

Explosionsschutz in der MSR-Technik

– Leitfaden für den Anwender –

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Historie des Explosionsschutzes	8
2 Beurteilung einer Explosionsgefahr	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 Begriffserklärungen	15
4 Grundlagen des Explosionsschutzes	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 EU- bzw. EG-Ex-Richtlinien	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 –

6	Elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen	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
7	Anlagen mit eigensicheren Stromkreisen	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
8	Elektrische Antriebe - Elektromotoren	99
9	Elektrische Heizeinrichtungen	101
10	Leuchten und Lampen	102

Explosionsschutz in der MSR-Technik

– Leitfaden für den Anwender –

11 Explosionsschutz elektrische Betriebsmittel/Geräte	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
12 Explosionsschutz nicht elektrische Ex-Geräte	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
13 Gebräuchlichste Zündschutzarten in der industriellen MSR-Technik	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 Dauergebrauchtemperatur 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	Zusammenschaltung eigensicherer Stromkreise	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	Nachweis der Eigensicherheit bei Zusammenschaltungen	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	Fallbeispiele mit explosionsgeschützten Betriebsmitteln/Geräten	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	Feldbussysteme im explosionsgefährdeten Bereich	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	Notifizierte ATEX-Prüfstellen der EU-Mitgliedstaaten	186
19	Notifizierte IECEx-Prüfstellen außerhalb der EU-Länder	189
20	Literaturnachweis	190
21	Abkürzungen und Kurzzeichen	192
22	Stichwortverzeichnis	194