

# Inhalt

<b>Verzeichnis der Naturkonstanten, Abkürzungen und Formelzeichen . . . . .</b>	<b>11</b>
---	-----------

<b>Verzeichnis der Abkürzungen . . . . .</b>	<b>17</b>
--	-----------

<b>1</b>	<b>Einleitung . . . . .</b>	<b>19</b>
1.1	Blitz: Vom Signal der Götter zur beherrschbaren Naturgewalt . . . . .	19
1.2	Blitzstrom als Forschungsobjekt . . . . .	23
1.3	Blitzschutz und elektromagnetische Verträglichkeit . . . . .	26
1.4	Blitzwirkungen und Blitzschutz in der Normung. . . . .	28
<b>2</b>	<b>Gewitter . . . . .</b>	<b>33</b>
2.1	Entstehung . . . . .	33
2.1.1	Wolkenbildung . . . . .	33
2.1.2	Entwicklungsstadien einer Gewitterzelle . . . . .	35
2.1.3	Gewitterarten . . . . .	36
2.2	Elektrische Ladungen in der Gewitterzelle . . . . .	37
2.2.1	Ladungstrennung . . . . .	37
2.2.2	Aufbau der Gewitterzelle . . . . .	38
2.2.3	Resultierendes elektrisches Feld . . . . .	39
2.3	Gewitterhäufigkeit . . . . .	40
2.4	Gewitter im globalen Ladungskreislauf . . . . .	43
<b>3</b>	<b>Blitze . . . . .</b>	<b>45</b>
3.1	Entstehung . . . . .	45
3.2	Wolke-Erde-Blitz . . . . .	49
3.2.1	Erster Leitblitz . . . . .	50
3.2.2	Fangentladung . . . . .	51
3.2.3	Enddurchschlagstrecke . . . . .	51
3.2.4	Hauptblitz . . . . .	53
3.2.5	Kenndaten des Blitzkanals . . . . .	54
3.2.6	Folgeblitz . . . . .	55
3.2.7	Stoßstrom des Hauptblitzes . . . . .	56
3.2.8	Langzeitstrom nach dem Hauptblitz. . . . .	57
3.2.9	Multipler Wolke-Erde-Blitz . . . . .	58
3.3	Erde-Wolke-Blitz . . . . .	60
3.4	Strommaximum von abwärts gerichteten Teilblitzen . . . . .	61
3.5	Entladungen über den Gewitterwolken . . . . .	63
3.6	Nutzung der Blitzenergie . . . . .	64

<b>4</b>	<b>Blitzfeld</b> . . . . .	<b>65</b>
4.1	Zeitlicher Verlauf . . . . .	65
4.2	Blitzkanalmodelle. . . . .	67
4.2.1	Feldabstrahlung vom Blitzkanal. . . . .	67
4.2.2	TCS-Modell . . . . .	70
4.2.3	TL-Modell . . . . .	73
4.3	Blitzfeld unmittelbar neben der Einschlagstelle. . . . .	74
<b>5</b>	<b>Blitzortungssysteme</b> . . . . .	<b>75</b>
5.1	Lokale Blitzortungssysteme . . . . .	75
5.2	Regionale Blitzortungssysteme . . . . .	76
5.2.1	Magnetic Direction Finding (MDF)-Methode . . . . .	77
5.2.2	Time of Arrival (TOA)-Methode . . . . .	78
5.2.3	Ortungsgenauigkeit . . . . .	79
5.2.4	Erfassung von Teilblitzen. . . . .	81
5.2.5	Abgrenzung von Wolke-Wolke-Blitzen. . . . .	81
5.3	Globale Blitzortungssysteme . . . . .	82
<b>6</b>	<b>Blitzströme</b> . . . . .	<b>83</b>
6.1	Stromkomponenten . . . . .	83
6.1.1	Stoßstrom . . . . .	83
6.1.2	Langzeitstrom . . . . .	84
6.2	Blitzstromparameter . . . . .	85
6.3	Auslegung von Schutzmaßnahmen gegen die Wirkungen von Blitzströmen . . . . .	90
6.3.1	Gefährdungspegel. . . . .	90
6.3.2	Bemessungswerte. . . . .	91
6.4	Nachbildung der Blitzströme in Rechenmodellen . . . . .	95
6.4.1	Zeitlicher Verlauf der Blitzstoßströme. . . . .	95
6.4.2	Zeitlicher Verlauf der Langzeitströme . . . . .	96
6.4.3	Blitzströme im Frequenzbereich . . . . .	97
6.5	Nachbildung der Blitzströme im Labor . . . . .	98
6.5.1	Prüfung mit Stoßströmen . . . . .	98
6.5.2	Prüfung der Stromtragfähigkeit und der Energiebelastbarkeit. . . . .	98
6.5.3	Prüfung hinsichtlich der Wirkungen durch die Stirn der Stoßströme . . . . .	99
6.5.4	Prüfung mit dem Langzeitstrom. . . . .	100
6.6	Äquivalenzstrom zur Nachbildung des Stirnbereichs der Blitzströme . . . . .	100
<b>7</b>	<b>Wirkung der Blitzströme</b> . . . . .	<b>101</b>
7.1	Potentialanhebung . . . . .	101
7.2	Kräfte . . . . .	102

7.3	Spannungseinkopplung . . . . .	104
7.3.1	Eigeninduktivität von Leiterschleifen . . . . .	107
7.3.2	Gegeninduktivität von Leiterschleifen . . . . .	107
7.4	Ausschmelzungen. . . . .	109
7.5	Ohm'sche Erwärmung . . . . .	112
7.5.1	Metalle . . . . .	112
7.5.2	Spannungsbegrenzende Halbleiter . . . . .	113
<b>8</b>	<b>Grundlagen des Gebäudeblitzschutzes. . . . .</b>	<b>115</b>
8.1	Blitzschutzzonen . . . . .	116
8.2	Blitzschutzsystem. . . . .	118
8.2.1	Äußeres und inneres Blitzschutzsystem. . . . .	118
8.2.2	Schutzklassen . . . . .	120
8.3	LEMP-Schutzsystem . . . . .	123
8.4	Störgrößen in den Blitzschutzzonen. . . . .	124
<b>9</b>	<b>Schutzraum. . . . .</b>	<b>127</b>
9.1	Enddurchschlagstrecke. . . . .	127
9.2	Blitzkugelverfahren . . . . .	129
9.3	Vereinfachungen des Blitzkugelverfahrens . . . . .	131
9.3.1	Schutzwinkelverfahren. . . . .	131
9.3.2	Maschenverfahren . . . . .	133
<b>10</b>	<b>Fang- und Ableitungseinrichtung. . . . .</b>	<b>135</b>
10.1	Fangeinrichtung . . . . .	135
10.1.1	Auslegung. . . . .	135
10.1.2	Natürliche Bestandteile . . . . .	136
10.2	Ableitungseinrichtung . . . . .	137
10.2.1	Auslegung. . . . .	137
10.2.2	Natürliche Bestandteile . . . . .	139
10.3	Werkstoffe . . . . .	139
<b>11</b>	<b>Erdung. . . . .</b>	<b>141</b>
11.1	Spezifischer Erdwiderstand . . . . .	141
11.2	Eindringtiefe und Eindringgeschwindigkeit ins Erdreich . . . . .	142
11.3	Der Erder als Wellenleiter . . . . .	144
11.4	Erdungswiderstände typischer Erder . . . . .	145
11.4.1	Tiefenerder . . . . .	145
11.4.2	Oberflächenerder . . . . .	146
11.4.3	Ringerder . . . . .	147
11.4.4	Fundamenterder als Halbkugelerder . . . . .	147
11.4.5	Hochspannungsentladungen an Erdern . . . . .	148
11.5	Erdung von Blitzschutzsystemen . . . . .	148

11.5.1	Mindestlänge eines Erders	149
11.5.2	Erderanordnungen	150
11.5.2.1	Anordnung Typ A	150
11.5.2.2	Anordnung Typ B	150
11.5.3	Werkstoffe, Form und Mindestmaße von Erdern	151
11.6	Erdung von LEMP-Schutzsystemen	151
<b>12</b>	<b>Potentialausgleich</b>	<b>155</b>
12.1	Potentialausgleich in Blitzschutz-Systemen	155
12.2	Potentialausgleich in LEMP-Schutzsystemen	157
12.2.1	Potentialausgleich-Netzwerk	158
12.2.2	Potentialausgleichsschienen	162
<b>13</b>	<b>Trennungsabstand</b>	<b>163</b>
13.1	Stoßspannungsfestigkeit	163
13.2	Berechnung des Trennungsabstands	164
13.2.1	Stromaufteilungs-Koeffizient $k_c$	165
13.2.2	Material-Koeffizient $k_m$	169
13.2.3	Stromsteilheits-Koeffizient $k_i$	169
13.3	Bauliche Anlagen mit ausladenden Teilen	170
13.4	Sondermaßnahmen zur Herstellung der Trennungsabstände	171
<b>14</b>	<b>Ströme und Spannungen auf Leitungen</b>	<b>173</b>
14.1	Leitungen zwischen unterschiedlichen Blitzschutz-zonen	173
14.2	Stromdurchflossene Schirmung von Leitungen	174
14.2.1	Schirmrohr	175
14.2.2	Kabelschirm	178
14.2.3	Kabelkanal aus Beton mit Stahlarmerung	180
14.3	Aufteilung des Blitzstroms auf Erdung, metallene Teile und Leitungen	181
14.3.1	Berechnungsverfahren zur Stromaufteilung	181
14.3.2	Vereinfachtes Berechnungsverfahren zur Stromaufteilung	183
14.3.3	Stromaufteilung auf die einzelnen Leiter einer Leitung	183
14.4	Auf Versorgungsleitungen einziehende Stoßströme	184
14.5	Verminderung induzierter Überspannungen auf inneren Leitungen durch Leitungsführung	185
<b>15</b>	<b>Räumliche Schirmung</b>	<b>187</b>
15.1	Vom Blitzstrom durchflossener gitterförmiger Schirm von LPZ 1	188
15.2	Nicht vom Blitzstrom durchflossener gitterförmiger Schirm von LPZ 1	189
15.3	Gitterförmiger Schirm von LPZ 2	191

<b>16</b>	<b>Überspannungsschutzgeräte</b> .....	<b>193</b>
16.1	Typen .....	193
16.2	Aufbau .....	194
16.3	Prüfung .....	196
16.3.1	Stoßstrom 10/350 $\mu$ s nach Prüfklasse 1 .....	197
16.3.2	Stoßstrom 8/20 $\mu$ s nach der Prüfklasse 2 .....	197
16.3.3	Stoßspannung 1,2/50 $\mu$ s nach den Prüfklassen 1 und 2 .....	199
16.3.4	Hybridgenerator nach der Prüfklasse 3 .....	199
16.4	Koordination .....	200
16.5	Auswahl und Installation .....	202
<b>17</b>	<b>Stromprüfung von Blitzschutzkomponenten</b> .....	<b>205</b>
17.1	Stoßstromgeneratoren mit <i>RLC</i> -Schaltkreis .....	205
17.1.1	<i>RLC</i> -Schaltkreis bei aperiodischer Dämpfung .....	207
17.1.2	<i>RLC</i> -Schaltkreis bei aperiodischem Grenzfall .....	209
17.1.3	<i>RLC</i> -Schaltkreis bei periodischer Dämpfung .....	211
17.2	Stoßstromgeneratoren mit Crowbar-Schalter .....	213
17.3	Stromgeneratoren zur Nachbildung der Stirn von Stoßströmen ...	216
17.3.1	Maximale Stromsteilheit im <i>RLC</i> -Stromkreis .....	216
17.3.2	Erhöhung der Stromsteilheit durch Querbeschaltung zum Prüfobjekt .....	217
17.4	Generatoren zur Nachbildung der Langzeitströme .....	218
17.5	Hybridgeneratoren .....	219
<b>18</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>223</b>
18.1	Fachbücher .....	223
18.2	Normen .....	224
18.3	Zeitschriftenaufsätze, Konferenzbeiträge .....	225
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....		<b>235</b>