

# Explosionsschutz in der MSR-Technik

## – Leitfaden für den Anwender –

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 <b>Historie des Explosionsschutzes</b> .....	8
2 <b>Beurteilung einer Explosionsgefahr</b> .....	11
2.1 Dispersionsgrad brennbarer Stoffe .....	11
2.2 Konzentration brennbarer Stoffe .....	11
2.3 Gefahrdrohende Menge brennbarer Stoffe .....	12
2.4 Explosionsfähige Atmosphäre durch brennbare Flüssigkeit .....	12
2.5 Explosionsfähige Atmosphäre durch brennbare Gase, Dämpfe, Nebel oder Stäube .....	13
2.6 Wirksame Zündquellen .....	14
2.7 Explosionsgefahr .....	14
2.7.1 Gasexplosion .....	14
2.7.2 Staubexplosion .....	14
3 <b>Begriffserklärungen</b> .....	15
4 <b>Grundlagen des Explosionsschutzes</b> .....	20
4.1 Primärer Explosionsschutz .....	20
4.1.1 Vermeiden oder Einschränken von brennbaren Stoffen .....	21
4.1.2 Heraufsetzen des Flammpunkts .....	21
4.1.3 Heruntersetzen der Verarbeitungstemperatur .....	21
4.1.4 Konzentrationsbegrenzung .....	21
4.1.5 Inertisierung .....	21
4.1.6 Lüftung .....	21
4.2 Sekundärer Explosionsschutz .....	22
4.3 Tertiärer Explosionsschutz .....	23
4.3.1 Explosionsfeste Bauweise .....	23
4.3.2 Explosionsdruckentlastung .....	23
4.3.3 Explosionsunterdrückung .....	24
4.3.4 Explosionstechnische Entkopplung .....	24
4.3.5 Flammendurchschlagsichere Einrichtung .....	24
5 <b>EU- bzw. EG-Ex-Richtlinien</b> .....	25
5.1 EG-Richtlinie 94/9/EG [ATEX 95] bzw. EU-Richtlinie 2014/34/EU [ATEX 114] .....	27
5.1.1 Anwendungsbereich .....	29
5.1.2 Gegenüberstellung: RL 94/9/EG ↔ RL 79/196/EWG ↔ VDE „alt“ .....	30
5.1.3 Grundlegende Anforderungen .....	33
5.1.4 Gerätegruppen und Kategorien .....	34
5.1.5 Inverkehrbringen von Produkten bzw. Bereitstellung auf dem Markt .....	35
5.1.6 Konformitätsbewertungsverfahren .....	35
5.1.7 CE- und Ex-Kennzeichnung auf Geräten, Schutzsystemen und Komponenten .....	36
5.1.8 Gegenüberstellung: RL 94/9/EG bzw. RL 2014/34/EU ↔ RL 79/117/EWG .....	38
5.1.9 Betriebsanleitung .....	39
5.2 Explosionsschutzprodukteverordnung (11. ProdSV) .....	40
5.3 EG-Richtlinie 1999/92/EG [ATEX 137] bzw. BetrSichV .....	41
5.3.1 Zoneneinteilung explosionsgefährdeter Bereiche .....	42
5.3.2 Gas-Explosionsschutz .....	42
5.3.3 Staub-Explosionsschutz .....	43
5.3.4 Staub-Explosionsschutz (alt) .....	43
5.3.5 Medizinisch genutzte Räume .....	43
5.3.6 Explosionsschutzregeln EX-RL mit Beispielsammlung (DGUV-Regel 113-001) .....	44
5.3.7 IEC/CENELEC ↔ NEC .....	44
5.3.8 CENELEC ↔ NEC (Zone + Explosionsgruppe ↔ Class + Division + Group) .....	44
5.3.9 CENELEC ↔ NEC (Zündtemperaturen + Temperaturklassen) .....	45
5.3.10 CENELEC ↔ IEC (Normen ↔ Standards) .....	46
5.4 Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) .....	46
5.4.1 Anwendungsbereich .....	47
5.4.2 Minimierung und Beurteilung der Explosionsrisiken .....	48
5.4.3 Begriffsbestimmungen .....	48
5.4.4 Gefährdungsbeurteilung .....	49
5.4.5 Organisatorische Maßnahmen .....	49
5.4.6 Explosionsschutzmaßnahmen .....	50
5.4.7 Explosionsschutzdokument .....	51
5.4.8 Betrieb von überwachungsbedürftigen Anlagen .....	52
5.4.9 Prüfung von überwachungsbedürftigen Anlagen .....	52
5.4.10 Prüfstelle und Prüfpersonal für überwachungsbedürftige Anlagen .....	52



# Explosionsschutz in der MSR-Technik

## – Leitfaden für den Anwender –

<b>6</b>	<b>Elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen</b>	56
6.1	Errichten einer elektrischen Anlage im explosionsgefährdeten Bereich	56
6.1.1	Anlagen in gasexplosionsgefährdeten Bereichen	57
6.1.2	Anlagen in staubexplosionsgefährdeten Bereichen	57
6.1.3	Sicherheitstechnische Kenngrößen	58
6.1.4	IP-Schutzgrade bei explosionsgeschützten Geräten	59
6.1.5	Kennzeichnungen harmonisierter Kabel und Leitungen	61
6.2	Auswahl elektrischer Betriebsmittel/Geräte für gasexplosionsgefährdete Bereiche	62
6.2.1	Gerätegruppe II und Kategorie 1G (Einsatz für Zone 0)	62
6.2.2	Gerätegruppe II und Kategorie 2G (Einsatz für Zone 1)	63
6.2.3	Gerätegruppe II und Kategorie 3G (Einsatz für Zone 2)	64
6.2.4	Sonderanfertigung gemäß EX-Produkteverordnung-ExVO; § 4 Abs. 5 (11. ProdSV)	65
6.2.5	Explosionsgruppen (Funkenzündung)	65
6.2.6	Temperaturklassen (Thermozündung)	67
6.2.7	Explosionsgruppen und Temperaturklassen einiger brennbarer Stoffe	67
6.2.8	Sicherheitstechnische Kennzahlen einiger brennbarer Gase, Dämpfe und Nebel	68
6.2.9	Kennzeichnung gasexplosionsgeschützter Betriebsmittel/Geräte	68
6.3	Installation elektrischer Anlagen in gasexplosionsgefährdeten Bereichen	69
6.3.1	Berührungsschutz	69
6.3.2	Potentialausgleich	69
6.3.3	Blitzschutzanlage	70
6.3.4	Schutz gegen elektrostatische Aufladung bei Geräten im Gas-Ex-Bereich	70
6.3.5	Zündgefahr durch optische Strahlung	72
6.3.6	Elektrische Schutz- und Überwachungseinrichtungen	74
6.3.7	Notabschaltung und Freischalten	74
6.3.8	Kabel und Leitungen	75
6.4	Auswahl elektrischer Betriebsmittel/Geräte für staubexplosionsgefährdete Bereiche	76
6.4.1	Gerätegruppe III und Kategorie 1D (Einsatz für Zone 20)	79
6.4.2	Gerätegruppe III und Kategorie 2D (Einsatz für Zone 21)	79
6.4.3	Gerätegruppe III und Kategorie 3D (Einsatz für Zone 22)	79
6.4.4	Zündtemperaturen (Staubwolke)	80
6.4.5	Glimmtemperaturen (Staubschicht)	80
6.4.6	Selbstentzündungstemperatur	81
6.4.7	Staubdichtigkeit bei Gehäusen	82
6.4.8	Kennzeichnung staubexplosionsgeschützter Betriebsmittel/Geräte	82
6.5	Installation elektrischer Anlagen in staubexplosionsgefährdeten Bereichen	82
6.5.1	Auswahl einiger brennbarer Stäube (Zündtemperaturen + Glimmtemperaturen)	83
6.5.2	Schutz gegen elektrostatische Aufladung bei Geräten im Staub-Ex-Bereich	84
6.5.3	Dichtungen	84
6.5.4	Außenbelüftung elektrischer Maschinen	84
6.5.5	Kabel und Leitungen	85
6.6	Inbetriebnahme einer überwachungsbedürftigen Anlage	85
6.6.1	Betrieb	86
6.6.2	Erhaltung des ordnungsgemäßen Zustands	86
6.6.3	Wartung und Instandhaltung einer Anlage	86
6.6.4	Vorschriften, Bestimmungen und Normen	87
6.6.5	Besondere Sicherheitsmaßnahmen	88
6.6.6	Vermeidung von Funkenbildung	88
6.6.7	Erlaubnisschein für Arbeiten in explosionsgefährdeten Bereichen	90
6.7	Instandsetzung einer Anlage	90
6.8	Instandsetzung explosionsgeschützter Betriebsmittel/Geräte	93
6.9	Installationsbescheinigung	94
6.10	Ständige Überwachung	94
<b>7</b>	<b>Anlagen mit eigensicheren Stromkreisen</b>	96
7.1	Auswahl der eigensicheren Betriebsmittel	96
7.2	Besondere Bedingungen in eigensicheren Stromkreisen	96
7.3	Kabel und Leitungen für eigensichere Stromkreise	96
7.4	Fehlerbetrachtung bei mehradrigen Kabeln und Leitungen	97
7.5	Zusammenschaltung eigensicherer Stromkreise	98
<b>8</b>	<b>Elektrische Antriebe - Elektromotoren</b>	99
<b>9</b>	<b>Elektrische Heizeinrichtungen</b>	101
<b>10</b>	<b>Leuchten und Lampen</b>	102



# Explosionsschutz in der MSR-Technik

## – Leitfaden für den Anwender –

<b>11 Explosionssgeschützte elektrische Betriebsmittel/Geräte</b> .....	103
11.1 Vorschriften und Bestimmungen .....	103
11.2 Qualitätssicherungssysteme, Geräteschutzniveau [EPL] und Kennzeichnungen .....	104
11.2.1 Konformitätsbewertungsverfahren .....	104
11.2.2 Geräteschutzniveau (EPL) elektrischer Betriebsmittel/Geräte .....	104
11.2.3 Kennzeichnung explosionsgeschützter Betriebsmittel (Gas-Explosionsschutz) .....	107
11.2.4 Kennzeichnung explosionsgeschützter Geräte (Staub-Explosionsschutz) .....	108
11.3 Zündschutzarten in gasexplosionsgefährdeten Bereichen .....	108
11.3.1 Ölkapselung „o“ – DIN EN 60079-6 (VDE 0170-2) .....	109
11.3.2 Überdruckkapselung „p“ – DIN EN 60079-2 (VDE 0170-3) .....	109
11.3.3 Sandkapselung „q“ – DIN EN 60079-5 (VDE 0170-4) .....	110
11.3.4 Druckfeste Kapselung „d“ – DIN EN 60079-1 (VDE 0170-6) .....	110
11.3.5 Erhöhte Sicherheit „e“ – DIN EN 60079-7 (VDE 0170-6) .....	111
11.3.6 Eigensicherheit „i“ – DIN EN 60079-11 (VDE 0170-7) .....	111
11.3.7 Vergusskapselung „m“ – DIN EN 60079-18 (VDE 0170-9) .....	112
11.3.8 Nicht funkend „n“ – DIN EN IEC 60079-15 (VDE 0170-16) .....	113
11.3.9 Eigensicheres System „i-SYST“ – DIN EN IEC 60079-25 (VDE 0170-10-1) .....	114
11.3.10 Sonderschutz „s“ – IEC 60079-33 .....	116
11.4 Zündschutzarten in staubexplosionsgefährdeten Bereichen .....	116
11.4.1 Schutz durch Gehäuse „t“ – DIN EN 60079-31 (VDE 0170-15-1) .....	117
11.4.2 Überdruckkapselung „pD“ – DIN EN 60079-2 (VDE 0170-3) .....	118
11.4.3 Eigensicherheit „iD“ – DIN EN 60079-11 (VDE 0170-9) .....	118
11.4.4 Vergusskapselung „mD“ – DIN EN 60079-18 (VDE 0170-9) .....	119
<b>12 Explosionssgeschützte nicht elektrische Ex-Geräte</b> .....	120
12.1 Vorschriften und Bestimmungen .....	120
12.2 Nicht-elektrische Geräte in explosionsgefährdeten Bereichen .....	120
12.2.1 Konstruktive Sicherheit „c“ – DIN EN ISO 80079-37 (vormals DIN EN 13463-5) .....	122
12.2.2 Zündquellenüberwachung „b“ – DIN EN ISO 80079-37 (vormals DIN EN 13463-6) .....	123
12.2.3 Flüssigkeitskapselung „k“ – DIN EN ISO 80079-37 (vormals DIN EN 13463-8) .....	123
12.2.4 Kennzeichnung nach Explosionsgruppen und Zündschutzarten .....	124
12.2.5 Kennzeichnung sehr kleiner nicht-elektrischer Geräte .....	124
12.2.6 Kennzeichnung nicht elektrischer Geräte gemäß EN 13463 .....	125
12.2.7 Kennzeichnung nicht elektrischer Geräte gemäß DIN EN ISO 80079-36 .....	125
<b>13 Gebräuchlichste Zündschutzarten in der industriellen MSR-Technik</b> .....	126
13.1 Druckfeste Kapselung „d“ – DIN EN 60079-1 (VDE 0170-5) .....	126
13.1.1 Zünddurchschlagsicherer Spalt .....	126
13.1.2 Gehäusewerkstoff .....	127
13.1.3 Kabeleinführungen .....	127
13.1.4 Elektrische Steckverbindungen .....	127
13.2 Erhöhte Sicherheit „e“ – DIN EN 60079-7 (VDE 0170-6) .....	128
13.2.1 Kabeleinführungen .....	128
13.2.2 Anschlussklemmen .....	128
13.2.3 Innere Leiterverbindungen .....	128
13.2.4 Luft- und Kriechstrecken .....	128
13.2.5 Feste Isolierstoffe .....	129
13.2.6 Abzweig- und Verbindungskästen .....	129
13.2.7 Kombination von Klemmen und Leitern in Abzweig- und Verbindungskästen .....	130
13.2.8 Querschnitte von Kupferleitern .....	130
13.3 Eigensicherheit „i“ – DIN EN 60079-11 (VDE 0170-7) .....	131
13.3.1 Schutzniveau „ia“ oder „ib“ oder „ic“ .....	131
13.3.2 Gehäuse .....	131
13.3.3 Temperaturen von Verdrahtungen und kleinen Bauteilen .....	132
13.3.4 Trennabstände an sicherheitsbestimmenden Komponenten .....	134
13.3.5 Trennabstände in Schränken und Gehäusen mit Ex-i-Stromkreisen .....	134
13.3.7 Anforderungen an Bauteile, von denen die Eigensicherheit abhängt .....	135
13.3.8 Sicherheitsbarrieren bzw. Zener-Barrieren .....	136
13.3.9 Prüfung der Durchschlagsfestigkeit (Typprüfung) .....	136
13.3.10 Prüfung der Spannungsfestigkeit (Stückprüfung) .....	137
13.3.11 „fremdartige“ Zusammenschaltung von Ex i- bzw. Ex nL-Stromkreisen .....	137
13.4 Vergusskapselung „m“ – DIN EN 60079-18 (VDE 0170-9) .....	138
13.4.1 Schutzniveau „ma“ oder „mb“ oder „mc“ .....	138
13.4.2 Vergussmasse .....	138
13.4.3 Dauergebrauchttemperatur der Vergussmasse .....	138



# Explosionsschutz in der MSR-Technik

## – Leitfaden für den Anwender –

13.4.4	Schichtdicke der Vergussmasse .....	138
13.4.5	Hohlräume im Verguss .....	138
13.4.6	Kabel- und Leitungseinführung im Verguss .....	138
14	<b>Zusammenschaltung eigensicherer Stromkreise</b> .....	139
14.1	Quellenkennlinie (Strom-/Spannungs-Kennlinie) .....	139
14.1.1	Schaltung mit linearer Quellenkennlinie .....	140
14.1.2	Schaltung mit trapezförmiger Quellenkennlinie .....	140
14.1.3	Schaltung mit rechteckförmiger Quellenkennlinie .....	140
14.2	Ein aktives Gerät im eigensicheren Stromkreis .....	141
14.3	Berechnung der Zuleitungslänge .....	141
14.4	Mehrere aktive Betriebsmittel/Geräte im eigensicheren Stromkreis .....	142
14.5	„Einfache“ elektrische Betriebsmittel/Geräte (simple apparatus) .....	144
14.5.1	Aktive Betriebsmittel/Geräte .....	145
14.5.2	Passive Betriebsmittel/Geräte (ohne Energiespeicher) .....	145
14.5.3	Passive Betriebsmittel/Geräte (mit Energiespeicher) .....	146
15	<b>Nachweis der Eigensicherheit bei Zusammenschaltungen</b> .....	147
15.1	$C_o$ - und $L_o$ -Parameter für gemischte Ex i-Stromkreise .....	148
15.2	$C_o$ - und $L_o$ -Parameter als konzentrierte Energiespeicher .....	149
15.3	Nachweis der Eigensicherheit nach sog. 50%-Regel .....	152
15.4	Fazit der Ex i-Zusammenschaltungen .....	153
15.5	Schaltungsbeispiele mit Beurteilung der Eigensicherheit .....	154
15.5.1	Schaltungsbeispiel-Nr.: 1 .....	154
15.5.2	Schaltungsbeispiel-Nr.: 2 .....	155
15.5.3	Schaltungsbeispiel-Nr.: 3 .....	156
15.5.4	Schaltungsbeispiel-Nr.: 4 .....	157
15.5.5	Schaltungsbeispiel-Nr.: 5 .....	159
15.5.6	Schaltungsbeispiel-Nr.: 6 .....	161
15.5.7	Schaltungsbeispiel-Nr.: 7 .....	162
15.5.8	Schaltungsbeispiel-Nr.: 8 .....	164
15.6	Zündkurven-Tabellen – DIN EN 60079-11 (VDE 0170-7): 2012-06, Anhang A .....	166
15.6.1	Kapazitiver Stromkreis (Werte für $C_o$ als Funktion von $U_o$ ) .....	166
15.6.2	Induktiver Stromkreis (Werte für $L_o$ als Funktion von $I_o$ ) .....	167
15.6.3	Ohmscher Stromkreis (Werte für $I_o$ als Funktion von $U_o$ ) .....	168
16	<b>Fallbeispiele mit explosionsgeschützten Betriebsmitteln/Geräten</b> .....	170
16.1	Zusammenschaltungen mit zugehörigen Betriebsmitteln .....	170
16.2	Zusammenschaltungen mit eigensicheren Betriebsmitteln .....	170
16.3	Verfügbare Leitungslängen in Abhängigkeit von „Ex ia IIC“ bis „Ex ib IIB“ .....	170
16.4	Fallbeispiele von Zusammenschaltungen mit zugehörigen Betriebsmitteln/Geräte .....	171
16.5	Fallbeispiele von Zusammenschaltungen mit eigensicheren Geräten .....	177
17	<b>Feldbussysteme im explosionsgefährdeten Bereich</b> .....	179
17.1	Aufbau eines eigensicheren Feldbussystems .....	179
17.2	Konzept für Feldbusse im explosionsgefährdeten Bereich .....	179
17.3	Speisegerät des Feldbussystems .....	180
17.3.1	Zusatzanforderungen für FISCO-Speisegeräte .....	180
17.3.2	Zusatzanforderungen für FNICO-Speisegeräte .....	181
17.4	Feldgerät des Feldbussystems .....	181
17.4.1	Zusatzanforderungen für FISCO-Feldgeräte .....	182
17.4.2	Zusatzanforderungen für FNICO-Feldgeräte .....	182
17.4.3	Zusatzanforderungen für FISCO-Abschlusswiderstände .....	182
17.4.4	Zusatzanforderungen für FNICO-Abschlusswiderstände .....	183
17.5	Anforderung an das Bussystem .....	183
17.5.1	Zusatzanforderungen für FISCO-Bussysteme .....	183
17.5.2	Zusatzanforderungen für FNICO-Bussysteme .....	183
17.5.3	Kennzeichnung von FISCO-Geräten .....	184
17.5.4	Kennzeichnung von FNICO-Geräten .....	184
17.6	Anwendungen anderer Zündschutzarten bei Feldbussystemen .....	184
17.7	Schirmkonzept bei Feldbussystemen .....	184
18	<b>Notifizierte ATEX-Prüfstellen der EU-Mitgliedstaaten</b> .....	186
19	<b>Notifizierte IECEx-Prüfstellen außerhalb der EU-Länder</b> .....	189
20	<b>Literaturnachweis</b> .....	190
21	<b>Abkürzungen und Kurzzeichen</b> .....	192
22	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	194