

# Inhalt

<b>Vorwort</b> . . . . .	5
<b>1 Historie des Explosionsschutzes</b> . . . . .	15
1.1 Ungefährer chronologischer Ablauf zum Thema Explosionsschutz . . . . .	17
<b>2 Beurteilung einer Explosionsgefahr</b> . . . . .	21
2.1 Dispersionsgrad brennbarer Stoffe . . . . .	22
2.2 Konzentration brennbarer Stoffe . . . . .	22
2.3 Gefahrdrohende Menge brennbarer Stoffe . . . . .	23
2.4 Explosionsfähige Atmosphäre durch brennbare Flüssigkeit . . . . .	23
2.5 Explosionsfähige Atmosphäre durch brennbare Gase, Dämpfe, Nebel oder Stäube . . . . .	24
2.6 Wirksame Zündquellen . . . . .	26
2.7 Explosionsgefahr . . . . .	27
2.7.1 Gasexplosion . . . . .	28
2.7.2 Staubexplosion . . . . .	28
<b>3 Begriffserklärungen</b> . . . . .	29
<b>4 Grundlagen des Explosionsschutzes</b> . . . . .	39
4.1 Primärer Explosionsschutz . . . . .	39
4.1.1 Vermeiden oder Einschränken von brennbaren Stoffen . . . . .	40
4.1.2 Heraufsetzen des Flammpunkts . . . . .	40
4.1.3 Heruntersetzen der Verarbeitungstemperatur . . . . .	41
4.1.4 Konzentrationsbegrenzung . . . . .	41
4.1.5 Inertisierung . . . . .	41
4.1.6 Lüftung . . . . .	42
4.2 Sekundärer Explosionsschutz . . . . .	42
4.3 Tertiärer Explosionsschutz . . . . .	44
4.3.1 Explosionsfeste Bauweise . . . . .	45
4.3.2 Explosionsdruckentlastung . . . . .	45
4.3.3 Explosionsunterdrückung . . . . .	46
4.3.4 Verhindern der Explosionsübertragung . . . . .	46
4.3.5 Flammendurchschlagsichere Einrichtung . . . . .	47

<b>5</b>	<b>EG-Ex-Richtlinien . . . . .</b>	<b>49</b>
5.1	Richtlinie 94/9/EG (ATEX 95) . . . . .	52
5.1.1	Anwendungsbereich . . . . .	55
5.1.2	Gegenüberstellung: RL 94/9/EG ↔ RL 79/196/EWG ↔ VDE „alt“ . . . . .	56
5.1.3	Grundlegende Anforderungen . . . . .	61
5.1.4	Gerätegruppen und Kategorien . . . . .	62
5.1.5	Inverkehrbringen von Produkten bzw. Bereitstellung auf dem Markt . . . . .	63
5.1.6	Konformitätsbewertungsverfahren . . . . .	64
5.1.7	CE- und Ex-Kennzeichnung auf Geräten, Schutzsystemen und Komponenten . . . . .	66
5.1.8	Gegenüberstellung: RL 94/9/EG ↔ RL 79/117/EWG . . . . .	69
5.1.9	Betriebsanleitung . . . . .	71
5.2	Explosionsschutzverordnung (11. ProdSV) . . . . .	72
5.3	EG-Richtlinie 1999/92/EG (ATEX 137) . . . . .	74
5.3.1	Zoneneinteilung explosionsgefährdeter Bereiche . . . . .	75
5.3.2	Gasexplosionsschutz . . . . .	76
5.3.3	Staubexplosionsschutz . . . . .	76
5.3.4	Staubexplosionsschutz (alt) . . . . .	77
5.3.5	Medizinisch genutzte Räume . . . . .	77
5.3.6	Explosionsschutzregeln EX-RL mit Beispielsammlung (DGUV-Regel 113-001) . . . . .	78
5.3.7	IEC/CENELEC ↔ NEC . . . . .	79
5.3.8	CENELEC ↔ NEC (Zone + Explosionsgruppe ↔ Class + Division + Group) . . . . .	80
5.3.9	CENELEC ↔ NEC (Zündtemperaturen und Temperaturklassen) . . . . .	81
5.3.10	CENELEC ↔ IEC (Normen ↔ Standards) . . . . .	82
5.4	Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) . . . . .	83
5.4.1	Anwendungsbereich . . . . .	84
5.4.2	Minimierung und Beurteilung der Explosionsrisiken . . . . .	85
5.4.3	Begriffsbestimmungen . . . . .	85
5.4.4	Gefährdungsbeurteilung . . . . .	86
5.4.5	Organisatorische Maßnahmen . . . . .	87
5.4.6	Explosionsschutzmaßnahmen . . . . .	88
5.4.7	Explosionsschutzdokument . . . . .	90
5.4.8	Betrieb von überwachungsbedürftigen Anlagen . . . . .	91
5.4.9	Prüfung von überwachungsbedürftigen Anlagen . . . . .	91
5.4.10	Prüfstelle und Prüfpersonal für überwachungsbedürftige Anlagen . . . . .	92

<b>6</b>	<b>Elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen . . . . .</b>	<b>95</b>
6.1	Errichten einer elektrischen Anlage im explosionsgefährdeten Bereich	96
6.1.1	Anlagen in gasexplosionsgefährdeten Bereichen . . . . .	97
6.1.2	Anlagen in staubexplosionsgefährdeten Bereichen . . . . .	98
6.1.3	Sicherheitstechnische Kenngrößen . . . . .	98
6.1.4	IP-Schutzgrade bei explosionsgeschützten Geräten . . . . .	100
6.1.5	Kennzeichnung harmonisierter Kabel und Leitungen . . . . .	103
6.2	Auswahl elektrischer Geräte für gasexplosionsgefährdete Bereiche . . . . .	105
6.2.1	Geräte der Gruppe II und Kategorie 1G (Einsatz für Zone 0) . . . . .	106
6.2.2	Geräte der Gruppe II und Kategorie 2G (Einsatz für Zone 1) . . . . .	107
6.2.3	Geräte der Gruppe II und Kategorie 3G (Einsatz für Zone 2) . . . . .	108
6.2.4	Sonderanfertigung gemäß Explosionsschutzverordnung – ExVO; § 4 Abs. 5 (11. ProdSV) . . . . .	110
6.2.5	Explosionsgruppen (Funkenzündung) . . . . .	111
6.2.6	Temperaturklassen (Thermozündung) . . . . .	114
6.2.7	Explosionsgruppen und Temperaturklassen einiger brennbarer Stoffe	115
6.2.8	Sicherheitstechnische Kennzahlen einiger brennbarer Gase, Dämpfe und Nebel . . . . .	116
6.2.9	Kennzeichnung gasexplosionsgeschützter elektrischer Geräte . . . . .	116
6.3	Installation elektrischer Anlagen in gasexplosionsgefährdeten Bereichen . . . . .	117
6.3.1	Berührungsschutz . . . . .	117
6.3.2	Potentialausgleich . . . . .	117
6.3.3	Blitzschutzanlage . . . . .	120
6.3.4	Schutz gegen elektrostatische Aufladung bei Geräten der Gruppe II . . . . .	120
6.3.5	Zündgefahr durch optische Strahlung . . . . .	122
6.3.6	Elektrische Schutz- und Überwachungseinrichtungen . . . . .	125
6.3.7	Notabschaltung und Freischalten . . . . .	126
6.3.8	Kabel und Leitungen . . . . .	126
6.4	Auswahl elektrischer Geräte für staubexplosionsgefährdete Bereiche . . . . .	127
6.4.1	Geräte der Gruppe III und Kategorie 1D (Einsatz für Zone 20) . . . . .	130
6.4.2	Geräte der Gruppe III und Kategorie 2D (Einsatz für Zone 21) . . . . .	131
6.4.3	Geräte der Gruppe III und Kategorie 3D (Einsatz für Zone 22) . . . . .	131
6.4.4	Zündtemperaturen (Staubwolke) . . . . .	132
6.4.5	Glimmtemperaturen (Staubschicht) . . . . .	132
6.4.6	Selbstentzündungstemperatur . . . . .	134
6.4.7	Staubdichtigkeit bei Gehäusen . . . . .	135
6.4.8	Kennzeichnung staubexplosionsgeschützter Geräte . . . . .	135
6.5	Installation elektrischer Anlagen in staubexplosionsgefährdeten Bereichen . . . . .	136

<b>6.5.1</b>	Auswahl einiger brennbarer Stäube (Zündtemperaturen + Glimmtemperaturen) . . . . .	137
<b>6.5.2</b>	Schutz gegen elektrostatische Aufladung bei Geräten der Gruppe III. . . . .	138
<b>6.5.3</b>	Dichtungen. . . . .	139
<b>6.5.4</b>	Außentbelüftung elektrischer Maschinen. . . . .	139
<b>6.5.5</b>	Kabel und Leitungen . . . . .	140
<b>6.6</b>	Inbetriebnahme einer Anlage. . . . .	141
<b>6.6.1</b>	Betrieb . . . . .	142
<b>6.6.2</b>	Erhaltung des ordnungsgemäßen Zustands . . . . .	142
<b>6.6.3</b>	Wartung und Instandhaltung einer Anlage. . . . .	142
<b>6.6.4</b>	Vorschriften, Bestimmungen und Normen . . . . .	143
<b>6.6.5</b>	Besondere Sicherheitsmaßnahmen . . . . .	145
<b>6.6.6</b>	Vermeidung von Funkenbildung . . . . .	145
<b>6.6.7</b>	Erlaubnisschein für Arbeiten in explosionsgefährdeten Bereichen . . . . .	148
<b>6.7</b>	Instandsetzung einer Anlage . . . . .	149
<b>6.8</b>	Instandsetzung explosionsgeschützter Geräte . . . . .	153
<b>6.9</b>	Installationsbescheinigung. . . . .	155
<b>6.10</b>	Ständige Überwachung . . . . .	155
<b>7</b>	<b>Anlagen mit eigensicheren Stromkreisen</b> . . . . .	157
<b>7.1</b>	Auswahl der eigensicheren Geräte . . . . .	157
<b>7.2</b>	Besondere Bedingungen in eigensicheren Stromkreisen. . . . .	158
<b>7.3</b>	Kabel und Leitungen für eigensichere Stromkreise. . . . .	158
<b>7.4</b>	Fehlerbetrachtung bei mehradrigen Kabeln und Leitungen . . . . .	160
<b>7.5</b>	Zusammenschaltung eigensicherer Stromkreise . . . . .	160
<b>8</b>	<b>Elektrische Antriebe – Elektromotoren</b> . . . . .	163
<b>9</b>	<b>Elektrische Heizeinrichtungen</b> . . . . .	167
<b>10</b>	<b>Leuchten und Lampen</b> . . . . .	169
<b>11</b>	<b>Explosionsgeschützte elektrische Geräte</b> . . . . .	171
<b>11.1</b>	Vorschriften und Bestimmungen . . . . .	171
<b>11.2</b>	Qualitätssicherungssystem, Geräteschutzniveau (EPL) und Kennzeichnungen . . . . .	172
<b>11.2.1</b>	Konformitätsbewertungsverfahren . . . . .	172
<b>11.2.2</b>	Geräteschutzniveau (EPL) elektrischer Geräte . . . . .	174
<b>11.2.3</b>	Ex-Kennzeichnung an gasexplosionssgeschützten elektrischen Geräten	175

11.2.4	Ex-Kennzeichnung an staubexplosionsgeschützten elektrischen Geräten . . . . .	177
11.3	Zündschutzarten in gasexplosionsgefährdeten Bereichen . . . . .	178
11.3.1	Ölkapselung „o“ – DIN EN 60079-6 ( <b>VDE 0170-2</b> ) . . . . .	179
11.3.2	Überdruckkapselung „p“ – DIN EN 60079-2 ( <b>VDE 0170-3</b> ) . . . . .	179
11.3.3	Sandkapselung „q“ – DIN EN 60079-5 ( <b>VDE 0170-4</b> ) . . . . .	180
11.3.4	Druckfeste Kapselung „d“ – DIN EN 60079-1 ( <b>VDE 0170-5</b> ) . . . . .	181
11.3.5	Erhöhte Sicherheit „e“ – DIN EN 60079-7 ( <b>VDE 0170-6</b> ) . . . . .	182
11.3.6	Eigensicherheit „i“ – DIN EN 60079-11 ( <b>VDE 0170-7</b> ) . . . . .	183
11.3.7	Vergusskapselung „m“ – DIN EN 60079-18 ( <b>VDE 0170-9</b> ) . . . . .	184
11.3.8	Nicht funkend „n“ – DIN EN 60079-15 ( <b>VDE 0170-16</b> ) . . . . .	186
11.3.9	Eigensicheres System „i-SYST“ – DIN EN 60079-25 ( <b>VDE 0170-10-1</b> ) . . . . .	187
11.3.10	Sonderschutz „s“ – IEC 60079-33 . . . . .	191
11.4	Zündschutzarten in staubexplosionsgefährdeten Bereichen . . . . .	192
11.4.1	Schutz durch Gehäuse „td“ – DIN EN 60079-31 ( <b>VDE 0170-15-1</b> ) . . . . .	192
11.4.2	Überdruckkapselung „pD“ – DIN EN 60079-2 ( <b>VDE 0170-3</b> ), vormals DIN EN 61241-4 ( <b>VDE 0170-15-4</b> ) . . . . .	194
11.4.3	Eigensicherheit „iD“ – DIN EN 60079-11 ( <b>VDE 0170-7</b> ), vormals DIN EN 61241-11 ( <b>VDE 0170-15-11</b> ) . . . . .	195
11.4.4	Vergusskapselung „mD“ – DIN EN 60079-18 ( <b>VDE 0170-9</b> ), vormals DIN EN 61241-18 ( <b>VDE 0170-15-18</b> ) . . . . .	197
<b>12</b>	<b>Explosionsgeschützte nicht elektrische Geräte . . . . .</b>	<b>199</b>
12.1	Vorschriften und Bestimmungen . . . . .	199
12.2	Nicht elektrische Geräte in explosionsgefährdeten Bereichen . . . . .	200
12.2.1	Schwadenhemmende Kapselung „fr“ – DIN EN 13463-2 . . . . .	203
12.2.2	Druckfeste Kapselung „d“ – DIN EN 13463-3 . . . . .	203
12.2.3	Konstruktive Sicherheit „c“ – DIN EN 13463-5 . . . . .	204
12.2.4	Zündquellenüberwachung „b“ – DIN EN 13463-6 . . . . .	204
12.2.5	Flüssigkeitsskapselung „k“ – DIN EN 13463-8 . . . . .	206
12.2.6	Kennzeichnung nach Explosionsgruppen und Zündschutzarten . . . . .	206
12.2.7	Kennzeichnung sehr kleiner nicht elektrischer explosionsgeschützter Geräte . . . . .	207
12.2.8	Kennzeichnung nicht elektrischer explosionsgeschützter Geräte . . . . .	208
<b>13</b>	<b>Gebräuchlichste Zündschutzarten in der industriellen MSR-Technik . . . . .</b>	<b>209</b>
13.1	Druckfeste Kapselung „d“ – DIN EN 60079-1 ( <b>VDE 0170-5</b> ) . . . . .	209
13.1.1	Zünddurchschlagsicherer Spalt . . . . .	210

13.1.2	Gehäusewerkstoff . . . . .	211
13.1.3	Kabeleinführungen . . . . .	211
13.1.4	Elektrische Steckverbindungen . . . . .	212
13.2	Erhöhte Sicherheit „e“ – DIN EN 60079-7 ( <b>VDE 0170-6</b> ) . . . . .	212
13.2.1	Kabeleinführungen . . . . .	213
13.2.2	Anschlussklemmen . . . . .	213
13.2.3	Innere Leiterverbindungen. . . . .	213
13.2.4	Luft- und Kriechstrecken. . . . .	213
13.2.5	Feste Isolierstoffe. . . . .	214
13.2.6	Abzweig- und Verbindungskästen . . . . .	215
13.2.7	Kombination von Klemmen und Leitern in Abzweig- und Verbindungskästen . . . . .	215
13.2.8	Querschnitte von Kupferleitern . . . . .	216
13.3	Eigensicherheit „i“ – DIN EN 60079-11 ( <b>VDE 0170-7</b> ) . . . . .	217
13.3.1	Schutzniveau „ia“ und „ib“ und „ic“ . . . . .	218
13.3.2	Gehäuse . . . . .	218
13.3.3	Temperaturen von Verdrahtungen und kleinen Bauteilen . . . . .	218
13.3.4	Trennabstände an sicherheitsbestimmenden Komponenten . . . . .	221
13.3.5	Anforderungen an Bauteile, von denen die Eigensicherheit abhängt . . . . .	222
13.3.6	Sicherheitsbarrieren bzw. Zener-Barrieren . . . . .	223
13.3.7	Prüfung der Durchschlagsfestigkeit (Typprüfung) . . . . .	224
13.3.8	Prüfung der Spannungsfestigkeit (Stückprüfung) . . . . .	224
13.3.9	„Fremdartige“ Zusammenschaltung von Ex-i- bzw. Ex-nL-Stromkreisen . . . . .	226
13.4	Vergusskapselung „m“ – DIN EN 60079-18 ( <b>VDE 0170-9</b> ) . . . . .	226
13.4.1	Schutzniveau „ma“ und „mb“ und „mc“ . . . . .	226
13.4.2	Vergussmasse . . . . .	227
13.4.3	Dauergebrauchstemperatur der Vergussmasse . . . . .	227
13.4.4	Schichtdicke der Vergussmasse . . . . .	227
13.4.5	Hohlräume im Verguss . . . . .	228
13.4.6	Kabel- und Leitungseinführung im Verguss . . . . .	228
<b>14</b>	<b>Zusammenschaltung eigensicherer Stromkreise</b> . . . . .	229
14.1	Quellenkennlinie (Strom-/Spannungs-Kennlinie) . . . . .	230
14.1.1	Schaltung mit linearer Quellenkennlinie . . . . .	231
14.1.2	Schaltung mit trapezförmiger Quellenkennlinie . . . . .	232
14.1.3	Schaltung mit rechteckförmiger Quellenkennlinie . . . . .	233
14.2	Ein aktives Gerät im eigensicheren Stromkreis . . . . .	233
14.3	Berechnung der Zuleitungslänge . . . . .	234
14.4	Mehrere aktive Geräte im eigensicheren Stromkreis . . . . .	235

14.5	„Einfache“ elektrische Geräte (simple apparatus) . . . . .	238
14.5.1	Aktive Geräte . . . . .	240
14.5.2	Passive Geräte (ohne Energiespeicher) . . . . .	241
14.5.3	Passive Geräte (mit Energiespeicher) . . . . .	243
<b>15</b>	<b>Nachweis der Eigensicherheit bei Zusammenschaltungen</b> . . . . .	245
15.1	$C_o$ - und $L_o$ -Parameter für gemischte Ex-i-Stromkreise . . . . .	247
15.2	$C_o$ - und $L_o$ -Parameter als konzentrierte Energiespeicher . . . . .	249
15.3	Nachweis der Eigensicherheit mit der 50 %-Regel . . . . .	254
15.4	Fazit der Ex-i-Zusammenschaltungen . . . . .	257
15.5	Schaltungsbeispiele mit Beurteilung der Eigensicherheit . . . . .	258
15.5.1	Schaltungsbeispiel 1 . . . . .	258
15.5.2	Schaltungsbeispiel 2 . . . . .	260
15.5.3	Schaltungsbeispiel 3 . . . . .	262
15.5.4	Schaltungsbeispiel 4 . . . . .	264
15.5.5	Schaltungsbeispiel 5 . . . . .	268
15.5.6	Schaltungsbeispiel 6 . . . . .	272
15.5.7	Schaltungsbeispiel 7 . . . . .	274
15.5.8	Schaltungsbeispiel 8 . . . . .	277
15.6	Zündkurventabellen – DIN EN 60079-11 ( <b>VDE 0170-7</b> ) Anhang A . . . . .	280
15.6.1	Kapazitiver Stromkreis (Werte für $C_o$ als Funktion von $U_o$ ) . . . . .	280
15.6.2	Induktiver Stromkreis (Werte für $L_o$ als Funktion von $I_o$ ) . . . . .	283
15.6.3	Ohm'scher Stromkreis (Werte für $I_o$ als Funktion von $U_o$ ) . . . . .	285
<b>16</b>	<b>Fallbeispiele mit explosionsgeschützten Geräten</b> . . . . .	289
16.1	Zusammenschaltungen mit zugehörigen Geräten . . . . .	289
16.2	Zusammenschaltungen mit eigensicheren Geräten . . . . .	289
16.3	Verfügbare Leitungslängen in Abhängigkeit der Explosionsgruppen IIC/IIB zu den Schutzniveaus Ex ia/Ex ib . . . . .	290
16.4	Fallbeispiele von Zusammenschaltungen mit zugehörigen Geräten . . . . .	291
16.5	Fallbeispiele von Zusammenschaltungen mit eigensicheren Geräten . . . . .	297
<b>17</b>	<b>Feldbussysteme im explosionsgefährdeten Bereich</b> . . . . .	299
17.1	Aufbau eines eigensicheren Feldbussystems . . . . .	299
17.2	Konzept für Feldbusse im explosionsgefährdeten Bereich . . . . .	300
17.3	Speisegerät des Feldbussystems . . . . .	301
17.3.1	Zusatzanforderungen für FISCO-Speisegeräte . . . . .	301
17.3.2	Zusatzanforderungen für FNICO-Speisegeräte . . . . .	302
17.4	Feldgerät des Feldbussystems . . . . .	303
17.4.1	Zusatzanforderungen für FISCO-Feldgeräte . . . . .	303

17.4.2	Zusatzanforderungen für FNICO-Feldgeräte . . . . .	304
17.4.3	Zusatzanforderungen für FISCO-Abschlusswiderstände . . . . .	305
17.4.4	Zusatzanforderungen für FNICO-Abschlusswiderstände . . . . .	305
17.5	Anforderungen an das Bussystem . . . . .	305
17.5.1	Zusatzanforderungen für FISCO-Bussysteme . . . . .	306
17.5.2	Zusatzanforderungen für FNICO-Bussysteme . . . . .	306
17.5.3	Kennzeichnung von FISCO-Geräten . . . . .	307
17.5.4	Kennzeichnung von FNICO-Geräten . . . . .	307
17.6	Anwendung anderer Zündschutzarten bei Feldbussystemen . . . . .	307
17.7	Schirmkonzept bei Feldbussystemen . . . . .	308
<b>18</b>	<b>Notifizierte ATEX-Prüfstellen der europäischen Länder . . . . .</b>	<b>311</b>
<b>19</b>	<b>Notifizierte IECEx-Prüfstellen außerhalb von Europa . . . . .</b>	<b>315</b>
<b>Literatur . . . . .</b>		<b>317</b>
<b>Abkürzungen und Kurzzeichen . . . . .</b>		<b>323</b>
<b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>		<b>327</b>