

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

	<b>Vorwort</b> .....	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Schäden durch elektromagnetische Beeinflussung</b> .....	<b>15</b>
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
<b>3</b>	<b>Störquellen, Kopplungen und Störsenken</b> .....	<b>35</b>
3.1	Blitzentladungen .....	37
3.2	Schalthandlungen und Netzurückwirkungen .....	42
3.3	Elektrostatische Entladungen .....	45
3.4	Nuklearer Elektromagnetischer Impuls .....	46
3.5	Sende-Anlagen .....	48
<b>4</b>	<b>EMV-orientiertes Blitzschutz-zonen-Konzept</b> .....	<b>51</b>
4.1	Frühere Schutzzonen-Konzepte .....	51
4.2	Grundlagen des Blitzschutz-zonen-Konzepts .....	53
4.3	Blitzschutz-zonen (LPZs) .....	54
4.3.1	Definition einer LPZ .....	54
4.3.2	Verbindung mehrerer LPZs .....	57
4.3.3	Ausstülpung einer LPZ .....	57
4.3.4	Leitungsschirme beim Verbinden oder Ausstülpen von LPZs .....	59
4.3.5	Einrichtung weiterer Störschutz-zonen .....	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
<b>5</b>	<b>Der Blitzschutz von Gebäuden und von elektrischen und elektronischen Anlagen .....</b>	<b>91</b>
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
<b>6</b>	<b>Schutzmaßnahmen gegen LEMP .....</b>	<b>103</b>
6.1	Wahl des Gefährdungspegels .....	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 Blitzschutzzone	149
6.9.3	Beispiele für besondere Schutzmaßnahmen	152
<b>7</b>	<b>Risikomanagement nach VDE 0185-305-2</b>	<b>155</b>
7.1	Risikoinalyse	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 <sup>1</sup> 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 unersetzlichem 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
<b>8</b>	<b>LEMP-Schutz-Management .....</b>	<b>191</b>
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
<b>9</b>	<b>Bauteile und Schutzgeräte .....</b>	<b>199</b>
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 <sub>A</sub> /1 .....	229
9.6.2	Überspannungsschutzgeräte an den Schnittstellen LPZ 0 <sub>B</sub> /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
<b>10</b>	<b>LEMP-Schutz in einem Industriekomplex .....</b>	<b>257</b>
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
<b>11</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>305</b>
11.1	Begriffe .....	305
11.2	Normen und Richtlinien .....	311
11.3	Literatur .....	316
11.4	Internet Links .....	319
	<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>321</b>
	<b>Die Autoren .....</b>	<b>323</b>