

VDE-Schriftenreihe Normen verständlich

185

EMV

Blitzschutz von elektrischen und elektronischen Systemen in baulichen Anlagen

Risiko-Management, Planen und Ausführen
nach den neuen Normen der Reihe VDE 0185-305

Dr.-Ing. Peter Hasse

Dr.-Ing. Ernst Ulrich Landers

Prof.-Dr.-Ing. Johannes Wiesinger

Dr.-Ing. Peter Zahlmann

2., vollständig überarbeitete und
erweiterte Auflage 2007

VDE VERLAG GMBH • Berlin • Offenbach

Inhalt

Vorwort	5
1 Einführung	13
2 Schäden durch elektromagnetische Beeinflussung	15
2.1 Schadensstatistiken	15
2.2 Schadensbeispiele	17
2.2.1 Schäden in explosionsgefährdeten Anlagen	17
2.2.2 Schäden in Industrie-Anlagen	20
2.2.3 Schäden in Elektrizitäts-Versorgungs-Anlagen	24
2.2.4 Schäden in Wohnhäusern	26
2.2.5 Schäden an Bahnanlagen, an Flugzeugen und auf Flughäfen	29
3 Störquellen, Kopplungen und Störsenken	35
3.1 Blitzentladungen	37
3.2 Schalthandlungen und Netzrückwirkungen	42
3.3 Elektrostatische Entladungen	45
3.4 Nuklearer Elektromagnetischer Impuls	46
3.5 Sende-Anlagen	48
4 EMV-orientiertes Blitzschutzzonen-Konzept	51
4.1 Frühere Schutzzonen-Konzepte	51
4.2 Grundlagen des Blitzschutzzonen-Konzepts	53
4.3 Blitzschutzzonen (LPZs)	54
4.3.1 Definition einer LPZ	54
4.3.2 Verbindung mehrerer LPZs	57
4.3.3 Ausstülzung einer LPZ	57
4.3.4 Leitungsschirme beim Verbinden oder Ausstülpen von LPZs	59
4.3.5 Einrichtung weiterer Störschutzzonen	61
4.4 Äußerer Blitzschutz	63
4.5 Dämpfung durch Gebäude- oder Raumschirme	66
4.6 Schnittstellen für Versorgungssysteme an Grenzen von LPZs	66
4.7 Leitungsführung und -schirmung im geschützten Volumen	70

4.8	Potentialausgleich-Anlagen im geschützten Volumen	73
4.8.1	Stern- und baumförmiger Potentialausgleich	73
4.8.2	Vermaschter Potentialausgleich	77
4.8.3	Verbindung unterschiedlicher Potentialausgleich-Anlagen	79
4.9	Grundfestigkeit der elektronischen Geräte und Systeme	81
4.10	Konzeptionelles Vorgehen	83
5	Der Blitzschutz von Gebäuden und von elektrischen und elektronischen Anlagen	91
5.1	Bauliche Anlagen und Personen (VDE 0185-305-3)	91
5.2	Elektrische und elektronische Systeme (VDE 0185-305-4)	93
5.3	Unterschiede im Blitzschutz nach VDE 0185-305-3 und nach VDE 0185-305-4	95
6	Schutzmaßnahmen gegen LEMP	103
6.1	Wahl des Gefährdungspiegels	103
6.2	Bestimmung der Stoßwellen am Einbauort	103
6.2.1	Stoßströme aus direkten Einschlägen in die bauliche Anlage (S1)	104
6.2.2	Stoßströme aus indirekten Einschlägen und Induktionswirkungen	105
6.2.2.1	Stoßströme bei Einschlägen in eine Versorgungsleitung (S3)	105
6.2.2.2	Stoßströme bei Einschlägen nahe einer Versorgungsleitung (S4)	06
6.2.2.3	Stoßströme aus Induktionswirkungen	106
6.3	Festigkeit der elektronischen Geräte	107
6.3.1	Festigkeit gegen Magnetfelder	108
6.3.2	Festigkeit gegen Stoßspannungen und Stoßströme	109
6.3.2.1	Festigkeit im energietechnischen Netz	109
6.3.2.2	Festigkeit von Geräten	110
6.4	Erdungsmaßnahmen	110
6.4.1	Erdungsanlage	110
6.4.2	Potentialausgleich-Netzwerk	111
6.5	Potentialausgleich-Maßnahmen	115
6.5.1	Potentialausgleich eintretender Versorgungsleitungen	115
6.5.2	Integration der elektrischen und elektronischen Systeme	115
6.6	Überspannungsschutzgeräte (SPDs)	117
6.6.1	Klassifizierung von SPDs	117
6.6.2	Anteilige Blitzströme am Einbauort der SPDs	118
6.6.3	Schaltungen von SPDs für energietechnische Systeme	121

6.6.4	Schaltungen von SPDs für informationstechnische Systeme	121
6.7	Räumliche Schirmung	128
6.7.1	LEMP-Situation bei einem Blitzeinschlag	128
6.7.2	Magnetfelder bei direkten Blitzeinschlägen	131
6.7.3	Magnetfelder bei nahen Blitzeinschlägen	134
6.7.4	Praktische Ausführung der räumlichen Schirmung	138
6.8	Leitungsführung und -schirmung	140
6.8.1	Induzierte Spannungen bei direkten Blitzeinschlägen	142
6.8.2	Induzierte Spannungen bei nahen Blitzeinschlägen	144
6.8.3	Spannungsfestigkeit bei leitungsgebundenen Störungen	144
6.8.4	Induzierte Ströme bei direkten Blitzeinschlägen	145
6.8.5	Induzierte Ströme bei nahen Blitzeinschlägen	146
6.8.6	Stromtragfähigkeit bei leitungsgebundenen Störungen	147
6.9	Schutzmaßnahmen in bestehenden baulichen Anlagen	147
6.9.1	Integration von neuen elektrischen Systemen	147
6.9.2	Varianten für die Blitzschutzzonen	149
6.9.3	Beispiele für besondere Schutzmaßnahmen	152
7	Risikomanagement nach VDE 0185-305-2	155
7.1	Risikoanalyse	155
7.2	Schadensquellen	155
7.3	Schadensursachen	156
7.4	Schadensarten	156
7.5	Bestimmung des Risikos aus Risikokomponenten	158
7.6	Parameter für die Risikokomponenten	161
7.7	Häufigkeit N_x von gefährlichen Ereignissen (VDE 0185-305-2 Anhang A)	161
7.7.1	Erdblitzdichte N_g	161
7.7.2	Gefährliche Ereignisse $N_1 = N_D$ durch Blitzeinschläge in die bauliche Anlage (S1)	163
7.7.3	Gefährliche Ereignisse $N_2 = N_M$ durch Blitzeinschläge neben der baulichen Anlage (S2)	164
7.7.4	Gefährliche Ereignisse $N_3 = N_L + N_{Da}$ durch Blitzeinschläge in eine Versorgungsleitung (S3)	165
7.7.5	Gefährliche Ereignisse $N_4 = N_1 - N_L$ durch Blitzeinschläge neben einer Versorgungsleitung (S4)	166

7.8	Schadenswahrscheinlichkeiten P_X (VDE 0185-305-2 Anhang B)	167
7.8.1	Schutz gegen physikalische Schäden	168
7.8.2	Schutz gegen Berührungs- und Schrittspannungen	168
7.8.3	Überspannungsschutz	168
7.8.4	Raumschirmung, innere Verkabelung, Spannungsfestigkeit	170
7.8.5	Äußere Verkabelung, Spannungsfestigkeit	172
7.8.6	Schadenswahrscheinlichkeiten P_A , P_U für Verletzung von Lebewesen (D1)	173
7.8.7	Schadenswahrscheinlichkeiten P_B , P_V für physikalische Schäden (D2)	174
7.8.8	Schadenswahrscheinlichkeiten P_C , P_M , P_W , P_Z für Ausfall von elektrischen und elektronischen Systemen (D3)	174
7.9	Verlustwerte L_X (VDE 0185-305-2 Anhang C)	175
7.9.1	Verlust von Menschenleben (L1)	177
7.9.2	Verlust von Dienstleistungen für die Öffentlichkeit (L2)	178
7.9.3	Verlust von unersetzblichem Kulturgut (L3)	178
7.9.4	Wirtschaftliche Verluste (L4)	179
7.10	Gleichungen für die einzelnen Risikokomponenten	180
7.10.1	Verletzung von Lebewesen (D1)	180
7.10.2	Physikalische Schäden (D2)	180
7.10.3	Ausfall von elektrischen und elektronischen Systemen (D3)	180
7.10.4	Versorgungsleitungen auf mehreren unabhängigen Trassen	181
7.11	Anwendung der Risikoanalyse	181
7.11.1	Zu betrachtende bauliche Anlage	182
7.11.2	Unterteilung einer baulichen Anlage in Zonen Z_S	182
7.11.3	Bestimmung der Notwendigkeit des Blitzschutzes	184
7.11.4	Schutzbedarf	185
7.11.5	Wirtschaftlichkeit von Schutzmaßnahmen	185
7.11.6	Auswahl und Optimierung von Schutzmaßnahmen	187
7.11.7	Einfluss der Schutzmaßnahmen auf die Risikofaktoren	189
8	LEMP-Schutz-Management	191
8.1	Erste Risikoanalyse	193
8.2	Abschließende Risikoanalyse	193
8.3	Planung	193
8.4	Auslegung	194

8.5	Installation und Überprüfung	196
8.6	Abnahme	196
8.7	Wiederkehrende Prüfungen	196
9	Bauteile und Schutzgeräte	199
9.1	Fangeinrichtungen	199
9.1.1	Kegelförmiger Schutzraum einer Fangstange	203
9.1.2	Quaderförmige Schutzräume	204
9.2	Gebäude- und Raumschirme für innere Blitzschutzzonen	207
9.3	Schirme für Leitungen zwischen räumlich getrennten Blitzschutzzonen	217
9.4	Schirme für Leitungen in inneren Blitzschutzzonen	221
9.5	Potentialausgleich-Anlagen	222
9.6	Schutzgeräte an den Schnittstellen der Blitzschutzzonen	228
9.6.1	Überspannungsschutzgeräte an der Schnittstelle LPZ 0 _A /1	229
9.6.2	Überspannungsschutzgeräte an den Schnittstellen LPZ 0 _B /1 sowie LPZ 1/2 und höher	236
9.6.2.1	Überspannungsschutzgeräte für energietechnische Anlagen und Systeme	236
9.6.2.2	Überspannungsschutzgeräte für informationstechnische Systeme ..	239
10	LEMP-Schutz in einem Industriekomplex	257
10.1	Planungsgrundlagen	257
10.1.1	Bauvorhaben	257
10.1.2	Schutzkonzept und Gefährdungspegel	258
10.2	Kenndaten für das zu schützende Gebäude V	261
10.2.1	Erdblitzdichte und Umgebungsdaten	262
10.2.2	Abmessungen des Gebäudes	262
10.2.3	Eintretende Versorgungsleitungen	263
10.2.4	Einfangflächen und jährliche gefährliche Ereignisse	266
10.2.5	Schadenswahrscheinlichkeiten und Einflussfaktoren	268
10.3	Risikomanagement für die Schadensart L1 (Verlust von Menschenleben)	269
10.3.1	Akzeptierbares Schadensrisiko R_T	270
10.3.2	Schadenskennwerte	270
10.3.3	Angewandte Schutzmaßnahmen	270
10.3.4	Schritt 0: Ungeschützte Anlage	271

10.3.5	Schritt 1: Potentialausgleich am Eintritt in LPZ 1	271
10.3.6	Schritt 2: Äußerer Blitzschutz und räumlicher Schirm von LPZ 1 ..	274
10.3.7	Schritt 3: Schutz gegen Schritt- und Berührungsspannungen	277
10.3.8	Schritt 4: Brandschutz	277
10.4	Risikomanagement für die Schadensart L4 (wirtschaftliche Verluste)	279
10.4.1	Kosten und Finanzierung	279
10.4.2	Schadenskennwerte	280
10.4.3	Angewandte Schutzmaßnahmen	280
10.4.4	Schritt 0: Ungeschützte Anlage	281
10.4.5	Schritt 1: Potentialausgleich am Eintritt in LPZ 1	282
10.4.6	Schritt 2: Äußerer Blitzschutz und räumlicher Schirm von LPZ 1 ..	283
10.4.7	Schritt 3: Schutz gegen Schritt- und Berührungsspannungen	284
10.4.8	Schritt 4: Brandschutz	284
10.4.9	Schritt 5: Koordinierter SPD-Schutz	285
10.4.10	Schritt 6: Räumlicher Schirm von LPZ 2	286
10.5	Impulsmagnetfelder des Blitzes	288
10.5.1	Impulsmagnetfelder in LPZ 1	289
10.5.2	Impulsmagnetfelder in LPZ 2	290
10.6	Induzierte Spannungen in Leiterschleifen	291
10.6.1	Induzierte Spannungen in LPZ 1	291
10.6.2	Induzierte Spannungen in LPZ 2	292
10.7	Stromtragfähigkeit der Schutzelemente	293
10.7.1	Anteilige Blitzströme an der Grenze von LPZ 1	293
10.7.2	Sekundär induzierte Stoßströme innerhalb von LPZ 1	294
10.8	Gesamtes LEMP-Schutzsystem	295
10.9	Detailausführung des LEMP-Schutzsystems	297
11	Anhang	305
11.1	Begriffe	305
11.2	Normen und Richtlinien	311
11.3	Literatur	316
11.4	Internet Links	319
Sachwortverzeichnis		321
Die Autoren		323