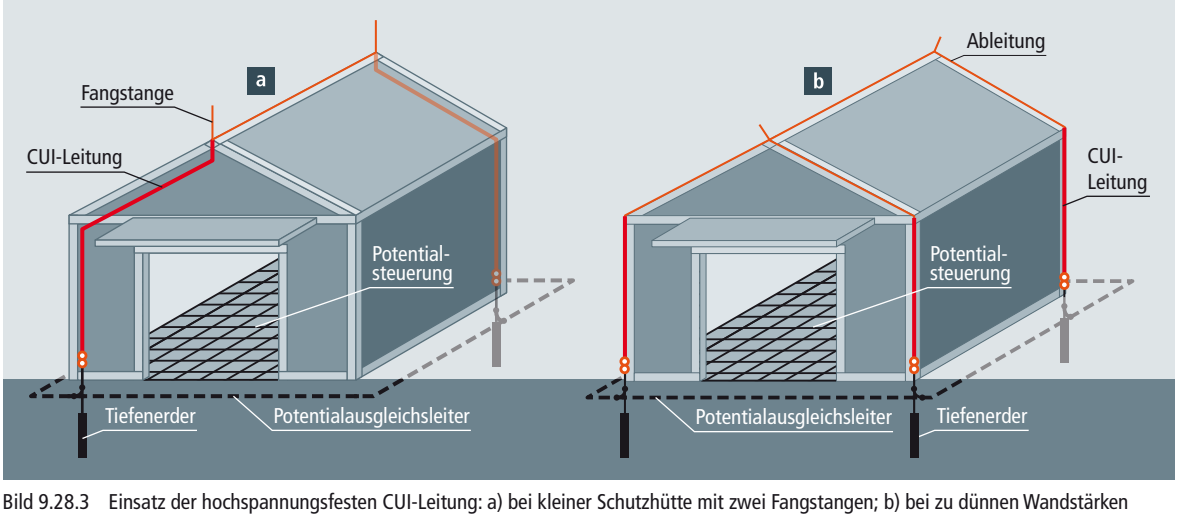


Bild 9.28.3 Einsatz der hochspannungsfesten CUI-Leitung: a) bei kleiner Schutzhütte mit zwei Fangstangen; b) bei zu dünnen Wandstärken

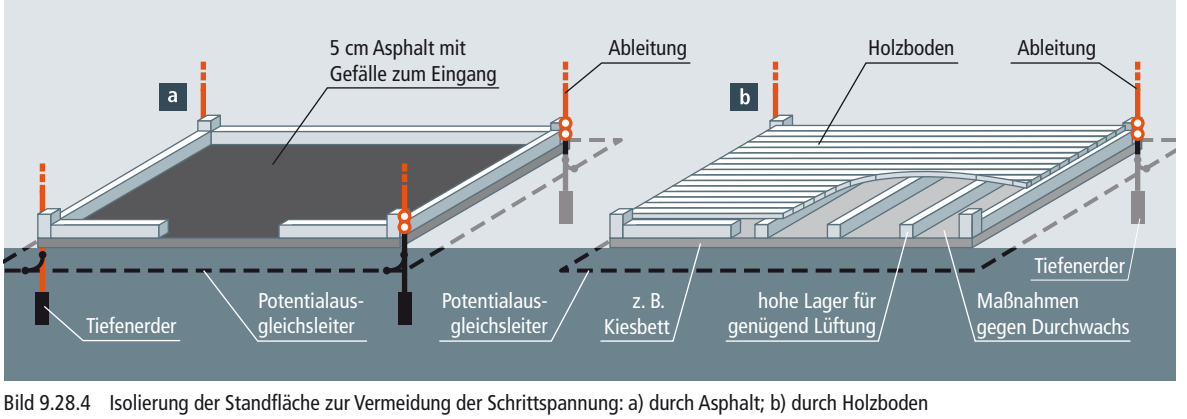


Bild 9.28.4 Isolierung der Standfläche zur Vermeidung der Schrittspannung: a) durch Asphalt; b) durch Holzboden

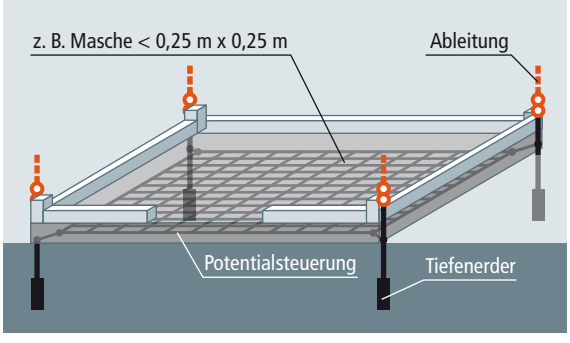


Bild 9.28.5 Potentialsteuerung zur Reduzierung der auftretenden Schrittspannung

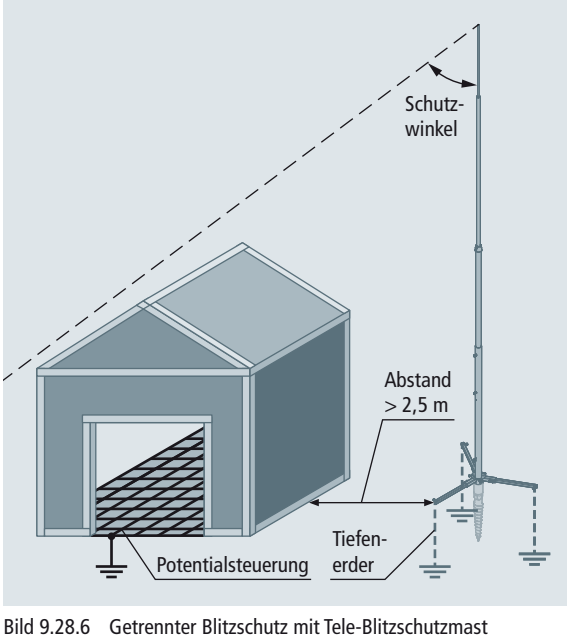


Bild 9.28.6 Getrennter Blitzschutz mit Tele-Blitzschutzmast

wuchs mittels geeigneter Maßnahmen dauerhaft vermieden werden (**Bild 9.28.4**).

b) Vermeidung von Schrittspannungen durch Potentialsteuerung

Eine weitere Schutzmaßnahme ist die Potentialsteuerung, das heißt das Einbringen eines engmaschigen Metallrasters (z. B. Baustahlmatte im Beton oder ein Maschenerder mit einer Masche kleiner < 0,25 m x 0,25 m im Erdreich) unmittelbar im Erdreich unterhalb des Standbereiches der Personen. Um die erforderliche Lebensdauer dieses Metallrasters sicherzustellen, wird der Einsatz von 10 mm Rundleiter, NIRO (V4A), z. B. Werkstoffnummer 1.4571 empfohlen. Dieser Rundleiter wird max. 0,1 m unterhalb der Erdoberfläche in einem Raster von < 0,25 m x 0,25 m verlegt und ist sowohl an allen Kreuzungsstellen mit entsprechenden Klemmen zu verbinden als auch an jeder Blitzableitung anzuschließen (**Bild 9.28.5**).

Schutzhütten im Schutzbereich einer getrennten Fangeinrichtung

Da ein mit Abstand angebrachter Fangmast (getrennter Blitzschutz) den Einschlagschutz sicherstellt, ist in der Schutzhütte nur noch eine Potentialsteuerung vorzusehen (**Bild 9.28.6**). Solche Fangmaste werden von DEHN unter der Bezeichnung Tele-Blitzschutzmast mit Schraubfundament (Art. Nr. 830 208) vertrieben. Diese Variante des Blitzschutzes wird gerne dort eingesetzt, wo sich bereits eine Schutzhütte befindet, welche jedoch aufgrund ihrer geringen Größe den Trennungsabstand weder zur Fangeinrichtung auf dem Dach noch zu der Ableitung einhalten könnte.

Schutzhütten aus Metall

In Schutzhütten aus Metall (Dach, Wände und Boden) entsteht keine Gefährdung beim Berühren der Metallkonstruktion. Eine Erdungsanlage sowie ein Metallboden oder Metallgitter als Potentialsteuerung wie beschrieben, müssen vorhanden sein. Dennoch muss dem Aspekt der Durchschmelzung beim Blitzeinschlag Rechnung getragen werden, d. h. es muss eine Mindestmaterialdicke des Daches vorhanden sein (DIN EN 62305-3, Tabelle 3, Dicke t), damit es nicht zu Personengefährdungen kommt. Hat das Metall nicht die erforderliche Dicke, so sind auf dem Dach Fangstangen zu installieren und mit dem Metalldach blitzstromtragfähig zu verbinden.

Fazit

Generell gilt, dass die Schutzhütte erst dann verlassen werden darf, wenn die Gewitterzelle weit genug entfernt ist. Dies ist dann der Fall, wenn ca. 30 Minuten lang kein Donner mehr zu hören ist.
Schutzhütten, ob z. B. auf Golfplätzen oder an Wanderwegen, benötigen sowohl einen Blitzableiter als auch die notwendigen Maßnahmen zur Verringerung der Gefährdung von unzulässig hohen Berührungs- und Schrittspannungen. Wie bereits beschrieben, können diese Maßnahmen mit einfachen Mitteln ausgeführt werden.

Die normativen Grundlagen und ein Gesamtkonzept zum Blitzschutz beinhaltet die Normenreihe DIN EN 62305 (VDE 0185). Weitere Informationen zum Blitzschutz erhalten Sie vom Verband Deutscher Blitzschutzfirmen (*www.vdb.blitzschutz.com*), anerkannten Blitzschutzfachfirmen und unter *www.dehn.de*.

Wichtige Hinweise geben auch die Merkblätter des VDE/ABB (*www.vde.com/blitzschutz-publikationen*).

Überspannungsschutz für Dachrinnenheizungen

Durch Sonneneinstrahlung und Gebäudeabwärme kann auch bei Frost Schmelzwasser entstehen. Durch Wiedergefrieren wird das Abfließen des Wassers verhindert, und es kommt zu einem Wasserrückstau, welcher die Funktionsfähigkeit der Dachentwässerung beeinträchtigt. Zudem wird eine Eiszapfenbildung begünstigt, die wiederum eine erhöhte Gefährdung mit sich bringt.

Ein weitaus problematischerer Aspekt ist die Zunahme der Schnee- und Eislast auf dem Dach. Diese kann schnell zu einer Überschreitung der max. Traglast führen. Auf der Grundlage vergangener Schadensfälle wurde vom Bayerischen Landesamt für Umwelt eine „Anleitung zur Abschätzung einer aktuellen Schneelast" herausgegeben.
Schäden können durch den Einsatz von Dach- und Regenrinnenheizungen verhindert werden, aber nur dann, wenn die Funktionsfähigkeit auch bei Blitzbeeinflussung oder bei Auftreten von Überspannungen weiterhin sichergestellt ist.

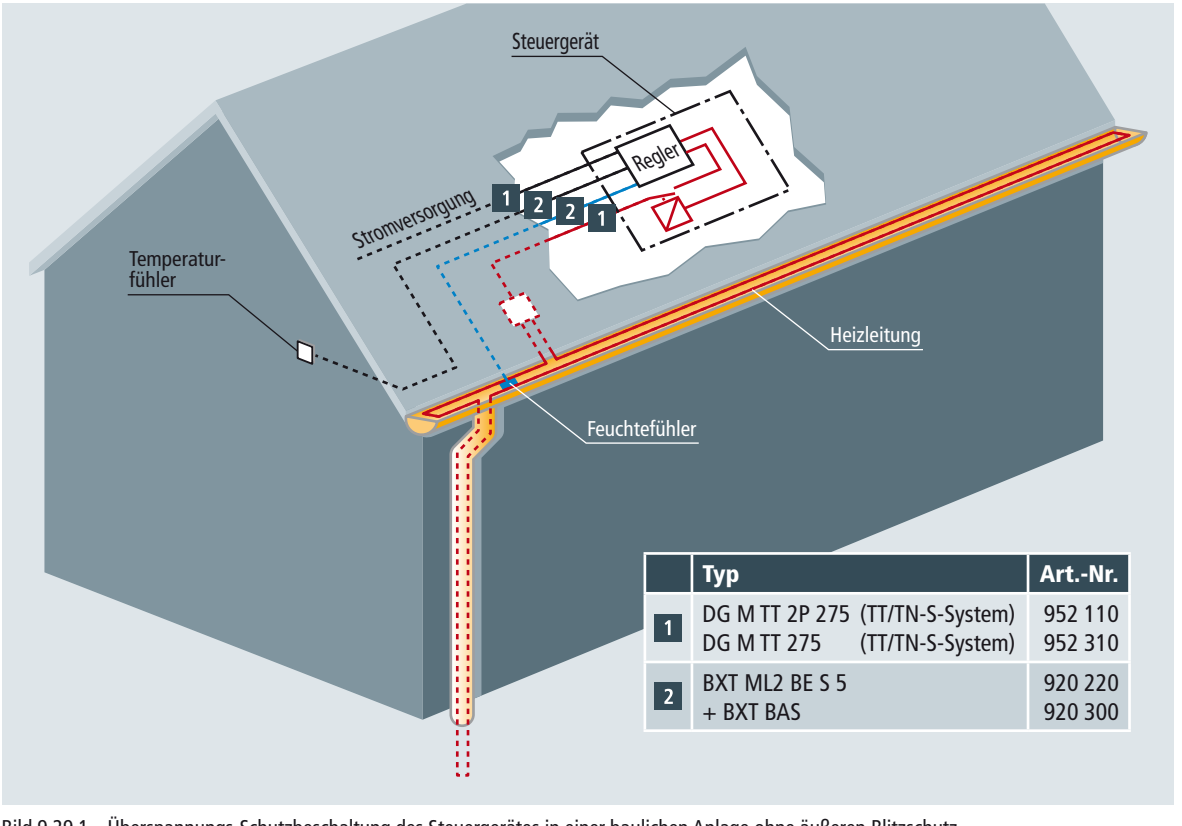
Bauliche Anlage ohne äußeren Blitzschutz

Bei einer baulichen Anlage ohne äußeren Blitzschutz ist davon auszugehen, dass der Betreiber die Einschlagswahrscheinlichkeit in seine bauliche Anlage für gering hält. Hat ein Gebäude keinen äußeren Blitzschutz, so ist ein Schutz vor induktiven Einkopplungen mittels Überspannungs-Ableiter Typ 2 nach DIN VDE 0100-100 zu berücksichtigen.

Da sich sowohl die Heizbänder als auch der Temperatur- und Feuchtefühler außerhalb der baulichen Anlage befinden, sind deren Anschlussleitungen induktiven Einkopplungen ausgesetzt. Eine zerstörerische Wirkung ist über alle Leitungen zu erwarten. Daher werden diese Leitungen unmittelbar am Gebäudeeintritt und ebenso die Zuleitung vor dem Steuergerät mit Überspannungs-Ableitern Typ 2 beschaltet (**Bild 9.29.1**).

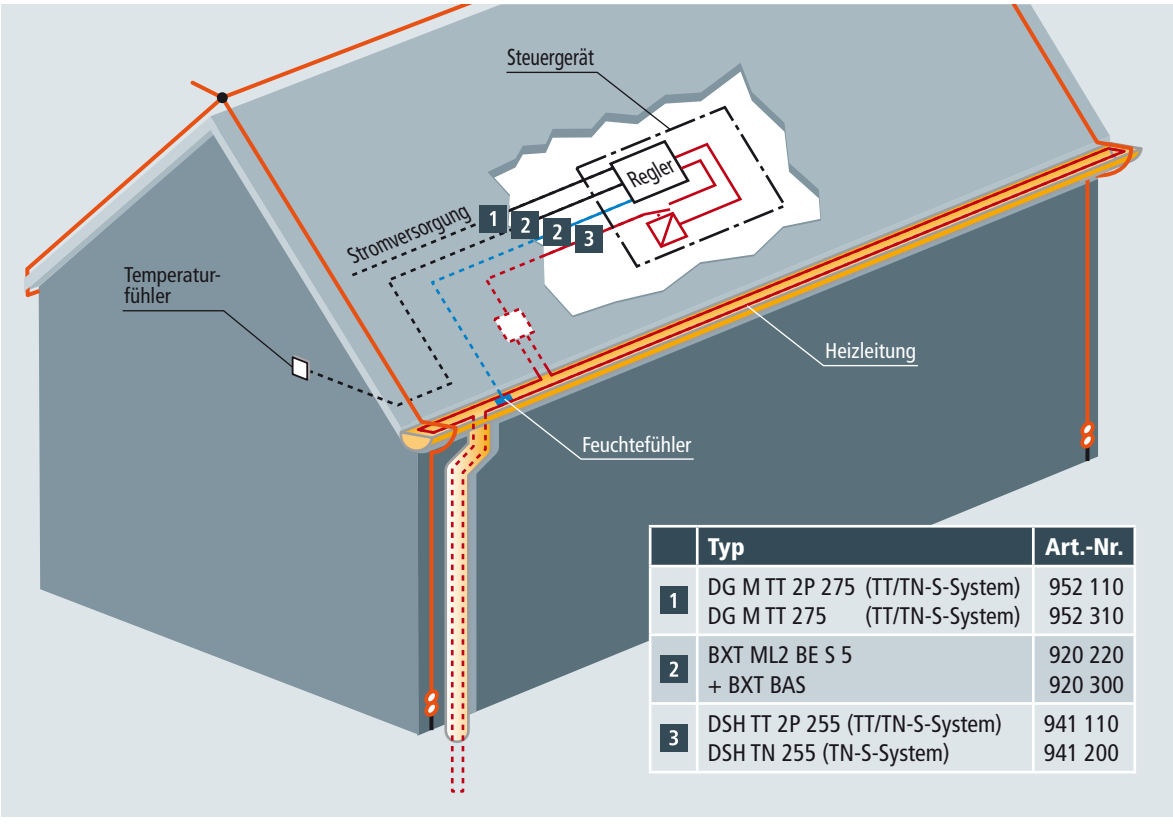
Bauliche Anlage mit äußerem Blitzschutz

Für die Errichtung von Blitzschutzsystemen in baulichen Anlagen mit äußerem Blitzschutz ist die DIN EN 62305-1 bis 4 (VDE 0185-305-1 bis 4) anzuwenden. In solchen Anlagen sind die Dachrinnen bzw. Regenfallrohre in der Regel mit den Fangeinrichtungen unmittelbar leitend verbunden und liegen dadurch bei Blitzeinschlägen auf hohem Potential. Sowohl die Leitungen der Heizbäder als auch die des Feuchtefühlers befinden sich in direktem Kontakt mit den blitzstrombehaf-



	Typ	Art.-Nr.
1	DG M TT 2P 275 (TT/TN-S-System) DG M TT 275 (TT/TN-S-System)	952 110 952 310
2	BXT ML2 BE S 5 + BXT BAS	920 220 920 300

Bild 9.29.1 Überspannungs-Schutzbeschaltung des Steuergerätes in einer baulichen Anlage ohne äußeren Blitzschutz



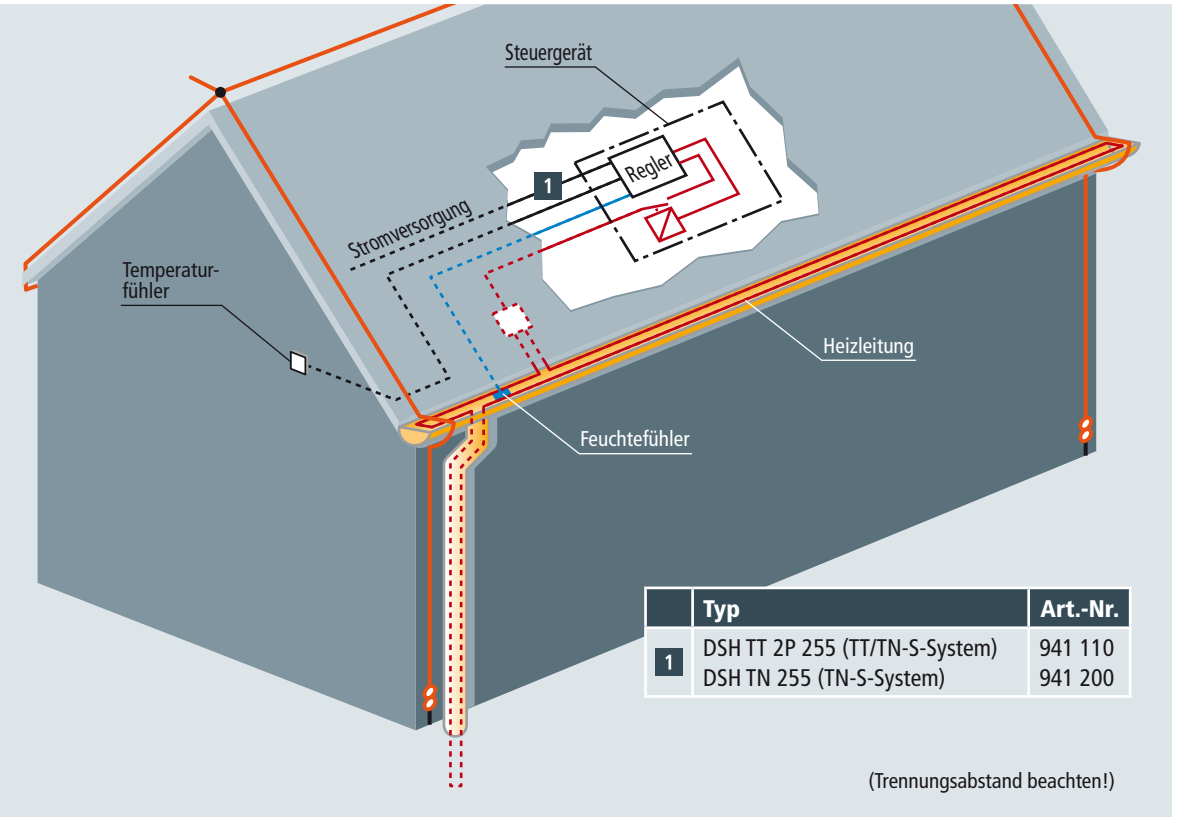
	Typ	Art.-Nr.
1	DG M TT 2P 275 (TT/TN-S-System) DG M TT 275 (TT/TN-S-System)	952 110 952 310
2	BXT ML2 BE S 5 + BXT BAS	920 220 920 300
3	DSH TT 2P 255 (TT/TN-S-System) DSH TN 255 (TN-S-System)	941 110 941 200

Bild 9.29.2 Blitzstrom- und Überspannungsschutzbeschaltung bei eintrittsferner Lage des Steuergerätes in einer baulichen Anlage mit äußerem Blitzschutz

teten Dachrinnen und Regenfallrohren. Dieser Sachverhalt führt zwangsläufig zu Blitzstromeinkopplungen auf den Leitungen. Daher müssen die Leitungen unmittelbar am Gebäudeeintritt mit Blitzstrom-Ableitern Typ 1 beschaltet werden. Hierbei gilt es zu beachten, dass sich der Blitzstrom sowohl über die an der metallischen Dachrinne direkt angeschlossenen als auch über die an der Fangmasche angeschlossenen Ableitungen aufteilt. Selbst wenn der zu betrachtende äußere Blitzschutz nur über 4 Ableitungen verfügt, ist mit einer Blitzstrombelastung von nicht mehr als 10–12 kA je Ader in der Blitzschutzklasse LPL III zu rechnen. In der Zuleitung vor dem Steuergerät ist ein Überspannungs-Ableiter Typ 2 vorzusehen (**Bild 9.29.2**).

Eine Ausnahme hinsichtlich der Überspannungsschutzbeschaltung bilden Gebäude, welche in durchgängig verbundener Stahlbeton- oder Stahlskelettbauweise errichtet wurden (DIN EN 62305-4). Ist dabei durch Fangeinrichtungen sichergestellt, dass es nicht in die außerhalb des Daches liegenden Leitungen einschlagen kann, so ist eine Schutzbeschaltung nach **Bild 9.29.1** möglich.

Bei akzeptiertem Verlust des Steuergerätes (keine sich stellende Brandgefährdung durch das Steuergerät bzw. die von außen ankommenden Kabel) ist der Schutz der baulichen Anlage mittels Kombi-Ableiter unmittelbar am Leitungseintritt möglich (**Bild 9.29.3**).



	Typ	Art.-Nr.
1	DSH TT 2P 255 (TT/TN-S-System)	941 110
	DSH TN 255 (TN-S-System)	941 200

Bild 9.29.3 Blitzstromschutzbeschaltung bei eintrittsnaher Lage des Steuergerätes (Verlust wird akzeptiert) in einer baulichen Anlage mit äußerem Blitzschutz

Einsatz von anwendungsoptimierten Typ 1 Kombi-Ableitern in Niederspannungsanlagen

Einsatz des anwendungsoptimierten Kombi-Ableiters DEHNshield in Niederspannungsanlagen

Bei einem Blitzeinschlag in den äußeren Blitzschutz eines Gebäudes erfolgt eine Aufteilung des Blitzstroms einerseits in die in das Gebäude eingeführten Kabel und andererseits auf den Gebäudeerder. Die Blitzschutznorm DIN EN 62305 weist im Zusammenhang mit der Installation eines äußeren Blitzschutzes auch auf die Maßnahmen des inneren Blitzschutzes hin. So sind gefährliche Funkenbildungen innerhalb der zu schützenden baulichen Anlage zu verhindern. Unter dem Begriff „Blitzschutz-Potentialausgleich" beschreibt die Norm weiter die Verbindung aller metallenen Teile direkt oder bei energie- und informationstechnischen Systemen indirekt über Überspannungsschutzgeräte im Inneren der baulichen Anlage. Die dort genannten Überspannungsschutzgeräte werden als Blitzstrom-Ableiter SPD Typ 1 mit ausreichendem Schutzpegel spezifiziert.

Als anwendungsoptimierter Kombi-Ableiter Typ 1 übernimmt der DEHNshield den Blitzschutz-Potentialausgleich bis zu 50 kA (10/350 µs) Blitzstoßstrom und zudem den Überspannungsschutz in nur einer Ableiterstufe. Dies grenzt den DEHNshield deutlich von den im Markt verfügbaren Varistorableitern in dieser Anwendungs- und Leistungsklasse ab.

Auch für Gebäude ohne äußeren Blitzschutz, aber mit Einspeisung über eine Freileitung, wo nach VdS 2031 Typ 1-Ableiter in der Einspeisung empfohlen werden, bietet der DEHNshield optimalen Schutz. Bei Anlagenvorsicherungen bis 160 A kann der DEHNshield ohne zusätzliche Vorsicherung eingesetzt werden. Durch die verwendete folgestrombegrenzende Funkenstreckentechnologie wird Selektivität sogar zu kleinen Sicherungswerten (35 A gL/gG) erreicht, d. h., vorgelagerte Sicherungen werden durch einen auftretenden Netzfolgestrom nicht ausgelöst.

Erfolgt ein Blitzeinschlag in ein externes Betriebsmittel (z. B. Kameramast), wird ein Blitzteilstrom über den Erder des externen Betriebsmittels fließen. Ein weiterer Blitzteilstrom fließt über die Anschlusskabel in Richtung des Gebäudes. Hier gilt es zu beachten, dass dieser zum Gebäude fließende Blitzstrom das dort befindliche SPD (**S**urge **P**rotective **D**evice, Überspannungsschutzgerät) nicht überlastet.

Aufgrund seiner technischen Parameter, welche für den Einsatz in einfachen und kompakten Elektroinstallationen ausgelegt sind, ist der DEHNshield eine vorteilhafte Produktlösung für diese Anwendungsbereich (**Bild 9.30.1**).

Was versteht man unter anwendungsoptimierter Einsatzmöglichkeit?

Ein am Gebäudeeintritt eingesetztes SPD Typ 1 muss die vorstehend beschriebenen Blitzteilströme führen können. Nachfolgend im Gebäude befindliche SPD Typ 2 und/oder Typ 3 müssen energetisch zu diesem Typ 1 SPD koordiniert sein. Der folgestrombegrenzende, auf Funkenstreckentechnologie basierende anwendungsoptimierte Kombi-Ableiter DEHNshield (SPD Typ 1) erfüllt all diese Anforderungen. Typ 1 SPDs auf Varistorbasis können dieses Koordinationskriterium üblicherweise nicht erfüllen. Durch seine Wellenbrecherfunktion ist er selbst schon für den Endgeräteschutz ausgelegt und wird somit den Anforderungen an die energetische Koordination zu Typ 2 oder Typ 3 SPDs gerecht (**Bild 9.30.1**).

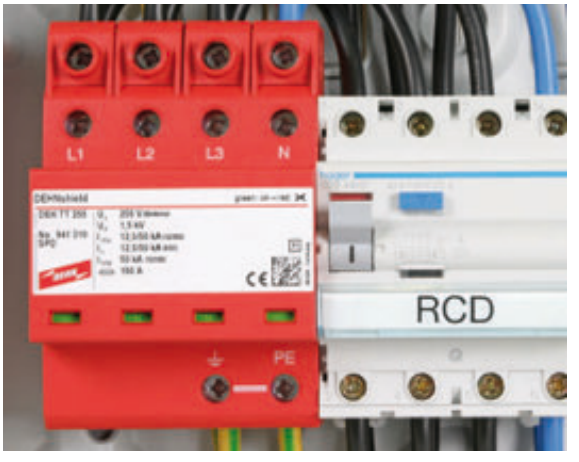


Bild 9.30.1 DEHNshield, anschlussfertiger anwendungsoptimierter Kombi-Ableiter auf Funkenstreckenbasis

Kostenoptimierte, anwendungsbezogene Planung und Projektierung in genauer Betrachtung mit der Anwendung sind daher mit dem Kombi-Ableiter DEHNshield nach den bewährten Standards und im vollen Leistungsumfang möglich. Bedingt durch den limitierten Platz bei Nachrüstungen ist der DEHNshield eine Möglichkeit, den Blitzschutz-Potentialausgleich auch bei beengten Verhältnissen durchzuführen. Hier sind jedoch, genau wie bei der Neuplanung, die Parameter der Anlage zu beachten und die Möglichkeit des Einsatzes von DEHNshield zu prüfen.

Um das Anwendungsgebiet des DEHNshield transparenter zu gestalten, wurden in der Gebäude-/Anlagenübersicht einige Anwendungsbeispiele zusammengestellt.

Anwendungsbeispiele Bild 9.30.2

An den Stellen, wo ein Blitzeinschlag direkt erfolgen kann (LPZ 0_A), sind die Betriebsmittel direkt mit Erdern zur Blitzstromreduzierung zu versehen. Hierzu zählen z. B. Maste mit Videokamera, Maste mit Beleuchtung und Fahrbahnheizungen. Zudem dienen Kameras häufig sicherheitstechnischen Auswertungen (Überwachungsanlagen), und Mastleuchten sind in vielen Fällen notwendige Einrichtungen des Personenschutzes, z. B. als Beleuchtung für Rettungswege.

In beiden Fällen muss wegen der sicherheitstechnischen Relevanz intensiv auf die erforderlichen Blitzschutzmaßnahmen geachtet werden.

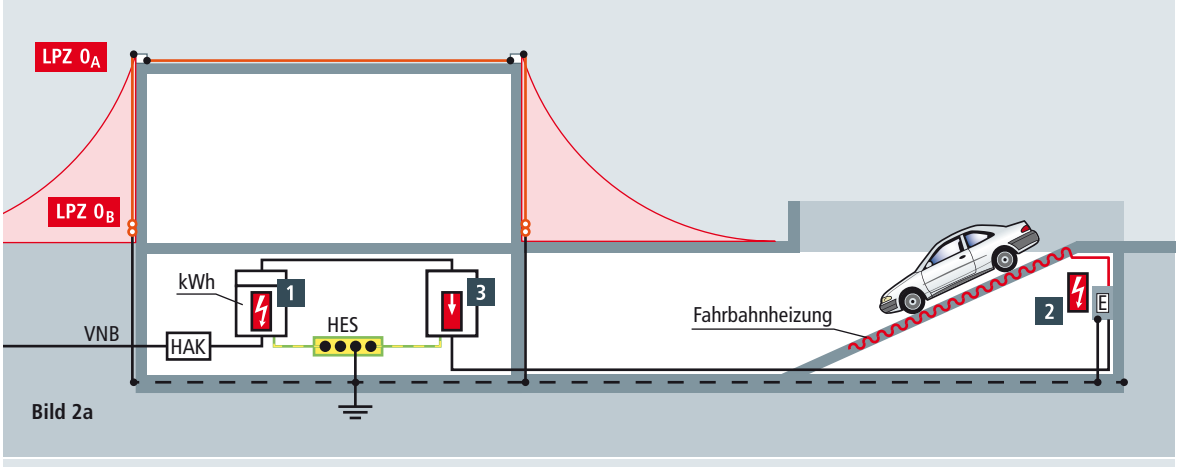


Bild 2a

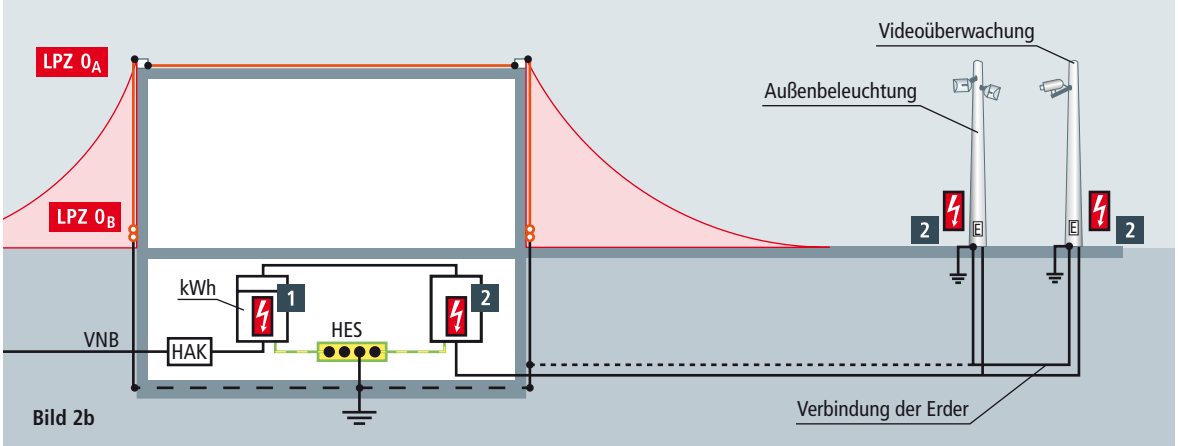
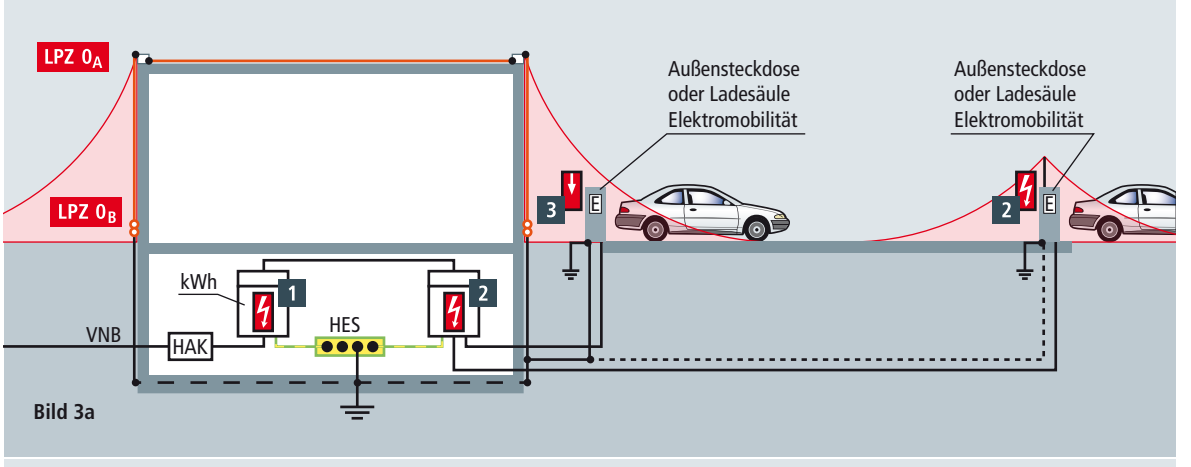


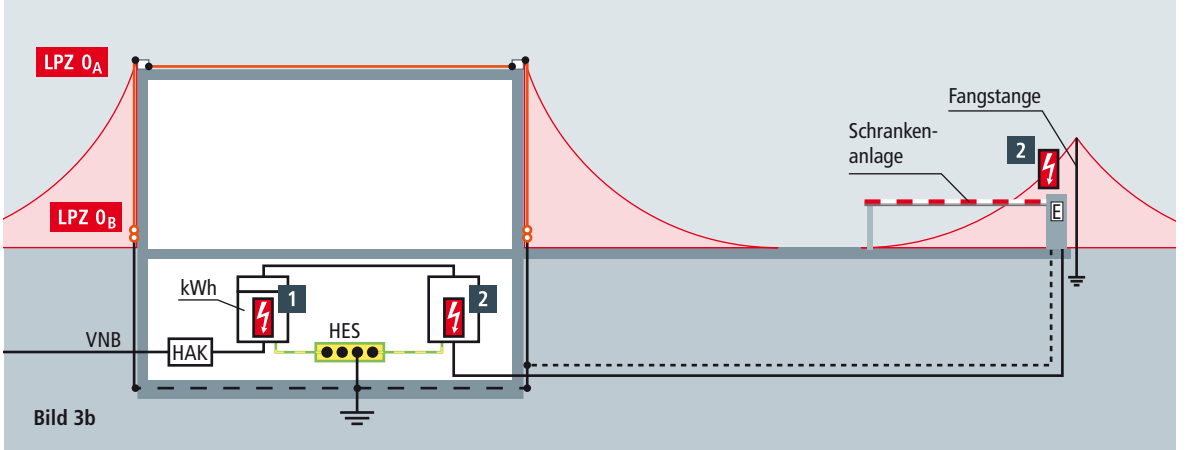
Bild 2b

HAK: Hausanschlusskasten
HES: Haupterdungsschiene
LPZ: Lightning Protection Zone (Blitzschutzzone)
VNB: Verteilernetzbetreiber
— — — definiert (blitzstromtragfähig) verbundene Erder
- - - - - - - - undefiniert verbundene Erder

Nr. im Bild	Schutzgerät	Art.-Nr.
1	DEHNventil modular DV M TNS 255 (TN-S-Systeme) oder	951 400
	DEHNventil modular DV M TT 255 (TT-Systeme) oder	951 310
	DEHNventil DV ZP TT 255 (TT-Systeme)	900 391
2	DEHNshield DSH TNS 255 (TN-S-Systeme) oder	941 400
	DEHNshield DSH TT 255 (TT-Systeme) oder	941 310
	DEHNshield DSH TN 255 (einphasige TN-Systeme) oder	941 200
	DEHNshield DSH TT 2P 255 (einphasige TT- und TN-Systeme)	941 110
3	DEHNguard modular DG M TNS 275 (TN-S-Systeme) oder	952 400
	DEHNguard modular DG M TT 275 (TT-Systeme) oder	952 310
	DEHNguard modular DG M TN 275 (TN-Systeme) oder	952 200
	DEHNguard modular DG M TT 2P 275 (einphasige TT- und TN-Systeme)	952 110

Bild 9.30.2 Anwendungsoptimierte Einsatzmöglichkeiten des DEHNshield am Beispiel einer Fahrbahnheizung für Tiefgarageneinfahrten (2a), Außenbeleuchtung und einer Videoüberwachungsanlage (2b)





HAK: Hausanschlusskasten
HES: Haupterdungsschiene
LPZ: Lightning Protection Zone (Blitzschutzzone)
VNB: Verteilernetzbetreiber
— — — definiert (blitzstromtragfähig) verbundene Erder
- - - - - - - - undefiniert verbundene Erder

Nr. im Bild	Schutzgerät	Art.-Nr.
1	DEHNventil modular DV M TNS 255 (TN-S-Systeme) oder	951 400
	DEHNventil modular DV M TT 255 (TT-Systeme) oder	951 310
	DEHNventil DV ZP TT 255 (TT-Systeme)	900 391
2	DEHNshield DSH TNS 255 (TN-S-Systeme) oder	941 400
	DEHNshield DSH TT 255 (TT-Systeme) oder	941 310
	DEHNshield DSH TN 255 (einphasige TN-Systeme) oder	941 200
	DEHNshield DSH TT 2P 255 (einphasige TT- und TN-Systeme)	941 110
3	DEHNguard modular DG M TNS 275 (TN-S-Systeme) oder	952 400
	DEHNguard modular DG M TT 275 (TT-Systeme) oder	952 310
	DEHNguard modular DG M TN 275 (TN-Systeme) oder	952 200
	DEHNguard modular DG M TT 2P 275 (einphasige TT- und TN-Systeme)	952 110

Bild 9.30.3 Anwendungsoptimierte Einsatzmöglichkeiten des DEHNshield am Beispiel einer Ladesäule für Elektromobilität oder einer Anschlusssäule mit Außensteckdose (3a) und einer Schrankenanlage (3b)

Ähnlich sieht es auch bei der Fahrbahnheizung aus, nur dass sich hier der besonders einschlaggefährdete Bereich auf eine vor oder neben dem Gebäude befindliche Fläche ausweitet. Um hier eine Personengefährdung (Rutschgefahr bei steilen Aus- und Einfahrten z. B. von Tiefgaragen) zu vermeiden, sind Störungen der Heizungsanlage infolge von Blitz- oder Überspannungsbeeinflussung zu minimieren.
Die Erder dieser Betriebsmittel sind untereinander zu verbinden. Erfolgt diese Verbindung erdfühlig (DIN EN 62305-3, Beiblatt 1 (VDE 0185-305-3, Beiblatt 1)) und eventuell über den ganzen Verlauf des Kabelweges bis hin zum Gebäude, wird eine Beschädigung des Kabels bei Blitzeinschlägen in das Erdreich vermieden.

Anwendungsbeispiele Bild 9.30.3

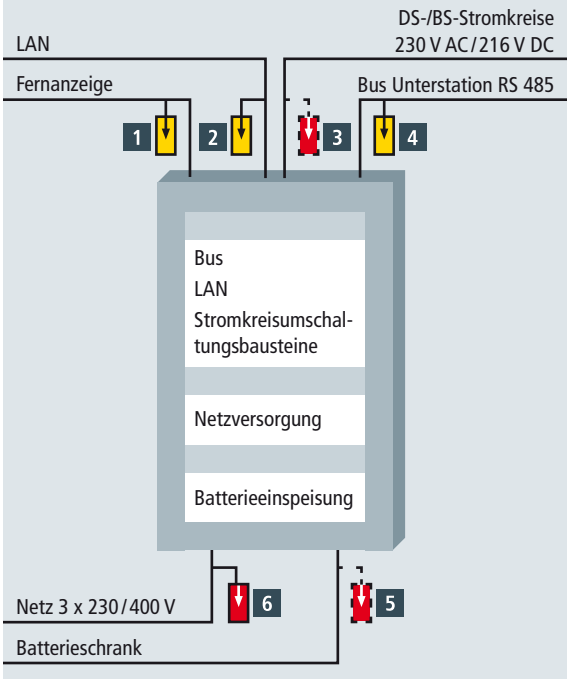
Kann ein Blitzeinschlag in die externen Betriebsmittel ausgeschlossen werden (LPZ 0_B), besteht dennoch die Gefährdung durch Blitzteilströme bei Blitzeinschlägen in den äußeren Blitzschutz des Hauptgebäudes. Somit können Blitzteilströme über die Kabel zu den Betriebsmitteln mit fernem Erdpotential geführt werden (Ladesäulen für E-Mobilität, Anschlusssäulen für Außensteckdosen und fangstangengeschützte Schrankenanlagen).
Für einen sicheren Verkehrsfluss wird bei zukünftigen Konzepten von Ladesäulen für E-Mobile eine sehr hohe Verfügbarkeit erwartet, wie man dies heutzutage auch bei Benzintankstellen gewohnt ist. Da diese Säulen außerhalb von Gebäuden stehen und mit empfindlicher Elektrotechnik ausgestattet sind, ist hier ebenfalls ein besonderes Augenmerk auf den Blitzschutz zu richten, um Störungen der Anlage infolge von Blitz- oder Überspannungsbeeinflussung zu minimieren.
Bei Schrankenanlagen wird seit Jahrzehnten auf Blitz- und Überspannungsmaßnahmen geachtet, damit ein unterbrechungsfreier Betrieb eingehalten werden kann. Bei den Anschlusssäulen für Außensteckdosen ist es je nach Verwendungszweck notwendig, Blitz- und Überspannungsschutz bereits in der Planungsphase zu beachten. Auch für diese Betriebsmittel ist ein Erder erforderlich, um den vom Gebäude nach außen fließenden Blitzstrom über den DEHNshield in die Erde zu leiten. Außerdem empfiehlt sich hier die Verbindung der Erder untereinander. Sie ist hierbei aber nicht zwingend erforderlich. Unmittelbar an das Gebäude angebaute Betriebsmittel, welche mit der Gebäudeerdungsanlage und der speisenden Zuleitung direkt verbunden sind, können mit SPD Typ 2 geschützt werden.

Ein anwendungsoptimiertes SPD Typ 1 wie der DEHNshield deckt den Schutz bestimmter Anwendungsfälle sicher ab. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die beschriebenen Maßnahmen konsequent ausgeführt und die technischen Parameter der zu schützenden Anlage berücksichtigt werden. So ist z. B. eine funktionsfähige Erdungsanlage einer der wichtigsten Punkte, der in der Gesamtanlage realisiert werden muss.

Überspannungsschutz für Sicherheits-beleuchtungsanlagen

Die Hauptaufgabe der Sicherheitsbeleuchtung ist die Ausweisung und Beleuchtung von Rettungswegen, die Beleuchtung von Arbeitsplätzen mit besonderer Gefährdung bis zum gefahrlosen Beenden der dortigen Tätigkeiten und die Beleuchtung zur Vermeidung von Paniken.

Im Folgenden wird der Überspannungsschutz für Zentrale Versorgungssysteme (CPS) betrachtet, welche als sogenannte Zentralbatterieanlagen vermarktet werden.



Nr.	Schutzgerät	Art.-Nr.
1	BLITZDUCTOR BXT ML4 BE 24* + Basisteil BXT BAS	920 324 920 300
2	DEHNpatch DPA M CLE RJ45B 48	929 121
3	DEHNguard DG M TN 275	952 200
4	BLITZDUCTOR BXT ML2 BD HFS 5* + Basisteil BXT BAS	920 271 920 300
5	DEHNguard DG M TN 275	952 200
6	DEHNguard M TNS 275* DEHNguard M TT 275*	952 400 952 310

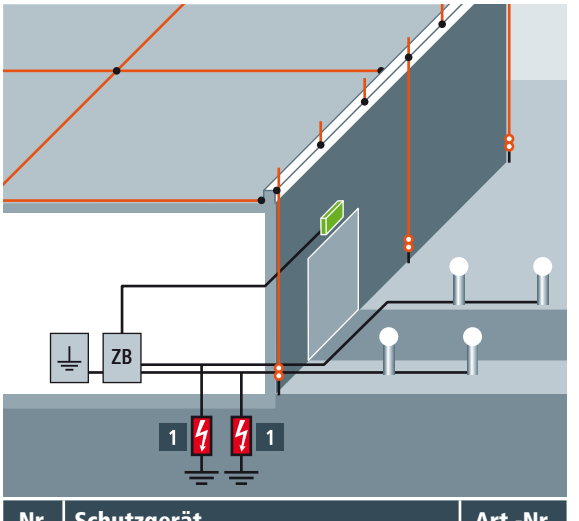
* individuelle Schnittstellen / Netzsysteme beachten

Bild 9.31.1 In der LPZ 1 und im gleichen Brandabschnitt befindliche Zentalbatterieanlage, Netzzuleitung, Batterieschrankzuleitung, Busleitung, Fernanzeigeleitung, LAN-Leitung sowie DS-/BS-Stromkreisleitungen

Diese verfügen über:

- Schnittstelle Netzversorgung;
- Schnittstelle Batterieschrank;
- Schnittstellen Stromkreisumschaltungsbausteine, welche in Verbindung mit den systemspezifischen Vorschaltgeräten der Leuchten eine individuelle Zuordnung als Dauer-, Bereitschaftsbetrieb und geschaltetes Dauerlicht im Stromkreis erlauben. Des Weiteren ermöglichen diese Bausteine die vorgeschriebene Prüfung und Einzelleuchtenüberwachung. Zudem beinhalten sie die erforderlichen Überstromschutzorgane zur Stromkreisabsicherung;
- Schnittstelle Buskommunikation mit dem/den Zentralbatteriesystem / Unterzentralen;
- Schnittstelle LAN;
- Schnittstelle Fernanzeige;
- Schnittstellen frei programmierbare Ein- und Ausgänge.

Prinzipiell bestimmt eine Risikobeurteilung die Notwendigkeit von Überspannungsschutzgeräten (SPD – Surge Protective Device) zum Schutz der Schnittstellen. Um die Zentralbatterieanlage (z. B.) nahezu risikolos zu schützen, ist es erforderlich, alle vorgenannten Schnittstellen zu beschalten (**Bild 9.31.1**). Schnittstellenbeschaltungen, welche in der Regel obligatorisch sind, werden in den **Bildern 9.31.1 bis 9.31.4** mit durchgängig umrandeten Schaltzeichensymbolen für den Überspannungsschutz dargestellt. Schutzbeschaltungen, welche nach



Nr.	Schutzgerät	Art.-Nr.
1	DEHNsecure DSE M 1 242 (2 Stk.) Kammschiene MVS 1 3	971 122 900 615

Bild 9.31.2 Blitzschutz-Potentialausgleich für Stromkreise der Sicherheitsbeleuchtung am Zonenübergang Gebäude-Erdreich

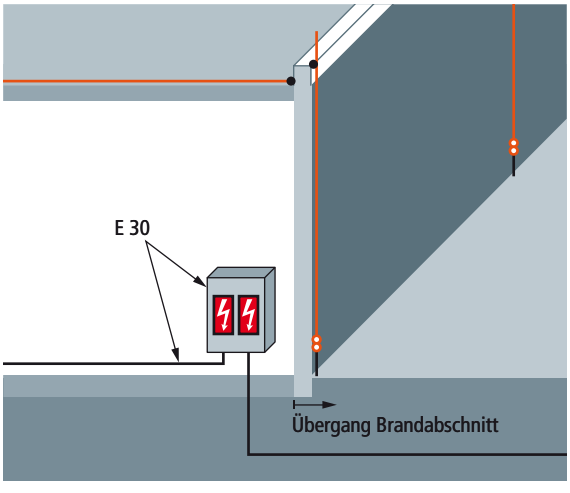


Bild 9.31.3 Blitzschutz-Potentialausgleich an einer E 30-Leitung im E 30-Verteiler (Innenseite der Außenwand)

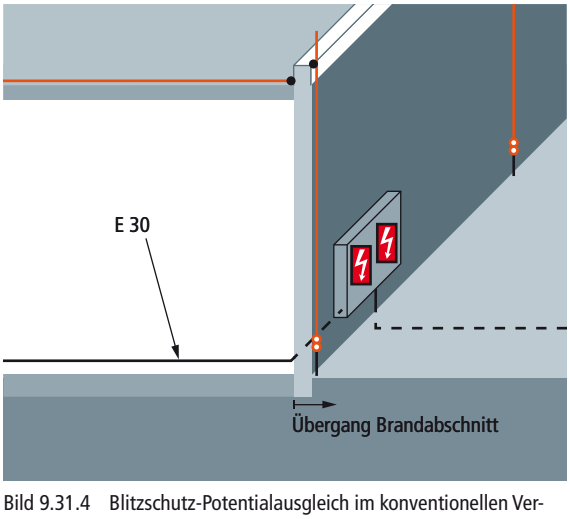


Bild 9.31.4 Blitzschutz-Potentialausgleich im konventionellen Verteiler (Außenseite der Außenwand)

besonderer Risikobeurteilung zum Einsatz kommen, sind gestrichelt gezeichnet.

Während im Bild **9.31.1** davon ausgegangen wird, dass sich ein koordinierter Blitzstrom-Ableiter (SPD Typ 1) in der netz- und informationstechnischen Gebäudeversorgung befindet, so wird die Notwendigkeit eines SPD Typ 1 für die das Gebäude verlassenden Stromkreise der Sicherheitsbeleuchtung, durch den vorgeschriebenen Blitzschutz-Potentialausgleich bestimmt (**Bild 9.31.2**). Da diese Stromkreise sowohl im AC- wie auch im DC-Betrieb gespeist werden, muss der am Zonenübergang LPZ 0_A zu LPZ 1 (Gebäudeeintritt) eingesetzte Typ 1-Ableiter hierfür ausgelegt sein. Technisch können hier keine normalen Funkenstrecken-Ableiter, die für den Einsatz in AC-Systemen entwickelt und geprüft wurden, zur Anwendung kommen, da im DC-Betrieb der Spannungsnulldurchgang fehlt, der die Funkenstrecke zum Erlöschen bringt. Das ideale Schutzgerät ist hier der DEHNsecure M 1 242. Er ist sowohl für DC als auch für AC (Vorischerung max. 10 A gl/gG) ausgelegt.

So, wie der Funktionserhalt des Leitungsnetzes im Störfall, beachtet werden muss, ist dies auch beim Einsatz von Überspannungsschutzgeräten notwendig. D. h., dass bei erforderlicher Funktionserhaltverkabelung das in die Leitung eingeschaltete Überspannungsschutzgerät in einem E 30-Verteiler einzubauen ist (**Bild 9.31.3**). Hierbei muss der E 30-Verteiler so dimensioniert werden, dass die höchstzulässige Umgebungstemperatur des Überspannungsschutzgerätes nicht überschritten wird. Um dies sicherzustellen, muss das Datenblatt des Überspannungsschutzgerätes dem Hersteller des E 30-Verteilers zugänglich gemacht werden.

Wird das Funktionserhaltkabel hingegen noch durch die Außenwand geführt, und sitzt außerdem das Überspannungsschutzgerät an der Außenseite der Außenwand, dann genügt hier ein konventioneller Verteiler, welcher nach den IP-Kriterien auszuwählen ist (**Bild 9.31.4**).

Blitz- und Überspannungs-schutz für explosions-gefährdete Bereiche

In chemischen und petrochemischen Industrieanlagen entstehen bei der Herstellung, Verarbeitung, Lagerung und Beförderung von brennbaren Stoffen (z. B. Benzin, Alkohol, Flüssiggas, explosionsfähigen Stäuben) häufig explosionsgefährdete Bereiche, in denen zur Vermeidung von Explosionen jegliche Art von Zündquellen vermieden werden müssen. In einschlägigen Schutzvorschriften wird auf die Gefährdung solcher Anlagen durch atmosphärische Entladungen (Blitz) hingewiesen. Hier ist zu beachten, dass eine Brand- und Explosionsgefahr durch eine direkte oder indirekte Blitzentladung aufgrund der teilweise weiten räumlichen Ausdehnung solcher Anlagen besteht.
Damit die erforderliche Anlagenverfügbarkeit sowie die notwendige Anlagensicherheit erreicht werden, ist zum Schutz von prozesstechnischen elektrischen und elektronischen Anlagenteilen gegen Blitzströme und Überspannungen ein konzeptionelles Vorgehen notwendig.

Lösungskonzept

In explosionsgefährdeten Bereichen werden häufig eigensichere Messkreise angewendet. **Bild 9.32.1** zeigt den prinzipiellen Aufbau eines solchen Systems und die Zuordnung in Blitzschutzzonen. Aufgrund der benötigten sehr hohen Verfügbarkeit der Systeme und um den beträchtlichen Anforderungen der Sicherheit im Ex-Bereich gerecht zu werden, wurden folgende Bereiche in Blitzschutzzone 1 (LPZ 1) und Blitzschutzzone 2 (LPZ 2) eingeteilt:

- Auswerteelektronik in der Messwarte (LPZ 2)
- Temperatur-Messumformer am Tank (LPZ 1)
- Innenraum des Tanks (LPZ 1).

Entsprechend dem Blitzschutzzonen-Konzept nach DIN EN 62305-4 müssen alle Leitungen an den Blitzschutzzonen-Grenzen mit den erforderlichen Überspannungs-Schutzmaßnahmen versehen sein, die nachfolgend beschrieben werden.

Äußerer Blitzschutz

Der äußere Blitzschutz ist die Gesamtheit aller außerhalb an oder in der zu schützenden Anlage verlegten und bestehenden Einrichtungen zum Auffangen und Ableiten des Blitzstromes in die Erdungsanlage.
Ein Blitzschutzsystem für explosionsgefährdete Bereiche entspricht bei normalen Anforderungen der Blitzschutzklasse II. In begründeten Einzelfällen, bei besonderen Bedingungen (gesetzliche Vorgaben) oder durch das Ergebnis einer Risikoanalyse kann davon abgewichen werden. Die folgenden Anforderungen basieren jeweils auf der Blitzschutzklasse II.

Fangeinrichtungen

In explosionsgefährdeten Bereichen müssen die Fangeinrichtungen mindestens nach Blitzschutzklasse II (**Tabelle 9.32.1**) errichtet werden. Zur Ermittlung der relevanten Einschlagspunkte ist das Blitzkugelverfahren mit einem Mindestradius

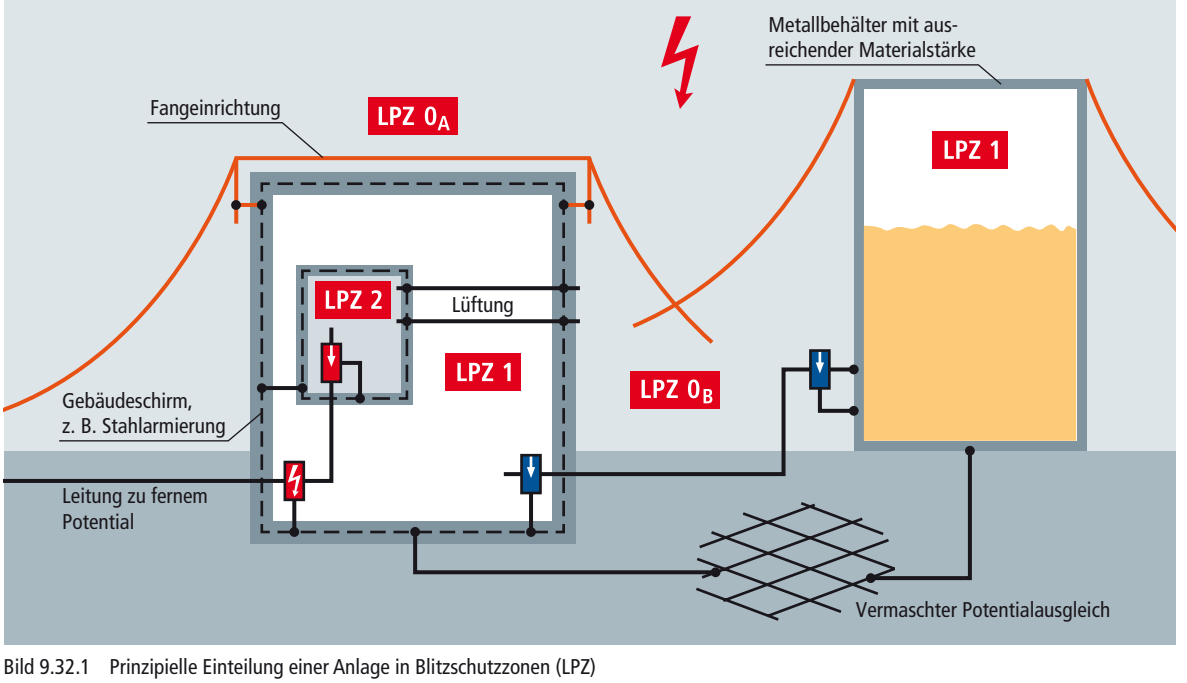


Bild 9.32.1 Prinzipielle Einteilung einer Anlage in Blitzschutzzonen (LPZ)

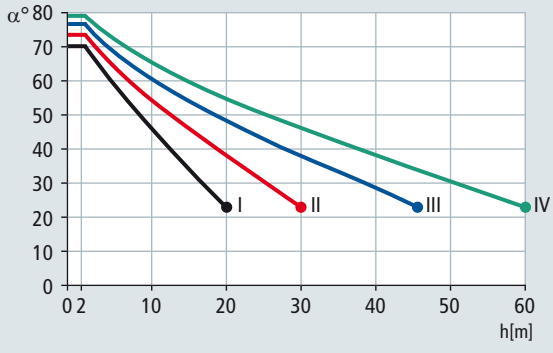
LPS Schutz-klasse	Schutzverfahren			Ableitungen typische Abstände [m]
	Blitzkugel-radius r [m]	Schutzwinkel α	Maschen-größe w [m]	
I	20		5 x 5	10
II	30		10 x 10	10
III	45		15 x 15	15
IV	60		20 x 20	20

Tabelle 9.32.1 Anordnung der Fangeinrichtungen gemäß der Blitzschutzklasse

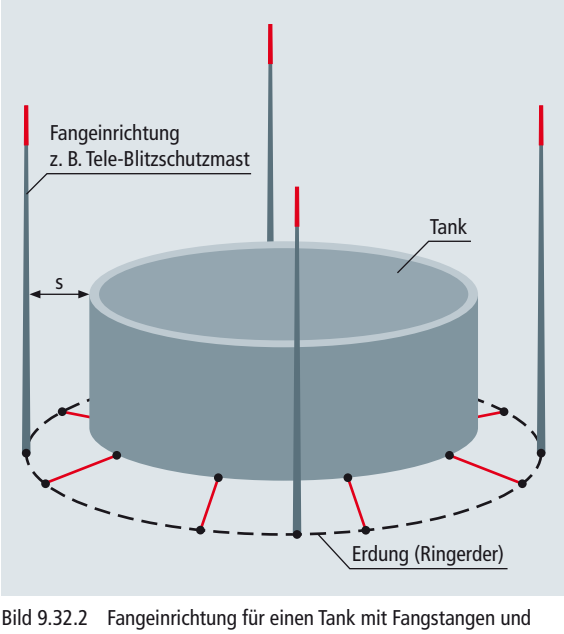


Bild 9.32.2 Fangeinrichtung für einen Tank mit Fangstangen und Fangseilen

gemäß der Blitzschutzklasse II empfohlen. Im Falle eines Einschlages in die Fangeinrichtung kann es aber an der Einschlagstelle zur Funkenbildung kommen. Um dort Zündgefahren zu vermeiden, sollen die Fangeinrichtungen außerhalb der Ex-Zonen (**Bild 9.32.2**) errichtet werden. Als Fangeinrichtungen können auch natürliche Bestandteile (z. B. metallische Dachkonstruktionen, metallene Rohre und Behälter) verwendet werden, wenn die Mindestmaterialstärke von 5 mm nach DIN EN 62305-3, Anhang D 5.5.2 eingehalten wird sowie die Erwärmung und die Materialreduzierung am Einschlagpunkt zu keinen weiteren Gefährdungen führen (z. B. Reduzierung der Wandstärke bei Druckbehältern, hohe Oberflächentemperatur am Einschlagspunkt) (**Bild 9.32.1**).

Ableitungen

Ableitungen sind die elektrisch leitenden Verbindungen zwischen der Fangeinrichtung und der Erdungsanlage. Um das Auftreten von Schäden bei der Ableitung des Blitzstromes zur Erdungsanlage zu verringern, sind die Ableitungen so anzubringen, dass vom Einschlagpunkt zur Erde

- mehrere parallele Strompfade bestehen (Ex-Anlagen: je 10 m Umfang der Dachaußenkanten eine Ableitung, mindestens jedoch 4),
- die Länge der Stromwege so kurz wie möglich gehalten wird,
- die Verbindungen zum Potentialausgleich überall dort hergestellt werden, wo es notwendig ist.
- Ein Potentialausgleich auf Höhe des Erdbodens und alle 20 m in der Höhe hat sich bewährt.

Als Ableitungen dürfen auch die Bewehrungen von Stahlbetonbauten verwendet werden, wenn sie stromtragfähig und dauerhaft miteinander verbunden sind.

Trennungsabstand

Eine gefährliche Näherung zwischen Teilen des äußeren Blitzschutzes und metallenen sowie elektrischen Anlagen im Inneren des Gebäudes besteht dann, wenn der Trennungsabstand d zwischen der Fangeinrichtung oder Ableitung einerseits und

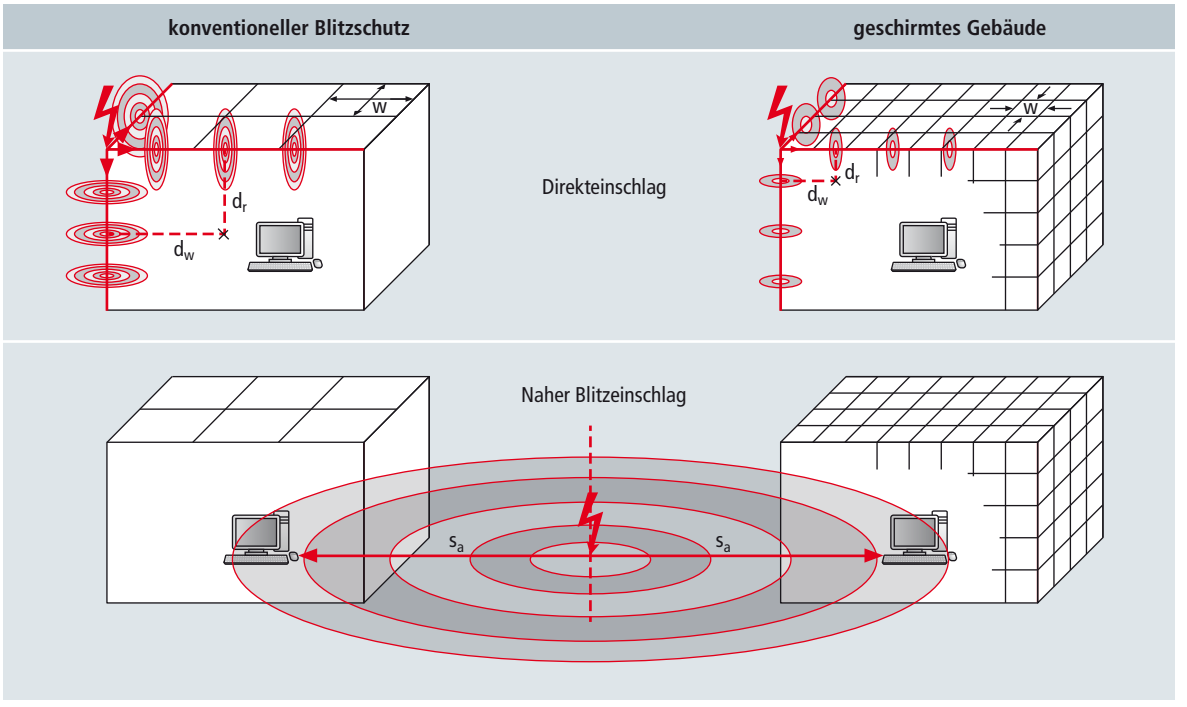


Bild 9.32.3 Schirmung von baulichen Anlagen durch die Verwendung natürlicher Gebäudekomponenten

metallenen und elektrischen Installationen innerhalb der zu schützenden baulichen Anlage andererseits nicht ausreichend ist. Der Trennungsabstand d darf nicht kleiner sein als der Sicherheitsabstand s (d > s).
Da sich in der Realität der Blitzstrom auf die einzelnen Ableitungen in Abhängigkeit der Impedanzen verteilt, muss der Sicherheitsabstand entsprechend DIN EN 62305-3 für das jeweilige Gebäude/Anlage separat berechnet werden.

Gebäudeschirmung

Eine weitere Maßnahme des Blitzschutzzonen-Konzeptes ist die Realisierung einer Gebäudeschirmung. Zu diesem Zweck werden nach Möglichkeit am oder im Gebäude vorhandene Metallfassaden und Armierungen von Wänden, Böden und Decken zu Abschirmkäfigen zusammengeschlossen (**Bild 9.32.3**). Durch den elektrischen Zusammenschluss dieser natürlichen Metallkomponenten des zu schützenden Objektes zu möglichst geschlossenen Schirmkäfigen wird eine beachtliche Reduzierung der magnetischen Felder erreicht. Dadurch können auf einfachste Weise eine Verminderung des Magnetfeldes um den Faktor 10 bis 300 erreicht und kostengünstig eine Infrastruktur für den EMV-Schutz geschaffen werden. Bei der Nachrüstung bestehender Anlagen muss, z. B. durch die Auskleidung mit Baustahlmatten, die notwendige Raumschirmung den EMV-Anforderungen angepasst werden.

Überspannungsschutz im Ex-Bereich

Schon bei der Planung wurden die Blitzschutzzonen und Ex-Zonen in Einklang gebracht. Dies hat nun zur Folge, dass die Forderungen zum Einsatz von Überspannungsschutzgeräten im Ex-Bereich und an den Blitzschutzzonen-Grenzen gleichermaßen erfüllt werden müssen. Der Installationsort des Überspannungs-Ableiters wurde somit exakt definiert. Dieser befindet sich am Übergang LPZ 0_B nach LPZ 1. Damit wird das Eindringen von gefährlichen Überspannungen in die Ex-Schutzzone 0 oder 20 verhindert, da der Störimpuls schon vorher abgeleitet wird. Auch die für den Prozess wichtige Verfügbarkeit des Temperatur-Transmitters wurde wesentlich erhöht. Zusätzlich müssen die Anforderungen nach DIN EN 60079-11, 14 und 25 erfüllt werden (**Bild 9.32.4**):

- Einsatz von Überspannungsschutzgeräten mit einem Mindestableitvermögen von 10 Impulsen mit jeweils 10 kA ohne Defekt oder Beeinträchtigung der Überspannungs-Schutzfunktion.
- Einbau des Schutzgerätes in einem metallisch geschirmten Gehäuse und Erdung mit mindestens 4 mm^2 Cu.
- Installation der Leitungen zwischen dem Ableiter und dem Betriebsmittel im beidseitig geerdeten Metallrohr oder die Verwendung geschirmter Leitungen mit einer max. Länge von 1 m.

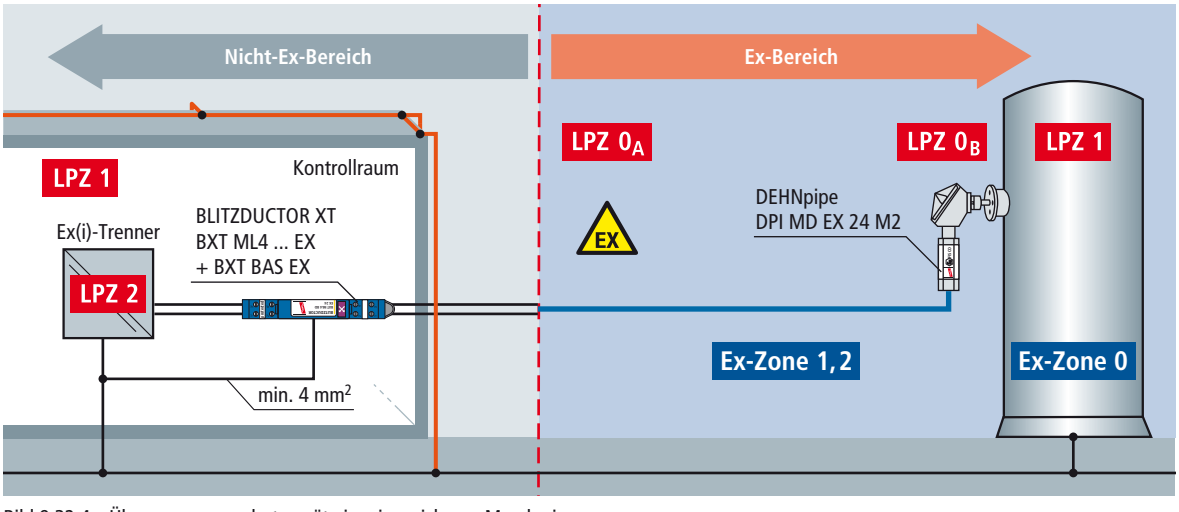


Bild 9.32.4 Überspannungsschutzgeräte im eigensicheren Messkreis

Entsprechend der Definition im Schutzkonzept ist die SPS in der Leitwarte als LPZ 2 definiert. Die vom Temperatur-Transmitter abgehende, eigensichere Messleitung wird am Übergang von LPZ 0_B nach LPZ 1 ebenfalls über ein Überspannungsschutzgerät geführt. Dieses Schutzgerät am anderen Ende der gebäudeüberschreitenden Feldleitung muss das gleiche Ableitvermögen besitzen wie das am Tank installierte Schutzgerät. Nach dem Überspannungsschutzgerät wird die eigensichere Leitung über einen Trennverstärker geführt (**Bild 9.32.5**). Von dort aus wird die geschirmte Leitung zur SPS in LPZ 2 verlegt. Durch das beidseitige Auflegen des Kabelschirmes wird am Übergang LPZ 1 nach LPZ 2 kein Schutzgerät mehr benötigt, da die noch zu erwartende elektromagnetische Reststörung durch den beidseitig geerdeten Kabelschirm stark gedämpft wird (s. dazu „Schirmbehandlung in eigensicheren Messkreisen").

Weitere Auswahlkriterien für Überspannungsschutzgeräte im eigensicheren Messkreis

Isolationsfestigkeit der Betriebsmittel

Damit es durch Leckströme zu keinen Messwertverfälschungen kommt, werden die Sensorsignale aus dem Tank häufig galvanisch getrennt. Der Messumformer hat zwischen der eigensicheren 4 ... 20 mA-Stromschleife und dem geerdeten Temperatursensor eine Isolationsfestigkeit von ≥ 500 V AC. Das Betriebsmittel gilt somit als „erdfrei". Beim Einsatz von Überspannungsschutzgeräten darf diese Erdfreiheit nicht beeinflusst werden.

Besitzt der Messumformer eine Isolationsfestigkeit von < 500 V AC, so gilt der eigensichere Messkreis als geerdet. In diesem Fall müssen Schutzgeräte verwendet werden, deren Schutzpegel beim Nennableitstoßstrom von 10 kA (Impulsform

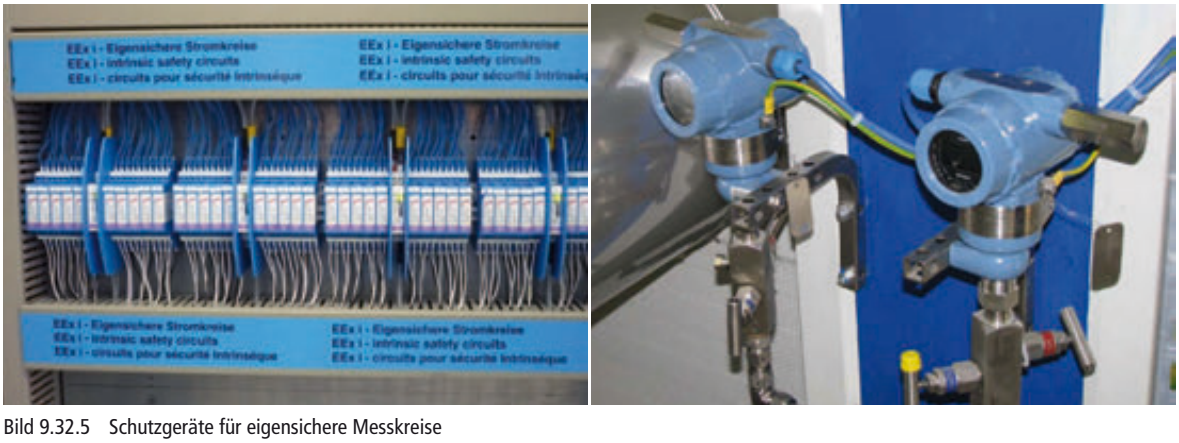


Bild 9.32.5 Schutzgeräte für eigensichere Messkreise

Technische Daten	Messumformer TH02	Überspannungsschutzgerät BXT ML4 BD Ex 24
Montageort	Zone 1	Zone 1
Zündschutzart	ib	ia
Spannung	U_i max. = 29,4 VDC	U_c = 33 VDC
Strom	I_i max. = 130 mA	I_N = 500 mA
Frequenz	f_{HART} = 2200 Hz, frequenzmoduliert	f_G = 7,7 MHz
Störfestigkeit	Nach NE 21, z. B. 0,5 KV Ader/Ader	Ableitvermögen 20 kA (8/20 µs), Schutzpegel ≤ 52 V Ader/Ader
Geprüft nach	ATEX, CE	ATEX, CE, IEC 6143-21, IECEX
Erdfreiheit 500 V	Ja	Ja
Innere Kapazität C_i	C_i =15 nF	Vernachlässigbar klein
Innere Kapazität L_i	L_i = 220 µH	Vernachlässigbar klein

Tabelle 9.32.2 Beispiel für einen Temperaturmessumformer

8/20 µs) unterhalb der Isolationsfestigkeit des „geerdeten" Messumformers liegt (z. B. U_p (Ader / PG) ≤ 35 V).

Zündschutzart – Kategorie ia, ib oder ic?

Der Messumformer und das Überspannungsschutzgerät sind in Ex-Schutzzone 1 montiert, sodass die Zündschutzart ib für die 4... 20 mA-Stromschleife ausreicht. Der eingesetzte Überspannungs-Schutz erfüllt gemäß der Zertifizierung nach ia die schärfsten Anforderungen und eignet sich somit auch für ib- und ic-Applikationen.

Zulässige Maximalwerte für L_0 und C_0

Bevor ein eigensicherer Messkreis in Betrieb genommen wird, muss der Nachweis für die Eigensicherheit des Messkreises erbracht werden. Hier müssen das Speisegerät, der Messumformer, die verwendeten Kabel sowie die Überspannungsschutzgeräte die Zusammenschaltbedingungen erfüllen. Ggf. sind Energiespeicher wie Induktivitäten und Kapazitäten der Schutzgeräte in die Betrachtung mit aufzunehmen. Beim Überspannungsschutzgerät vom Typ BXT ML4 BD EX 24 (**Bild 9.32.6**) sind, gemäß der EG-Baumusterbescheinigung (PTB 99 ATEX 2092), die inneren Kapazitäten und Induktivitäten vernachlässigbar und brauchen bei der Betrachtung der Zusammenschaltbedingungen nicht berücksichtigt werden (**Tabelle 9.32.2**).

Maximalwerte für Spannung U_i und Strom I_i

Der zu schützende eigensichere Messumformer hat laut seinen technischen Daten für eigensichere Anwendungen eine maximale Versorgungsspannung U_i und einen maximalen Kurzschlussstrom I_i (**Bild 9.32.7**). Die Ableiterbemessungsspannung U_c des Schutzgerätes muss mindestens so hoch sein wie die maximale Leerlaufspannung des Speisegerätes. Auch der Nennstrom des Schutzgerätes muss mindestens so groß sein wie der im Fehlerfall zu erwartende Kurzschlussstrom I_i des Messumformers. Weicht man bei der Dimensionierung der Überspannungs-Ableiter von diesen Randbedingungen ab, so kann das Schutzgerät überlastet werden und somit ausfallen, oder die Eigensicherheit des Messkreises wird durch eine unzulässige Temperaturerhöhung am Schutzgerät aufgehoben.

Koordination von Überspannungsschutzgerät und Endgerät

Die NAMUR-Empfehlung NE 21 legt Störsicherheitsanforderungen für den allgemeinen Gebrauch an die Betriebsmittel (z. B. Messumformer) der Prozess- und Labortechnik fest. Die Signaleingänge solcher Betriebsmittel müssen Spannungsbelastungen von 0,5 kV zwischen den Leitungsadern (Querspannung) und 1,0 kV Leitungsader gegen Erde (Längsspannung) widerstehen. Der Messaufbau und die Wellenform werden in der Grundnorm DIN EN 61000-4-5 beschrieben. Je nach Amplitude des Prüfimpulses wird dem Endgerät eine entsprechende Störfestigkeit zugewiesen. Diese Störfestigkeiten der Endgeräte werden durch die Prüfschärfegrade (1 – 4) dokumentiert. Dabei bedeutet 1 die geringste und 4 die höchste Störfestigkeit. Der Prüfschärfegrad kann in der Regel der Gerätedokumentation des zu schützenden Gerätes entnommen oder beim Geräte-Hersteller erfragt werden. Bei Gefahr von Blitz- und Überspannungseinwirkung müssen die leitungsgebundenen Störimpulse (Spannung, Strom und Energie) auf einen Wert begrenzt werden, der innerhalb der Störfestigkeit des Endgerätes liegt. Die Prüfschärfegrade sind auf den Schutzgeräten ausgewiesen (z. B. P1).

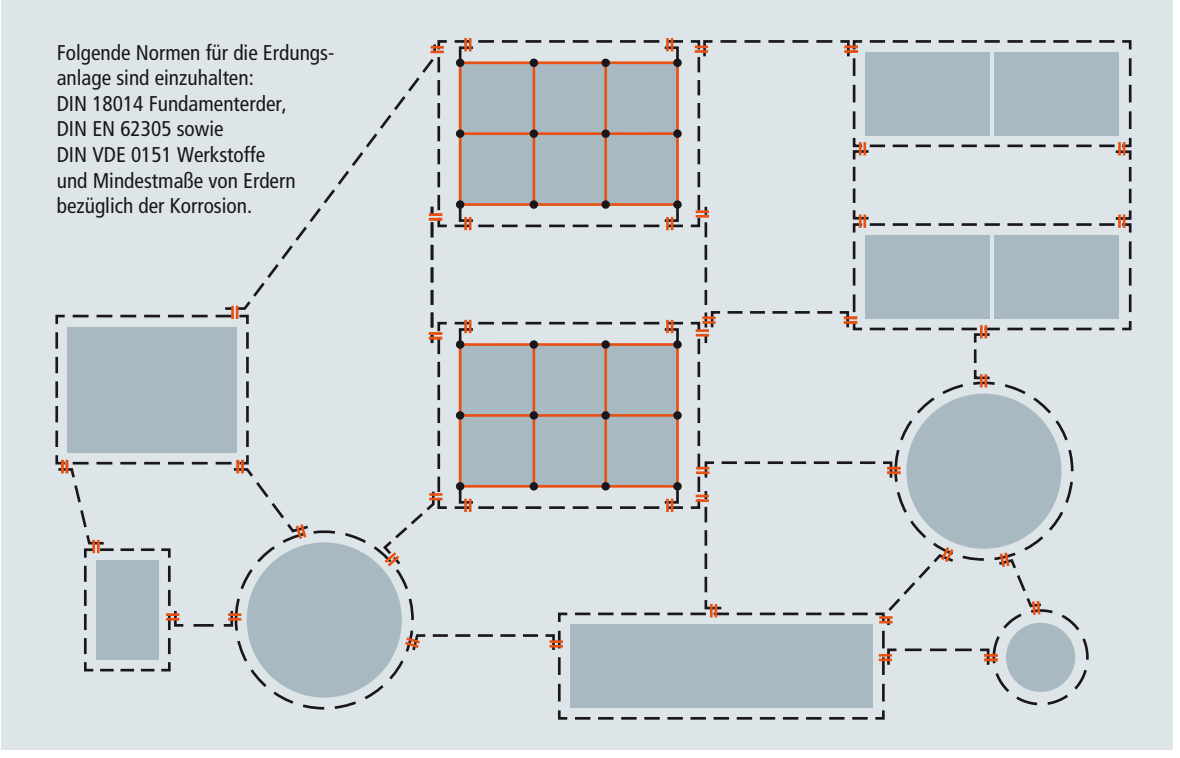


Bild 9.32.6 Beispiel einer vermaschten Erdungsanlage

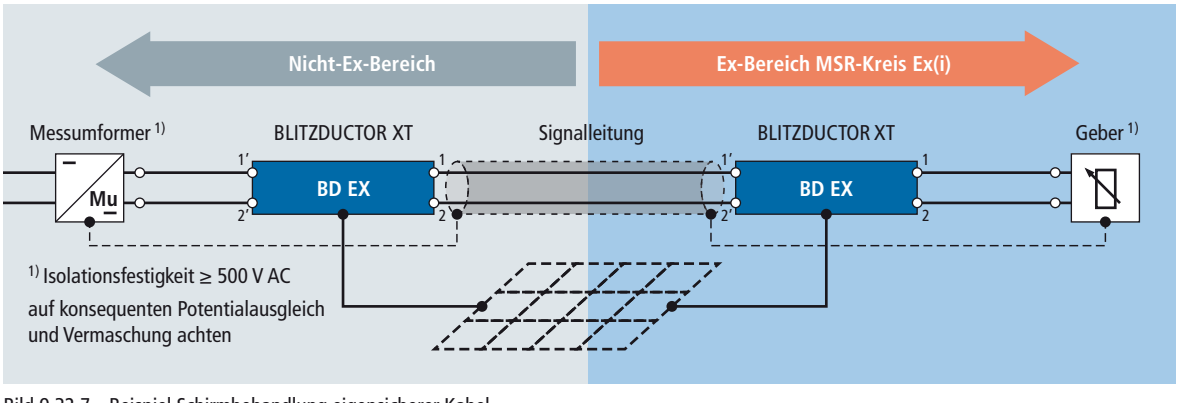


Bild 9.32.7 Beispiel Schirmbehandlung eigensicherer Kabel

Vermaschte Erdungsanlage

In der Praxis wurden früher Erdungsanlagen oft getrennt ausgeführt (Blitzschutz- und Schutzerdung getrennt von Funktionserdung). Dies hat sich als äußerst ungünstig herausgestellt und kann sogar gefährlich werden. Bei einem Blitzeinschlag können hier Spannungsdifferenzen bis zu einigen 100 kV auftreten, was zur Zerstörung von elektronischen Komponenten, zu Personengefährdung und durch Funkenüberschläge zu Explosionen in explosionsgefährdeten Bereichen führen kann.
Aus diesem Grund empfiehlt es sich, für jedes einzelne Gebäude oder jeden Anlagenteil eine eigene Erdungsanlage zu errichten und diese dann zu vermaschen. Diese Vermaschung

(**Bild 9.32.6**) verringert die Potentialunterschiede zwischen den Gebäuden/Anlagenteilen und somit auch leitungsgebundene Blitzteilströme. Die Potentialdifferenzen zwischen den Gebäuden/Anlagenteilen sind im Falle eines Blitzeinschlages umso geringer, je engmaschiger das Maschennetz der Erdung aufgebaut ist. Als wirtschaftlich haben sich Maschenweiten von 20 x 20 m (in explosionsgefährdeten Bereichen sowie beim Einsatz von elektronischen Systemen werden Maschenweiten von 10 x 10 m empfohlen) erwiesen. Bei der Auswahl des Erdungsmaterials ist darauf zu achten, dass eine Korrosionsbeeinflussung der im Erdreich verlegten Rohrleitungen vermieden wird.

Potentialausgleich

In allen explosionsgefährdeten Bereichen ist ein konsequenter Potentialausgleich durchzuführen, damit Potentialunterschiede zwischen verschiedenen und fremden leitfähigen Teilen unterbleiben. Auch Gebäudestützen und Konstruktionsteile, Rohrleitungen, Behälter usw. müssen in den Potentialausgleich so einbezogen werden, dass mit einer Spannungsdifferenz, selbst im Fehlerfall, nicht zu rechnen ist. Die Anschlüsse der Potentialausgleichsleiter müssen gegen Selbstlockern gesichert sein. Ein zusätzlicher Potentialausgleich ist nach DIN EN 60079-14 gefordert. Dieser ist sorgfältig nach den Teilen 410 und 540 der DIN VDE 0100 auszuführen, zu installieren und zu prüfen. Beim Einsatz von Überspannungsschutzgeräten ist der Querschnitt der Erdleitung zum Potentialausgleich mit mindestens 4 mm^2 Cu zu dimensionieren.

Blitzschutz-Potentialausgleich außerhalb des Ex-Bereiches

Der Einsatz von Überspannungs-Schutzeinrichtungen in der Niederspannungsverbraucheranlage und in MSR-Signalen außerhalb des Ex-Bereiches (z. B. Leitwarte) weisen gegenüber anderen Anwendungen keinerlei Besonderheiten auf und sind bereits mehrfach beschrieben worden (s. DS 649 – RedLine: „... Auswahl leicht gemacht"). In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass die Überspannungs-Schutzeinrichtungen für Leitungen von LPZ 0_A nach LPZ 1 ein Blitzstrom-Ableitvermögen aufweisen müssen, das in der Prüf-Wellenform 10/350 µs angegeben wird. Die Überspannungs-Schutzeinrichtungen der unterschiedlichen Anforderungsklassen müssen untereinander koordiniert sein. Durch den Aufbau der Schutzkette mit Überspannung-Schutzeinrichtungen von DEHN ist dies sichergestellt.

Schirmbehandlung in eigensicheren Messkreisen

Die Behandlung des Kabelschirmes ist eine wichtige Maßnahme gegen die elektromagnetische Beeinflussung. Dabei ist gefordert, dass die Auswirkungen elektromagnetischer Felder bezüglich ihrer Zündmöglichkeit auf ein ungefährliches Maß reduziert werden sollen. Dies kann aber nur erfüllt werden, wenn der Schirm auf beiden Kabelenden geerdet wird. Ein beidseitiges Erden des Schirmes im Ex-Bereich ist zulässig, wenn mit großer Sicherheit mit keinen Potentialdifferenzen zwischen den Erdungspunkten zu rechnen ist (vermaschte Erdungsanlage, Masche 10 x 10 m), eine isolierte Erdungsleitung mit mindestens 4 mm^2 (besser 16 mm^2) parallel zur eigensicheren Leitung verlegt und an beliebigen Stellen mit dem Schirm der Leitung verbunden sowie anschließend wieder isoliert wird. Diese parallele Leitung ist an der gleichen PA-Schiene anzuschließen, an der auch der Schirm der eigensicheren Leitung angeschlossen wird (**Bild 9.32.6**).

Darüber hinaus können Bewehrungseisen, die elektrisch durchgängig und dauerhaft verbunden sind, als Potentialausgleichsleiter verwendet werden. Diese werden beidseitig an die PA-Schiene angeschlossen.

Zusammenfassung

Eine Gefährdung von chemischen und petrochemischen Anlagen durch eine Blitzentladung und die daraus resultierenden elektromagnetische Beeinflussung wird in den einschlägigen Richtlinien erfasst. Bei der Verwirklichung des Blitzschutzzonen-Konzeptes in der Planung und Ausführung derartiger Anlagen lassen sich die Risiken einer Funkenbildung durch Direkteinschlag oder Entladen von leitungsgebundenen Störenergien in einem sicherheitstechnisch und auch wirtschaftlich vertretbaren Rahmen minimieren. Die verwendeten Überspannungs-Ableiter müssen sowohl die Anforderungen des Explosionsschutzes, die Koordination zum Endgerät, als auch die Anforderungen aus den Betriebsparametern der MSR-Kreise erfüllen.

Blitzschutzsysteme für Gas-Druckregel- und Messanlagen (GDRM-Anlagen)

Zur Hauptaufgabe von GDRM-Anlagen gehört die Überwachung und Berechnung der Gasmengen, der automatische Betrieb der Stationen mit mengen- und zustandsorientierten Zu- und Abschaltungen von Mess- und Regelstrecken, sowie Mengenbezugsregelungen und Mengenüberwachung für den Gastransport zwischen den Netzbetreibern.

Allgemein betrachtet sind GDRM-Anlagen Energieversorgungsanlagen und obliegen dem Energiewirtschaftsgesetz (EnWG). Demnach gelten primär die sicherheitstechnischen Anforderungen des Energiewirtschaftsgesetzes (EnWG) unter Beachtung der allgemein anerkannten Regeln der Technik (VDE und DVGW-Richtlinien) sowie ggf. der Gashochdruckleitungsverordnung (GasHDrLtgV). Für die Aufsicht über Energieanlagen sind nach EnWG die Energieaufsichtsbehörden der Länder zuständig.

Für bestimmte funktionale Einheiten, die in Verbindung mit der Energieanlage stehen, müssen darüber hinaus die materiellen Festlegungen des Abschnitts 3 der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) Beachtung finden. Dies erfolgt in Eigenverantwortung des Betreibers. Hierzu gehören Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen, deren Komponenten von der Richtlinie 94/9/EG erfasst werden. Zu beachten sind z. B. der Einsatz von Geräten, die die Anforderungen der RL 94/9/EG erfüllen, die Installation nach dem Stand der Technik, die Prüfung vor Inbetriebnahme und die wiederkehrende Prüfung in Eigenverantwortung des Unternehmens durch eine befähigte Person.
Die in diesem Zusammenhang zu beachtenden grundlegenden Anforderungen der BetrSichV wurden durch die Veröffentlichung von Technischen Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) weiter konkretisiert. Im DVGW-Arbeitsblattes G 491 werden die Anforderungen an den elektrischen und nichtelektrischen Explosionsschutz von GDRM-Anlagen unter Berücksichtigung der gültigen TRBS-Richtlinien beschrieben.

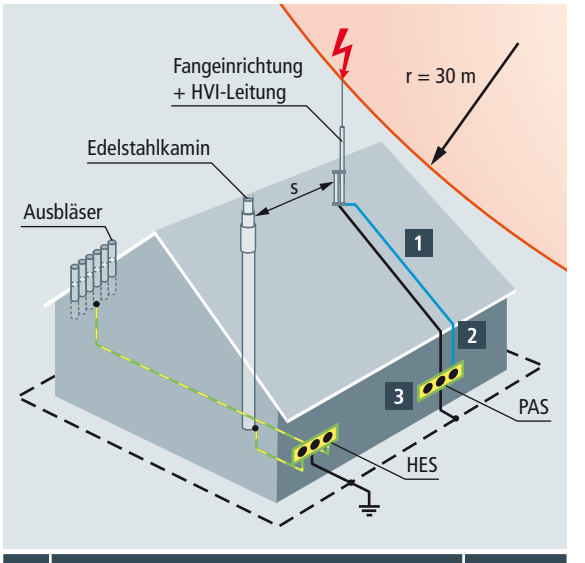
Gefährdungsbeurteilung – Ermittlung des Istzustandes

Bei der Bestandsaufnahme ist der sogenannte Istzustand der Anlage zu ermitteln. Bauliche Gegebenheiten, vorhandene Dokumentationen sowie mögliche Anforderungen seitens der Sachversicherer sind hierbei aufzunehmen.

Zusammen mit dem Betreiber wird anhand einer Gefährdungsbeurteilung die Entscheidung über notwendige Schutzmaßnahmen getroffen, um schädlichen Auswirkungen von Blitz- und Überspannungen entgegenzuwirken. Der Planer bedient sich dabei der anerkannten Regelwerke, welche die Planung eines kompletten Schutzkonzeptes ermöglichen.
Eine verlässliche Planungsgrundlage für zukunftsorientierte Blitzschutzsysteme ist die DIN EN 62305. Sie ist für das Planen, Errichten, Überprüfen und Warten von Blitzschutzsystemen für bauliche Anlagen, deren Installation, ihren Inhalt und der sich darin befindlichen Personen anzuwenden.
Die Gefährdung durch Blitzeinwirkung und die Notwendigkeit eines Blitzschutzsystems für ein zu schützendes Objekt werden anhand der Normenteile 1 und 2, DIN EN 62305, ermittelt. Entsprechend der Gefährdung erfolgt die Auswahl von technisch und wirtschaftlich optimalen Schutzmaßnahmen. Mit Hilfe der Normenteile DIN EN 62305-3 und 4 werden die ermittelten Schutzmaßnahmen umgesetzt. Für Betreiber und Planer ist die DIN EN 62305 somit eine solide Grundlage und dies nicht zuletzt deshalb, weil auf dieser Basis weitergehende Schutzmaßnahmen auch für ausgedehnte Einrichtungen der elektrischen Energie- und Informationstechnik leichter und kostengünstiger durchgeführt werden können. Solche Maßnahmen zum Schutz elektronischer Systeme werden in DIN EN 62305, Teil 4 beschrieben.

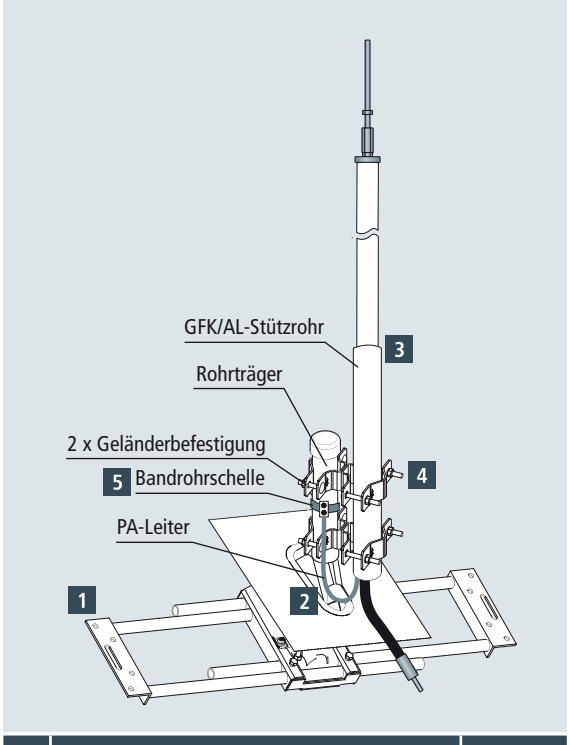
Risikoabschätzung der GDRM-Anlage

Der erforderliche Schutz der baulichen Anlage und der technischen Einrichtungen gegen Blitzeinwirkungen sowie der erforderliche Schutz von Personen ist von Anfang an zu berücksichtigen. Aus diesem Grund werden noch vor Beginn der Risikobewertung entsprechende Schutzziele gemeinsam mit dem Betreiber festgelegt.



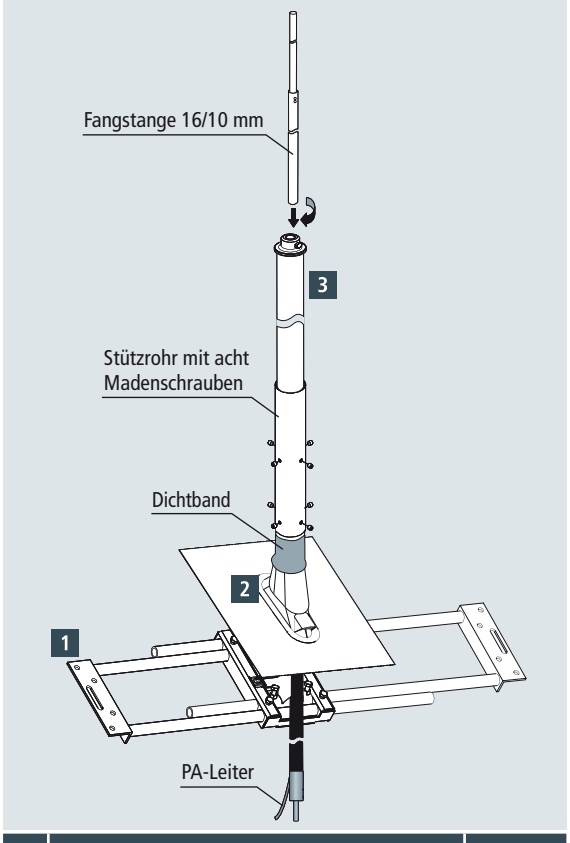
	Komponenten	Art.-Nr.
1	Dachleitungshalter mit gewinkelter Strebe für HVI-Leitung	202 830
2	Leitungshalter für HVI-Leitung zur Wandmontage	275 229
3	Erdungsschiene 2x2 Anschlüsse	472 109

Bild 9.33.1 Getrennter äußerer Blitzschutz für Satteldach



	Komponenten	Art.-Nr.
1	Dachsparrenhalter	105 240
2	Dachdurchführungsset	105 245
3	DEHNcon-H HVI-Leitung I im Stützrohr mit Fangstange	819 245
4	Geländerbefestigung	105 354
5	Antennen-Bandrohrschelle	540 103

Bild 9.33.2 Getrennter äußerer Blitzschutz für Satteldach – Aufbauvariante 1



	Komponenten	Art.-Nr.
1	Dachsparrenhalter	105 240
2	Dachdurchführungsset	105 245
3	DEHNcon-H HVI-Leitung I im Stützrohr mit Fangstange	819 245

Bild 9.33.3 Getrennter äußerer Blitzschutz für Satteldach – Aufbauvariante 2

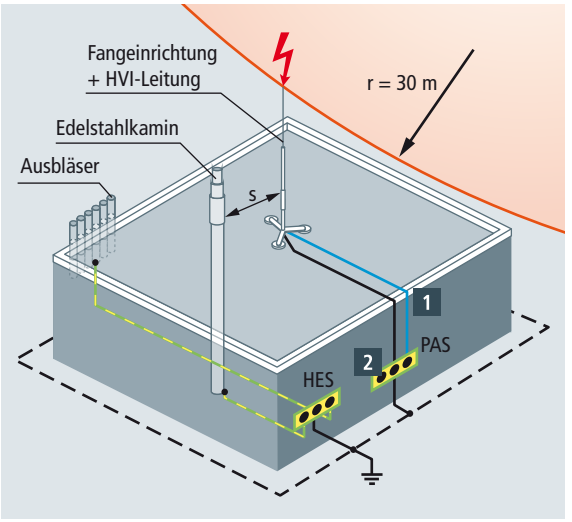
Diese wären in unserem Beispiel:

- Brand- und Explosionsschutz
- Personenschutz
- Schutz der Elektronik von Systemen mit hoher Verfügbarkeit.

Zunächst werden die Verlustfaktoren nach DIN EN 62305, die erforderliche Verfügbarkeit sowie das Schadensrisiko ermittelt, was zu foldengen Verlustfaktoren führt:

- L1: Verletzung oder Tod von Personen (Im Verlustfaktor L1 wird die in der TRBS 2152, Teil 3 betrachtete Zündquelle Blitzeinschlag in Hinblick auf den Explosionsschutz mit erfasst.)
- L2: Verlust von Dienstleistungen für die Öffentlichkeit
- L4: Wirtschaftliche Verluste.

Das anschließend vorgestellte Beispiel wurde unter Verwendung der DIN EN 62305, Teil 2 und mit Hilfe der DEHNSupport-Software berechnet. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Vorgehensweise hier nur beispielhaft dargelegt werden soll. Die gezeigte Lösung (**Bild 9.33.1**) ist in keiner Weise verbindlich und kann selbstverständlich durch andere,



	Komponenten	Art.-Nr.
1	HVI-Ex W70 holder	275 440
	HVI-Ex W200 holder	275 441
	HVI-Ex busbar 500	275 498
2	Erdungsschiene 2x2 Anschlüsse	472 109

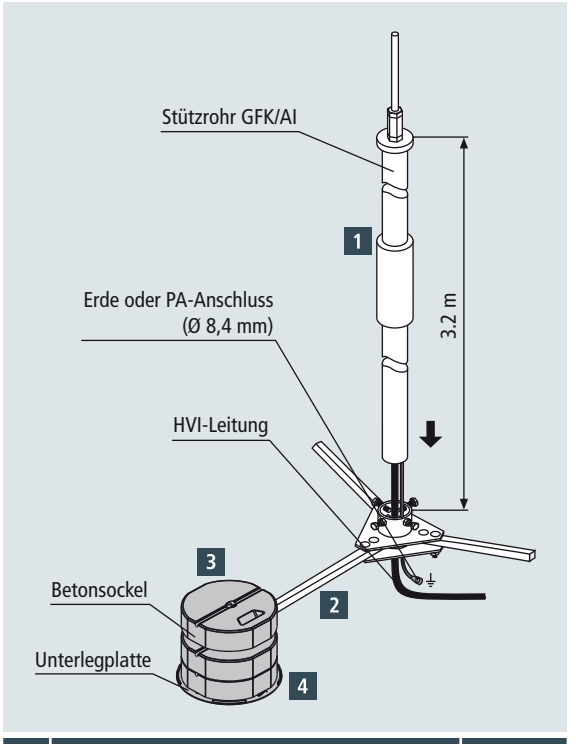
Bild 9.33.4 Getrennter äußerer Blitzschutz für Flachdach

gleichwertige Lösungen ersetzt werden. Nachfolgend werden mögliche Schutzlösungen, basierend auf LPL II, und die wesentlichen Charakteristika des Beispiels in Abhängigkeit von der Montageart aufgeführt. Die hochspannungsfeste isolierte Ableitung (HVI-Leitung I) kann oberhalb der Dacheindeckung (**Bild 9.33.2**) oder auch verdeckt liegend unterhalb der Dacheindeckung (**Bild 9.33.3**) angebracht werden.

Erfordern die örtlichen Gegebenheiten eine Leitungsverlegung innerhalb der Ex-Zone 1 oder 2, so ist diese Verlegung gemäß der Einbauanleitung Nr. 1501 vorzunehmen. Die **Bilder 9.33.4 und 9.33.5** zeigen beispielhaft eine GDRM-Anlage mit einer Flachdach-Lösung.

Innerer Blitzschutz – Blitzschutz-Potentialausgleich – Überspannungsschutz

Alle von außen in die GDRM-Anlage eingeführten leitfähigen Systeme müssen in den Blitzschutz-Potentialausgleich eingebunden (**Bild 9.33.6**) werden. Die Forderung des Blitzschutz-Potentialausgleichs wird durch den direkten Anschluss aller metallenen Systeme und den indirekten Anschluss aller unter Betriebsspannung stehender Systeme über Überspannungsschutzgeräte erfüllt. Diese Ableiter müssen ein Blitzstrom-



	Komponenten	Art.-Nr.
1	HVI-Leitung I im Stützrohr mit Fangspitze	819 320
2	Dreibeinstativ für HVI-Leitung im Stützrohr	105 350
3	Betonsockel	102 010
4	Unterlegplatte	102 050

Bild 9.33.5 Getrennter äußerer Blitzschutz für Flachdach – Aufbauvariante 3

Ableitvermögen (SPD Typ 1: Prüf-Wellenform 10/350 µs) aufweisen. Die Schutzmaßnahme Blitzschutz-Potentialausgleich soll möglichst nahe an der Eintrittsstelle (Zonenübergang LPZ 0 – 1 oder höher) in die bauliche Anlage durchgeführt werden. Dies reduziert hohe Potentialdifferenzen und gefährliche Funkenüberschläge in explosionsgefährdeten Bereichen, wodurch ein Eindringen von Blitzteilströmen in das Gebäudeinnere verhindert wird.

Weitere Schutzmaßnahmen nach DIN EN 62305-4 zur Erhöhung der Verfügbarkeit empfindlicher elektrischer Systeme können in Äbhängigkeit der Störfestigkeit und des Installationsumfelds der Systeme notwendig sein. Eine Kombination aus Überspannungsschutz-, Schirmungs- und zusätzlichen Potentialausgleichsmaßnahmen haben sich in der Praxis bewährt.

Nr. in Bild 9.33.6	Schutz für...	Schutzgerät	Art.-Nr.
Energietechnische Systeme			
1	Drehstrom TN-S/TT-System	DEHNventil M TT 255 DEHNventil M TT 255 FM DEHNventil ZP TT 255	951 310 951 315 900 391
	Drehstrom TN-C-System	DEHNventil M TNC 255 DEHNventil M TNC 255 FM	951 300 951 305
	Wechselstrom TN	DEHNventil M TN 255 DEHNventil M TN 255 FM	951 200 951 205
	Wechselstrom TT	DEHNventil M TT 2P 255 DEHNventil M TT 2P 255 FM	951 110 951 115
Informationstechnische Systeme			
2	Fernwirksystem, Telekommunikation	BXT ML4 BD 180 oder BXT ML2 BD 180 + BXT BAS	920 347 920 247 + 920 300
MSR-Technik			
3	Eigensichere Messkreise und Systeme	BXT ML4 BD EX 24 oder BXT ML2 BD S EX 24 + BXT BAS EX	920 381 920 280 + 920 301
KKS-Systeme			
4	KKS-Anlage, Schutzstromkreis bis 12 A	BVT KKS ALD 75	918 420
	KKS-Anlage, Schutzstromkreis größer 12 A	DEHNbloc M 1 150 FM + DEHNguard S 150 FM + MVS 1 2 oder DEHNbloc M 1 150 + DEHNguard S 150 + MVS 1 2	961 115 + 952 092 + 900 617 961 110 + 952 072 + 900 617
5	KKS-Anlage, Sensor-Messkreis	BVT KKS APD 36	918 421
Betriebsmäßig getrennte Anlagenteile			
6	Isolierstücke / Isolierflansche	EXFS 100 oder EXFS 100 KU	923 100 923 101
Potentialausgleich in Ex-Bereichen			
7	Zündfunkenfreie Anbindung von Rohrleitungen	EX BRS 27 oder EX BRS 90 oder EX BRS 300 oder EX BRS 500	540 821 540 801 540 803 540 805

Tabelle 9.33.1 Empfohlene Komponenten zum Blitzschutz-Potentialausgleich gemäß **Bild 9.33.6**

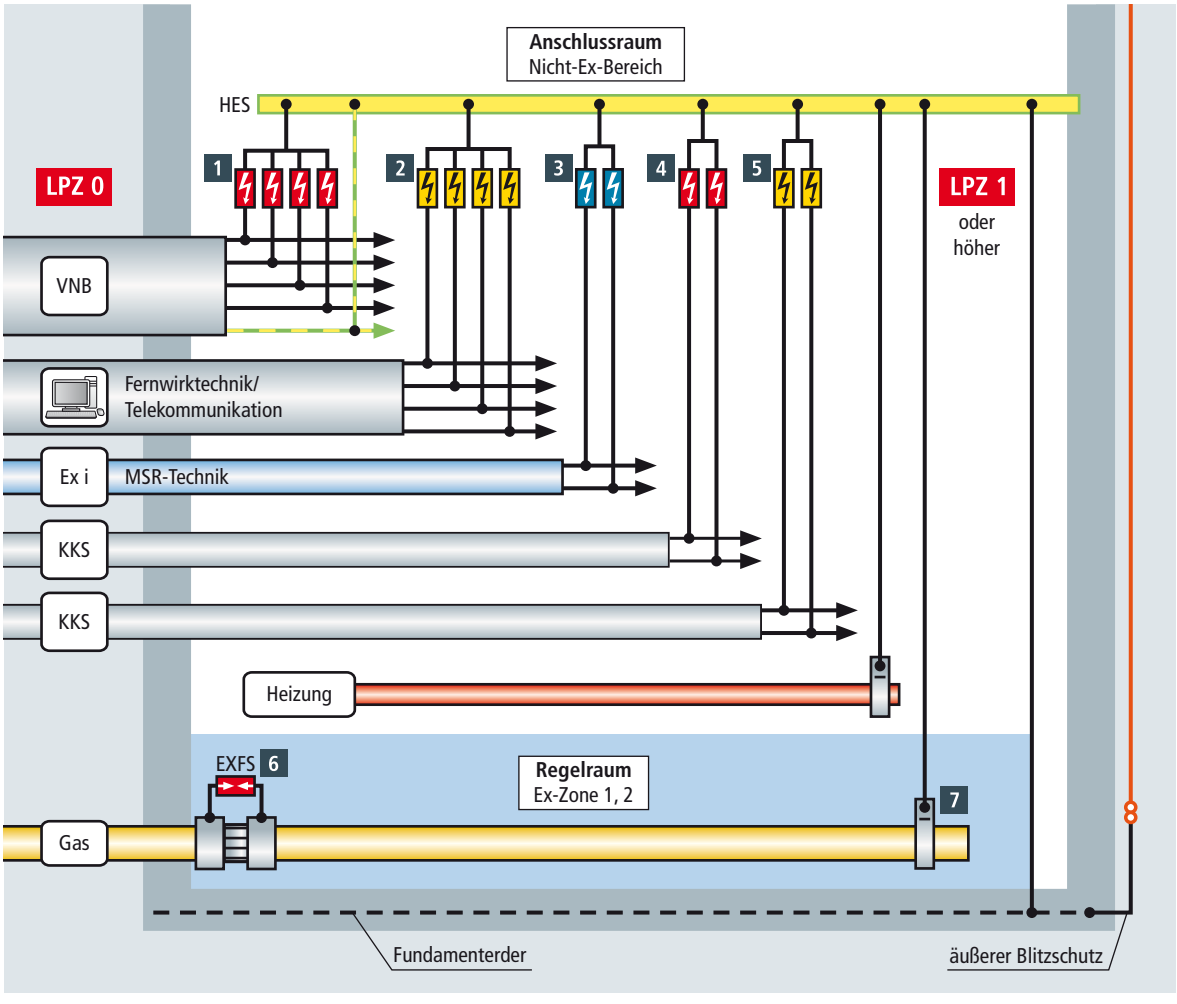


Bild 9.33.6 Blitzschutz-Potentialausgleich für eingeführte Leitungen

Blitz- und Überspannungs-schutz für Yachten

Yachten sind sowohl auf See, am Steg wie auch an Land (z. B. im Trockendock) der Gefahr eines Blitzeinschlages ausgesetzt. Die Einschlagswahrscheinlichkeit ist von der örtlichen Erdblitzdichte Ng abhängig, welche angibt, wie viele Blitzentladungen pro km² und Jahr auftreten. Die Gefährdung auf See ist umso größer, je mehr sich die Yacht äquatorialen Gewässern nähert. Allgemein ist es so, dass die Erdblitzdichte an Land (am Steg) sehr oft größer ist als auf See.
Erfolgt ein Blitzeinschlag in den Mast einer Yacht, folgt er diesem bis zum Deck. Am Mast laufen in der Regel diverse Kabel, z. B. zu Positionslaternen, zur Funkantenne oder zum Windmesser. Über diese Kabel gelangt der Blitzstrom in das Schiffsinnere und verteilt sich über die gesamte Bordnetzverkabelung, die beispielsweise das Echolot und Log mit Strom versorgt. Diese Einrichtungen können dadurch beschädigt werden und ein Wassereintritt kann die Folge sein, da sich die besagten Geräte unter der Wasserkante befinden. Während ein Wassereintritt auf See sicher bemerkt und abgestellt werden kann, bleibt er während des Überwinterns am Steg meist unbemerkt und die Yacht kann sinken.
Zur Bestimmung von potentiellen Einschlagpunkten wird das elektro-geometrische Modell der „Blitzkugel" herangezogen. Es beschreibt den ankommenden Blitz (Kugelmittelpunkt), der ab einem bestimmten Abstand (Radius) in ein Objekt einschlägt. Je kleiner der Radius gewählt wird, umso effektiver werden Blitze eingefangen. In den Blitzschutznormen sind den Schutzklassen I – IV unterschiedliche Radien r zugeordnet. Der höchste Schutz vor Einschlägen wird durch Anwendung der Blitzschutzklasse I erreicht. In dieser Blitzschutzklasse können 99 % aller Blitze, mit Stoßströmen kleiner 200 kA und größer 3 kA, durch das System beherrscht werden.
Bei Yachten wird häufig die Blitzschutzklasse III herangezogen. Dies soll an einem Beispiel verdeutlicht werden. Aus der Darstellung im **Bild 9.43.1** lässt sich das Risiko für einen Masteinschlag bewerten. Die nachstehenden Aussagen sind auch auf Mehrmaster anwendbar. Alle Stellen, an denen die Blitzkugel die Yacht berührt, sind potentielle Einschlagstellen und müssen geschützt werden.

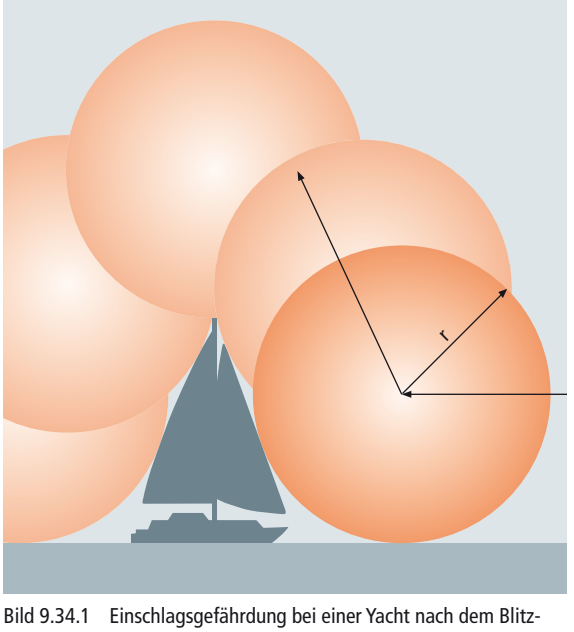


Bild 9.34.1 Einschlagsgefährdung bei einer Yacht nach dem Blitzkugelverfahren für die Blitzschutzklasse III

Blitzschutz

Für die Umsetzung von Blitzschutzmaßnahmen gilt es zu unterscheiden, ob der Mast / Rumpf der Yacht aus Metall oder einem nichtmetallischen Werkstoff besteht.

Metallische Yacht

Besteht die Yacht aus einem metallischen Rumpf mit direkt leitend verbundenem metallischen Mast, sind keine weiteren Maßnahmen zur Ableitung des Blitzstromes erforderlich. Kommt es zum Blitzeinschlag in den Mast dieser Yacht, wird der größte Teil des Blitzstromes über den Mast und Teilblitzströme über die Stagen zum Rumpf / Kiel und von dort zum Wasser hin abgeleitet (**Bild 9.34.2**).

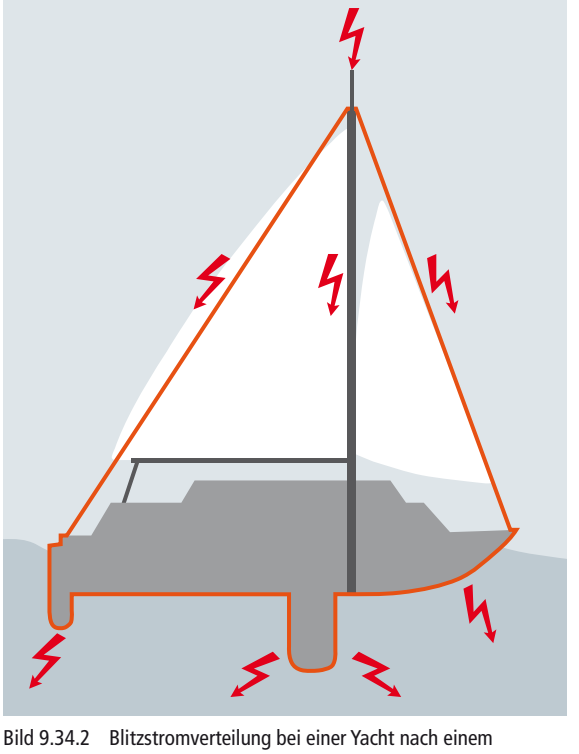


Bild 9.34.2 Blitzstromverteilung bei einer Yacht nach einem Masteinschlag

Nichtmetallische Yacht

Handelt es sich hingegen um eine Yacht mit hölzernem oder GFK-Rumpf, sind zusätzliche Blitzschutzmaßnahmen erforderlich.

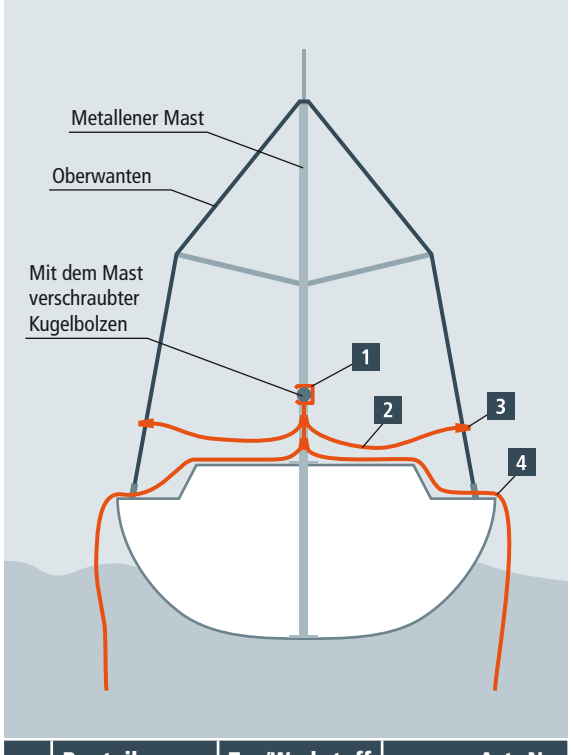
Besteht der Mast z. B. aus Holz, muss eine mindestens 12 mm dicke Fangstange den Mast um wenigstens 300 mm überragen. Eine notwendige Ableitung vom Mast nach unten kann aus Kupfer bestehen und sollte einen Querschnitt von mind. 70 mm^2 aufweisen. Die Ableitung muss im Außenbereich der Yacht geführt und mit der Erdplatte verbunden werden. Die Erdplatte muss mindestens 0,25 m^2 Fläche aufweisen und ebenfalls aus Kupfer oder einem anderen seewasserverträglichen Werkstoff bestehen. Bei größeren Yachten kann es der Fall sein, dass für den Blitzschutz und die Spannungsversorgung unterschiedliche Erdplatten genutzt werden. Diese müssen dann mit genügend Abstand voneinander angebracht werden, um einen Überschlag zu vermeiden.

Kommt es zum Einschlag in die am nichtleitenden Mast angebrachte Fangstange, müssen die Blitzströme über die Ableitung am Mast sowie zusätzlich über die Wanten, Stagen und Püttinge zur Erdplatte abgeleitet werden. Dies setzt voraus, dass der Mast, die Wanten, die Stagen und die Püttinge mit der Erdplatte verbunden sind. Diese Verbindungen erfordern einen Mindestquerschnitt von 16 mm^2 Kupfer. Alle blitzstromführenden Verbindungen sind in ihrem Verlauf ausschließlich durch schrauben, nieten oder schweißen herzustellen.

Mobiler Blitzschutz bei einem Metallmast

Besonders einfach und kostengünstig kann auch ein mobiler Blitzschutz aufgebaut werden, der vor allem beim Gelegenheitschartern einer Yacht sehr gerne genutzt wird. Das Prinzip ist, dass der vorhandene Mast aus Aluminium im unteren Bereich mit einem Kugelbolzen versehen und dann als Ableiter genutzt wird. An den Kugelbolzen wird eine blitzstromtragfähige Klemme geschraubt, die mit zwei weiteren Klemmen und zwei mehrere Meter langen Kupfergeflechtbändern verbunden ist. Die Klemmen werden mit den Oberwanten verbunden, um diese ebenfalls als Ableiter zu nutzen. Die freien Enden der beiden Kupfergeflechtbänder sollen bei Gebrauch mindestens 1,5 m tief im Wasser hängen (**Bild 9.34.3**).

Alle Bauteile und Verbindungen hierfür müssen blitzstromtragfähig sein und korrosionsbeständig ausgeführt werden. Diese Schutzmaßnahme kann bei herannahenden Gewittern sehr schnell eingesetzt werden und bietet eine gewisse Blitzschutzwirkung. Inwieweit bei Yachten ein Schutz durch mobile Blitzschutzanlagen gegeben ist, kann nicht mit Sicherheit beantwortet werden, da hier nicht auf die normativen Forderungen nach Potentialausgleich (Personenschutz), Trennungsabständen etc. geachtet wird. Es kann nur davon ausgegangen werden, dass Blitzschäden wie z. B. Rumpfdurchschläge verhindert werden können, da der größte Teil des Blitzstromes über die Kupfergeflechtbänder ins Wasser fließt. Deshalb ist einer fest installierten Blitzschutzanlage immer der Vorzug zu geben.



	Bauteil	Typ/Werkstoff	Art.-Nr.
1	Universal-erdungsklemme	UEK 25 HG	774 234
2	mehrpoliges Erdungsseil	z. B. V6TZ3N8	Nach DEHN-E+K-Konfigurator spezifisch anpassbar
3	Erdungszange	Werkstoff NIRO	546 001
4	Erdungs-kupfergefecht	Werkstoff Cu	377 007

Bild 9.34.3 Mobiler Blitzschutz bei einer Yacht mit Metallmast

Netzversorgung

DIN VDE 0100-709 (Marinas und ähnliche Bereiche) beschreibt die besonderen Anforderungen für Versorgungsstromkreise (Landstromversorgung) von Wassersportfahrzeugen und Hausbooten, welche durch öffentliche Netzbetreiber gespeist werden. Unter Wassersportfahrzeugen sind Boote, Schiffe, Yachten, Motorbarkassen und Hausboote zu verstehen, die ausschließlich für Sport und Freizeit genutzt werden.

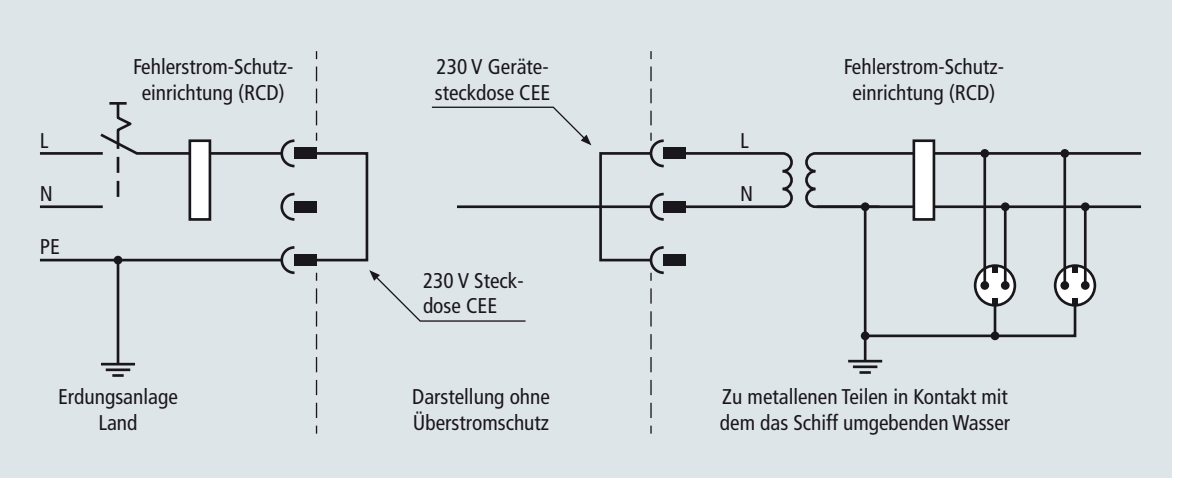


Bild 9.34.4 Verhinderung von Korrosion durch den Einsatz eines Trenntransformators

Die beschriebenen Betrachtungen/Aussagen beziehen sich ausschließlich auf die Netzversorgung mit einphasigem Wechselstrom im 230 V/50 Hz Netz. (In abgewandelter Form sind sie natürlich auch auf eine Drehstromversorgung anwendbar.) Die hierfür zu verwendenden Steckvorrichtungen müssen bis 63 A der DIN EN 60309-2 (Bauform CEE „blau") entsprechen.
Aus Sicht des Korrosionsschutzes gilt es, den Schutzleiter der landseitigen Spannungsversorgung nicht mit den geerdeten metallischen Teilen des Wasserfahrzeugs zu verbinden. Der landseitige Schutzleiter wird für die Schutzmaßnahme „Schutz vor Körperdurchströmung" auf der Yacht nicht benötigt, da ein auf der Yacht befindlicher Trenntransformator die Schutzmaßnahme gegen Körperdurchströmung in Verbindung mit einem Fehlerstromschutzschalter sicherstellt (**Bild 9.34.4**).

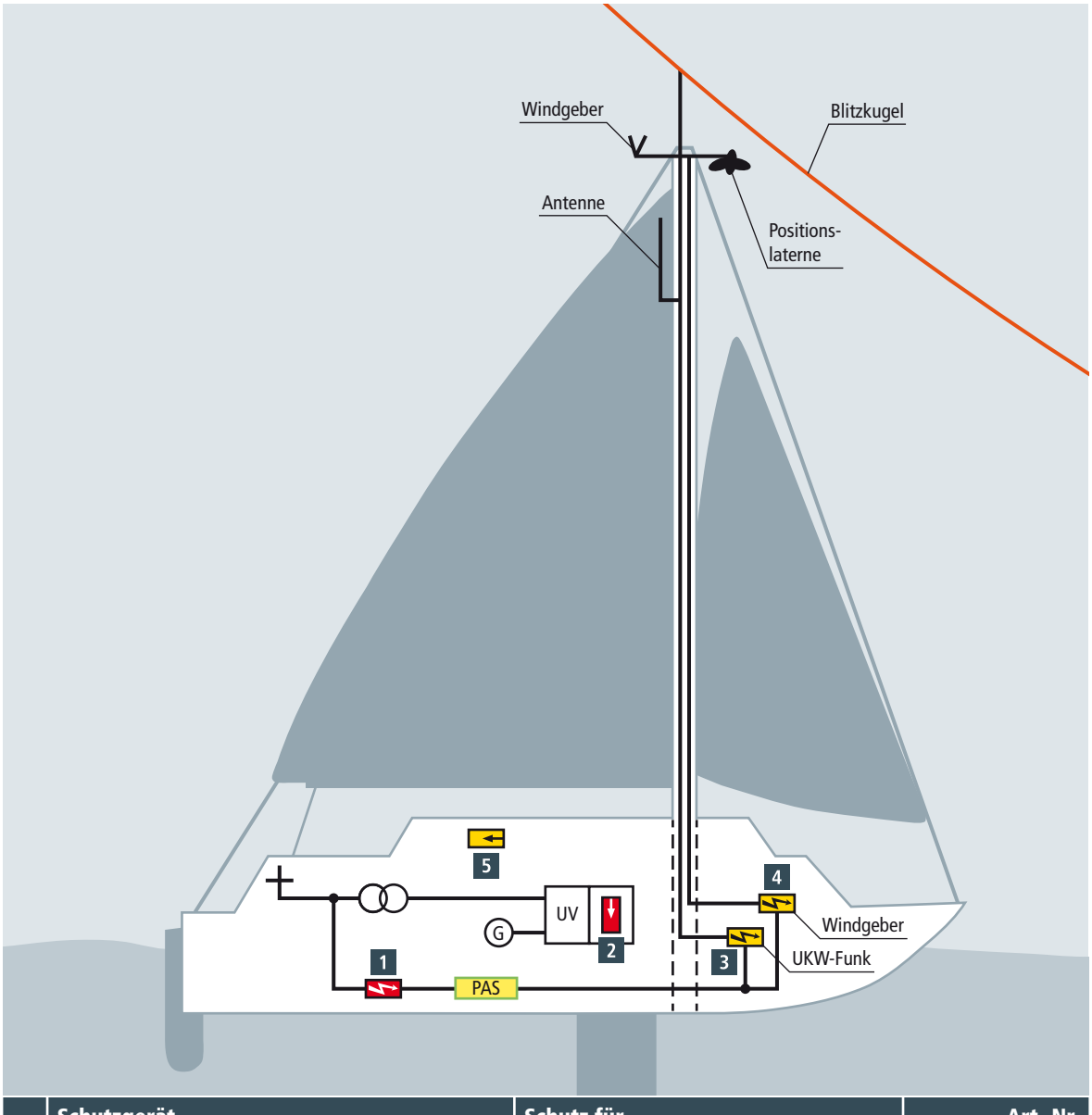
Potentialausgleich

Bei Yachten gilt allgemein, dass alle Schutzleiter der Bordelektrik und alle metallischen Teile mit dem gemeinsamen Potentialausgleichs-/Erdungssystem der Spannungsversorgung verbunden werden müssen. Durch diese Maßnahme wird sichergestellt, dass keine gefährliche Berührungsspannung/Funkenbildung auftreten kann. Für die nicht blitzstromführenden Schutzpotentialausgleichsleiter ist ein Mindestquerschnitt von 6 mm^2 Kupfer erforderlich. Als Leiterformen sind mehr-, ein- oder feindrähtige Leiter zu verwenden. Schwingungs- und vibrationsbedingt ist den feindrähtigen Leitern der Vorzug zu geben. Hierbei ist zu beachten, dass durch die korrosive Umgebung (salzhaltig, feucht) und durch die Kapillarwirkung Leiterschädigungen auftreten können. Daher sind die Enden der feindrähtigen Leiter am Kabelschuh mit Schrumpfschlauch zu überziehen.

Innerer Blitzschutz/Überspannungsschutz

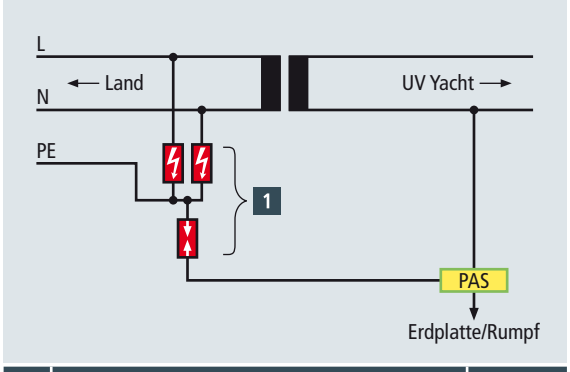
Ein kombinierter Blitzstrom- und Überspannungs-Ableiter, der unmittelbar in der Netzversorgung installiert wird, ist eine der wichtigsten Schutzmaßnahmen (**Bild 9.34.5**). Die Notwendigkeit dieses Ableiters wird an den folgenden zwei Bedrohungssituationen erläutert.

Erfolgt ein Blitzeinschlag in die Fangstange oder den metallischen Mast der am Steg liegenden und mit Netzspannung versorgten Yacht, wird das Potential dieser Yacht gegenüber dem Anschluss der Landversorgung angehoben. Ein Teil des Blitzstromes wird über das Wasser abgeleitet und je nach Leitfähigkeit des Wassers wird es zu einem Überschlag auf das Versorgungskabel der Landversorgung kommen. Dieser Überschlag führt neben einer Beschädigung der yachtinternen Leitungsanlage/Betriebsmitteln auch zu einer Brandgefährdung. Noch wahrscheinlicher ist es jedoch, dass die am Steg liegende und mit Netzspannung versorgte Yacht durch einen landseitigen Blitzeinschlag gefährdet wird. In diesem Fall fließt der Blitzstrom in Richtung Yacht und verursacht dort die bereits beschriebenen Schäden.
Beim Einsatz des vorstehend beschriebenen Kombi-Ableiters Typ 1 ist schaltungstechnisch darauf zu achten, dass die Erdungs-/Potentialausgleichsanlage des Schiffes nicht über den Schutzleiter der Landversorgung zu unerwünschten Korrosionserscheinungen führt. Die dargestellte Schaltungsvariante (**Bild 9.34.6**) berücksichtigt eine Verwechslung der Polarität (L,N), welche bei Versorgungen aus Schuko-Steckdosen (nicht normkonform, aber dennoch anzutreffen) stattfindet. In diesen Fällen kommt sowohl der Außenleiter (L) als auch der Neutralleiter (N) nicht verdrehungssicher an den L- und N-Anschlüssen



	Schutzgerät	Schutz für	Art.-Nr.
1	DEHNventil DV M TN 255 DEHNgap DGP M 255	Netzspannungseinspeisung	951 200 961 101
2	DEHNguard DG M TT 2P 275	Unterverteilung	952 110
3	DEHNgate DGA AG N	UKW-Funk	929 045
4	BLITZDUCTOR BXT ML4 BE 24 + Basisteil BXT BAS	Windgeber für Navigationssystem	920 324 + 920 300
5	BLITZDUCTOR BXT ML4 BE 36 + Basisteil BXT BAS	Spannungsversorgung Navigationssystem	920 336 + 920 300

Bild 9.34.5 Überspannungsgrundschutz für eine Yacht (Technische Daten des Herstellers der Überspannungsschutzgeräte sind zu beachten.)



	Schutzgerät		Art.-Nr.
1	DEHNventil	DV M TN 255	951 200
	DEHNgap	DGP M 255	961 101

Bild 9.34.6 Detaildarstellung der landseitigen Netzeinspeisung mit blitzstromtragfähigem Kombi-Ableiter Typ 1

der Bordeinspeisung an. Der erhöhte Schutzpegel ist für die Spannungsfestigkeit der Primärwicklung ausreichend.
Unabhängig davon, ob es sich um eine metallische oder nichtmetallische Yacht handelt, besteht die Gefahr, dass es auf am Mast angebrachte Seefunkantennen, Windgeber usw. einschlägt, was eine Beschädigung dieser und der nachfolgenden Funk- bzw. Auswertegeräte nach sich zieht. Durch deren Anordnung im nicht einschlagsgefährdeten Bereich (Fangspitze auf dem Mast) ist mit einem direkten Blitzeinschlag in diese nicht zu rechnen. Eine mögliche Schutzbeschaltung ist im **Bild 9.34.5** dargestellt.
Auch die Auswirkungen durch induzierte Überspannungen und durch Schaltüberspannungen sind zu berücksichtigen, welche durch den Betrieb von Bord-Generatoren und USV-Anlagen entstehen. Hier empfiehlt sich der Einsatz von Überspannungs-Ableitern Typ 2 in der Elektroverteilung (**Bild 9.34.6**).

Personenschutz

Die beschriebenen Maßnahmen des Potentialausgleichs für alle im Kapitel Potentialausgleich beispielhaft genannten Anschlüsse reduzieren die Gefährdung von Personen im Inneren der Yacht. Aus diesem Grund sollten sich Personen bei Gewitter wenn möglich

- nicht auf Deck aufhalten, da es dort durch nasse Oberflächen zu Potentialunterschieden kommen kann, welche in Verbindung mit nasser Haut eine Gefährdung darstellen
- keine Wanten, Stangen oder andere metallene Gegenstände berühren
- bei vorhandener Blitzschutzanlage diese regelmäßig und nicht erst während eines Gewitters kontrollieren. Wichtig dabei ist zu prüfen, ob der Potentialausgleich, d. h., die Verbindung aller metallisch leitenden Einrichtungen an Bord mit dem Blitzableiter in Ordnung ist.

Detailliertere Informationen finden Sie im Fachbuch „Blitzschutz auf Yachten" von Michael Hermann, Palstek Verlag, Hamburg, 2011.

Anhang

A. Literaturverzeichnis

Normen, Richtlinien, Verordnungen

BGBl. Nr. 70 vom 27. September 2002 (S. 3777)
Verordnung zur Rechtsvereinfachung im Bereich der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, der Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und der Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes (BetrSichV)

BGR 104 – Explosionsschutz-Regeln – Ex-RL – 12/2002
Regeln für das Vermeiden der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre

CEI IEC 61643-1:2005
Low-voltage surge protective devices, Part 1: Surge protective devices connected to low-votage power distribution systems – Requirements and tests

DIN 18014:2007-09
Fundamenterder – allgemeine Planungsgrundlagen

DIN 18014:xx
Fundamenterder – Planung, Ausführung und Dokumentation (Erscheinungstermin voraussichtlich Anfang 2014)

DIN 18384:2012-09
VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Blitzschutzanlagen

DIN CLC/TS 50539-12 (VDE V 0675-39-12):2010-09
Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung – Überspannungsschutzgeräte für besondere Anwendungen einschließlich Gleichspannung – Teil 12: Auswahl und Anwendungsgrundsätze – Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz von Photovoltaik-Installationen; Deutsche Fassung CLC/TS 50539-12:2010

DIN CLC/TS 61643-22 (VDE V 0845-3-2):2007-09
Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung – Teil 22: Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Telekommunikations- und signalverarbeitenden Netzwerken – Auswahl- und Anwendungsprinzipien (IEC 61643-22:2004, modifiziert); Deutsche Fassung CLC/TS 61643-22:2006

DIN EN 1127-1:2011-10
Explosionsfähige Atmosphären – Explosionsschutz – Teil 1: Grundlagen und Methodik; Deutsche Fassung EN 1127-1:2011

DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12
Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten

DIN EN 1993-3-1:2010-12
Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 3-1: Türme, Maste und Schornsteine – Türme und Maste; Deutsche Fassung EN 1993-3-1:2006 + AC:2009

DIN EN 10088-1:2005-09
Nichtrostende Stähle – Teil 1: Verzeichnis der nichtrostenden Stähle; Deutsche Fassung EN 10088-1:2005

DIN EN 10088-3:2005-09
Nichtrostende Stähle – Teil 3: Technische Lieferbedingungen für Halbzeug, Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung

DIN EN 50162 (DIN VDE 0150):2005-05
Schutz gegen Korrosion durch Streuströme aus Gleichstromanlagen; Deutsche Fassung EN 50162:2004

DIN EN 50164-1 (VDE 0185-201):2009-03
Blitzschutzbauteile – Teil 1: Anforderungen an Verbindungsbauteile; Deutsche Fassung EN 50164-1:2008 (ÜF bis 16.03.2015)

DIN EN 50164-2 (VDE 0185-202):2009-03
Blitzschutzbauteile – Teil 2: Anforderungen an Leitungen und Erder; Deutsche Fassung EN 50164-2:2008 (ÜF bis 16.03.2015)

DIN EN 50164-3 (VDE 0185-203):2009-09
Blitzschutzbauteile – Teil 3: Anforderungen an Trennfunkenstrecken; Deutsche Fassung EN 50164-3:2006 + A1:2009 (ÜF bis 16.03.2015)

DIN EN 50164-4 (VDE 0185-204):2009-03
Blitzschutzbauteile — Teil 4: Anforderungen an Halter; Deutsche Fassung EN 50164-4:2008 (ÜF bis 21.02.2014)

DIN EN 50164-5 (VDE 0185-205):2009-09
Blitzschutzbauteile – Teil 5: Anforderungen an Revisionskästen und Erderdurchführungen; Deutsche Fassung EN 50164-5:2009 (ÜF bis 28.07.2014)

DIN EN 50164-6 (VDE 0185-206):2009-09
Blitzschutzbauteile – Teil 6: Anforderungen an Blitzzähler; Deutsche Fassung EN 50164-6:2009 (ÜF bis 28.07.2014)

DIN EN 50164-7 (VDE 0185-207):2009-03
Blitzschutzbauteile – Teil 7: Anforderungen an Mittel zur Verbesserung der Erdung; Deutsche Fassung EN 50164-7:2008 (ÜF bis 02.01.2015)

DIN EN 50174-2 (VDE 0800-174-2):2001-09
Informationstechnik – Installation von Kommunikationsverkabelung – Teil 2: Installationsplanung und Installationspraktiken in Gebäuden; Deutsche Fassung EN 50174-2:2009 + A1:2011 + AC:2011

DIN EN 50308 (VDE 0127-100):2005-03
Windenergieanlagen Schutzmaßnahmen – Anforderungen für Konstruktion, Betrieb und Wartung; Deutsche Fassung EN 50308:2004

DIN EN 50310 (DIN VDE 0800-2-310):2011-05
Anwendung von Maßnahmen für Erdung und Potentialausgleich in Gebäuden mit Einrichtungen der Informationstechnik; Deutsche Fassung EN 50310:2010

DIN EN 50341-1 (VDE 0210-1):2010-04
Freileitungen über AC 45 kV – Teil 1: Allgemeine Anforderungen – Gemeinsame Festlegungen; Deutsche Fassung EN 50341-1:2001 + A1:2009

DIN EN 50522 (VDE 0101-2):2011-11
Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV; Deutsche Fassung EN 50522:2010

DIN EN 60060-1 (VDE 0432-1):2011-10
Hochspannungs-Prüftechnik – Teil 1: Allgemeine Begriffe und Prüfbedingungen (IEC 60060-1:2010); Deutsche Fassung EN 60060-1:2010

DIN EN 60068-2-52:1996-10
Umweltprüfungen – Teil 2: Prüfverfahren, Prüfung Kb: Salznebel, zyklisch (Natriumchloridlösung) (IEC 60068-2-52:1996); Deutsche Fassung EN 60068-2-52:1996

DIN EN 60079-11 (VDE 0170-7):2012-06
Explosionsgefährdete Bereiche – Teil 11: Geräteschutz durch Eigensicherheit „i" (IEC 60079-11:2011 + Cor.:2012); Deutsche Fassung EN 60079-11:2012

DIN EN 60079-14 (VDE 0165-1):2009-05
Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 14: Projektierung, Auswahl und Errichtung elektrischer Anlagen (IEC 60079-14:2007); Deutsche Fassung EN 60079-14:2008

DIN EN 60099-4 (VDE 0675-4):2010-02
Überspannungsableiter – Teil 4: Metalloxidableiter ohne Funkenstrecken für Wechselspannungsnetze (IEC 60099-4:2004, modifiziert + A1:2006 + A2:2009); Deutsche Fassung EN 60099-4:2004 + A1:2006 + A2:2009

DIN EN 60309-2 (VDE 0623-2):2013-01
Stecker, Steckdosen und Kupplungen für industrielle Anwendungen – Teil 2: Anforderungen und Hauptmaße für die Austauschbarkeit von Stift- und Buchsensteckvorrichtungen (IEC 60309-2: 1999 + A1:2005, modifiziert + A2:2012); Deutsche Fassung EN 60309-2:1999 + A1:2007 + A2:2012

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

DIN EN 60728-11 (VDE 0855-1):2011-06
Kabelnetze für Fernsehsignale, Tonsignale und interaktive Dienste – Teil 11: Sicherheitsanforderungen (IEC 60728-11:2010); Deutsche Fassung EN 60728-11:2010

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

DIN EN 61000-4-9 (VDE 0847-4-9):2001-12
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen impulsförmige Magnetfelder (IEC 61000-4-9:1993 + A1:2000); Deutsche Fassung EN 61000-4-9:1993 + A1:2001

DIN EN 61000-4-10 (VDE 0847-4-10):2001-12
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen gedämpft schwingende Magnetfelder (IEC 61000-4-10:1993 + A1:2000); Deutsche Fassung EN 61000-4-10:1993 + A1:2001

DIN EN 61400-24 (VDE 0127-24):2011-4
Windenergieanlagen – Teil 24: Blitzschutz (IEC 61400-24:2010); Deutsche Fassung EN 61400-24:2010

DIN EN 61439-1 (VDE 0660-600-1):2012-06
Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen – Teil 1: Allgemeine Festlegungen (IEC 61439-1:2011); Deutsche Fassung EN 61439-1: 2011

DIN EN 61439-2 (VDE 0660-600-2):2012-06
Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen – Teil 2: Energie-Schaltgerätekombinationen (IEC 61439-2:2011); Deutsche Fassung EN 61439-2:2011

DIN EN 61643-11 (VDE 0675-6-11):2013-04
Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung – Teil 11: Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Niederspannungsanlagen – Anforderungen und Prüfungen (IEC 61643-11:2011, modifiziert); Deutsche Fassung EN 61643-11:2012

DIN EN 61643-21 (VDE 0845-3-1):2013-07
Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung – Teil 21: Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Telekommunikations- und signalverarbeitenden Netzwerken – Leistungsanforderungen und Prüfverfahren (IEC 61643-21:2000 + Corrigendum 2001 + A1:2008, modifiziert + A2:2012); Deutsche Fassung EN 61643-21:2001 + A1:2009 + A2:2013

DIN EN 61663-1 (VDE 0845-4-1):2000-07
Blitzschutz – Telekommunikationsleitungen – Teil 1: Lichtwellenleiteranlagen (IEC 61663-1:1999 + Corrigendum 1999); Deutsche Fassung EN 61663-1:1999

DIN EN 61663-2 (VDE 0845-4-2):2002-07
Blitzschutz – Telekommunikationsleitungen – Teil 2: Leitungen mit metallischen Leitern (IEC 61663-2:2001); Deutsche Fassung EN 61663-2:2001

DIN EN 61936-1 (VDE 0101-1):2011-11
Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV – Teil 1: Allgemeine Bestimmungen (IEC 61936-1:2010, modifiziert + Cor.:2011); Deutsche Fassung EN 61936-1:2010 + AC:2011

DIN EN 62271-202 (VDE 0671-202):2007-08
Hochspannungs-Schaltgeräte und -Schaltanlagen – Teil 202: Fabrikfertige Stationen für Hochspannung/Niederspannung (IEC 62271-202:2006); Deutsche Fassung EN 62271-202:2007

DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1):2011-10
Blitzschutz – Teil 1: Allgemeine Grundsätze (IEC 62305-1:2010, modifiziert); Deutsche Fassung EN 62305-1:2011

DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1) Berichtigung 1:2012-03
Berichtigung zu DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1):2011-10

DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2):2013-02
Blitzschutz – Teil 2: Risiko-Management (IEC 62305-2:2010, modifiziert); Deutsche Fassung EN 62305-2:2012

DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2) Beiblatt 1:2013-02
Blitzschutz – Teil 2: Risiko-Management – Beiblatt 1: Blitzgefährdung in Deutschland

DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2) Beiblatt 2:2013-02
Blitzschutz – Teil 2: Risiko-Management – Beiblatt 2: Berechnungshilfe zur Abschätzung des Schadensrisikos für bauliche Anlagen

DIN EN 62305-2 (VDE 0185-305-2) Beiblatt 3:2014-xx
Blitzschutz – Teil 2: Risiko-Management – Beiblatt 3: Zusätzliche Informationen zur Anwendung *(Erscheinungstermin voraussichtlich Anfang 2014)*

DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3):2011-10
Blitzschutz – Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen (IEC 62305-3:2010, modifiziert); Deutsche Fassung EN 62305-3: 2011

DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) Beiblatt 1:2012-10
Blitzschutz – Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen – Beiblatt 1: Zusätzliche Informationen zur Anwendung der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3)

DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) Beiblatt 2:2012-10
Blitzschutz – Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen – Beiblatt 2: Zusätzliche Informationen für besondere bauliche Anlagen

DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) Beiblatt 3:2012-10
Blitzschutz – Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen – Beiblatt 3: Zusätzliche Informationen für die Prüfung und Wartung von Blitzschutzsystemen

DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) Beiblatt 4:2008-01
Blitzschutz – Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen – Beiblatt 4: Verwendung von Metalldächern in Blitzschutzsystemen

DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) Beiblatt 5:2014-xx
Blitzschutz – Teil 3: Schutz von baulichen Anlagen und Personen – Beiblatt 5: Blitz- und Überspannungsschutz für PV-Stromversorgungssysteme *(Erscheinungstermin voraussichtlich Anfang 2014)*

DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4):2011-10
Blitzschutz – Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen (IEC 62305-4:2010, modifiziert); Deutsche Fassung EN 62305-4:2011

DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4) Beiblatt 1:2012-10
Blitzschutz – Teil 4: Elektrische und elektronische Systeme in baulichen Anlagen – Beiblatt 1: Verteilung des Blitzstroms

DIN EN ISO 6988:1997-03
Metallische und andere anorganische Überzüge – Prüfung mit Schwefeldioxid unter allgemeiner Feuchtigkeitskondensation (ISO 6988:1985); Deutsche Fassung EN ISO 6988:1994

DIN VDE 0100-100 (VDE 0100-100):2009-06
Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 1: Allgemeine Grundsätze, Bestimmungen allgemeiner Merkmale, Begriffe (IEC 60364-1:2005, modifiziert); Deutsche Übernahme HD 60364-1:2008

DIN VDE 0100-200 (VDE 0100-200):2006-06
Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 200: Begriffe (IEC 60050-826:2004, modifiziert)

DIN VDE 0100-410 (VDE 0100-410):2007-06
Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 4-41: Schutzmaßnahmen – Schutz gegen elektrischen Schlag (IEC 60364-4-41: 2005, modifiziert); Deutsche Übernahme HD 60364-4-41:2007

DIN VDE 0100-430 (VDE 0100-430):2010-10
Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 4-43: Schutzmaßnahmen – Schutz bei Überstrom (IEC 60364-4-3:2008, modifiziert + Corrigendum Okt. 2008); Deutsche Übernahme HD 60364-4-43: 2010

DIN VDE 0100-443 (VDE 0100-443):2007-06
Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 4-44: Schutzmaßnahmen – Schutz bei Störspannungen und elektromagnetischen Störgrößen – Abschnitt 443: Schutz bei Überspannungen infolge atmosphärischer Einflüsse oder von Schaltvorgängen (IEC 60364-4-44:2001 + A1:2003, modifiziert); Deutsche Übernahme HD 60364-4-443:2006

DIN VDE 0100-444 (VDE 0100-444):2010-10
Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 4-444: Schutzmaßnahmen – Schutz bei Störspannungen und elektromagnetischen Störgrößen (IEC 60364-4-44:2007 (Abschnitt 444), modifiziert); Deutsche Übernahme HD 60364-4-444:2010 + Cor.:2010

DIN VDE 0100-534 (VDE 0100-534):2009-02
Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 5-53: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Trennen, Schalten und Steuern – Abschnitt 534: Überspannung-Schutzeinrichtungen (ÜSE) (IEC 60364-5-53:2001/A1:2002 (Hauptabschnitt 534), modifiziert); Deutsche Übernahme HD 60364-5-534:2008

DIN VDE 0100-540 (IEC 60364-5-54):2012-06
Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 5-54: Auswahl und Errichtung elektrischer Betriebsmittel – Erdungsanlagen und Schutzleiter (IEC 60364-5-54:2011); Deutsche Übernahme HD 60364-5-54:2011

DIN VDE 0100-701 (VDE 0100-701):2008-10
Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-701: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Räume mit Badewanne oder Dusche (IEC 60364-7-701:2006, modifiziert); Deutsche Übernahme HD 60364-7-701:2007

DIN VDE 0100-702 (VDE 0100-702):2012-03
Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-702: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Becken von Schwimmbädern, begehbare Wasserbecken und Springbrunnen

DIN VDE 0100-705 (VDE 0100-705):2007-10
Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-705: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Elektrische Anlagen von landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betriebsstätten (IEC 60364-7-705:2006, modifiziert); Deutsche Übernahme HD 60364-7-705:2007 + Corrigendum 1:2007

DIN VDE 0100-709 (VDE 0100-709):2010-02
Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-709: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Marinas und ähnliche Bereiche (IEC 60364-7-709:2007, modifiziert); Deutsche Übernahme HD 60364-7-709:2009

DIN VDE 0100-712 (VDE 0100-712):2006-06
Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-712: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Solar-Photovoltaik (PV) Stromversorgungssysteme (IEC 60364-7-712:2002, modifiziert); Deutsche Übernahme HD 60364-7-712:2005 + Corrigendum:2006

DIN VDE 0115-1 (VDE 0115-1):2002-06
Bahnanwendungen – Allgemeine Bau- und Schutzbestimmungen – Teil 1: Zusätzliche Anforderungen

DIN VDE 0141 (VDE 0141): 2000-01
Erdungen für spezielle Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV

DIN VDE 0151 (VDE 0151):1986-06
Werkstoffe und Mindestmaße von Erdern bezüglich der Korrosion

DIN VDE 0618-1 (VDE 0618-1):1989-08
Betriebsmittel für den Potentialausgleich Potentialausgleichsschiene (PAS) für den Hauptpotentialausgleich

DIN VDE 0800-1 (VDE 0800-1):1989-05
Fernmeldetechnik, Allgemeine Begriffe, Anforderungen und Prüfungen für die Sicherheit der Anlagen und Geräte

DIN VDE 0800-10 (VDE 0800-10):1991-03
Fernmeldetechnik; Übergangsfestlegungen für Errichtung und Betrieb der Anlagen

DIN VDE 0845 Beiblatt 1 (VDE 0845 Beiblatt 1):2010-11
Überspannungsschutz von Einrichtungen der Informationstechnik (IT-Anlagen)

DIN V VDE V 0185-600:2008-01
Prüfung der Eignung von beschichteten Metalldächern als natürlicher Bestandteil des Blitzschutzsystems

DIN V VDE V 0800-2 (VDE V 0800-2):2011-06
Informationstechnik – Teil 2: Potentialausgleich und Erdung (Zusatzfestlegungen)

DIN VDE 0855-300 (VDE 0855-300):2008-08
Funksende-/-empfangssysteme für Senderausgangsleistungen bis 1 kW – Teil 300: Sicherheitsanforderungen

IEC 60364-4-44:2007-08
Elektrische Anlagen von Gebäuden – Teil 4-44: Schutzmaßnahmen – Schutz gegen Störspannungen und elektromagnetische Störgrößen

IEC 60364-7-705:2006-07
Errichten von Niederspannungsanlagen – Teil 7-705: Anforderungen für Betriebsstätten, Räume und Anlagen besonderer Art – Elektrische Anlagen von landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Betriebsstätten

IEC 60664-1:2007-04
Isolationskoordination für elektrische Betriebsmittel in Niederspannungsanlagen – Teil 1: Grundsätze, Anforderungen und Prüfungen

IEC 61000-4-5 :2005-11
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) – Teil 4-5: Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen Stoßspannungen

IEC 61643-11:2011-03
Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung – Teil 11: Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Niederspannungsanlagen – Anforderungen und Prüfungen

IEC 62305-1 ed2.0:2010-12
Protection against lightning – Part 1: General principles

IEC 62305-2 ed2.0:2010-12
Protection against lightning – Part 2: Risk management

IEC 62305-3 ed2.0:2010-12
Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard

IEC 62305-4 ed2.0:2010-12
Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures

Germanischer Lloyd;
Vorschriften und Richtlinien, Kapitel IV: Nichtmaritime Technik, Abschnitt 1: Richtlinie für die Zertifizierung von Windeenergieanlagen

Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) vom 01.12.2011

VDN-Richtlinie 2004-08
Überspannungs-Schutzeinrichtungen Typ 1. Richtlinie für den Einsatz von Überspannungs-Schutzeinrichtungen (ÜSE) Typ 1 (bisher Anforderungsklasse B) in Hauptstromversorgungssystemen. 2. Auflage. VWEW Energieverlag GmbH, Frankfurt

VdS Richtlinie 2031:2005-10
Blitz- und Überspannungsschutz in elektrischen Anlagen. Richtlinien zur Schadenverhütung. VdS Schadenverhütung im Gesamtverband der Schadenversicherer e.V. (GDV), Köln

Bücher und Schriften

Ackermann, G., Hoenl, R. (Hrsg.): Schutz von IT-Anlagen gegen Überspannungen
VDE-Schriftenreihe, Band 119, VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, 2006

Biebl P., Pfister N., Seitz T.: Dimensionierung von Erdungsanlagen an Transformatorenstationen
Netzpraxis np, Teil 1: Heft 03/2011 (S. 32-35), Teil 2: Heft 04/2011 (S. 22-26), EW Medien und Kongresse GmbH, Frankfurt am Main, 2011

Birkl J., Böhm T., Diendorfer, Pichler H., G., Shulzhenko E., Zahlmann P.: Mobiles Messsystem zur Blitzstromerfassung
etz elektrotechnik & automation, Heft 7/2011 (S. 40-47), VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, 2011

Brocke R., Müller K.-P., Suchanek S.: Steuerung der Schrittspannung bei Blitzschutzanlagen
elektropraktiker, Heft 2/2012 (S. 116-119), HUSS-MEDIEN GmbH, Berlin, 2012

Hasse, P., Wiesinger, J., Zischank W.: Handbuch für Blitzschutz und Erdung
Pflaum Verlag KG, München, 2006

Hasse, P.: Überspannungsschutz von Niederspannungsanlagen
TÜV-Verlag GmbH, Köln, 1998

Hermann, M.: Blitzschutz auf Yachten
Palstek Verlag, Hamburg, 2011

Kopecky, V.: Erfahrungen beim Prüfen von Blitzschutzsystemen
elektropraktiker, Heft 2/2008; HUSS-MEDIEN GmbH, Berlin, 2008

Kulka, Jürgen, Dr.: Die Betriebssicherheitsverordnung – eine Umsetzungshilfe
Staatliches Amt für Arbeitsschutz Essen, Zentrum für Umwelt und Energie der Handwerkskammer Düsseldorf, Niederrheinische Industrie- und Handelskammer, Duisburg/Wesel/Kleve, 2005

Landers, E. U., Zahlmann, P.: EMV – Blitzschutz von elektrischen und elektronischen Systemen in baulichen Anlagen
Risiko-Management, Planen und Ausführen nach den neuen Normen der Reihe DIN VDE 0185-305:2011; VDE-Schriftenreihe, Band 185, 3. vollst. überarb. u. erw. Aufl., VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, 2013

Pfister N., Rother C., Seger S.: Komponenten des äußeren Blitzschutzes
de das elektrohandwerk, Heft 20/2010 (S. 30-34), Hüthig & Pflaum Verlag GmbH & Co. Fachliteratur KG, München, 2010

Raab, V.: Überspannungsschutz von Verbraucheranlagen – Auswahl, Errichtung, Prüfung
Huss-Medien GmbH, Verlag Technik, Berlin, 2003

Rudolph, W., Winter, O.: EMV nach VDE 0100 – EMV für elektrische Anlagen von Gebäuden
Erdung und Potentialausgleich nach EN 50130, TN-, TT- und IT-Systeme, Vermeidung von Induktionsschleifen, Schirmung, Lokale Netze, VDE-Schriftenreihe, Band 66, 3. vollst. überarb. Aufl., VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, 2000

Schmolke, H.: DIN VDE 0100 richtig angewandt – Errichten von Niederspannungsanlagen übersichtlich dargestellt
VDE-Schriftenreihe, Band 106, 6. aktual. und überarb. Aufl., VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, 2013

Standardleistungsbuch für das Bauwesen (StLB)
Leistungsbereich 050, Blitzschutz- und Erdungsanlagen

VDB-Info 12: Blitzkugelverfahren
Untersuchung von blitzeinschlaggefährdeten Bereichen am Beispiel des Aachener Doms, 1998

Wettingfeld, K.: Explosionsschutz nach VDE und BetrSichV
Eine praxisnahe Einführung in die zu beachtenden Richtlinien, Verordnungen, technischen Regeln und Normen für den elektrischen Explosionsschutz – Richtlinie 94/9/EG – Betriebssicherheitsverordnung – TRBS – DIN EN 60079-xx (VDE 0165-xx), VDE-Schriftenreihe, Band 65, 4. vollst. überarb. Aufl., VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, 2009

Wetzel, G. R.: Müller, K. P.: EMV-Blitzschutz
1. VDE/ABB-Blitzschutztagung, 29.02/01.03.1996, Kassel: Blitzschutz für Gebäude und elektrische Anlagen, VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, 1996

DEHN-Software

DEHNsupport:
Planungs-Software für Blitzschutzsysteme

iDEHNsupport
iDEHNsupport für iPhone und Android beinhaltet die DEHNtoolbox zur Risikoeinschätzung für Gebäude und den DEHNflash Analyzer zur Berechnung der Entfernung eines Gewitters

Links

BLIDS Blitz Informationsdienst von Siemens
www.blids.de

FG Blitz- und Überspannungsschutz der TU Ilmenau
www.tu-ilmenau.de/ees-bue

Verband Deutscher Blitzschutzfirmen e.V.
www.vdb.blitzschutz.com

Ausschuss Blitzschutz und Blitzforschung im VDE
www.vde.com/blitzschutz

B. Bilder und Tabellen

Bild 2.1.1 Abwärtsblitz (Wolke-Erde-Blitz) 15
Bild 2.1.2 Entladungsmechanismus eines negativen Abwärtsblitzes (Wolke-Erde-Blitz) 16
Bild 2.1.3 Entladungsmechanismus eines positiven Abwärtsblitzes (Wolke-Erde-Blitz) 16
Bild 2.1.4 Aufwärtsblitze (Erde-Wolke-Blitz) 16
Bild 2.1.5 Entladungsmechanismus eines negativen Aufwärtsblitzes (Erde-Wolke-Blitz) 17
Bild 2.1.6 Entladungsmechanismus eines positiven Aufwärtsblitzes (Erde-Wolke-Blitz) 17
Bild 2.1.7 Mögliche Komponenten eines Abwärtsblitzes 18
Bild 2.1.8 Mögliche Komponenten eines Aufwärtsblitzes 18
Bild 2.2.1 Potentialverteilung bei einem Blitzeinschlag in homogenes Erdreich. 19
Bild 2.2.2 Tod von Tieren infolge gefährlicher Durchströmung durch Schrittspannung 19
Bild 2.2.3 Potentialanhebung der Erdungsanlage eines Gebäudes gegenüber der fernen Erde durch den Scheitelwert des Blitzstromes 19
Bild 2.2.4 Gefährdung elektrischer Anlagen durch Potentialanhebung der Erdungsanlage 19
Bild 2.3.1 Induzierte Rechteckspannung in Schleifen durch die Stromsteilheit $\Delta i/\Delta t$ des Blitzstromes. 20
Bild 2.3.2 Berechnungsbeispiel für induzierte Rechteckspannungen in quadratischen Schleifen 20
Bild 2.4.1 Energieumsatz am Einschlagpunkt durch die Ladung des Blitzstromes 21
Bild 2.4.2 Wirkung eines Stoßstrom-Lichtbogens auf eine metallene Oberfläche 21
Bild 2.4.3 Perforation von Blechen durch die Einwirkung von Langzeitstrom-Lichtbögen 21
Bild 2.5.1 Erwärmung und Kraftwirkung durch die spezifische Energie des Blitzstromes 22
Bild 2.5.2 Elektrodynamische Kraftwirkung zwischen parallelen Leitern 22
Bild 2.8.1 Vergleichenden Blitzstrommessungen der Blitzforschungsgruppe ALDIS/Österreich und DEHN am ORS Sender Gaisberg bei Salzburg. 24
Bild 2.8.2 Langzeitstrom mit überlagerten Pulsströmen eines Aufwärtsblitzes mit Gesamtladung ~ 405 As – aufgezeichnet während eines Wintergewitters am Sender Gaisberg. . . . 25
Bild 2.8.3 Negativer Abwärtsblitz mit M-Komponente (oben) und Teilblitzstrom in der Energieversorgungsleitung (unten) – aufgezeichnet am Sender Gaisberg. 25
Bild 3.2.3.1 Blitzdichte in Deutschland (Durchschnitt der Jahre 1999 – 2011), nach Beiblatt 1 zur DIN EN 62305-2 Ed.2:2013 (Quelle: Blitz-Informations-Dienst von Siemens) 36
Bild 3.2.3.2 Äquivalente Einfangfläche A_D für direkte Blitzeinschläge in eine freistehende bauliche Anlage 37
Bild 3.2.3.3 Äquivalente Einfangflächen A_M, A_L, A_I für indirekte Blitzeinschläge bezüglich der baulichen Anlage. 37
Bild 3.2.8.1 Flussdiagramm für die Entscheidung der Notwendigkeit eines Schutzes und für die Auswahl von Schutzmaßnahmen im Falle der Schadensarten L1 bis L3 48
Bild 3.2.9.1 Flussdiagramm für die Auswahl von Schutzmaßnahmen bei wirtschaftlichen Verlusten 50
Bild 3.3.1 Startseite Software DEHNsupport Toolbox 52
Bild 3.3.1.1 Berechnung der Einfangfläche 53
Bild 3.3.1.2 DEHN Risk Tool, Zoneneinteilung 54
Bild 3.3.1.3 DEHN Risk Tool, Zuleitungen 54
Bild 3.3.2.1.1 Kirchhoff´sche Regel mit Knotenpunktdarstellung 56
Bild 3.3.2.1.2 Kirchhoff´sche Regel mit Beispiel Gebäude mit Masche am Dach 56
Bild 3.3.2.1.3 Kirchhoff´sche Regel mit Beispiel Gebäude mit Fangeinrichtung 57
Bild 3.3.2.1.4 Widerstandsschaubild Gebäude 57
Bild 3.3.2.1.5 Erstellen Knotenpunktgleichung 57
Bild 3.3.3.1 DEHN Earthing Tool, Erdungsanlage Typ A 58
Bild 3.3.4.1 DEHN Air-Termination Tool, Satteldach mit PV 58
Bild 4.1 Bestandteile eines Blitzschutzsystems 63
Bild 4.2 Blitzschutzsystem (LPS – Lightning Protection System). . . 63
Bild 5.1.1 Verfahren für die Auslegung von Fangeinrichtungen bei hohen Gebäuden 65
Bild 5.1.1.1 Startende Fangentladung, die den Einschlagpunkt festlegt. 66
Bild 5.1.1.2 Modell einer Blitzkugel; Quelle: Prof. Dr. A. Kern, Aachen. . 66
Bild 5.1.1.3 Schematische Anwendung des Blitzkugelverfahrens an einem Gebäude mit stark gegliederter Oberfläche 67
Bild 5.1.1.4 Neubau Verwaltungsgebäude: Modell mit Blitzkugel der Schutzklasse I; Quelle: WBG Wiesinger 68
Bild 5.1.1.5 Neubau DAS-Verwaltungsgebäude: Blitzeinschlaggefährdete Bereiche für die Schutzklasse I in der Draufsicht (Ausschnitt); Quelle: WBG Wiesinger 68
Bild 5.1.1.6 Aachener Dom: Modell mit Umgebung und Blitzkugeln der Schutzklasse III und II; Quelle: Prof. Dr. A. Kern, Aachen. . . . 68
Bild 5.1.1.7 Eindringtiefe p der Blitzkugel. 69
Bild 5.1.1.8 Fangeinrichtung für Dachaufbauten mit ihrem Schutzraum . . 69
Bild 5.1.1.9 Berechnung Δh bei mehreren Fangstangen nach Blitzkugelverfahren 69
Bild 5.1.1.10 Maschenförmige Fangeinrichtung 70
Bild 5.1.1.11 Schutzwinkel und vergleichbarer Radius der Blitzkugel . . 70
Bild 5.1.1.12 Schutzwinkel α als Funktion der Höhe h in Abhängigkeit von der Schutzklasse 70
Bild 5.1.1.13 Kegelförmiger Schutzbereich 70
Bild 5.1.1.14 Beispiel für Fangeinrichtungen mit Schutzwinkel α 71
Bild 5.1.1.15 Durch eine Fangleitung geschützter Raum 71
Bild 5.1.1.16 Durch eine Fangstange geschütztes Volumen 71
Bild 5.1.1.17 Schutz kleinerer Dachaufbauten vor Direkteinschlägen mit Fangstangen 71
Bild 5.1.1.18 Satteldach mit Leitungshalter 73
Bild 5.1.1.19 Flachdach mit Fangstangen und Leitungshaltern: Schutz der Lichtkuppeln 73
Bild 5.1.1.20 Getrennter äußerer Blitzschutz mit zwei getrennten Fangmasten nach dem Schutzwinkelverfahren: Projektion auf eine vertikale Fläche 73
Bild 5.1.1.21 Getrennter äußerer Blitzschutz, bestehend aus zwei getrennten Fangmasten, verbunden durch eine horizontale Fangleitung: Projektion auf eine vertikale Fläche durch die zwei Masten (Aufriss) 73
Bild 5.1.2.1 Fangeinrichtung auf Satteldach. 75
Bild 5.1.2.2 Höhe Dachaufbau aus elektrisch nicht leitendem Material (z. B. PVC), $h \leq 0{,}5$ m 75
Bild 5.1.2.3 Zusätzliche Fangeinrichtung für Entlüftungsrohre 75

Bild 5.1.2.4 Gebäude mit Photovoltaik-Anlage und eingehaltenem Trennungsabstand; Quelle: Blitzschutz Wettingfeld, Krefeld. . 76
Bild 5.1.2.5 Antenne mit Fangstange und Distanzhalter 76
Bild 5.1.3.1 Fangeinrichtung Flachdach 76
Bild 5.1.3.2 Anwendung Fangstangen 77
Bild 5.1.3.3 Attika-Überbrückung 77
Bild 5.1.3.4 Beispiel für den Schutz einer metallenen Dachattika, wenn ein Durchschmelzen nicht erlaubt ist (Vorderansicht) 77
Bild 5.1.3.5 Kunststoff-Flachdachbahnen – Dachleitungshalter Typ KF / KF2 78
Bild 5.1.4.1 Ausführungen der Metalldächer, z. B. Rundstehfalz-Dächer 78
Bild 5.1.4.2 Schadensbeispiel Blechabdeckung 78
Bild 5.1.4.3 Fangeinrichtung Metalldach – Schutz gegen Durchlöcherung 79
Bild 5.1.4.4a Leitungshalter für Metalldach – Rundstehfalz 79
Bild 5.1.4.4b Leitungshalter für Metalldach – Rundstehfalz 79
Bild 5.1.4.5 Musteraufbau Trapezblech-Dach, Leitungshalter mit Klemmbock 80
Bild 5.1.4.6 Musteraufbau Stehfalz-Dach 80
Bild 5.1.4.7 Fangstange für Lichtkuppel auf Rundstehfalz-Dach 80
Bild 5.1.5.1 Fangeinrichtung für Gebäude mit weicher Bedachung . . . 81
Bild 5.1.5.2 Bauteile für weiche Bedachung. 81
Bild 5.1.5.3 Reetdach 82
Bild 5.1.5.4 Historisches Bauernhaus mit äußerem Blitzschutz; Quelle: Hans Thormählen GmbH & Co.KG. 82
Bild 5.1.5.5 Schnitt am Hauptgebäude 82
Bild 5.1.5.6 Prinzipdarstellung und Darstellung der Verlegung der Ableitung am Dachsparren 83
Bild 5.1.5.7 HVI-Leitung durch Gesimsbrett 83
Bild 5.1.6.1 Blitzschutz von Parkdächern – Gebäudeschutz 84
Bild 5.1.6.2 Blitzschutz von Parkdächern – Gebäude- und Personenschutz (DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3); Anhang E) . . . 84
Bild 5.1.7.1 Begrüntes Dach. 85
Bild 5.1.7.2 Fangeinrichtung auf begrüntem Dach 85
Bild 5.1.7.3 Leitungsführung oberhalb der Deckschicht 85
Bild 5.1.8.1 Gefährdung durch direkt angeschlossene Dachaufbauten . 86
Bild 5.1.8.2 Getrennte Fangeinrichtung – Schutz durch Fangstange . . 86
Bild 5.1.8.3 Fangstange mit Distanzhalter 86
Bild 5.1.8.4 Winkelabstützung der Fangstange 87
Bild 5.1.8.5 Aufnahme der Fangstange 87
Bild 5.1.8.6 Getrennte Fangeinrichtung für Photovoltaik-Anlage 87
Bild 5.1.8.7 Getrennte Fangeinrichtung für Dachaufbauten 87
Bild 5.1.8.8 Aufstellen eines Tele-Blitzschutzmastes 87
Bild 5.1.8.9 Aufgeständerte Fangeinrichtung; Quelle: Blitzschutz Wettingfeld, Krefeld 88
Bild 5.1.8.10 Dreibeinstativ für frei stehende Stützrohre 88
Bild 5.1.8.11 Getrennte Fangeinrichtung mit DEHNiso-Combi 88
Bild 5.1.8.12 Geländerbefestigung für DEHNiso-Combi-Stützrohr 88
Bild 5.1.8.13 Getrennte Fangeinrichtung mit DEHNiso-Combi 89
Bild 5.1.9.1 Verlegung der Ableitung am Kirchturm 89
Bild 5.1.10.1 WEA mit integrierten Rezeptoren in den Flügeln 90
Bild 5.1.10.2 Blitzschutz für Windmessgeräte bei WEA 90
Bild 5.1.11.1 Schutz vor direkten Blitzeinschlägen durch freistehende Fangstangen 91
Bild 5.1.11.2 Verfahren für die Auslegung von Fangeinrichtungen nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3). 91
Bild 5.1.11.3 Freistehende Fangstange mit klappbarem Dreibein 92
Bild 5.1.11.4 Einteilung Deutschlands in Windzonen Quelle: DIN EN 1991-1-4/NA „Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten“) 92
Bild 5.1.11.5 Vergleich der Biegemomentverläufe an freistehenden Fangstangen ohne und mit Abstützung (Länge = 8,5 m) 94
Bild 5.1.11.6 FEM-Modell der freistehenden Fangstange ohne Abstützung (Länge = 8,5 m). 95
Bild 5.1.11.7 FEM-Modell der freistehenden Fangstange mit Abstützung (Länge = 8,5 m) 95
Bild 5.1.12.1 Seilsicherungssystem auf einem Flachdach. 95
Bild 5.1.12.2 Montagefehler: Kreuzung Seilanlage – Fangeinrichtung . . . 96
Bild 5.1.12.3 Integration der Seilanlage einer Absturzsicherung in die Fangeinrichtung 96
Bild 5.1.12.4 Bauliche Anlage mit Flachdach – Detailansicht. 97
Bild 5.1.12.5 Montagebeispiel: Anschluss-Set Seilanlage. 97
Bild 5.2.2.1.1 Schleife in der Ableitung 99
Bild 5.2.2.1.2 Ableitungen 99
Bild 5.2.2.1.3 Fangeinrichtung mit Anschluss an die Dachrinne 99
Bild 5.2.2.1.4 Erdung Regenfallrohr 99
Bild 5.2.2.2.1 Verwendung von natürlichen Bestandteilen – neue Gebäude aus Fertigbeton 100
Bild 5.2.2.2.2 Metallene Unterkonstruktion elektrisch leitend überbrückt 100
Bild 5.2.2.2.3 Erdanschluss Metallfassade 101
Bild 5.2.2.2.4 Ableitung am Regenfallrohr 101
Bild 5.2.2.3.1 Messstelle mit Nummer 101
Bild 5.2.2.4.1 Fangeinrichtung bei großen Dächern – innere Ableitungen 102
Bild 5.2.2.5.1 Ableitungseinrichtungen Innenhöfe 102
Bild 5.2.3.1 Fangmaste getrennt vom Gebäude. 102
Bild 5.2.3.2 Fangmaste überspannt durch Seile 102
Bild 5.2.3.3 Fangmaste überspannt durch Seile mit Querverbindungen (Maschen) 102
Bild 5.2.4.1 Prinzipielle Entwicklung einer Gleitentladung an einer isolierten Ableitung ohne Spezialmantel 104
Bild 5.2.4.2 Bauteilkomponenten HVI-Leitung 104
Bild 5.2.4.3 Funktionsprinzip Endverschluss / Feldsteuerung 104
Bild 5.2.4.4 HVI-Leitungsvarianten 105
Bild 5.2.4.5 Schutz einer PV-Anlage mit HVI-light-Leitung 105
Bild 5.2.4.6 Anschluss DEHNcon-H (HVI-light-Leitung I) an das Erdungssystem 106
Bild 5.2.4.7 Schutz Wohnhaus mit DEHNcon H (HVI-light-Leitung III). . 106
Bild 5.2.4.8 Schutz einer Biomethananlage mit HVI-Leitung I. 106
Bild 5.2.4.9 Installation HVI-Leitung III mit Endverschluss 107
Bild 5.2.4.10 Installation HVI-power-Leitung 107
Bild 5.2.4.11 Darstellung Bereich Endverschluss 108
Bild 5.2.4.12 Abisolierwerkzeug HVI-strip 108
Bild 5.2.4.13 Integration einer Antenne in eine bestehende Blitzschutzanlage durch Verwendung der HVI-Leitung. 109
Bild 5.2.4.14 Montage HVI-Leitung am Antennentragrohr 110
Bild 5.2.4.15 Montage HVI-Leitung an einer GDRM-Station 111
Bild 5.2.4.16 Ex-Variante 1, Metallfassade 112
Bild 5.2.4.17 Ex-Variante 2, Metallfassade 112
Bild 5.2.4.18 Schutz Biogasfermenter mit HVI-Leitung 112

Bild 5.4.1 Beispiele von Einzelheiten eines äußeren Blitzschutzes an einer baulichen Anlage mit geneigtem Ziegeldach . . . 114
Bild 5.4.2 Fangstange für Schornstein. 114
Bild 5.4.3 Anwendung auf einem Flachdach 114
Bild 5.4.4 Maße für Ringerder. 114
Bild 5.4.5 Korrosionsgefährdete Stellen 114
Bild 5.4.1.1 Fangeinrichtung – Dehnungsausgleich mit Überbrückungsband 116
Bild 5.4.2.1a äußerer Blitzschutz eines Industriegebäudes 116
Bild 5.4.2.1b äußerer Blitzschutz eines Wohnhauses 117
Bild 5.4.2.2 Leitungshalter DEHNsnap und DEHNgrip. 118
Bild 5.4.3.1 Leitungshalter mit DEHNsnap für Firstziegel 119
Bild 5.4.3.2 SPANNsnap mit Kunststoff-Leitungshalter DEHNsnap . . . 119
Bild 5.4.3.3 FIRSTsnap zum Aufsetzen auf bereits vorhandene Firstklammern. 119
Bild 5.4.3.4 Dachleitungshalter UNIsnap mit geprägter Strebe – Anwendung auf Falzpfannen und glatten Ziegeln (z. B. Biberschwanz) 119
Bild 5.4.3.5 Dachleitungshalter UNIsnap mit geprägter Strebe – Anwendung auf Schieferdächern 119
Bild 5.4.3.6 Leitungshalter FLEXIsnap zum direkten Anformen an die Falze 120
Bild 5.4.3.7 Dachleitungshalter zum Einhängen in den unteren Falz bei Pfannendächern 120
Bild 5.4.3.8 ZIEGELsnap, zum Befestigen zwischen flachen Ziegeln oder Platten 120
Bild 5.4.3.9 Dachleitungshalter PLATTENsnap für überlappende Konstruktionen 120
Bild 5.5.1 Erdoberflächenpotential und Spannungen beim stromdurchflossenen Fundamenterder FE und Steuererder SE . . 122
Bild 5.5.2 Stromaustritt aus einem Kugelerder 123
Bild 5.5.3 Ausbreitungswiderstand R_A eines Kugelerders mit Ø 20 cm in 3 m Tiefe, bei ρ_E = 200 Ωm in Abhängigkeit von der Entfernung x vom Kugelmittelpunkt 123
Bild 5.5.4 Spezifischer Erdwiderstand ρ_E bei verschiedenen Bodenarten 124
Bild 5.5.5 Spezifischer Erdwiderstand ρ_E in Abhängigkeit von der Jahreszeit ohne Beeinflussung durch Niederschläge (Eingrabtiefe des Erders < 1,5 m) 124
Bild 5.5.6 Ermittlung des spezifischen Erdwiderstands ρ_E mit einer 4-poligen Messmethode nach WENNER 124
Bild 5.5.7 Abhängigkeit des Ausbreitungswiderstandes R_A von der Länge l des Oberflächenerders bei verschiedenen spezifischen Erdwiderständen ρ_E 125
Bild 5.5.8 Erdungsspannung U_E zwischen Erderzuleitung und Erdoberfläche in Abhängigkeit vom Abstand zum Erder, bei einem Banderder (8 m lang) in unterschiedlicher Tiefe . . . 125
Bild 5.5.9 Maximale Schrittspannung U_S in Abhängigkeit von der Eingrabtiefe für einen gestreckten Banderder 126
Bild 5.5.10 Ausbreitungswiderstand R_A von Tiefenerdern in Abhängigkeit von ihrer Länge l bei verschiedenen spezifischen Erdwiderständen ρ_E 127
Bild 5.5.11 Ausbreitungswiderstand R_A gekreuzter Oberflächenerder (90 °) in Abhängigkeit von der Eingrabtiefe 127
Bild 5.5.12 Erdungsspannung U_E zwischen Erderzuleitung und Erdoberfläche gekreuzter Oberflächenerder (90 °) in Abhängigkeit vom Abstand zum Kreuzmittelpunkt (Eingrabtiefe 0,5 m) 128
Bild 5.5.13 Stoßerdungswiderstand R_{st} ein- und mehrstrahliger Oberflächenerder gleicher Länge 128
Bild 5.5.14 Reduktionsfaktor p für die Berechnung des Gesamtausbreitungswiderstandes R_A von parallel geschalteten Tiefenerdern 129
Bild 5.5.15 Ausbreitungswiderstand R_A von Oberflächen- und Tiefenerdern in Abhängigkeit von der Erderlänge l 130
Bild 5.5.1.1 Mindestlängen von Erdern 131
Bild 5.5.1.2 Erder Typ B – Ermittlung des mittleren Radius – Beispielrechnung 132
Bild 5.5.1.3 Erder Typ B – Ermittlung des mittleren Radius – Beispielrechnung 132
Bild 5.5.2.1 Fundamenterder mit Anschlussfahne. 133
Bild 5.5.2.2 Masche beim Fundamenterder 133
Bild 5.5.2.3 Fundamenterder 133
Bild 5.5.2.4 Anwendung Fundamenterder 134
Bild 5.5.2.5 Erdungsfestpunkt. 134
Bild 5.5.2.6 Fundamenterder mit Maschen 134
Bild 5.5.2.7 Durchmesser von Bewehrungsstählen nach DIN 1045-1:2001-07 135
Bild 5.5.2.8 Überbrückungsband mit Erdungsfestpunkten 135
Bild 5.5.2.9 Überbrückung des Fundamenterders mit Dehnungsband . 135
Bild 5.5.2.10 Folie bei Fundamentplatten 135
Bild 5.5.2.11 Einsatz von Noppenbahnen 136
Bild 5.5.2.12 Noppenbahn 136
Bild 5.5.2.13 Anordnung des Fundamenterders bei einer Weißen Wanne entsprechend DIN 18014 136
Bild 5.5.2.14 Räumliche Darstellung von Ringerder, Funktions-Potentialausgleichsleiter und Verbindungen mittels druckwasserdichter Wanddurchführungen 137
Bild 5.5.2.15 Wanddurchführung mit Schalungseinbau 138
Bild 5.5.2.16 Prüfaufbau (Schnittbild) mit Anschluss für die Druckwasserprüfung 138
Bild 5.5.2.17 Wasserdichte Wanddurchführung 138
Bild 5.5.2.18 Bitumenbahnen als Abdichtung 138
Bild 5.5.2.19 Anordnung des Erders bei einer Schwarzen Wanne entsprechend DIN 18014 139
Bild 5.5.2.20 Ringerder bei Perimeterdämmung; Quelle: Fa. Mauermann 140
Bild 5.5.2.21 Detailbild Ringerder; Quelle: Fa. Mauermann. 140
Bild 5.5.2.22 Anordnung des Fundamenterders bei einer geschlossenen Bodenplatte (vollisoliert) entsprechend DIN 18014. 140
Bild 5.5.2.23 Perimeterdämmung: Einbringen von Glasschaumgranulat; Quelle: TECHNOpor Handels GmbH 141
Bild 5.5.2.24 Fundamenterder bei Einzelfundamenten mit Anschlussfahne; Quelle: Wettingfeld, Krefeld 141
Bild 5.5.2.25 Anwendung Abstandshalter mit Kreuzstück 142
Bild 5.5.2.26 Anordnung des Fundamenterders bei einem Streifenfundament (Kellerwand isoliert) entsprechend DIN 18014. . . 142
Bild 5.5.2.27 Frischbeton mit Stahlfasern. 143
Bild 5.5.3.1 Ringerder um ein Wohnhaus 143
Bild 5.5.4.1 Kupplungen von DEHN-Tiefenerdern 144
Bild 5.5.4.2 Eintreiben des Tiefenerders mit einem Hammergerüst und einem Vibrationshammer. 144
Bild 5.5.6.1 Vermaschte Erdungsanlage eines Industrieunternehmens . 145
Bild 5.5.7.1.1 Ausführungsbeispiel für eine unpolarisierbare Messelektrode (Kupfer / Kupfersulfat-Elektrode) für den Abgriff eines Potentials im Elektrolyten (Schnittzeichnung) 147
Bild 5.5.7.2.1 Galvanisches Element: Eisen / Kupfer 148
Bild 5.5.7.2.2 Konzentrationselement. 148

Bild 5.5.7.2.3 Konzentrationselement: Eisen im Erdreich / Eisen im Beton 149
Bild 5.5.7.2.4 Konzentrationselement: Stahl verzinkt im Erdreich / Stahl (schwarz) im Beton . . . 149
Bild 5.6.1 Prinzipdarstellung – Trennungsabstand . . . 153
Bild 5.6.2 Materialfaktoren bei einer Fangstange auf einem Flachdach . . . 154
Bild 5.6.3 k_m bei unterschiedlichen Materialien mit Luftstrecke . . . 154
Bild 5.6.4 k_m bei unterschiedlichen Materialien ohne Luftstrecke . . . 154
Bild 5.6.5 Fangmast mit $k_c = 1$ . . . 155
Bild 5.6.6 Ermittlung von k_c bei zwei Masten mit Seil-Überspannung und Erder Typ B . . . 156
Bild 5.6.7 Ermittlung von k_c beim Satteldach mit 2 Ableitungen . . . 156
Bild 5.6.8 Satteldach mit 4 Ableitungen . . . 157
Bild 5.6.9 Werte des Koeffizienten k_c im Falle eines vermaschten Fangleitungsnetzes und einer Erderanordnung Typ-B . . . 157
Bild 5.6.10 Werte des Koeffizienten k_c beim System aus mehreren Ableitungen entsprechend Bild C.5 der DIN EN 62305-3 . . . 157
Bild 5.6.11 Stromaufteilung bei mehreren Ableitungen . . . 158
Bild 5.6.12 Beispiel Dachaufbau; System mit mehreren Ableitungen . . . 158
Bild 5.7.1 Prinzipdarstellung Schritt- und Berührungsspannung . . . 160
Bild 5.7.2 Potentialsteuerung – Prinzipielle Darstellung und Verlauf des Potentialtrichters . . . 161
Bild 5.7.3 Mögliche Potentialsteuerung im Bereich des Eingangs einer baulichen Anlage . . . 162
Bild 5.7.4 Ausführung der Potentialsteuerung für einen Flutlicht- oder Mobilfunkmast . . . 162
Bild 5.7.5 Anschlusssteuerung am Ringerder / Fundamenterder . . . 162
Bild 5.7.1.1 Zu schützender Bereich für eine Person . . . 162
Bild 5.7.1.2 Aufbau der CUI-Leitung . . . 163
Bild 5.7.1.3 Stehspannungsprüfung unter Beregnung . . . 163
Bild 5.7.1.4 Produktbild CUI-Leitung . . . 164
Bild 5.7.1.5 (a) Schleife Ableitung-Person; (b) Gegeninduktivität M und induzierte Spannung U_i . . . 164
Bild 5.7.2.1 Das Hugo-Modell in Schrittposition mit Kontaktierungsflächen an den Füßen (Quelle: TU Darmstadt) . . . 165
Bild 5.7.2.2 Bezugssystem für die Schrittspannungsangaben . . . 166
Bild 5.7.2.3 Der Vergleich der Schrittspannungen im Referenzmodell bei Verwendung von mehreren Ringerdern ohne (links) und mit (rechts) Berücksichtigung der Bodenionisierung . . . 166
Bild 5.7.2.4 Belasten der Schrittspannung auf der Bodenoberfläche durch einen Menschen . . . 167
Bild 5.7.2.5 Stark vereinfachte Modellierung eines Menschen zur Untersuchung der Rückwirkung auf die Schrittspannung (rot eingefärbt) . . . 167
Bild 5.7.2.6 Die Rückwirkung eines Menschen auf die sich einstellende Schrittspannung . . . 168
Bild 5.7.2.7 Vergleich der Schrittspannungen im Referenzmodell von mehreren Ringerdern nach Berücksichtigung des Korrekturfaktors zur Rückwirkung durch Menschen ohne (links) und mit (rechts) Berücksichtigung der Bodenionisierung . . . 168
Bild 5.8.1 Prüfung mit Salzsprühtruhe . . . 169
Bild 5.8.2 Prüfung mit Kesternichgerät . . . 169
Bild 5.8.3 Bauteile im Neuzustand und nach der künstlichen Alterung . . . 170
Bild 5.8.4 Prüfkombinationen für MV-Klemme (Parallel- und Kreuzanordnung) . . . 171
Bild 5.8.5 Auf einer Isolierplatte befestigter Prüfling (MV-Klemme) für den Test im Stoßstromlabor . . . 171
Bild 5.8.6 Zugversuch von Leitern . . . 171
Bild 5.8.7 Überschlag entlang des GFK-Distanzhalters DEHNiso . . . 173
Bild 5.9.1 Begriffsdefinitionen entsprechend DIN EN 50522 (VDE 0101-2), Bild 1 . . . 174
Bild 5.9.2 Einpoliger Fehler in einer Transformatorenstation mit integrierter Niederspannungs-Hauptverteilung . . . 177
Bild 5.9.3 Schematische Darstellung der Erdungsanlage an einer Netztransformatorenstation (Quelle: Niemand/Kunz; „Erdungsanlagen"; S. 109; VDE-Verlag) . . . 177
Bild 5.9.4 Verbindung eines Tiefenerders mit dem Ringerder der Station . . . 178
Bild 5.9.5 Strombelastbarkeit von Erderwerkstoffen . . . 178
Bild 5.9.6 korrosionsbeurteilung verzinkter Tiefenerder, Einbauzeit: 7 Jahre . . . 179
Bild 5.9.7 Korrosionsbeurteilung Tiefenerder verzinkt (unten) und Tiefenerder (oben), Einbauzeit: 2,5 Jahre . . . 179
Bild 6.1.1 Prinzip des Blitzschutz-Potentialausgleiches bestehend aus Blitzschutz- und Schutzpotentialausgleich . . . 181
Bild 6.1.2 Potentialausgleichsschiene K12, Art.-Nr. 563 200 . . . 183
Bild 6.1.3 Potentialausgleichsschiene R15, Art.-Nr. 563 010 . . . 183
Bild 6.1.4 Erdungsrohrschelle, Art.-Nr. 407 114 . . . 183
Bild 6.1.5 Erdungsbandrohrschelle, Art.-Nr. 540 910 . . . 183
Bild 6.1.6 Potentialausgleich mit Durchgangsverdrahtung . . . 183
Bild 6.2.1 DEHNbloc M für die Installation entsprechend dem Blitzschutzzonen-Konzept an den Grenzen 0_A–1 . . . 184
Bild 6.2.2 DEHNventil kombinierter Blitzstrom- und Überspannungs-Ableiter für die Installation entsprechend dem Blitzschutzzonen-Konzept an den Grenzen 0_A–2 . . . 184
Bild 6.3.1 Blitzschutz-Potentialausgleich mit getrennter Fangeinrichtung und HVI-Leitung für professionelle Antennenanlagen gemäß DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) . . . 186
Bild 6.3.2 Isolierter Aufbau von Blitzschutzanlage und Mobilfunk antenne . . . 186
Bild 6.3.3 EMV-Federklemmen für die geschützte und ungeschützte Seite eines BLITZDUCTOR XT zur dauerhaften, niederimpedanten Schirmkontaktierung einer geschirmten Signalleitung; mit steckbarer Isolierkappe für die indirekte Schirmerdung, mit Kabelbindern und Isolierstreifen . . . 187
Bild 6.3.4 Blitzstromtragfähiges Schirmanschlusssystem SAK . . . 187
Bild 6.3.5 Blitzschutz-Potentialausgleich für den TK-Anschluss mit BLITZDUCTOR XT (Einsatz von Deutscher TELEKOM erlaubt) 187
Bild 6.3.6 Blitzstromtragfähige DEHN-Potentialausgleich-Gehäuse (DPG LSA) für LSA-2/10-Technik . . . 188
Bild 7.1.1 Blitzschutzzonen-Konzept Gesamtdarstellung nach DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4) . . . 191
Bild 7.1.2a Blitzschutzzonen-Konzept nach DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4) . . . 192
Bild 7.1.2b Blitzschutzzonen-Konzept nach DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4) . . . 193
Bild 7.3.1 Reduzierung des Magnetfeldes durch Gitterschirme . . . 195
Bild 7.3.2a Magnetfeld bei direktem Blitzeinschlag innerhalb der LPZ 1 (LEMP) DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4) . . . 195
Bild 7.3.2b Magnetische Feldstärke bei direktem Blitzeinschlag innerhalb der LPZ 2 . . . 195
Bild 7.3.3 Volumen für elektronische Geräte innerhalb LPZ 1 . . . 197
Bild 7.3.4 Magnetfeld bei nahem Blitzeinschlag (LEMP) DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4) . . . 198
Bild 7.3.5 Magnetfeld bei nahem Blitzeinschlag (LEMP) DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4) . . . 198

Bild 7.3.6 Verwendung der Armierungsstäbe einer baulichen Anlage zur Schirmung und zum Potentialausgleich. 199
Bild 7.3.7a Verzinkte Baustahlmatten zur Gebäudeschirmung 199
Bild 7.3.7b Nutzung verzinkter Baustahlmatten zur Schirmung, z. B. bei einem begrünten Dach 199
Bild 7.3.8 Gebäudeschirmung 200
Bild 7.3.9 Erdungssammelleiter / Ringpotentialausgleich 200
Bild 7.3.1.1 Kein Schirmanschluss – keine Abschirmung gegen kapazitive / induktive Einkopplung 201
Bild 7.3.1.2 Beidseitiger direkter Schirmanschluss – Abschirmung gegen kapazitive / induktive Einkopplung. 201
Bild 7.3.1.3 Beidseitiger Schirmanschluss – Lösung: Direkte und indirekte Schirmerdung. 202
Bild 7.3.1.4 BLITZDUCTOR XT mit Schirmanschlussklemme SAK BXT LR mit wahlweise direkter oder indirekter Schirmerdung 202
Bild 7.3.1.5 Schirmanschluss 203
Bild 7.3.1.6 Beidseitiger Schirmanschluss – Abschirmung gegen kapazitive / induktive Einkopplung 203
Bild 7.4.1 Potentialausgleichsnetzwerk in einer baulichen Anlage . . 204
Bild 7.4.2 Ring-Potentialausgleichsschiene in einem Computer-Raum 204
Bild 7.4.3 Verbindung der Ring-Potentialausgleichsschiene mit dem Potentialausgleichsnetzwerk über Erdungsfestpunkt. . . . 204
Bild 7.4.4 Integration elektronischer Systeme in das Potentialausgleich-Netzwerk nach DIN EN 62305-4. 204
Bild 7.4.5 Kombination der Integrationsmethoden nach Bild 7.4.4 Integration in das Potentialausgleichsnetzwerk nach DIN EN 62305-4 205
Bild 7.5.1.1 Anschluss PAS an Erdungsfestpunkt 206
Bild 7.5.2.1 Transformator außerhalb der baulichen Anlage 206
Bild 7.5.2.2 Transformator innerhalb der baulichen Anlage (LPZ 0 eingestülpt in LPZ 1). 206
Bild 7.5.2.3 Beispiel des Potentialausgleichs in einer baulichen Anlage mit mehreren Einführungsstellen der äußeren leitenden Teile und mit einem inneren Ringleiter als Verbindung der Potentialausgleichsschienen 207
Bild 7.5.2.4 Ausführung des inneren Blitzschutzes mit einer gemeinsamen Einführungsstelle aller Versorgungsleitungen. . . . 207
Bild 7.5.2.5 Modell für die Blitzstromverteilung bei mehreren parallelen Verbrauchersystemen – Strangtopologie 208
Bild 7.5.2.6 Modell für die Blitzstromverteilung bei mehreren parallelen Verbrauchersystemen – Strangtopologie 208
Bild 7.5.2.7 Kombi-Ableiter DEHNventil. 209
Bild 7.5.2.8 Blitzschutz-Potentialausgleich für energietechnisches und informationstechnisches System zentral an einer Stelle . . . 209
Bild 7.5.2.9 Blitzstrom-Ableiter an der Grenze LPZ 0_A–1 209
Bild 7.5.3.1 Einsatz von kombinierten Blitzstrom- und Überspanungs-Ableitern vom Typ BLITZDUCTOR XT 210
Bild 7.6.2.1 Nur ein SPD (0/1/2) nötig (LPZ 2 ausgestülpt in LPZ 1). . . 210
Bild 7.6.2.2 DEHNventil M TT 255. 210
Bild 7.6.3.1 Die Kombinationshilfe Y/L-AKL (Yellow/Line Ableiterklasse) (s. auch Bild 7.8.2.2) 211
Bild 7.7.1.1 Ringpotentialausgleich und Erdungsfestpunkt für die Anbindung von metallenen Installationen. 212
Bild 7.7.2.1 Blitzschutzsystem mit Raumschirmung und koordiniertem Überspannungsschutz nach Bild A1 der DIN EN 62305-4 . 213
Bild 7.7.2.2 Überspannungsschutzgerät für Endstromkreise, DEHNflex M . 213
Bild 7.7.2.3 Mehrpoliger Überspannungs-Ableiter DEHNguard M TT . . 213
Bild 7.7.3.1 Schutz für Geräte der Industrieelektronik (z. B. SPS) mit BLITZDUCTOR XT und SPS-Protector 214
Bild 7.8.1.1 Blitzstrom-Ableiter – DEHNbloc 3-polig und Kombi-Ableiter DEHNventil ZP 215
Bild 7.8.1.2 DEHNguard M TT – mehrpoliger Überspannungs-Ableiter . 215
Bild 7.8.1.3 DEHNventil M TNS – modularer Kombi-Ableiter 215
Bild 7.8.1.4 Verlauf der Durchlassenergie am Referenzvaristor mit vorgeschaltetem SPD Typ 1 auf Funkenstreckenbasis 216
Bild 7.8.1.5 Verlauf der Durchlassenergie am Referenzvaristor mit vorgeschaltetem SPD Typ 1 auf Varistorbasis 216
Bild 7.8.2.1 Koordination nach der Durchlassmethode von 2 Schutzgeräten und einem Endgerät, Kaskade (nach IEC 61643-22) . 217
Bild 7.8.2.2 Beispiele für den energetisch koordinierten Ableitereinsatz gemäß der Yellow/Line-Ableiterklasse und Aufbau des Yellow/Line-Ableiterklassen-Symbols. 218
Bild 8.1.1 Einsatz von Ableitern im energietechnischen System (prinzipielle Darstellung) 221
Bild 8.1.3.1 Durch Blitzstoßstrom zerstörter RCD 225
Bild 8.1.3.2 Schaltungsvariante „3-0" im TN-C-System 225
Bild 8.1.3.3a Schaltungsvariante „4-0" im TN-S-System 226
Bild 8.1.3.3b Schaltungsvariante „3+1" im TN-S-System 226
Bild 8.1.3.4 Einsatz von SPDs im TN-C-S-System 226
Bild 8.1.3.5 Einsatz von SPDs im TN-S-System 227
Bild 8.1.3.6 Einsatz von SPDs im TN-System – Beispiel Einfamilienwohnhaus 227
Bild 8.1.3.7 Einsatz von SPDs im TN-System – Beispiel Bürogebäude mit Auftrennung des PEN in der Hauptverteilung 228
Bild 8.1.3.8 Einsatz von SPDs im TN-System – Beispiel Bürogebäude mit Auftrennung des PEN in der Unterverteilung. 229
Bild 8.1.3.9 Einsatz von SPDs im TN-System – Beispiel Industrie mit Auftrennung des PEN in der Unterverteilung. 230
Bild 8.1.3.10 Einsatz von SPDs in TN-Systemen – Beispiel Ableiter mit integrierter Vorsicherung im Industriegebäude 231
Bild 8.1.3.11 Einsatz von SPDs im TN-System – Beispiel Industrieeinsatz 400/690 V 231
Bild 8.1.4.1 TT-System (230/400 V); Schaltungsvariante „3+1". 232
Bild 8.1.4.2 Einsatz von SPDs im TT-System 232
Bild 8.1.4.3 Einsatz von SPDs im TT-System – Beispiel Einfamilienwohnhaus 233
Bild 8.1.4.4 Einsatz von SPDs im TT-System – Beispiel Bürogebäude . . 234
Bild 8.1.4.5 Einsatz von SPDs im TT-System – Beispiel Industrie 235
Bild 8.1.5.1 Einsatz von SPDs im IT-System 236
Bild 8.1.5.2a IT-System ohne mitgeführten Neutralleiter; „3-0"-Schaltungsvariante. 237
Bild 8.1.5.2b IT-System mit mitgeführtem Neutralleiter; „4-0"-Schaltungsvariante. 237
Bild 8.1.5.2c IT-System mit mitgeführtem Neutralleiter; „3+1"-Schaltungsvariante. 237
Bild 8.1.5.3 Einsatz von SPDs im 690 V-IT-System – Beispiel ohne mitgeführten Neutralleiter 237
Bild 8.1.5.4 Einsatz von SPDs im 230/400 V-IT-System – Beispiel mit mitgeführtem Neutralleiter (3+1 Schaltung) 238
Bild 8.1.6.1 Anschluss von Überspannungsschutzgeräten in V-förmiger Anschlusstechnik 239
Bild 8.1.6.2 Prinzip der „Zweileiter-Anschluss-Klemme (ZAK)" – einpolige Darstellung 239
Bild 8.1.6.3 Stiftanschlussklemmen STAK 2X16 und STAK 25 239
Bild 8.1.6.4a Anschluss von Überspannungsschutzgeräten im Leitungsabzweig 239

Bild 8.1.6.4b Begrenzungsspannung DEHNguard 275 bei unterschiedlichen Längen der Anschlussleitung 239
Bild 8.1.6.5 DEHNbloc Maxi S: koordinierter Blitzstrom-Ableiter für die Sammelschiene mit integrierter Vorsicherung 240
Bild 8.1.6.6 DEHNguard modular CI: Überspannungs-Ableiter Typ 2 mit integrierter Vorsicherung 240
Bild 8.1.6.7 Empfohlene maximale Anschlusslängen von Überspannungsschutzgeräten im Leitungsabzweig (nach DIN VDE 0100-534). 240
Bild 8.1.6.8a Aus „Verbrauchersicht" ungünstige Leitungsführung . . . 240
Bild 8.1.6.8b Aus „Verbrauchersicht" günstige Leitungsführung. 240
Bild 8.1.6.9 Anordnung von Überspannungsschutzgeräten in einer Anlage und die daraus resultierende wirksame Anschlusslänge 241
Bild 8.1.6.10 V-förmige Verdrahtung 242
Bild 8.1.6.11 V-Verdrahtung des Kombi-Ableiters DEHNventil M TNC mittels Kammschiene. 242
Bild 8.1.6.12 Parallelverdrahtung. 242
Bild 8.1.6.13 Kabelführung 243
Bild 8.1.7.1 One-port SPD 243
Bild 8.1.7.2 Two-port SPD 243
Bild 8.1.7.3 One-port SPD mit Durchgangsverdrahtung. 243
Bild 8.1.7.4 Beispiel DEHNventil, DV TNC 255. 244
Bild 8.1.7.5 Beispiel DEHNguard (M) TNC/TNS/TT. 244
Bild 8.1.7.6 Beispiel DEHNrail. 245
Bild 8.1.7.7 Verhalten von NH-Sicherungen während der Stoßstrombelastung 10/350 µs 245
Bild 8.1.7.8 Strom und Spannung an einer aufschmelzenden 25 A-NH-Sicherung während einer Blitzstoßstrombelastung (10/350 µs) 245
Bild 8.1.7.9 Einsatz einer separaten Vorsicherung für Überspannungsschutzgeräte 245
Bild 8.1.7.10 Reduzierung des Folgestromes durch das patentierte RADAX-Flow-Prinzip 246
Bild 8.1.7.11 Folgestrom-Ausschaltselektivität DEHNventil M zu NH-Sicherungseinsätzen unterschiedlicher Bemessungsströme 246
Bild 8.1.8.1 DEHNguard M TNC CI 275 FM – Typ 2-Ableiter mit integrierter Ableitervorsicherung 247
Bild 8.1.8.2 Innenleben DEHNguard M/S ... CI mit Vorder- und Rückansicht 247
Bild 8.1.8.3 Drastisch reduzierter Platzbedarf – Vergleich Einbau-Verhältnisse herkömmlicher Typ 1-Ableiter zum DEHNvenCI. . 247
Bild 8.2.1 Ableiterklassifizierung 248
Bild 8.2.2 Begrenzungsverhalten 249
Bild 8.2.3 Hinweis auf besondere Anwendungsfälle 249
Bild 8.2.4 Nennspannung und Bezug 249
Bild 8.2.5 Prüfaufbau zur Ermittlung der Begrenzungsspannung bei einer Spannungsanstiegsgeschwindigkeit du/dt = 1 kV/µs 250
Bild 8.2.6 Ansprechverhalten eines ÜsAg bei du/dt = 1 kV/µs 250
Bild 8.2.7 Prüfaufbau zur Ermittlung der Begrenzungsspannung bei Nennableitstoßstrom 251
Bild 8.2.8 Begrenzungsspannung bei Nennableitstoßstrom. 251
Bild 8.2.9 Nennstrom des BLITZDUCTOR XT. 251
Bild 8.2.10 Typischer Frequenzgang eines BLITZDUCTOR XT 251
Bild 8.2.11 Gebäude mit äußerem Blitzschutz und gebäudeüberschreitender Leitungsverlegung entsprechend dem Blitzschutzzonen-Konzept. 252
Bild 8.2.12 Gebäude ohne äußeren Blitzschutz und gebäudeüberschreitender Leitungsverlegung 252
Bild 8.2.13 Gebäude mit äußerem Blitzschutz und gebäudeinterner Leitungsverlegung entsprechend dem Blitzschutzzonen-Konzept. 252
Bild 8.2.14 Gebäude ohne äußeren Blitzschutz und gebäudeinterner Leitungsverlegung 252
Bild 8.2.15 Blockschaltbild Temperaturmessung 254
Bild 8.2.1.1 Optokoppler – Prinzipdarstellung. 257
Bild 8.2.2.1 Ebenenmodell einer Gebäudeautomation 258
Bild 8.2.3.1 Anwendungsneutrale Verkabelungsstruktur 259
Bild 8.2.3.2 Blitzbeeinflussung in der IT-Verkabelung 259
Bild 8.2.4.1 Berechnung von L_0 und C_0 261
Bild 8.2.4.2 Eigensicheres SPD BXT ML4 BD EX 24 262
Bild 8.2.4.3 SPD in eigensicheren Bussystemen – Isolationsfestigkeit > 500 V AC 264
Bild 8.2.5.1 Richtige Installation 265
Bild 8.2.5.2 Häufigste Installation. 265
Bild 8.2.5.3 Falsch durchgeführter Potentialausgleich. 265
Bild 8.2.5.4 Falsche Leitungsführung 266
Bild 8.2.5.5 Trennung von Kabeln in Kabelführungssystemen. 267
Bild 8.2.6.1 Alterung elektronischer Bauelemente – „Badewannenkurve" 267
Bild 8.2.6.2 Ableiterprüfung mit LifeCheck DRC LC M1+ 268
Bild 8.2.6.3 Einsatz und Überwachung der Überspannungsschutzgeräte mit der Condition Monitoringeinheit DRC MCM XT. 268
Bild 9.1.1 Prinzipieller Aufbau eines Frequenzumrichters 271
Bild 9.1.2 EMV-gerechter Schirmanschluss der Motorzuleitung. . . . 271
Bild 9.1.3 Frequenzumrichter mit Antrieben in der Blitzschutzzone LPZ 0_A bzw. LPZ 1. 272
Bild 9.2.1 Standortisolierung zur Verringerung der auftretenden Berührungsspannung bei Blitzeinschlägen in eine Standleuchte 275
Bild 9.2.2 Potentialsteuerung zur Verringerung der auftretenden Schrittspannung bei Blitzeinschlägen in eine Standleuchte 275
Bild 9.2.3 Außenleuchte als 230 V Wandleuchte in der Blitzschutzzone 0_A mit Blitzschutz-Potentialausgleich am Gebäudeeintritt 276
Bild 9.2.4 Außenleuchte als 3 x 230/400 V Standleuchte in der Blitzschutzzone 0_A mit Blitzschutz-Potentialausgleich am Gebäudeeintritt 276
Bild 9.2.5 Außenleuchte als 230 V-Wandleuchte in der Blitzschutzzone 0_B 277
Bild 9.3.1 Systemübersicht einer Biogasanlage 279
Bild 9.3.2 Einsatz des DEHNiso-Combi-Systems zum Schutz eines Fermenters mit Folienhaube 280
Bild 9.3.3 Schutz eines Fermenters mit Folienhaube mit Stahl-Tele-Blitzschutzmasten 281
Bild 9.3.4 Schutz des Fermenters mittels Fangmaste, isoliert mit einer HVI-Leitung (Art.-Nr. 819 720) 281
Bild 9.3.5 Schutz des Fermenters mittels Fangmaste, isoliert mit zwei HVI-Leitungen (Art.-Nr. 819 750) 281
Bild 9.3.6 Gärbehälter aus geschraubten Metalltafeln 282
Bild 9.3.7 Schutz des Gärbehälters aus Metalltafeln mit Getrennter Fangeinrichtung (Quelle: Büro für Technik, Hösbach) 282
Bild 9.3.8 Geschweißter Stahlbehälter (Quelle: Eisenbau Heilbronn GmbH) 282
Bild 9.3.9 Vermaschte Erdungsanlage für eine Biogasanlage 284

Bild 9.3.10 Auszug aus einem Überssichtsschaltplan einer Biogasanlage . . . 285
Bild 9.3.11 Überspannungsschutz für Anlagen der Informationstechnik . . . 286
Bild 9.3.12 Kombi-Ableiter-Module mit LifeCheck . . . 287
Bild 9.3.13 Überspannungs-Ableiter DEHNpipe für den Außenbereich zum Einschrauben in 2-Leiter-Feldgeräte . . . 287
Bild 9.4.1 Schematischer Aufbau einer Kläranlage . . . 289
Bild 9.4.2 Einteilung einer Kläranlagenwarte in Blitzschutzzonen; Beispiel Schutzgeräteauswahl für Sauerstoffmessung . . . 290
Bild 9.4.3 Schutzwinkelverfahren nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) . . . 291
Bild 9.4.4 Blitzschutz-Potentialausgleich nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3), Beiblatt 1 . . . 292
Bild 9.4.5 DEHNventil im Schaltschrank zum Schutz der Energietechnik . . . 293
Bild 9.4.6 Überspannungsschutzgerät DCO ME 24 im Schaltschrank zum Schutz der gesamten MSR-Technik . . . 293
Bild 9.4.7 Überspannungsschutzgerät DCO ME 24 im Schaltschrank; Eintritt der Leitungen aus dem Doppelboden . . . 293
Bild 9.5.1 Zulässige Erder . . . 295
Bild 9.5.2 Schutzpotentialausgleich des Kabelnetzes und der Geräte 296
Bild 9.5.3 Antennenanlage mit Potentialausgleich am Anlagentiefpunkt und Überspannungsschutzbeschaltung . . . 296
Bild 9.5.4 Antennenanordnungen, die keine Erdung erfordern . . . 297
Bild 9.5.5 Antennenanlage im Schutzbereich einer vorhandenen Fangeinrichtung . . . 297
Bild 9.5.6 Antennenanlage mit isoliert angebrachter Fangstange durch DEHNiso-Distanzhalter (Isolierstrecke aus glasfaserverstärktem Kunstoff (GFK)) . . . 297
Bild 9.5.7 Antennenanlage mit hochspannungsfester isolierter Leitung DEHNcon-H . . . 297
Bild 9.5.8 Antennenerdung mit Überspannungsschutzbeschaltung . . . 298
Bild 9.5.9 Antennenanlage mit hochspannungsfester Leitung DEHNcon-H und Überspannungsschutzbeschaltung . . . 298
Bild 9.5.10 BK-Anschluss mit Überspannungsschutzbeschaltung . . . 299
Bild 9.6.1 Überspannungsschutzbeschaltung für eine landwirtschaftliche Betriebsstätte . . . 301
Bild 9.6.2 Überspannungsschutzbeschaltung Bussysteme und Telefon . . . 302
Bild 9.7.1 Kameraanlage mit Anbindung an ein Gebäude mit äußerem Blitzschutz und beidseitiger blitzstromtragfähiger Überspannungsschutzbeschaltung . . . 305
Bild 9.7.2 Kameraanlage mit Anbindung an ein Gebäude ohne äußeren Blitzschutz und beidseitiger Überspannungsschutzbeschaltung . . . 305
Bild 9.7.3 IP-Kameraanlage mit beidseitiger Überspannungsschutzbeschaltung . . . 306
Bild 9.8.1 ELA-Anlage in Modulbauweise mit Überspannungsschutzgeräten . . . 309
Bild 9.8.2 Trichterlautsprecher auf einer baulichen Anlage ohne äußeren Blitzschutz . . . 310
Bild 9.8.3 Trichterlautsprecher im Schutzbereich einer Fangstangeneinrichtung auf einer baulichen Anlage mit äußerem Blitzschutz . . . 310
Bild 9.9.1 Blitz- und Überspannungsschutz einer Einbruchmeldezentrale (EMZ) in Impulslinientechnik . . . 313
Bild 9.9.2 Blitz- und Überspannungsschutz einer Brandmeldezentrale (BMZ) in analoger Ringtechnik . . . 314
Bild 9.9.3 Blitz- und Überspannungsschutz einer Einbruchmeldezentrale (EMZ) in Gleichstromlinientechnik . . . 314
Bild 9.10.1 KNX-Bustopologie mit max. Teilnehmern je Linie, max. Linien je Hauptlinie und max. Hauptlinien je Bereichslinie . 317
Bild 9.10.2 Induktionsschleife durch zwei niederspannungsversorgte KNX-Busteilnehmer . . . 318
Bild 9.10.3 Induktionsschleife durch einen an einer metallenen Konstruktion bzw. Rohrleitung befindlichen KNX-Busteilnehmer. 318
Bild 9.10.4 Blitzschutz-Potentialausgleich am Gebäudeeintritt der KNX-Busleitung sowie Überspannungsschutzbeschaltung am KNX-Verteiler und am Heizungsaktor . . . 318
Bild 9.10.5 Durch Zonenausstülpung entfallender Blitzschutz-Potentialausgleich für die KNX-Leitung . . . 319
Bild 9.10.6 Blitzstromtragfähige Beschaltung im Hauptstromversorgungssystem mit Überspannungsschutzbeschaltung am KNX-Verteiler . . . 319
Bild 9.10.7 Überspannungsschutzbeschaltung am Haupt- und KNX-Verteiler . . . 320
Bild 9.11.1 Beidseitiger Schirmanschluss – Abschirmung gegen kapazitive / induktive Einkopplung und Vermeidung von Ausgleichsströmen durch direkte und indirekte Schirmerdung 324
Bild 9.11.2 Potentialausgleich eines geschirmten Kabelsystems . . . 324
Bild 9.11.3 Universelles Überspannungsschutzgerät NET-Protector zum Schutz der Datenleitungen eines Etagenverteilers (auch für Netzwerke der Klasse D) . . . 325
Bild 9.11.4 DEHNprotector – universelles Überspannungsschutzgerät zum Schutz der Netz-und Datenleitungen eines Arbeitsplatzes . . . 325
Bild 9.11.5 Verwaltungsgebäude mit hochverfügbaren Anlagenteilen . 326
Bild 9.12.1 Systembeispiel für M-Bus . . . 329
Bild 9.12.2 Schutzkonzept für ein M-Bus-System bei Gebäuden mit äußerem Blitzschutz . . . 331
Bild 9.12.3 Schutzkonzept für ein M-Bus-System bei Gebäude ohne äußeren Blitzschutz . . . 332
Bild 9.13.1 Gebäudeüberschreitender PROFIBUS FMS bzw. DP bei einem Gebäude mit äußerem Blitzschutz . . . 335
Bild 9.13.2 Eigensicherer PROFIBUS PA in einem Gebäude mit äußerem Blitzschutz . . . 335
Bild 9.14.1 Blitz- und Überspannungsschutz für Analoganschluss mit ADSL . . . 339
Bild 9.14.2 Blitz- und Überspannungsschutz für ISDN-Anschluss mit ADSL . . . 339
Bild 9.14.3 Überspannungsschutz für TK-Anlagen „ISDN-Primär-Multiplexanschluss“ . . . 340
Bild 9.15.1 Überspannungs-Ableiter im Anschlussraum / -verteiler des metallischen Mastes zum Schutz der metallischen LED-Mastleuchte vor netzgeführten Überspannungen durch ferne atmosphärische Ereignisse und Schalthandlungen . . 343
Bild 9.15.2 Überspannungs-Ableiter in LED-Leuchtennähe bei frei verlegter Mastleuchtenzuleitung zum Schutz vor feldgebundenen Einkopplungen oder als alleiniger Schutz vor netzgeführten Überspannungen durch ferne atmosphärische Ereignisse und Schalthandlungen . . . 344
Bild 9.15.3 Kombi-Ableiter im Anschlussraum / -verteiler des metallischen Mastes in Verbindung mit einem Überspannungs-Ableiter zum Schutz der LED-Mastleuchte vor nahen atmosphärischen Ereignissen und zum Schutz vor netzgeführten Überspannungen durch Schalthandlungen . . . 344
Bild 9.15.4 Erdungsleiter zum Schutze der Kabeltrasse und zur Masterdung . . . 345
Bild 9.16.1 Blitzkugelverfahren . . . 348

Bild 9.16.2 Beispiel einer Fangeinrichtung für die Wetterstation und die Flugbefeuerung . . . 349
Bild 9.16.3 Erdungsanlage einer Windenergieanlage . . . 350
Bild 9.16.4 Blitz- und Überspannungschutz bei einer WEA . . . 352
Bild 9.16.5 Beispiel für den Einsatz von Ableitern an den Zonengrenzen einer WEA entsprechend DIN EN 61400-24 . . . 353
Bild 9.16.6 Modularer Überspannungs-Ableiter Typ 2 zum Schutz der 230/400 V-Versorgung . . . 354
Bild 9.16.7 Koordinierter Überspannungs-Ableiter Typ 1 . . . 354
Bild 9.16.8 Schutz der Rotorwicklung des Generators (Neptun-Schaltung) . . . 354
Bild 9.16.9 Schutz der Statorseite des Generators . . . 354
Bild 9.16.10 Schutz einer Windmesseinrichtung (Anemometer) . . . 355
Bild 9.16.11 Beispiel für den Schutz in einem Pitchsystem . . . 356
Bild 9.16.12 Kundenspezifische Prüfung im Stoßstromlabor . . . 356
Bild 9.17.1 Vergleich: konventionell aufgebaute Mobilfunkanlage (links) und Aufbau mit Remote Radio Head-Technologie (rechts) . . . 359
Bild 9.17.2 Prinzipieller Aufbau von Remote Radio Head / Unit bei Aufdachanlagen . . . 360
Bild 9.17.3 Remote Radio Head / Unit und Basisstation (RPS) bei Maststandorten . . . 361
Bild 9.17.4 Schaltbild von Remote Radio Heads (RRHs) bei räumlich getrennten Funktionspotentialausgleichsebenen mit DC-Box (Outdoor) und DEHNsecure DSE M 2P 60 FM sowie OVP-Box (Indoor) und DEHNsecure DSE M 1 60 FM . . . 363
Bild 9.17.5 Schutz der RRH-Installation mit Typ 1-Ableiter im typischen Installationsumfeld . . . 363
Bild 9.17.6 Anschlussfertige Hybridbox für 48 V DC Outdoor-Installationen mit DEHNguard Typ 2-Ableiter . . . 364
Bild 9.17.7 Typ 1 SPD auf Funkenstreckenbasis (typischer Verlauf) . . . 364
Bild 9.17.8 Typ 1 SPD auf Varistorbasis (typischer Verlauf) . . . 364
Bild 9.18.1 Funktionserdung der Modulgestelle, wenn kein äußerer Blitzschutz vorhanden oder der Trennungsabstand eingehalten ist (DIN EN 62305-3, Beiblatt 5) . . . 368
Bild 9.18.2 Blitzschutz-Potentialausgleich an den Modulgestellen bei Nichteinhaltung des Trennungsabstands . . . 368
Bild 9.18.3 UNI-Erdungsklemme: Ein Edelstahl-Zwischenelement vermeidet Kontaktkorrosion. Dadurch werden langjährige sichere Verbindungen zwischen unterschiedlichen Leiterwerkstoffen geschaffen . . . 368
Bild 9.18.4 Kernschattenfreier Abstand Modul zu Fangstange . . . 369
Bild 9.18.5 Quellenkennlinie einer konventionellen DC-Quelle vs. der eines PV-Generators; beim Schalten von PV-Quellen wird der Bereich der Lichtbogenbrennspannung durchlaufen . . . 369
Bild 9.18.6 Kombi-Ableiter Typ 1, DEHNcombo YPV SCI, zum Schutz von Photovoltaik-Systemen vor Überspannungen auch bei direkten Blitzteilströmen . . . 370
Bild 9.18.7 Schaltphasen der dreistufigen Gleichstrom-Schaltvorrichtung im DEHNguard M YPV SCI ... (FM) . . . 370
Bild 9.18.8 Kombi-Ableiter Typ 1 auf Funkenstreckenbasis DEHNlimit PV 1000 V2 . . . 370
Bild 9.18.9 Modularer Überspannungs-Ableiter Typ 2 DEHNguard M YPV SCI ... (FM) mit fehlerresistenter Y-Schaltung und 3-stufiger DC-Schalteinrichtung . . . 371
Bild 9.18.10 Einfache V-Verdrahtung mit STAK 25 . . . 371
Bild 9.18.11 Im Wechselrichter intergrierter Überspannungsschutz DEHNguard SPD Typ 2 für die AC- und DC-Seite . . . 371
Bild 9.18.12 PV-Anlage auf Gebäude ohne äußeren Blitzschutz – Situation A (Bbl. 5 der DIN EN 62305-3) . . . 372
Bild 9.18.13 PV-Anlage auf Gebäude mit äußerem Blitzschutz unter Einhaltung des Trennungsabstands – Situation B (Bbl. 5 der DIN EN 62305-3) . . . 373
Bild 9.18.14 Ermittlung des Schutzraumes mittels Schutzwinkelverfahren . . . 374
Bild 9.18.15 Ermittlung des Schutzraumes mittels Blitzkugelverfahren vs. Schutzwinkelverfahren . . . 374
Bild 9.18.16 PV-Anlage auf Gebäude mit äußerem Blitzschutz ohne Einhaltung des Trennungsabstands – Situation C (Bbl. 5 der DIN EN 62305-3) . . . 375
Bild 9.18.17 Beispiel: Gebäude ohne äußeren Blitzschutz; Überspannungsschutz für Modulwechselrichter befindet sich im Anschlussgehäuse der bauseitigen Verkabelung . . . 377
Bild 9.19.1 Ermittlung des Schutzraumes mittels Blitzkugelverfahren vs. Schutzwinkelverfahren . . . 379
Bild 9.19.2 Blitzschutz mit DEHNiso Befestigungshalter . . . 380
Bild 9.19.3 Erdungsanlage entsprechend DIN EN 62305-3 . . . 380
Bild 9.19.4 Ramm- und Schraubfundament mit blitzstromtragfähiger Verbindung von Fangeinrichtung und Erdungsanlage . . . 381
Bild 9.19.5 UNI-Falzklemme . . . 381
Bild 9.19.6 Blitzschutzkonzept eines PV-Kraftwerkes . . . 382
Bild 9.19.7 PV-System mit I_{max} von 1000 A: tageszeitabhängiger prospektiver Kurzschlussstrom am PV-Ableiter . . . 383
Bild 9.19.8 Quellenkennlinie einer konventionellen DC-Quelle vs. der eines PV-Generators; beim Schalten von PV-Quellen wird der Bereich der Lichtbogenbrennspannung durchlaufen . . . 383
Bild 9.19.9 DEHNcombo YPV SCI – Kombinierter Überspannungs-Ableiter Typ 1 + Typ 2 mit fehlerresistenter Y-Schaltung und dreistufiger DC-Schalteinrichtung . . . 384
Bild 9.19.10 Schaltphasen der dreistufigen Gleichstrom-Schaltvorrichtung im DEHNcombo YPV SCI ... (FM) . . . 384
Bild 9.19.11 Überspannungsschutz in Monitoring-GAK . . . 385
Bild 9.19.12 Blitzstromverteilung bei PV-Freiflächenanlage mit Stringwechselrichter . . . 385
Bild 9.19.13 Schutzkonzept für die Datentechnik der Anlagenüberwachung . . . 386
Bild 9.19.14 Prinzipdarstellung Induktionsschleifen bei PV-Kraftwerk . . . 387
Bild 9.20.1 Aufbau eines LonWorks-Knotens mit Neuron-Chip, Transceiver und E/A-Beschaltung . . . 389
Bild 9.20.2 Induktionsschleife, entstanden durch zwei Knoten . . . 389
Bild 9.20.3 Induktionsschleife entstanden durch ein Magnetventil an einer metallischen Rohrleitung . . . 390
Bild 9.20.4 Einsatz von Überspannungsschutzgeräten bei LPT-Transceiver in einer gebäudeübergreifenden, gemischt-verzweigten Topologie . . . 390
Bild 9.20.5 Einsatz von Überspannungsschutzgeräten bei FTT-Transceiver in einer gebäudeübergreifenden, gemischt-verzweigten Topologie . . . 390
Bild 9.21.1 Tankstellenanlage mit Blitzschutzsystem, vermaschter Erdungsanlage, Schutz- und Funktionspotentialausgleich und Überspannungsschutzmaßnahmen . . . 393
Bild 9.22.1 Anzahl der in der Bundesrepublik Deutschland registrierten Blitzereignisse von 1996 – 2011 . . . 397
Bild 9.22.2 Blitzschutz-Potentialausgleich mit DEHNventil M . . . 398
Bild 9.22.3 DEHNconductor HVI-light-Leitung . . . 398
Bild 9.22.4 HVI-Leitung, am Mast installiert . . . 398
Bild 9.22.5 Schutzbereich für Kabeltrasse . . . 399
Bild 9.22.6a Potentialsteuerung an einem Mast . . . 399
Bild 9.22.6b Potentialsteuerung an einem Mast . . . 399

Bild 9.23.1 Schutz vor Schritt- und Berührungsspannung für eine Schutzhütte mit einem Eingang und definierter Zugangsrichtung. 401
Bild 9.23.2 Überspannungsschutz der niederspannungs- und informationstechnischen Versorgung eines Clubhauses 402
Bild 9.23.3 Schutz vor Überspannung, Schritt- und Berührungsspannung für die Caddy-/Trolly-Halle mit integrierter Driving Range. 403
Bild 9.23.4 Druckleitung mit Abzweigen, Magnetventilen, 2-adriger Ringleitung und Decodern 404
Bild 9.23.5 Technikgebäude mit Elektroverteilung, Steuerschrank Beregnungsanlage, PC, Interface und Datenmanagementsystem 404
Bild 9.24.1 Prinzip des äußeren und inneren Blitzschutzes einer Kirche mit angebautem Kirchturm 407
Bild 9.24.2 Beispiel für Überspannungsschutz der Glockensteuerung . 407
Bild 9.25.1 Überspannungs-Ableiter Typ 3 in Büroraumleuchten 409
Bild 9.25.2 Überspannungs-Ableiter Typ 3 bzw. Typ 2 im AP-Gehäuse auf der Lichtbandleuchten-Tragschiene. 410
Bild 9.25.3 Überspannungs-Ableiter Typ 3 bzw. Typ 2 im AP-Gehäuse auf der Kabelrinne 410
Bild 9.26.1 Überspannungsschutzbeschaltung eines Aufzugs 413
Bild 9.27.1 Lichtkuppel im Schutzraum einer Fangstange auf einem nichtmetallenen Dach einer baulichen Anlage mit äußerem Blitzschutz 415
Bild 9.27.2 Lichtkuppel im Schutzraum einer Fangstange auf einem metallenen Dach einer baulichen Anlage mit metallener Ableiterstruktur (Stahlskelett, verbundener Stahlbeton oder geerdete Metallfassade) 416
Bild 9.27.3 Lichtkuppel im Schutzraum einer Fangstange auf einem metallenen Dach einer baulichen Anlage mit konventionellen Ableitern 417
Bild 9.27.4 Lichtkuppel auf einem nichtmetallenen Dach einer baulichen Anlage ohne äußeren Blitzschutz 418
Bild 9.28.1 Gefährdung durch Berührungs- und Schrittspannung . . . 421
Bild 9.28.2 Verlegung der Ableitung an den Eckbalken zur Einhaltung des Trennungsabstands 422
Bild 9.28.3 Einsatz der hochspannungsfesten CUI-Leitung: a) bei kleiner Schutzhütte mit zwei Fangstangen; b) bei zu dünnen Wandstärken 423
Bild 9.28.4 Isolierung der Standfläche zur Vermeidung der Schrittspannung: a) durch Asphalt; b) durch Holzboden. 423
Bild 9.28.5 Potentialsteuerung zur Reduzierung der auftretenden Schrittspannung 424
Bild 9.28.6 Getrennter Blitzschutz mit Tele-Blitzschutzmast 424
Bild 9.29.1 Überspannungs-Schutzbeschaltung des Steuergerätes in einer baulichen Anlage ohne äußeren Blitzschutz 427
Bild 9.29.2 Blitzstrom- und Überspannungsschutzbeschaltung bei eintrittsferner Lage des Steuergerätes in einer baulichen Anlage mit äußerem Blitzschutz 428
Bild 9.29.3 Blitzstromschutzbeschaltung bei eintrittsnaher Lage des Steuergerätes (Verlust wird akzeptiert) in einer baulichen Anlage mit äußerem Blitzschutz 429
Bild 9.30.1 DEHNshield, anschlussfertiger anwendungsoptimierter Kombi-Ableiter auf Funkenstreckenbasis 431
Bild 9.30.2 Anwendungsoptimierte Einsatzmöglichkeiten des DEHNshield am Beispiel einer Fahrbahnheizung für Tiefgarageneinfahrten (2a), Außenbeleuchtung und einer Videoüberwachungsanlage (2b) 432
Bild 9.30.3 Anwendungsoptimierte Einsatzmöglichkeiten des DEHNshield am Beispiel einer Ladesäule für Elektromobilität oder einer Anschlusssäule mit Außensteckdose (3a) und einer Schrankenanlage (3b) 433
Bild 9.31.1 In der LPZ 1 und im gleichen Brandabschnitt befindliche Zentalbatterieanlage, Netzzuleitung, Batterieschrankzuleitung, Busleitung, Fernanzeigeleitung, LAN-Leitung sowie DS-/BS-Stromkreisleitungen 437
Bild 9.31.2 Blitzschutz-Potentialausgleich für Stromkreise der Sicherheitsbeleuchtung am Zonenübergang Gebäude-Erdreich . 437
Bild 9.31.3 Blitzschutz-Potentialausgleich an einer E 30-Leitung im E 30-Verteiler (Innenseite der Außenwand). 438
Bild 9.31.4 Blitzschutz-Potentialausgleich im konventionellen Verteiler (Außenseite der Außenwand). 438
Bild 9.32.1 Prinzipielle Einteilung einer Anlage in Blitzschutzzonen (LPZ) 441
Bild 9.32.2 Fangeinrichtung für einen Tank mit Fangstangen und Fangseilen 442
Bild 9.32.3 Schirmung von baulichen Anlagen durch die Verwendung natürlicher Gebäudekomponenten 443
Bild 9.32.4 Überspannungsschutzgeräte im eigensicheren Messkreis . 444
Bild 9.32.5 Schutzgeräte für eigensichere Messkreise 444
Bild 9.32.6 Beispiel einer vermaschten Erdungsanlage. 446
Bild 9.32.7 Beispiel Schirmbehandlung eigensicherer Kabel 446
Bild 9.33.1 Getrennter äußerer Blitzschutz für Satteldach 449
Bild 9.33.2 Getrennter äußerer Blitzschutz für Satteldach – Aufbauvariante 1. 450
Bild 9.33.3 Getrennter äußerer Blitzschutz für Satteldach – Aufbauvariante 2 450
Bild 9.33.4 Getrennter äußerer Blitzschutz für Flachdach 451
Bild 9.33.5 Getrennter äußerer Blitzschutz für Flachdach – Aufbauvariante 3 451
Bild 9.33.6 Blitzschutz-Potentialausgleich für eingeführte Leitungen . . . 453
Bild 9.34.1 Einschlagsgefährdung bei einer Yacht nach dem Blitzkugelverfahren für die Blitzschutzklasse III. 455
Bild 9.34.2 Blitzstromverteilung bei einer Yacht nach einem Masteinschlag 455
Bild 9.34.3 Mobiler Blitzschutz bei einer Yacht mit Metallmast 456
Bild 9.34.4 Verhinderung von Korrosion durch den Einsatz eines Trenntransformators 457
Bild 9.34.5 Überspannungsgrundschutz für eine Yacht (technische Daten des Herstellers der Überspannungsschutzgeräte sind zu beachten). 458
Bild 9.34.6 Detaildarstellung der landseitigen Netzeinspeisung mit blitzstromtragfähigem Kombi-Ableiter Typ 1 459
Tabelle 1.1.1 Blitzschutznormen gültig seit 01.10.2011 9
Tabelle 1.1.2 Beiblätter zur DIN EN 62305 9
Tabelle 2.5.1 Temperaturerhöhung ΔT in K verschiedener Leitermaterialien. 22
Tabelle 2.6.1 Maximale Blitzstromparameter und Wellenform für unterschiedliche Blitzstrom-Komponenten. 23
Tabelle 2.7.1 Maximalwerte von Blitzstromparametern und ihre Wahrscheinlichkeit 24
Tabelle 2.7.2 Minimalwerte von Blitzstromparametern und ihre Wahrscheinlichkeit 24
Tabelle 3.1.1a Baurechtliche Vorgaben der Bundesländer zum Blitzschutz (Teil 1) (Quelle: VdS 2010: 2010-09 (04) 29
Tabelle 3.1.1b Baurechtliche Vorgaben der Bundesländer zum Blitzschutz (Teil 2) (Quelle: VdS 2010: 2010-09 (04)) 30

Tabelle 3.2.1.1 Schadensquellen, Schadensursachen und Schadensarten in Abhängigkeit von der Einschlagstelle . . . 34
Tabelle 3.2.3.1 Standortfaktor C_D . . . 37
Tabelle 3.2.3.2 Installationsfaktor C_I . . . 37
Tabelle 3.2.3.3 Transformatorfaktor C_T . . . 37
Tabelle 3.2.3.4 Umgebungsfaktor C_E . . . 37
Tabelle 3.2.4.1 Werte der Wahrscheinlichkeit P_{TA}, dass ein Blitzeinschlag in eine bauliche Anlage einen elektrischen Schlag für Lebewesen durch gefährliche Berührungs- und Schrittspannungen verursacht . . . 39
Tabelle 3.2.4.2 Schadenswahrscheinlichkeit P_B zur Beschreibung der Schutzmaßnahmen gegen physikalische Schäden . . . 39
Tabelle 3.2.4.3 Schadenswahrscheinlichkeit P_{SPD} zur Beschreibung der Schutzmaßnahme koordinierter Überspannungsschutz, in Abhängigkeit vom Gefährdungspegel LPL . . . 39
Tabelle 3.2.4.4 Werte der Faktoren C_{LD} und C_{LI} in Abhängigkeit von Schirmung, Erdung und Isolationseigenschaften . . . 40
Tabelle 3.2.4.5 Werte des Faktors K_{S3} in Abhängigkeit von der inneren Verkabelung . . . 41
Tabelle 3.2.4.6 Werte der Wahrscheinlichkeit P_{TU}, dass ein Blitzeinschlag in eine Versorgungsleitung einen elektrischen Schlag für Lebewesen durch gefährliche Berührungsspannungen verursacht . . . 41
Tabelle 3.2.4.7 Schadenswahrscheinlichkeit P_{EB} zur Beschreibung der Schutzmaßnahme Blitzschutz-Potentialausgleich, in Abhängigkeit vom Gefährdungspegel LPL . . . 41
Tabelle 3.2.4.8 Werte der Wahrscheinlichkeit P_{LD} in Abhängigkeit vom Widerstand des Kabelschirms R_S und der Stehstoßspannung U_W der Einrichtungen . . . 42
Tabelle 3.2.4.9 Werte der Wahrscheinlichkeit P_{LI} in Abhängigkeit von der Art der Versorgungsleitung und der Stehstoßspannung U_W der Einrichtungen . . . 42
Tabelle 3.2.5.1 Werte des Reduktionsfaktors r_t in Abhängigkeit von der Art der Oberfläche des Erdbodens oder Fußbodens . . . 43
Tabelle 3.2.5.2 Werte des Reduktionsfaktors r_p in Abhängigkeit von vorgesehenen Maßnahmen zur Verringerung der Folgen eines Brandes . . . 43
Tabelle 3.2.5.3 Werte des Reduktionsfaktors r_f in Abhängigkeit vom Brandrisiko einer baulichen Anlage . . . 44
Tabelle 3.2.5.4 Werte des Faktors h_z, der den relativen Wert eines Verlustes für die Schadensart L1: „Verlust von Menschenleben bei Vorhandensein einer besonderen Gefährdung" erhöht . 44
Tabelle 3.2.5.5 Schadensart L1: Typische Mittelwerte für L_T, L_F und L_O . . . 44
Tabelle 3.2.5.6 Schadensart L2: Typische Mittelwerte für L_F und L_O . . . 46
Tabelle 3.2.5.7 Schadensart L3: Typischer Mittelwert für L_F . . . 46
Tabelle 3.2.5.8 Schadensart L4: Relevante Werte in Abhängigkeit von der Schadensursache . . . 47
Tabelle 3.2.5.9 Schadensart L4: Typische Mittelwerte für L_T, L_F and L_O . . . 47
Tabelle 3.2.6.1 Risiko-Komponenten für verschiedene Einschlagstellen (Schadensquellen) und Schadensursachen . . . 48
Tabelle 3.2.7.1 Typische Werte für das akzeptierbare Risiko R_T . . . 48
Tabelle 3.2.8.1 Maßnahmen des Blitz- und Überspannungsschutzes und ihre Auswirkungen auf einzelne Risiko-Komponenten . . . 49
Tabelle 3.2.9.1 Werte zur Abschätzung des Gesamtwertes c_t . . . 51
Tabelle 3.2.9.2 Anteile zur Abschätzung der Werte c_a, c_b, c_c, c_s . . . 51
Tabelle 3.3.1.1 DEHN Risk Tool, Auszug Maßnahmentabelle . . . 55
Tabelle 3.4.1.1 Größter Abstand zwischen Prüfungen des LPS entsprechend DIN EN 62305-3, Tabelle E.2 . . . 60
Tabelle 5.1.1.1 Beziehungen zwischen Gefährdungspegel, Einfangwahrscheinlichkeit, Enddurchschlagstrecke h_B und kleinstem Scheitelwert des Stromes I; Quelle: Tabelle 5 der DIN EN 62305-1 (VDE 0185-305-1) . . . 67
Tabelle 5.1.1.2 Durchhang der Blitzkugel bei zwei Fangstangen oder zwei parallelen Fangleitungen . . . 69
Tabelle 5.1.1.3 Maschenweite . . . 70
Tabelle 5.1.1.4 Schutzwinkel α in Abhängigkeit der Schutzklasse (SK) . . . 72
Tabelle 5.1.1.5 Mindestdicke von Metallblechen . . . 74
Tabelle 5.1.4.1 Blitzschutz für Metalldächer – Höhe der Fangspitzen . . . 80
Tabelle 5.2.1.1 Abstände zwischen Ableitungen nach DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) . . . 98
Tabelle 5.2.2.1 Maximale Temperaturerhöhung ΔT in K verschiedener Leitermaterialien . . . 98
Tabelle 5.2.4.1 HVI-Leitungsparameter . . . 105
Tabelle 5.3.1 Werkstoff, Form und Mindestquerschnitt von Fangleitungen, Fangstangen, Erdeinführungen und Ableitungen [a)] entsprechend Tabelle 6 der DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3) . . . 113
Tabelle 5.4.1 Werkstoffkombinationen . . . 115
Tabelle 5.4.1.1 Berechnung der temperaturbedingten Längenänderung ΔL von Metalldrähten im Blitzschutz . . . 115
Tabelle 5.4.1.2 Dehnungsstücke im Blitzschutz – Anwendungsempfehlung 115
Tabelle 5.4.2.1a Bauteile für den äußeren Blitzschutz eines Industriegebäudes . . . 116
Tabelle 5.4.2.1b Bauteile für den äußeren Blitzschutz eines Wohnhauses . . 117
Tabelle 5.5.1 Formeln zur Berechnung des Ausbreitungswiderstandes R_A für verschiedene Erder . . . 126
Tabelle 5.5.7.2.1 Potentialwerte und Abtragsraten gebräuchlicher Metalle (entsprechend Tabelle 2 der VDE 0151) . . . 148
Tabelle 5.5.7.4.1 Werkstoff-Kombinationen von Erdungsanlagen bei unterschiedlichen Flächenverhältnissen ($A_K > 100 \times A_A$) . . . 151
Tabelle 5.5.8.1 Werkstoff, Form und Mindestmaße von Erdern [a) e)] nach Tabelle 7 der DIN EN 62305-3 . . . 152
Tabelle 5.6.1 Induktionsfaktor k_i . . . 154
Tabelle 5.6.2 Stromaufteilungskoeffizient k_c, vereinfachter Ansatz . . . 155
Tabelle 5.7.1 Ringabstände und Tiefen der Potentialsteuerung . . . 161
Tabelle 5.7.2.1 Schritt-Körperspannungsgrenzwerte nach unterschiedlichen Quellen . . . 165
Tabelle 5.7.2.2 Simulationsergebnisse mit und ohne Berücksichtigung der Rückwirkung des Menschen auf die Schrittspannung . 168
Tabelle 5.8.1 Vereinbare Werkstoffkominationen von Fangeinrichtungen und Ableitungen untereinander und mit Konstruktionsteilen . . . 170
Tabelle 5.9.1 Maßgebende Ströme für die Messung von Erdungsanlagen entsprechend Tabelle 1 der DIN EN 50522 (VDE 0101-2) . . 175
Tabelle 5.9.2 Kurzschluss-Stromdichte G (Temperatur max. 200 °C) . . . 176
Tabelle 6.1.1.1 Mindestmaße von Leitern, die verschiedene Potentialausgleichsschienen miteinander oder mit der Erdungsanlage verbinden (nach DIN EN 62305-3, Tabelle 8) . . . 184
Tabelle 6.1.1.2 Mindestmaße von Leitern, die innere metallene Installationen mit der Potentialausgleichsschiene verbinden (nach DIN EN 62305-3, Tabelle 9) . . . 184
Tabelle 7.2.1 SPM Managementplan für neue Gebäude und für umfassende Änderungen der Konstruktion oder der Nutzung von Gebäuden nach DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4) . . 194
Tabelle 7.3.1 Magnetische Dämpfung von Gittern bei Naheinschlag nach DIN EN 62305-4 (VDE 0185-305-4) . . . 197
Tabelle 7.3.1.1 Spezifischer Schirmwiderstand ρ_c für unterschiedliche Materialien . . . 201

Tabelle 7.3.1.2 Spannungsfestigkeit 202
Tabelle 7.5.1 Mindestquerschnitte entsprechend DIN EN 62305-3 (VDE 0185-305-3), Tabelle 8 206
Tabelle 7.5.2.1 Geforderte Blitzstoßstromtragfähigkeit von Überspannungs-Schutzeinrichtungen SPD Typ 1 in Abhängigkeit des Gefährdungspegels und der Art der Niederspannungsverbraucheranlage (s. auch VDN Richtlinie 2004-08: „Überspannungs-Schutzeinrichtungen Typ 1. Richtlinie für den Einsatz von Überspannungs-Schutzeinrichtungen (ÜSE) Typ1 in Hauptstromversorgungssystemen“ und DIN VDE 0100-534) 208
Tabelle 7.7.1.1 Mindestquerschnitte für innere Potentialausgleichsverbindungen 212
Tabelle 7.8.2.1 Symbole der Ableiterklasse 218
Tabelle 7.8.2.2 Zuordnung der Ableiterklassen zu LPZ-Übergängen 219
Tabelle 8.1.1 Klassifizierung der Schutzgeräte nach VDE, IEC und EN . . 222
Tabelle 8.1.7.1 Materialbeiwert k für Kupfer- und Aluminiumleiter mit verschiedenen Isolierwerkstoffen (nach IEC 60364-4-43) 243
Tabelle 8.1.7.2 Stoßstromtragfähigkeit von NH-Sicherungen bei einer Stoßstrombelastung 8/20 µs 245
Tabelle 8.2.1 Typenbezeichnung der BXT Ableiter-Module 250
Tabelle 8.2.2 Maximale Nennströme der Ableiter-Module BXT 251
Tabelle 8.2.3 Auswahlkriterien für elektrische Temperaturmesseinrichtung. 255
Tabelle 8.2.5.1 Trennung von Telekommunikationsleitungen und Niederspannungsleitungen entsprechend DIN EN 50174-2, Tabelle 4: „Mindesttrennabstände s“ 266
Tabelle 9.2.1 Mindestabmessungen von Erdleitern zur Verbindung von Standleuchten in der Blitzschutzzone 0_A untereinander und mit Gebäude-Erdungsanlagen 275
Tabelle 9.3.1 DEHNiso-Combi Set 280
Tabelle 9.6.1 Beispiel Überspannungsschutzgeräte für eine Anlage mit Melkroboter (technische Daten des Herstellers sind zu beachten). 301
Tabelle 9.7.1 Überspannungsschutzbeschaltung in Bild 9.7.1 bis 9.7.3 . 306
Tabelle 9.9.1 Kombi- und Überspannungs-Ableiter in den Bildern 9.9.1 bis 9.9.3 315
Tabelle 9.12.1 Maximal möglicher Spannungsfall auf der Busleitung . . . 330
Tabelle 9.12.2 Maximale Baudrate in Abhängigkeit der Busteilnehmer- (hier Zähler) und der Leitungskapazität 330
Tabelle 9.12.3 Angaben über Kapazitäten und Längsimpedanzen von Überspannungsschutzgeräten 330
Tabelle 9.13.1 Blitzstrom- und Überspannungs-Ableiter im Einsatzbereich des eigensicheren Profibus PA seine PROFIBUS FMS und DP 336
Tabelle 9.16.1 Schutz einer WEA (Blitzschutzzonen-Konzept nach Bild 9.16.4) * zugehöriges Basisteil BXT BAS, Art.-Nr. 920 300 353
Tabelle 9.17.1 Blitz- und Überspannungsschutz für Mobilfunkanlagen . . 362
Tabelle 9.18.1 Auswahl des Mindestableitvermögens von spannungsbegrenzenden SPD Typ 1 (Varistoren) oder kombinierten SPD Typ 1 (Reihenschaltung von Varistoren und Funkenstrecken); entsprechend Beiblatt 5 der DIN EN 62305-3 (Tabelle 2) 369
Tabelle 9.18.2 Auswahl des Mindestableitvermögens von spannungsschaltenden SPD Typ 1 (Funkenstrecken) oder kombinierten SPD Typ 1 (Parallelschaltung von Varistoren und Funkenstrecken); entsprechend Beiblatt 5 der DIN EN 62305-3 (Tabelle 3). 370
Tabelle 9.19.1 Mindestableitvermögen von spannungsbegrenzenden oder kombinierten SPD Typ 1 und spannungsschaltenden SPD Typ1 für eine PV-Freiflächenanlage bei LPL III; entsprechend Beiblatt 5 der DIN EN 62305-3 (Tabelle D.1) . . 384
Tabelle 9.20.1 Transceiver (gebräuchliche in Fettdruck) mit ihren Übertragungsraten und max. zulässigen Netzausdehnungen . . 389
Tabelle 9.20.2 Kapazitätswerte von Transceivern in FTT- / LPT-Netzwerken 389
Tabelle 9.20.3 Kapazitätswerte von Überspannungsschutzgeräten 389
Tabelle 9.32.1 Anordnung der Fangeinrichtungen gemäß der Blitzschutzklasse 442
Tabelle 9.32.2 Beispiel für einen Temperaturmessumformer 445
Tabelle 9.33.1 Empfohlene Komponenten zum Blitzschutz-Potentialausgleich gemäß Bild 9.33.6 452

C. Abkürzungen

3G	Mobilfunkstandard der dritten Generation (UMTS)
4G	Mobilfunkstandard der vierten Generation (LTE)
ABB	Ausschuss Blitzschutz und Blitzforschung im VDE
AC	Alternating Current – Wechselstrom
ALDIS	Austrian Lightning Detection & Information System (österreichisches Blitzortungssystem)
APL	Abschlusspunkt Linientechnik
ATEX	Leitlinien der Europäischen Union auf dem Gebiet des Explosionsschutzes (frz. *AT*mosphère *EX*plosive)
ATV	Allgemeine Technische Vertragsbedingungen
BHKW	Blockheizkraftwerk
BK	Bereichskoppler (KNX)
BMA	Brandmeldeanlage
BMZ	Brandmeldezentrale
BPA	Blitzschutz-Potentialausgleich
DC	Direct Current – Gleichstrom
DCF	Zeitsignal für funkgesteuerte Uhren in Deutschland
DDC	Direct Digital Control – Regelgerät für die Gebäudeautomation
DIN	Deutsches Institut für Normung
ELA	Elektroakustische Anlage
EMA	Einbruchmeldeanlage
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
EMZ	Einbruchmeldezentrale
ERP	Erdungsbezugspunkt
EV	Etagenverteiler
EVG	elektronische Vorschaltgeräte
Ex	Bereich in dem explosionsfähige Atmosphären auftreten können
Ex(i)	Eigensicherheit
FEM	Finite Elemente Methode
FTT	Freie-Topologie-Transceiver
GA	Gebäudeautomation
GAK	Generatoranschlusskasten
GDV	Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
gG	Ganzbereichsschutz für allgemeine Anwendung (Sicherung)
gL	Ganzbereichs-Kabel- und -Leitungsschutz (Sicherung)
GMA	Gefahrenmeldeanlage
GPS	Global Positioning System – Globales Positionssystem
GV	Gebäudeverteiler
HAK	Hausanschlusskasten
HV	Hauptversorgung oder High Voltage
HVI	High Voltage Insulation
IEC	International Electrotechnical Commission
ISDN	Integrated Services Digital Network – (dienste-integrierendes digitales Netz)
KEMA	Keuring van Elektrotechnische Materialen te Arnhem (Inspektion elektrischer Betriebsmittel in Arnhem)
KNX	Standard für die Gebäudeautomation
LAN	Local Area Network – Lokales Netzwerk
LBO	Landesbauordnung
LED	Light-Emitting-Diode – Leuchtdiode
LEMP	Lightning Electromagnetic Pulse – elektromagnetischer Blitzimpuls
LK	Linienkoppler (KNX)
LON	Local Operating Network
LPL	Lightning Protection Level – Gefährdungspegel
LPS	Lightning Protection System – Blitzschutzsystem
LPT	Link-Power-Transceiver
LPZ	Lightning Protection Zone – Blitzschutzzone
LTE	Long Term Evolution (Mobilfunkstandard)
LV	Low Voltage
LWL	Lichtwellenleiter
MOV	Metalloxid-Varistor
MSR	Mess-, Steuer- und Regeltechnik
NS	Niederspannung
NSHV	Niederspannungs-Hauptverteilung
NT	Netzabschlussgerät
NTBA	Netzabschlussgerät eines ISDN Basisanschlusses
PAS	Potentialausgleichsschiene
PE	Schutzleiter
PEN	Schutz- und Neutralleiter
PSU	Power Supply Unit – Stromversorgung

PV	Photovoltaik
RBS	Radio Base Station – Funksende-/-empfangseinrichtung
RCD	Residual Currentprotective Device – Fehlerstromschutzeinrichtung
RRH	Remote Radio Head
RRU	Remote Radio Unit
RWA	Rauch- und Wärmeabzuganlage
SCI	Short Circuit Interruption
SELV	Schutzkleinspannung
SEMP	Switching Electromagnetic Pulse – elektromagnetischer Schaltimpuls
SK	Schutzklasse
SPD	Surge Protective Device – Überspannungsschutzgerät
SPM	Surge Protection Measures – Überspannungsschutzmaßnahmen
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SV	Standortverteiler
SV/DR	Spannungsversorgung / Drossel (KNX)
TA	Informationstechnischer Anschluss
TGM	Technisches Gebäudemanagement
TK	Telekommunikation
TOV	Temporary Overvoltage – zeitweilige Überspannung
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System (Mobilfunkstandard)
ÜsAg	Gasentladungsableiter
ÜSE	Überspannungs-Schutzeinrichtung
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
UV	Unterversorgung
VDB	Verband Deutscher Blitzschutzfirmen e.V.
VDE	Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik e.V.
VDEW	Verband der Elektrizitätswirtschaft e.V.
VDN	Verband der Netzbetreiber e.V. beim VDEW
VDS	Unternehmen des Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV) mit den Bereichen Brandschutz, Security und Bildungszentrum & Verlag
VNB	Verteilnetzbetreiber
VOB	Verdingungsordnung für Bauleistungen
VPE	Vernetztes Polyethylen
WEA	Windenergieanlage
ZLT	Zentrale Leittechnik
ZVDH	Zentralverband des deutschen Dachdeckerhandwerkes

D. Technische Symbole

Symbol	Erklärung	Symbol	Erklärung	Symbol	Erklärung
	Blitzschutz-Potentialausgleich; Blitzstrom-Ableiter		Potentialausgleichschiene		PE-Leiter
	örtlicher Potentialausgleich; Überspannungs-Ableiter		Sicherung allgemein		N-Leiter
	Blitzschutz-Potentialausgleich; Blitzstrom-Ableiter Yellow/Line TYPE 1		Widerstand; Entkopplungselement allgemein		PEN-Leiter
	örtlicher Potentialausgleich; Überspannungs-Ableiter Yellow/Line TYPE 2 - 4		Widerstand veränderbar		Erde allgemein
	Blitzschutz-Potentialausgleich; Blitzstrom-Ableiter (SPD Typ 1)		temperaturabhängiger Widerstand, veränderbar		Trennstelle
	örtlicher Potentialausgleich; Überspannungs-Ableiter (SPD Typ 2, SPD Typ 3)		Diode		Schnittstelle
	Blitzstrom-Ableiter für den Ex-Bereich		Leuchtdiode (LED)		Anschlussklemme
	Überspannungs-Ableiter für den Ex-Bereich		Durchbruch-Diode bidirektional	M	Motor
	kombiniertes Überspannungs-Schutzgerät für energie- und informationstech. Systeme		Kondensator	G	Generator
	Mittelspannungsableiter		Signallampe	ϑ	Temperaturfühler
	Trennfunkenstrecke		Transformator		Buchse und Stecker
	Varistor		Induktivität (Drossel, Wicklung, Spule)		Schutzkontaktsteckdose
	Gasentladungsableiter (einfach)		Gehäuse		Antennensteckdose
	LifeCheck-Ableiterprüfung		Zähler		Schalter / Taster
LPZ	Lightning Protection Zone; Blitzschutzzone		Wechselrichter		Sicherungstrennschalter
Ex-Zone	explosionsgefährdeter Bereich		Photovoltaik-Modul		Leitungsschutzschalter
EX	Ex-Bereich		geschirmtes kabel	3	Einpolige Darstellung der Leiter durch Zahl / Striche

Symbole der Ableiterklasse		
Eigenschaft	**Einzel-Symbol**	**Erklärung**
Ableitvermögen eines Ableiters (nach Kategorien aus DIN EN 61643-21)	TYPE 1	Impuls D1 (10/350 µs), Blitzstoßstrom ≥ 2,5 kA/Ader bzw. ≥ 5 kA gesamt • übertrifft das Ableitvermögen von TYPE 2 – TYPE 4
	TYPE 2	Impuls C2 (8/20 µs), erhöhte Stoßbelastung ≥ 1 kA/Ader bzw. ≥ 2 kA gesamt • übertrifft das Ableitvermögen von TYPE 3 – TYPE 4
	TYPE 3	Impuls C1 (8/20 µs), Stoßbelastung ≥ 0,25 kA/Ader bzw. ≥ 0,5 kA gesamt • übertrifft das Ableitvermögen von TYPE 4
	TYPE 4	Belastung < TYPE 3
Schutzwirkung eines Ableiters (Begrenzung unterhalb der Prüfschärfegrade nach DIN EN 61000-4-5)	P1	Geforderter Prüfschärfegrad des Endgeräts: 1 oder höher
	P2	Geforderter Prüfschärfegrad des Endgeräts: 2 oder höher
	P3	Geforderter Prüfschärfegrad des Endgeräts: 3 oder höher
	P4	Geforderter Prüfschärfegrad des Endgeräts: 4
Energetische Koordination (zu einem weiteren Ableiter der Yellow/Line)	⊕	Ableiter enthält eine Entkopplungsimpedanz und ist geeignet für die Koordination mit einem Ableiter, der mit ❍ gekennzeichnet ist
	❍	Ableiter, geeignet für die Koordination mit einem Ableiter, der eine Entkopplungsimpedanz enthält ⊕

Zuordnung der Ableiterklassen zu LPZ-Übergängen				
Leitungsverlegung	**Ableiterlösung**	**Beispielhafte Zuordnung von Ableiterklassen zu LPZ-Übergängen**		
		nach LPZ 1	**nach LPZ 2**	**nach LPZ 3**
Aus LPZ 0_A	Kombi-Ableiter	TYPE 1 P1		
	Kaskadierung	TYPE 1 ⊕	❍ TYPE 2 P1	
		TYPE 1 ❍	⊕ TYPE 3 P1	
Aus LPZ 0_B	Kombi-Ableiter	TYPE 1 P1		
	Überspannungs-Ableiter	TYPE 2 P1 oder ❍ TYPE 2 P1		
	Kaskadierung	TYPE 2 ❍	⊕ TYPE 3	
Aus LPZ 1	Kombi-Ableiter	–	TYPE 1 P1	
	Überspannungs-Ableiter	–	TYPE 2 P1 oder ❍ TYPE 2 P1	
Aus LPZ 2	Kombi-Ableiter	–	TYPE 1 P1	
	Überspannungs-Ableiter	–	–	TYPE 2 P1
		–	–	TYPE 3 P1
		–	–	TYPE 4 P1

E. Index

A

Ableiterklasse, Yellow/Line 211, 217–219, 254, 325
Ableitung 70, 79, 83, 89–91, **97**–105, 109–112, 115, 131, 138, 153, 155–157, 159–160, 162–164, 170, 172, 185, 223, 226, 281, 283, 348–349, 398, 403, 422, 424, 442, 451, 455–456
Ableitung am Regenfallrohr 101
Ableitungseinrichtungen Innenhöfe 102
Abnahmeprüfung 59, 61
Abstände zwischen Ableitungen 98
Abwärtsblitz 15, 25
actiVsense 376
ADSL-Anschluss 340
Aggressive Abfälle 153
Allgemeine Bestimmungen 28, 263
Anlageninstandhaltung 267
Anode 146–151
Anschlussfahne 114, 130, 133, 141, 166, 284
Anschlusslängen 238, 240, 242, 247
Anschlussquerschnitt 362
Anschluss-Set Seilanlage 96–97
Antenne 76, 109, 359, 401–403
Antennenanlage 185, 296–298, 360
Anwendungsneutrale Systemverkabelung 258
Anzahl der Ableitungen 61, 97–98, 132, 155, 158, 291, 369–370, 384
Äquipotentialfläche des Fundamenterders 155
Äquivalente Einfangfläche 37
Aufwärtsblitz 16
Aufzugsanlagen 413
Ausbreitungswiderstand 122–130, 140
Ausgleichsstrom 186, 202, 207, 272, 324
Auslenkung der Fangstangenspitze 94
Ausschaltselektivität 246, 283, 360
Ausschmelzung 78
Außenleuchten 274–276
Äußere Zonen 191
äußerer Blitzschutz **64**, 73, 79, 89–90, 96, 116–118, 252, 280, 290, 336, 360, 362, 368, 373, 375, 394, 401, 441, 449–451
Auswahl von Blitzschutzmaßnahmen 49, 52
Auswahlkriterien 251, 255–256, 262, 264, 444
Auswahlkriterien für elektrische Temperaturmesseinrichtung 255
Auswahlkriterien für SPD – BLITZDUCTOR XT 262

B

Backup-Schutz 244
Baubegleitende Prüfung 59, 61
Baurechtliche Vorgaben 29–30
Baustahlmatte 424
Bauteile für den äußeren Blitzschutz eines Wohnhauses 117
Bauteile für weiche Bedachung 81
Bedachung 28, 74, 80–82
Begehbare und befahrbare Dächer 84
Begrenzungsspannung 239, 250–251
Bemessungsspannung 216, 221, 355, 384
Bemessungs-Stehstoßspannung 40–41, 54, 211, 354
Bemessungsstrom 174, 244, 247, 411
Berechnung von L_0 und C_0 261
Berechnungshilfen 52
Berührungsspannung 122, **159–160**, 162–164, 179, 183, 223, 236, 275, 399, 401, 403, 422, 457
Besichtigen 59–60
Besonderheiten bei der Installation von SPDs 264
Bewehrter Beton 40–41, 133, 160
Bezugselektrode 147
Bezugserde 121–122, 129
Bezugspotential 108, 147, 355
Biogasanlage 111, 279–280, 284–286
Blankes Kupfer 151–152, 178
Blitzbeeinflussung in IT-Verkabelung 259
Blitzdichte 36
BLITZDUCTOR 186–187, 202–203, 210, 214, 248–249, 251–257, 262–264, 268–269, 272, 284, 286–287, 290, 292, 301, 306, 315, 330–331, 336, 353, 355–356, 362, 372–376, 381–382, 386–387, 402, 437, 458
Blitzentladung **15–17**, 20, 33, 47, 80, 191, 367, 441, 447
Blitzkugel 58, 63, **66**–70, 74, 79, 84, 88–89, 92, 276, 280, 348, 455
Blitzkugelverfahren 65, 67, 69, 82, 88, 92, 103, 347–348, 374, 379, 441, 455
Blitzortung 15
Blitzschutz eines Wohnhauses 117
Blitzschutz für Metalldach 78–80
Blitzschutz-Fachkraft 10, 58–59, 132, 194, 423
Blitzschutz-Potentialausgleich 10, 41–42, 49, 55, 60, 63, 84, 90, 118, 131, 155, 182, 185–187, 205–207, 209–211, 241, 247, 276, 283, 291–292, 295, 306, 318–319, 330, 336, 345, 351, 368, 376, 379, 381, 390, 394, 397–398, 403, 405, 407, 431, 437–438, 447, 451–453
Blitzschutzerdung 121, 145, 164
Blitzschutzklasse 25, 27, 39, 90, 158, 208, 348–349, 369–370, 384, 397–398, 428, 441–442, 455
Blitzschutzmast 155, 424
Blitzschutzsystem 10, 27, 38–40, 49, 52, 54–61, **62–63**, 67, 82, 89, 96, 98, 100, 106, 122, 138, 157, 159, 172–173, 213, 260, 280, 283, 291, 336, 339, 345, 347–349, 367–368, 379, 393, 422–423, 441
Blitzschutzzone 11, 58, 187, **191–194**, 198, 206, 211, 221, 272, 275–277, 291, 347, 351, 354, 416–418, 441
Blitzschutzzonen-Konzept 63, 184, 187, **191–194**, 252, 256, 291, 293, 347, 351, 353, 355–356, 441
Blitzstoßstrom 22, 215, 218, 222, 225, 244, 246, 347, 349, 431
Blitzstoßstrom I_{imp} 222

Blitzstoßstromtragfähigkeit 208, 369, 384
Blitzstrom 17, 19, 21, 23, 24–25
Blitzstrom-Ableiter 122, 207, 209, 211–212, 214–215, 217, 221–222, 225, 240, 243, 252, 256, 276, 283, 285, 330, 336, 351, 354, 362–363, 376, 381, 402, 418, 431, 438
Blitzstrom-Ableiter (SPD Typ 1) 351, 362–363, 381, 431
Blitzstrom-Ableitvermögen 447, 451
Blitzstromamplitude 17, 165, 185
Blitzstromparameter 23–25, 67, 185
Blitzstromtragfähiges Schirmanschlusssystem 187
Blitzstromverlauf 15, 17, 23
Brandmeldeanlage 313–315, 394, 413
Bruchsicherheit 94–95
Bruchsicherheit der Fangstange 94

C

CUI-Leitung 163–164, 423

D

Dachaufbauten 39, 68–71, 74–75, 77, 85–87, 91–92, 107–109, 172, 252, 291, 415
Dachaufbauten aus elektrisch nicht leitendem Material 75
Dachaufbauten aus Metall ohne leitfähige Verbindung 75
Dachleitungshalter 77–78, 116–120, 449
Dachrinne 75, 99–100, 156
Dachrinnenheizung 427–429
Dachüberragende Einrichtungen 80
Datenleitungen 185, 205–207, 212, 324–325, 355–356, 368, 376, 387
Datenübertragungsgeschwindigkeit 253
DEHN Air-Termination Tool 52, 58
DEHN Distance Tool 52, 55, 57, 159, 368
DEHN Earthing Tool 52, 58
DEHN Risk Tool 52, 54–55
DEHNbloc 184, 215, 240, 272, 283, 285, 353, 355, 402, 452
DEHNflex 213, 296, 298–299, 301, 326, 344, 402–403
DEHNgrip 117–118
DEHNguard 213, 215, 239–240, 244, 247, 272, 283, 285, 290, 306, 315, 326, 331–332, 336, 343, 353–355, 364, 370–374, 376, 382, 386, 401–402, 432–433, 437, 452, 458
DEHNrapid 326
DEHNshield 344, 363, 375–376, 386–387, 431–434
DEHNsnap 117–119, 121
DEHNsupport 52–53, 55, 58, 159, 367, 379, 450
DEHNvenCI 211, 247, 285
DEHNventil 184, 209–211, 215, 242, 244, 246, 283, 285, 291–293, 301, 306, 326, 331, 336, 373, 375–377, 381–382, 387, 398, 401–403, 432–433, 452, 458–459
Dreibeinstativ 86, 88–89, 169, 172, 451
Durchgängigkeit der Verbindung 60, 101
Durchhang der Blitzkugel 58, 68–70, 280

E

Eigensicher 260–264, 292, 335–336, 441–447, 452
Eigensicherer Messkreis 250, 260–264, 292, 441–447, 452
Eigensicheres SPD 262, 264
Einbruchmeldeanlagen 313
Eingangsschaltung 249, 253, 255
Einseitige indirekte Schirmerdung 202
Einteilung in Explosionsgruppen 262
Elektro-geometrisches Modell 65
Elektroakustische Anlagen (ELA) 309–311
Elektrochemische Korrosion 147, 149, 179
Elektrode 43, 147–150
Elektrofachkraft 132, 241, 351
Elektrolyt 146–147, 150
Elektromagnetische Schirmung 199
Elektromagnetisches Feld 102, 104, 164, 191–192, 195–201, 203, 347
Elektropotential 147
Enddurchschlagstrecke 66–67
Endgeräteschutz 211, 214, 221, 253, 265, 283, 363–364, 370, 431
Energetische Koordination 211, 216, 218, 223, 257, 362, 364, 371, 431
Energieversorgungsanlage 185, 206, 210, 212, 214, 221, 283, 379, 449
Erdanschluss 101, 206, 242
Erdanschluss Metallfasade 101
Erde-Wolke-Blitz 16–17
Erder bei felsigem Boden 145
Erder bei Gebäuden mit Schwarzer Wanne 139
Erder bei Gebäuden mit Weißer Wanne 137–139
Erder Typ A 131, 144
Erder Typ B 131–132, 143, 156
Erderkorrosion 146–153
Erdoberflächenpotential 122, 129, 173
Erdseitige Anschlussleitung 242
Erdung 12, 31–32, 39–40, 42–43, 91, 99, 103, **121**, 145–146, 153, 172–173, 175, 178, 203, 212, 224, 263–264, 297, 324, 349, 368, 381, 407, 443, 447
Erdungsanlage 10, 17, 19, 37, 57–58, 60–61, 63, 83, 90–91, 97, 99, 101, 103, 106–111, **121**–122, 124, 126, 129–132, 141–143, 145–146, 155–156, 158, 160, 163, 166–167, 173–174, 176–179, 182, 184, 193, 199, 208–209, 261, 264, 272, 282, 284, 291, 295, 298, 336, 348–350, 376, 379–382, 393–394, 417, 422, 424, 434, 441–442, 446–447
Erdungsanlage für den Potentialausgleich 182
Erdungsfestpunkt 114, 134, 204, 206, 212, 350
Erdungsleitung 121, 182, 185, 447
Erdungsspannung 122, 125, 128–129, 160, 173–175, 182
Errichten von Ableitungen 99
Errichternorm 9–11
Ethernet 260, 284, 322–323, 340, 355–356, 377, 386–387
Ex-Bereich 261–262, 336, 441, 443, 447
Ex-Zonen 33, 110–111, 260, 283, 394, 442–443

Explosion 33, 38–39, 44, 54, 110, 246, 262, 348
Explosionsgefährdete Bereiche 111, 441
Explosionsgruppen 260, 262

F

Falzpfannen 119
Falzziegel 119
Fangeinrichtung 10, 56–57, 63, **65**, 68–70, 73–77, 79–89, 92, 96–97, 99, 101–103, 105–107, 109–111, 116, 153, 155–156, 163, 169, 172, 186, 280, 282–283, 297, 306, 310, 347–349, 360, 379, 381–382, 398, 415–417, 422, 424, 442
Fangeinrichtung auf Metalldach 78–80
Fangeinrichtung auf Satteldach 75
Fangeinrichtung für begrünte Dächer und Flachdächer 84
Fangeinrichtung für Gebäude mit weicher 74, 80–81
Fangeinrichtung für Kirchtürme und Kirchen 89
Fangeinrichtung für Windenergieanlagen 90–91, 349
Fangleitung 71, 73, 75, 77–78, 82, 84–85, 89, 103, 170, 172, 422
Fangspitze 80, 112, 280, 282, 360, 398, 451, 459
Fangstange 56, **69**, 71–72, 75–76, 80, 84, 86–87, 92–95, 103, 106, 113–114, 116–117, 154–155, 158–159, 169, 171, 297, 306, 369, 373, 375, 381, 415–417, 422, 450, 456–457
Fangstangenhöhe 58, 69, 71, 86, 94, 172
Fast Ethernet 260, 322–323
Fehlerstromschutzeinrichtung 224–225, 232
Fehlerstromschutzschalter 225, 457
FEM-Rechenmodell 94
Fermenter 112, 279–281
Fernsehsignale 32
Feuerverzinkter Stahl 113, 148, 151–152, 178
First- und Gratsteine 117–118
Flache Ziegel oder Platten 119
Folgestrombegrenzung 222–223, 243, 246–247, 283, 285, 355, 360
Folgestromlöschvermögen 222, 233, 236
Form von Fangleitungen, Fangstangen, Erdeinführungen und Ableitungen 113
Freistehende Fangstange 92, 95
Frequenzumrichter 270–272, 413
Fundamente mit erhöhtem Erdübergangswiderstand 137–139
Fundamenterder 31, 58–59, 61, 91, 101, 114, 121–122, 126, 128, **130–139**, 141–143, 151, 156, 158, 160–162, 173, 181–182, 348–349, 351, 398
Fundamenterder mit Anschlussfahne 133
Fundamentplatten aus Faserbeton 143
Funksende-/-empfangssysteme 359–365
Funkübertragungstechnik 359–365

G

Galvanische Trennung 257, 296, 368
Galvanisches Element 147–148
Gärbehälter 279, 282–283
Gasentladungsableiter 251, 253
Gebäude mit Flachdach 77
Gebäudeeintritt 90, **185–186**, 201–202, 206, 212, 276, 290–291, 293, 306, 318, 376, 394, 401, 403, 427–428, 431, 438
Gebäudemanagementtechnik 257
Gefährdungspegel **23–24**, 39–42, 61, 63, 66–67, 172, 185, 194, 196–197, 208, 233, 347–348, 367
Gefahrenmeldeanlagen 12, 312–313, 315
Gerader Oberflächenerder 125
Getrennte Fangeinrichtung 86–89, 109, 283, 398
Getrennter äußerer Blitzschutz 73, 449–451
Gitterförmiger Schirm 41, 195–198
Glasschaumschotter 141
Golfanlagen 400–405, 420–425
Grenzfrequenz 251, 253

H

Häufigkeit von Blitzeinschlägen 15, 34-36
Haupterdungsschiene (HES) 54, 131, 173, 176, 178, **181**, 295, 297–298, 317, 351, 381, 390, 407
Hauptpotentialausgleich 185, 187, 241, 325
Hauptstromversorgungssystem 185, 319
Herstellerprüfung 168
Höchste Dauerspannung U_C 221–222, 271
HVI 83, 98, **103–112**, 186, 281–282, 362, 376, 398, 449–451
HVI-Leitung 83, **103–112**, 186, 281–282, 362, 376, 398, 449–451
HVI-light-Leitung 105–106, 108, 398
HVI-long-Leitung 105, 107
HVI-power-Leitung 105, 107–108
HVI-strip 108–109

I

Igeldach 79
Induktionsfaktor 153–154, 158
Induktive Einkopplung 164, 201, 203, 324, 379
Industriegebäude 118, 231
Induzierte Spannung 20, 35, 42, 111, 153, 164, 213, 260, 280, 309, 351, 367, 383, 459
Informationstechnik 13, 32, 83, 96, 132, 185, 210–211, 214, 217, 248, 258, 267–268, 286, 291, 315, 325, 355, 401, 423, 449
Innenhöfe 102
Innere Ableitungen 101–102, 157
Innere Zonen 192
Innerer Blitzschutz 49, 180, 451, 457
Integrierte Ableitervorsicherung 231, 239–240, **247–248**, 285
interaktive Dienste 32, 294
ISDN-Anschluss 339–340
Isolationsfestigkeit 38, 203, 250, 257, 263–264, 444–445
IT-System 224, **236**–238

K

Kabelführungssysteme 267
Kabelnetz 296
Kabelschirmung 174, 201, 266
Kathode 146–147, 149–151

Kegelförmiger Schutzbereich 70
Kein Schmelzen 244
Kippsicherheit 93, 95
Kirchen 89–90, 159, 406–407
Kläranlage 289, 291, 293
Knotenpunkt-Potential-Verfahren 55–56, 159
KNX 201, 316–320
Kombi-Ableiter 209, 211–212, 214–215, 217, 219, 222, 243–244, 253, 255–256, 276, 283, 285, 287, 291, 306, 315, 320, 331, 344–345, 355, 360, 363, 370, 376, 387, 398, 401–403, 409, 428, 431, 459
Kombination von Erdern 126
Kombinierte Blitzstrom- und Überspannungs-Ableiter 184, 210, 216, 284, 360, 369–370, 384, 457
Konzentrationselement 148–149, 179
Koordination 12, 195, 211, **214–218**, 223, 233, 254, 257, 360, 362, 364, 371, 374, 431, 445, 447
Koordination der Schutzmaßnahmen 214
Korrosion 11, 31, 99, 109, 137, 143, **146–151**, 153, 173, 179, 351, 380, 457
Korrosionselement 147, 150
Korrosionsschutz 114, 130, 1**46–147**, 153, 182, 351, 368, 394
Kupfersulfat-Elektrode 147–150
Kurzschlussfestigkeit 222, 243
Kurzschlussstrom 176, 222–223, 233, 243, 247, 283, 383, 445

L

Ladung 15, 17, 20–21, 23, 25, 66, 149, 222
Lagesicherung 77
Landesbauordnung 27, 394
Landwirtschaft 300–301, 409
Längsspannung 257, 260, 445
Längsüberspannung 253
Leader 15–16, 65
LED 342–345
Leitermaterialien 22, 98
Leitungshalter für Firstziegel 118–119
Leitungshalter für Flachdächer 77
Leitungsschutzsicherung 246
LEMP 9, 15, 49, 190–191, 194–195, 198, 219, 290, 357
LEMP-Schutz-Management 194
Lichtbänder 408–409, 411
Lichtwellenleiter 185–186, 258, 260, 323–325, 359
LifeCheck 268–269, 287, 355–356
LON (Local Operating Network) 388–389
LPS (lightning protection system) 23, 39–41, 49, 55–56, 58, 60, **63**, 74, 153–154, 158, 184, 347–349, 442
LPZ (lightning protection zone) 11, 40, 158, 187–188, **191–192**, 194–198, 203–214, 217, 219, 221, 272, 275–276, 290–291, 315, 317, 347, 351, 354–356, 416–418, 431, 434, 437–438, 441, 443–444, 447, 451

M

M-Bus 257, 328–332
Magnetfeld 195, 197–198
Magnetisches Feld 102, 104, 164, 191–192, 195–201, 203
Magnetische Schirmdämpfung 195, 198
Maschenförmige Fangeinrichtung 69–70, 75–77, 85
Maschenverfahren 65, 69, 77
Maße für Ringerder 114
Materialfaktor 103, 153–154, 176
Mess-Steuer-Regelanlagen 256
Messen 60–61, 148, 150, 256
Messstellen 12, 31, 60, 101
Metalldach 74, 79–80, 159, 424
Metalldach mit Rundstehfalz 80
Mindestdicke von Metallblechen 74
Mindestquerschnitt von Fangleitungen, Fangstangen, Erdeinführungen und Ableitungen 113
Mobilfunkanlage 110, 162, 358–360
Mobilfunksysteme (4G/LTE) 358-365
Montagemaße für den äußeren Blitzschutz 113

N

Natürliche Bestandteile der Ableitung 100, 160
Natürliche Bestandteile von Fangeinrichtungen 74
Natürlicher Erder 121
Nennableitstoßstrom I_n 222
Nennstrom I_L 251
Netzeinspeisung 283, 459
Nicht getrennte Fangeinrichtung 73
Nicht getrenntes Blitzschutzsystem 73, 98
Nichtrostende Stähle 151, 179
Niederspannung 12, 32, 173, 176, 178
Niederspannungs-Hauptverteilung 177, 398, 401
Niederspannungsanlage 176, 209
Niederspannungsbetriebserdung 146
Niederspannungshauptschalter 176
Niederspannungsleitung 390
Niederspannungssystem 91, 206, 217, 374
Niederspannungsverbraucheranlage 181–182, 185, 208, 222, 241, 293, 447
Niederspannungsverteilnetz 175
Niederspannungsverteilung 176
Niederspannungsverteilungssystem 224
NIRO (V4A) 85, 98, 114–119, 136, 141–145, 153, 161, 169–170, 176, 179, 183, 275, 280, 284, 350–351, 362, 368, 380, 382, 424, 456
NTBA 284, 340
NTPM 340

O

Oberflächenerder 121, 125–128, 130–131, 145, 178
Optokoppler 249, 257

P

Parabolantenne 76
Parallel geschaltete Tiefenerder 128
Parallele Anschlusstechnik 238
Perimeterdämmung 139–141
Phasenseitige Anschlussleitung 241
Photovoltaikanlagen Dach 76, 77, 87, 366–377
Photovoltaikanlagen Freifläche 378–387
Potentialanhebung 19, 173, 261, 339
Potentialausgleich 10, 31–33, 39–42, 49, 55, 60, 63, 76, 84, 90, 99, 107–108, 112, 114, 118, **122**, 129, 131–132, 137, 146, 155, 160, 173, **180–189**, 193, 199, 202–203, 205–207, 209–214, 241, 247–248, 263–265, 276, 283, 291–292, 295–298, 306, 318–319, 324, 326, 330, 336, 345, 348, 351, 355, 368, 376, 379, 381–382, 390, 394, 397–398, 403, 405, 407, 421, 431, 437–438, 442, 447, 451–453, 456–457, 459
Potentialausgleichsleiter 137–139, 141, 241, 291, 297, 386, 447
Potentialausgleichsnetzwerk 49, 196, 199, 201, 203–205
Potentialausgleichsschiene (PAS) 130, 139, **182–184**, 186, 204, 206–207, 241, 266, 284, 326, 350, 362
Potentialsteuerung 39, 49, 55, **121–122**, 131, 143, 146, 159–162, 173, 175, 275, 399, 421, 424
Potentialtrichter 17, 422
Potentialwerte und Abtragsraten gebräuchlicher Metalle 148
Primär-Multiplexanschluss 340
PROFIBUS 286, 292, 334–336
Prüfbericht 61
Prüfspannungswelle 250
Prüfung des Blitzschutzsystems 58
Prüfung des LEMP-Schutzes 219
PV-Anlagen 32, 87, 105, 366–377, 378–387

Q

Querspannung 257, 261, 445
Querüberspannung 253

R

Radius der Blitzkugel 63, 66–68, 70, 88
RCD (residual current device) 225–226, 231–233, 236–237, 271
Rechtliche Bestimmungen 27
Red/Line 214, 223, 233, 293
Reetdach 82
Regensicherheit 79, 102
Ring-Potentialausgleichsschiene 204, 207
Ringabstände und Tiefen der Potentialsteuerung 161
Ringerder 58, 61, 114, 121, 126, 129–132, 136–**143**, 145, 160–162, 166–167, 171, 178–179, 348–349, 351
Ringpotentialausgleich 200, 212
Risiko-Abschätzung 34–35, 53, 208, 449
Risiko-Komponenten 34–35, 47–49
Risiko-Management 9, 28
Risikoanalyse 9–11, 27, 33, 52–55, 80, 89, 162, 194–195, 280, 291, 347, 379, 394, 403, 441
RRH 359, 362–364
RRU 359, 362–364
RWA (Rauch- und Wärmeabzugsanlage) 415–418

S

Sachkundiger 59
Sachverständiger 59
Schadensart 34–35, 43–44, 46–49, 51–52, 54–55, 290
Schadensquellen 33–34, 47–48
Schadensursache 34, 44, 46–48
Schadenswahrscheinlichkeit 35, 38–41
Schaltüberspannung 221, 223, 225, 313, 324, 340, 459
Scheitelwert 17, 19, 23–24, 66–67, 130, 186, 222
Schieferdächer 119
Schirmerdung 186–187, 201–203, 266, 355, 386–387
Schirmfaktor SF 197
Schirmung 40–43, 49, 54, 192, 194, 198–199, **201**, 211, 266, 324, 347–348, 351, 443
Schirmwirkung 195, 198, 203
Schleifenbildung 97, 99, 317, 390, 407
Schmelzen 21, 98, 244
Schornsteine 28, 75, 92
Schrittspannung 17, 19, 55, 122, 125–126, 143, **159–160**, 165–168, 173, 275, 397, 399, 421–424
Schutzbereich 58, 70–71, 75–76, 81–82, 91, 94, 108, 185, 283, 297, 310, 360, 368, 374, 379, 381, 399, 403, 424
Schutzhütten 159, 162, 401, 420–422, 424
Schutzklasse 9–10, 27, 39, 58, 60–61, **63**, 66–72, 74–77, 79–82, 84–85, 88–89, 92, 97–98, 101, 103, 131, 134, 143, 153–154, 157–158, 184, 208, 224, 265, 280, 290–291, 296, 367–368, 379, 397, 409, 417, 442
Schutzmodul 268
Schutzpegel U_p 40, 42, 222, 246, 250, 264–265, 363, 371
Schutzpotentialausgleich **181–184**, 205, 241, 296, 302
Schutzpotentialausgleichsleiter 32, 173, 176, 182, 298, 457
Schutzraum 69, 88, 91, 379–380, 415–417
Schutzwinkelverfahren 65, 70–71, 73–76, 84, 291, 374, 379
Schutzwinkelverfahren für getrennte Fangeinrichtungen 74
Schwarze Wanne 139
Seilsicherungssystem und Blitzschutz 95–97
Sicherheitsbeleuchtung 343, 437–438
Sicherstellung des Personenschutzes 223
Sicherungssysteme 95
Sichtprüfung 59–61
Signalfrequenz 202, 253
Sonstige Werkstoffe 151
SPD Typ 1 208, 215–217, 222–223, 283, 290, 351, 360, 362–364, 369–371, 376, 381, 384, 409, 431, 434, 438, 451
SPD Typ 2 222, 290, 351, 354–355, 364, 371, 374, 376, 386, 409, 411, 431, 434
SPD Typ 3 222, 225, 351, 411

Spezifische Energie 17, 21–23, 222
Spezifischer Erdwiderstand 121, 123–127, 130
SPM (Surge Protection Measures) 40, 49, 194, 347
Sportanlagen 10, 159, 396
SPS-Protector 214
Stahl mit Kupfermantel 151
Stahlfaserbeton 143
Stahlbehälter 282–283
Stahlbewehrung von Betonfundamenten 152
Stehfalz-Dach 80
Steilheit 17, 20, 23, 250
Sternförmige Anordnung 205
Stiftanschlussklemme (STAK) 238–239
Störphänomene 253
Stoßerdungswiderstand 122, 128, 130
Stoßstrom 21, 23, 25, 112, 210, 216, 222, 225, 233, 244–245, 384
Strahlenerder 126, 131, 405
Streifenfundament 130, 132–134, 139, 142
Stromaufteilungskoeffizient 98, 153, 155–158
Symbol Ableiterklasse, Yellow/Line 211, 217–219, 254, 325

T

Tankstellen 392, 394
Telekommunikationsanschluss 338
Telekommunikationsleitung 38, 40, 54, 187–188
Temperaturbedingte Längenänderung von 115
Temperaturerhöhung 22, 74, 98–99, 112, 445
Temperaturerhöhung ΔT verschiedener Leitermaterialien 22, 98
Temperaturklassen 260, 262
Temperaturmesseinrichtung 255–256
Tiefenerder 58, 61, 121, 126, 128–131, **144–145**, 156, 172, 179, 362, 405, 422
TN-System 182, 208, 224–**225**, 227–233, 276–277, 290, 306, 331–332, 353, 393
Tonsignale 32, 294
TOV-Spannung 223
Transformatorstationen 179, 324
Transiente Überspannungen 261, 323, 387, 413
Trennfunkenstrecke 152
Trennungsabstand 10, **55–57**, 61, 71, 74–76, 81, 83, 85, 88, 90–91, 95, 98–99, 102–103, 105–106, 112–113, **153–159**, 162, 172, 281, 283, 351, 368, 374, 376, 417, 424, 442–443
TT-System 208, 224, **231**–237, 272, 276–277, 285, 290, 292, 306, 315, 318–320, 331–332, 336, 372–373, 375, 382, 393, 402–404, 413, 452
Typenbezeichnung der Ableiter-Module 249

U

Überlappte Konstruktionen 121
Überspannungs-Ableiter 184, 187, 212–213, 215, 217, 219, **220**, 222, 240, 247, 253, 256, 260, 276, 283–287, 306, 310, 315, 318, 326, 336, 343–344, 351, 354–356, 370–371, 376, 384, 394, 401, 403, 409–411, 416, 418, 427–428, 445, 447, 457
Überstromschutzeinrichtung 60, 224–225, 231–233, 263, 343
Überstromschutzorgan 243, 264, 409, 411, 437
UMTS 359
Unbewehrter Beton 133
unbewehrtes Fundament 142
Unterirdische Anschlüsse und Verbindungen 153
Unterverteilung 222, 229–230, 285, 360, 458

V

V-förmige Anschlusstechnik 238
Verdampfung 78
Verlustfaktor 35, 450
Vermaschung von Erdungsanlagen 145
Verteiler 259, 283, 318–320, 343–344, 413, 438
Verteilnetzbetreiber (VNB) 176, 178–179, 225, 351, 381, 394, 401
Videoüberwachungsanlagen 304-307, 432
Vorsicherung 222, 225, 231, 239–240, 243–245, 247, 253, 431

W

Wartung 9–10, 31, 50, 58, 61, 219, 268–269, 284, 356
Wartung des Blitzschutzsystems 58
Wartung des LEMP-Schutzes 219
Wechselrichter 271, 367, 371–377, 379, 382, 385–387
Weiße Wanne 137, 139, 141
Werkstoff-Kombinationen von Erdungsanlagen 151
Werkstoff von Fangleitungen, Fangstangen, Erdeinführungen und Ableitungen 113
Werkstoff, Form und Mindestquerschnitte von Erdern 152
Werkstoffkombinationen 115, 169
Werkvertrag 11
Wiederholungsprüfung 59, 61
Windangriffsfläche der Fangstange 93
Windenergieanlagen 90, 347, 355, 357
Windlastbeanspruchung 93
Winkelabstützung der Fangstange 87
Wirkung des Korrosionsstromes 149
Wolke-Erde-Blitz 15–16, 25

Y

Y-Schaltung 371, 384
Yachten 454–457, 459
Yellow/Line 211, 217–218, 254, 325

Z

Zähler 329–330
Zündschutzart Eigensicherheit 260–261
Zusätzlicher Potentialausgleich 447
Zusatzprüfung 59, 61
Zustand der Erdungsanlage 60
Zweileiter-Anschlussklemme 238–239

DEHN Druckschriften

Kataloge	
Hauptkatalog Überspannungsschutz (UE)	DS 570
Hauptkatalog Blitzschutz / Erdung (EB)	DS 427
Hauptkatalog Arbeitsschutz (AS)	DS 396
Preisliste Überspannungsschutz, Blitzschutz / Erdung	DS 591
Preisliste Arbeitsschutz	DS 692
Seminare	
DEHNacademy Seminarplan	DS 609
Blitz- und Überspannungsschutz allgemein	
Produktauswahl Blitz- und Überspannungsschutz	DS 130
Überspannungsschutz für die Energietechnik	
Auswahlhilfe Red/Line	DS 649
DEHNsecure schützt Gleichstromanwendungen	DS 187
DEHNshield – Anwendungsoptimierter Kombi-Ableiter	DS 193
Mehr Platz im Schaltschrank – Ableiter mit integrierter Vorsicherung	DS 196
Überspannungs- und Brandschutz – SCI Technologie für PV-Stromkreise	DS 215
Koordinierter Überspannungsschutz	DS 641
Überspannungsschutz für die Informationstechnik	
Auswahlhilfe Yellow/Line	DS 150
DEHNgate – Koaxiale Ableiter	DS 137
BLITZDUCTOR XT – Modularer Blitz- und Überspannungsschutz	DS 143
DEHNrapid LSA – Modularer Blitz- und Überspannungsschutz	DS 145
BLITZDUCTOR XTU	DS 164
Prüfung und Überwachung	DS 174
Blitzschutz / Erdung	
Fundamenterder	DS 162
Fundamenterder – Verbindungsklemmen	DS 190
Sichere Systemlösungen für getrennte Fangeinrichtungen	DS 151
Bandrohrschellen für Ex-Bereiche	DS 154

Arbeitsschutz	
DEHN Arbeitsschutz – Sicherheit ist machbar	DS 695
DEHNcare schützt Personen bei Störlichtbogen	DS 185
Sicheres Arbeiten an elektrischen Anlagen	DS 191
Service und Sicherheit – Arbeiten unter Spannung als Dienstleistung	DS 206
Arbeitsschutz-Seminar – Wissen zur persönlichen Schutzausrüstung	DS 153 DS 216
Arbeitsschutzgesetz verpflichtet! Erdungs- und Kurzschließvorrichtungen	DS 181
Arbeitsschutzgesetz verpflichtet! Stangen	DS 157
Arbeitsschutzgesetz verpflichtet! Spannungsprüfer	DS 163
Arbeitsschutzgesetz verpflichtet! Wiederholungsprüfung von EuK-/Kurzschließvorrichtungen	DS 173
Marktsegmentschriften	
DEHN schützt Windenergieanlagen	DS 103
DEHN schützt Mobilfunkanlagen	DS 104
DEHN schützt Photovoltaikanlagen	DS 109
DEHN schützt Sicherheitstechnik	DS 197
DEHN schützt Anlagen der Öl- und Gasindustrie	DS 122
DEHN schützt Biogasanlagen	DS 144
DEHN schützt Anlagen der Bahntechnik	DS 180
Überspannungsschutz – Sicherheit für Kläranlagen	DS 107
Allgemeine Schriften	
DEHN schützt.	DS 509
DEHN stoppt Überspannungen	DS 614
Morgen kann es Ihr Haus sein	DS 621
Leben mit Blitzen	DS 661
DEHN Concept	DS 158
DEHNsupport Toolbox	DS 709
DEHN prüft und analysiert	DS 113
Mit DEHN in die Zukunft	DS 209

Antwortfax

Ich möchte in die Liste für die laufende Zusendung der jeweils neuesten BLITZPLANER-Ausgabe aufgenommen werden.

Bitte senden Sie dieses Fax unbedingt vollständig ausgefüllt zurück an die **Fax-Nr. +49 9181 906 1478**.
Nur dann ist sichergestellt, dass Sie immer den aktuellen BLITZPLANER erhalten.

Buch oder CD

Den BLITZPLANER gibt es sowohl in Buch-Form als auch auf CD-ROM. Schicken Sie mir künftig den BLITZPLANER:

- ☐ in Buch-Form
- ☐ auf CD-ROM

Infomaterial

Bitte schicken Sie mir zusätzlich Informationsmaterial zu folgenden Themen:

- ☐ Blitzschutz-Hauptkatalog
- ☐ Überspannungsschutz-Hauptkatalog
- ☐ Arbeitsschutz-Hauptkatalog
- ☐ Seminarplan
- ☐ DEHNinfo (Newsletter, 4 Ausgaben jährlich)

Tätigkeitsschwerpunkte (Mehrfachnennungen möglich)

- ☐ Arbeitsschutz (ASZ)
- ☐ Datentechnik (DATA)
- ☐ Photovoltaik (PV)
- ☐ Ausbildung (ABI)
- ☐ Energietechnik (ENER)
- ☐ Sicherheitstechnik (SEC)
- ☐ Blitzschutzbau (BSB)
- ☐ Mess-Steuer-Regeltechnik (MSR)
- ☐ Telekommunikation (MOBF)
- ☐ Biogasanlagen (BIO)
- ☐ Petrochemie (PETR)
- ☐ Windenergie (WIND)

Branche (bitte nur eine auswählen)

- ☐ 1.1 Elektro-Fachbetrieb
- ☐ 1.2 Blitzschutz-Fachbetrieb
- ☐ 1.3 VDB-Mitglied
- ☐ 1.4 Sonstiger Fachhandwerksbetrieb
- ☐ 2.1 Elektrogroßhandel
- ☐ 2.2 Exporteur
- ☐ 3.1 Hoch-, Tief-, Fertig- und Rohrleitungsbau
- ☐ 3.2 Schornstein- und Feuerungsbau
- ☐ 4.1 Versorgungsunternehmen (Strom, Gas, Wasser), Klär-, Müllwerke
- ☐ 5.1 Elektroindustrie
- ☐ 5.2 Sonstige Industriezweige
- ☐ 5.3 Schaltanlagenbauer
- ☐ 5.4 IT-/TK-Hardware-Hersteller
- ☐ 6.1 Telekommunikationsbetreiber, Zulieferindustrie
- ☐ 6.2 Transport, Verkehr
- ☐ 6.3 Militär, Wehrtechnik
- ☐ 6.4 Öffentliche Hand, Kirche
- ☐ 7.1 Planer, Berater, Gutachter, Sachverständiger
- ☐ 7.2 Dienstleistungsunternehmen allgemein
- ☐ 7.3 Schadensversicherer
- ☐ 7.4 Architekten
- ☐ 7.5 Ausbildung

Meine Adresse

Vorname	Nachname
Firma	Abteilung
Mitarbeiter gesamt	Mitarbeiter im Fachbereich
Straße	PLZ/Ort
Telefon	E-Mail