

# 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 .....	46
4.3.3 Explosionsunterdrückung .....	46
4.3.4 Verhindern der Explosionsübertragung .....	46
4.3.5 Flammendurchschlagsichere Einrichtung .....	47

<b>5</b>	<b>EG- bzw. EU-Ex-Richtlinien</b> . . . . .	<b>49</b>
5.1	EG-Richtlinie 94/9/EG (ATEX 95) bzw. EU-Richtlinie 2014/34/EU (ATEX 114) . . . . .	<b>52</b>
5.1.1	Anwendungsbereich . . . . .	<b>56</b>
5.1.2	Gegenüberstellung: RL 94/9/EG ↔ RL 79/196/EWG ↔ VDE „alt“ . . . . .	<b>57</b>
5.1.3	Grundlegende Anforderungen . . . . .	<b>62</b>
5.1.4	Gerätegruppen und Kategorien . . . . .	<b>63</b>
5.1.5	Inverkehrbringen von Produkten bzw. Bereitstellung auf dem Markt. . . . .	<b>64</b>
5.1.6	Konformitätsbewertungsverfahren . . . . .	<b>65</b>
5.1.7	CE- und Ex-Kennzeichnung auf Geräten, Schutzsystemen und Komponenten. . . . .	<b>67</b>
5.1.8	Gegenüberstellung: RL 94/9/EG bzw. RL 2014/34/EU ↔ RL 79/117/EWG . . . . .	<b>70</b>
5.1.9	Betriebsanleitung. . . . .	<b>72</b>
5.2	Explosionsschutzprodukteverordnung (11. ProdSV). . . . .	<b>73</b>
5.3	EG-Richtlinie 1999/92/EG (ATEX 137) bzw. BetrSichV 2015 . . . . .	<b>75</b>
5.3.1	Zoneneinteilung explosionsgefährdeter Bereiche . . . . .	<b>76</b>
5.3.2	Gasexplosionsschutz . . . . .	<b>77</b>
5.3.3	Staubexplosionsschutz. . . . .	<b>77</b>
5.3.4	Staubexplosionsschutz (alt) . . . . .	<b>78</b>
5.3.5	Medizinisch genutzte Räume. . . . .	<b>78</b>
5.3.6	Explosionsschutzregeln EX-RL mit Beispielsammlung (DGUV-Regel 113-001). . . . .	<b>79</b>
5.3.7	IEC/CENELEC ↔ NEC . . . . .	<b>80</b>
5.3.8	CENELEC ↔ NEC (Zone + Explosionsgruppe ↔ Class + Division + Group) . . . . .	<b>81</b>
5.3.9	CENELEC ↔ NEC (Zündtemperaturen und Temperaturklassen) . . . . .	<b>82</b>
5.3.10	CENELEC ↔ IEC (Normen ↔ Standards) . . . . .	<b>83</b>
5.4	Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) . . . . .	<b>84</b>
5.4.1	Anwendungsbereich . . . . .	<b>85</b>
5.4.2	Minimierung und Beurteilung der Explosionsrisiken . . . . .	<b>86</b>
5.4.3	Begriffsbestimmungen. . . . .	<b>86</b>
5.4.4	Gefährdungsbeurteilung . . . . .	<b>87</b>
5.4.5	Organisatorische Maßnahmen . . . . .	<b>88</b>
5.4.6	Explosionsschutzmaßnahmen . . . . .	<b>89</b>
5.4.7	Explosionsschutzdokument . . . . .	<b>91</b>
5.4.8	Betrieb von überwachungsbedürftigen Anlagen . . . . .	<b>92</b>

5.4.9	Prüfung von überwachungsbedürftigen Anlagen. . . . .	92
5.4.10	Prüfstelle und Prüfpersonal für überwachungsbedürftige Anlagen. . . . .	93
<b>6</b>	<b>Elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen . . . . .</b>	<b>99</b>
6.1	Errichten einer elektrischen Anlage im explosionsgefährdeten Bereich. . . . .	100
6.1.1	Anlagen in gasexplosionsgefährdeten Bereichen . . . . .	101
6.1.2	Anlagen in staubexplosionsgefährdeten Bereichen. . . . .	102
6.1.3	Sicherheitstechnische Kenngrößen . . . . .	102
6.1.4	IP-Schutzgrade bei explosionsgeschützten Geräten . . . . .	104
6.1.5	Kennzeichnungen harmonisierter Kabel und Leitungen . . . . .	107
6.2	Auswahl elektrischer Betriebsmittel/Geräte für gasexplosionsgefährdete Bereiche . . . . .	109
6.2.1	Gerätegruppe II und Kategorie 1G (Einsatz für Zone 0). . . . .	110
6.2.2	Gerätegruppe II und Kategorie 2G (Einsatz für Zone 1). . . . .	111
6.2.3	Gerätegruppe II und Kategorie 3G (Einsatz für Zone 2). . . . .	112
6.2.4	Sonderanfertigung gemäß Explosionsschutzprodukteverordnung – ExVO; § 4 Abs. 5 (11. ProdSV). . . . .	114
6.2.5	Explosionsgruppen (Funkenzündung). . . . .	115
6.2.6	Temperaturklassen (Thermozündung). . . . .	118
6.2.7	Explosionsgruppen und Temperaturklassen einiger brennbarer Stoffe . . . . .	119
6.2.8	Sicherheitstechnische Kennzahlen einiger brennbarer Gase, Dämpfe und Nebel. . . . .	120
6.2.9	Kennzeichnung gasexplosionssgeschützter elektrischer Betriebsmittel/ Geräte. . . . .	120
6.3	Installation elektrischer Anlagen in gasexplosionsgefährdeten Bereichen. . . . .	121
6.3.1	Berührungsschutz . . . . .	121
6.3.2	Potentialausgleich . . . . .	121
6.3.3	Blitzschutzanlage. . . . .	124
6.3.4	Schutz gegen elektrostatische Aufladung bei Geräten im Gas-Ex-Bereich. . . . .	124
6.3.5	Zündgefahr durch optische Strahlung . . . . .	127
6.3.6	Elektrische Schutz- und Überwachungseinrichtungen . . . . .	130
6.3.7	Notabschaltung und Freischalten. . . . .	130
6.3.8	Kabel und Leitungen . . . . .	131
6.4	Auswahl elektrischer Betriebsmittel/Geräte für staubexplosionsgefährdete Bereiche . . . . .	134
6.4.1	Gerätegruppe III und Kategorie 1D (Einsatz für Zone 20) . . . . .	138
6.4.2	Gerätegruppe III und Kategorie 2D (Einsatz für Zone 21) . . . . .	139

6.4.3	Gerätegruppe III und Kategorie 3D (Einsatz für Zone 22) . . . . .	139
6.4.4	Zündtemperaturen (Staubwolke) . . . . .	140
6.4.5	Glimmtemperaturen (Staubschicht) . . . . .	140
6.4.6	Selbstentzündungstemperatur . . . . .	142
6.4.7	Staubdichtigkeit bei Gehäusen . . . . .	143
6.4.8	Kennzeichnung staubexplosionsgeschützter Betriebsmittel/Geräte . . .	143
6.5	Installation elektrischer Anlagen in staubexplosionsgefährdeten Bereichen . . . . .	144
6.5.1	Auswahl einiger brennbarer Stäube (Zündtemperaturen + Glimmtemperaturen) . . . . .	145
6.5.2	Schutz gegen elektrostatische Aufladung bei Geräten im Staub-Ex-Bereich . . . . .	146
6.5.3	Dichtungen. . . . .	147
6.5.4	Außenbelüftung elektrischer Maschinen . . . . .	147
6.5.5	Kabel und Leitungen . . . . .	148
6.6	Inbetriebnahme einer überwachungsbedürftigen Anlage . . . . .	149
6.6.1	Betrieb . . . . .	150
6.6.2	Erhaltung des ordnungsgemäßen Zustands . . . . .	150
6.6.3	Wartung und Instandhaltung einer Anlage. . . . .	150
6.6.4	Vorschriften, Bestimmungen und Normen . . . . .	151
6.6.5	Besondere Sicherheitsmaßnahmen . . . . .	153
6.6.6	Vermeidung von Funkenbildung . . . . .	153
6.6.7	Erlaubnisschein für Arbeiten in explosionsgefährdeten Bereichen . . .	156
6.7	Instandsetzung einer Anlage . . . . .	157
6.8	Instandsetzung explosionsgeschützter Betriebsmittel/Geräte . . . . .	161
6.9	Installationsbescheinigung. . . . .	163
6.10	Ständige Überwachung . . . . .	163
<b>7</b>	<b>Anlagen mit eigensicheren Stromkreisen . . . . .</b>	<b>165</b>
7.1	Auswahl der eigensicheren Betriebsmittel . . . . .	165
7.2	Besondere Bedingungen in eigensicheren Stromkreisen. . . . .	166
7.3	Kabel und Leitungen für eigensichere Stromkreise. . . . .	166
7.4	Fehlerbetrachtung bei mehradrigen Kabeln und Leitungen . . . . .	168
7.5	Zusammenschaltung eigensicherer Stromkreise . . . . .	168
<b>8</b>	<b>Elektrische Antriebe – Elektromotoren . . . . .</b>	<b>171</b>
<b>9</b>	<b>Elektrische Heizeinrichtungen . . . . .</b>	<b>175</b>
<b>10</b>	<b>Leuchten und Lampen . . . . .</b>	<b>177</b>

<b>11</b>	<b>Explosionsschutz elektrische Betriebsmittel/Geräte</b> . . . . .	179
11.1	Vorschriften und Bestimmungen . . . . .	179
11.2	Qualitätssicherungssystem, Geräteschutzniveau (EPL) und Kennzeichnungen . . . . .	180
11.2.1	Konformitätsbewertungsverfahren . . . . .	180
11.2.2	Geräteschutzniveau (EPL) elektrischer Betriebsmittel/Geräte . . . . .	182
11.2.3	Kennzeichnung explosionsgeschützter Betriebsmittel (Gasexplosionsschutz) . . . . .	183
11.2.4	Kennzeichnung explosionsgeschützter Geräte (Staubexplosionsschutz) . . . . .	185
11.3	Zündschutzarten in gasexplosionsgefährdeten Bereichen . . . . .	186
11.3.1	Ölkapselung „o“ – DIN EN 60079-6 (VDE 0170-2) . . . . .	187
11.3.2	Überdruckkapselung „p“ – DIN EN 60079-2 (VDE 0170-3) . . . . .	187
11.3.3	Sandkapselung „q“ – DIN EN 60079-5 (VDE 0170-4) . . . . .	188
11.3.4	Druckfeste Kapselung „d“ – DIN EN 60079-1 (VDE 0170-5) . . . . .	189
11.3.5	Erhöhte Sicherheit „e“ – DIN EN 60079-7 (VDE 0170-6) . . . . .	190
11.3.6	Eigensicherheit „i“ – DIN EN 60079-11 (VDE 0170-7) . . . . .	191
11.3.7	Vergusskapselung „m“ – DIN EN 60079-18 (VDE 0170-9) . . . . .	192
11.3.8	Nicht funkend „n“ – DIN EN 60079-15 (VDE 0170-16) . . . . .	194
11.3.9	Eigensicheres System „i-SYST“ – DIN EN 60079-25 (VDE 0170-10-1) . . . . .	195
11.3.10	Sonderschutz „s“ – IEC 60079-33 . . . . .	199
11.4	Zündschutzarten in staubexplosionsgefährdeten Bereichen . . . . .	200
11.4.1	Schutz durch Gehäuse „tD“ – DIN EN 60079-31 (VDE 0170-15-1) . . . . .	200
11.4.2	Überdruckkapselung „pD“ – DIN EN 60079-2 (VDE 0170-3), vormals DIN EN 61241-4 (VDE 0170-15-4) . . . . .	202
11.4.3	Eigensicherheit „iD“ – DIN EN 60079-11 (VDE 0170-7) . . . . .	203
11.4.4	Vergusskapselung „mD“ – DIN EN 60079-18 (VDE 0170-9) . . . . .	205
<b>12</b>	<b>Explosionsschutz nicht elektrische Geräte</b> . . . . .	207
12.1	Vorschriften und Bestimmungen . . . . .	207
12.2	Nicht elektrische Geräte in explosionsgefährdeten Bereichen . . . . .	208
12.2.1	Konstruktive Sicherheit „c“ – DIN EN ISO 80079-37 (vormals DIN EN 13463-5) . . . . .	211
12.2.2	Zündquellenüberwachung „b“ – DIN EN ISO 80079-37 (vormals DIN EN 13463-6) . . . . .	211
12.2.3	Flüssigkeitskapselung „k“ – DIN EN ISO 80079-37 (vormals DIN EN 13463-8) . . . . .	213
12.2.4	Kennzeichnung nach Explosionsgruppen und Zündschutzarten . . . . .	213
12.2.5	Kennzeichnung sehr kleiner nicht elektrischer Geräte . . . . .	215

12.2.6	Kennzeichnung nicht elektrischer Geräte . . . . .	215
--------	---	-----

**13 Gebräuchlichste Zündschutzarten in der industriellen**

	<b>MSR-Technik . . . . .</b>	<b>217</b>
13.1	Druckfeste Kapselung „d“ – DIN EN 60079-1 (VDE 0170-5) . . . . .	217
13.1.1	Zünddurchschlagsicherer Spalt . . . . .	218
13.1.2	Gehäusewerkstoff . . . . .	219
13.1.3	Kabeleinführungen . . . . .	219
13.1.4	Elektrische Steckverbindungen . . . . .	220
13.2	Erhöhte Sicherheit „e“ – DIN EN 60079-7 (VDE 0170-6) . . . . .	220
13.2.1	Kabeleinführungen . . . . .	221
13.2.2	Anschlussklemmen . . . . .	221
13.2.3	Innere Leiterverbindungen . . . . .	221
13.2.4	Luft- und Kriechstrecken . . . . .	221
13.2.5	Feste Isolierstoffe . . . . .	222
13.2.6	Abzweig- und Verbindungskästen . . . . .	223
13.2.7	Kombination von Klemmen und Leitern in Abzweig- und Verbindungskästen . . . . .	224
13.2.8	Querschnitte von Kupferleitern . . . . .	225
13.3	Eigensicherheit „i“ – DIN EN 60079-11 (VDE 0170-7) . . . . .	226
13.3.1	Schutzniveau „ia“ und „ib“ und „ic“ . . . . .	227
13.3.2	Gehäuse . . . . .	227
13.3.3	Temperaturen von Verdrahtungen und kleinen Bauteilen . . . . .	227
13.3.4	Trennabstände an sicherheitsbestimmenden Komponenten . . . . .	230
13.3.5	Anforderungen an Bauteile, von denen die Eigensicherheit abhängt . . . . .	231
13.3.6	Sicherheitsbarrieren bzw. Zener-Barrieren . . . . .	232
13.3.7	Prüfung der Durchschlagsfestigkeit (Typprüfung) . . . . .	233
13.3.8	Prüfung der Spannungsfestigkeit (Stückprüfung) . . . . .	233
13.3.9	„Fremdartige“ Zusammenschaltung von Ex-i- bzw. Ex-nL-Stromkreisen . . . . .	235
13.4	Vergusskapselung „m“ – DIN EN 60079-18 (VDE 0170-9) . . . . .	235
13.4.1	Schutzniveau „ma“ und „mb“ und „mc“ . . . . .	235
13.4.2	Vergussmasse . . . . .	236
13.4.3	Dauergebrauchstemperatur der Vergussmasse . . . . .	236
13.4.4	Schichtdicke der Vergussmasse . . . . .	236
13.4.5	Hohlräume im Verguss . . . . .	237
13.4.6	Kabel- und Leitungseinführung im Verguss . . . . .	237

**14 Zusammenschaltung eigensicherer Stromkreise . . . . . 239**

14.1	Quellenkennlinie (Strom-/Spannungs-Kennlinie) . . . . .	240
------	---	-----

14.1.1	Schaltung mit linearer Quellenkennlinie . . . . .	241
14.1.2	Schaltung mit trapezförmiger Quellenkennlinie . . . . .	242
14.1.3	Schaltung mit rechteckförmiger Quellenkennlinie . . . . .	243
14.2	Ein aktives Gerät im eigensicheren Stromkreis. . . . .	243
14.3	Berechnung der Zuleitungslänge. . . . .	244
14.4	Mehrere aktive Betriebsmittel/Geräte im eigensicheren Stromkreis. . .	245
14.5	„Einfache“ elektrische Betriebsmittel/Geräte (simple apparatus). . . .	248
14.5.1	Aktive Betriebsmittel/Geräte . . . . .	250
14.5.2	Passive Betriebsmittel/Geräte (ohne Energiespeicher) . . . . .	251
14.5.3	Passive Betriebsmittel/Geräte (mit Energiespeicher) . . . . .	253
<b>15</b>	<b>Nachweis der Eigensicherheit bei Zusammenschaltungen . . . . .</b>	<b>255</b>
15.1	$C_o$ - und $L_o$ -Parameter für gemischte Ex-i-Stromkreise . . . . .	257
15.2	$C_o$ - und $L_o$ -Parameter als konzentrierte Energiespeicher. . . . .	259
15.3	Nachweis der Eigensicherheit nach sog. 50 %-Regel . . . . .	264
15.4	Fazit der Ex-i-Zusammenschaltungen . . . . .	267
15.5	Schaltungsbeispiele mit Beurteilung der Eigensicherheit . . . . .	268
15.5.1	Schaltungsbeispiel 1 . . . . .	268
15.5.2	Schaltungsbeispiel 2 . . . . .	270
15.5.3	Schaltungsbeispiel 3 . . . . .	272
15.5.4	Schaltungsbeispiel 4 . . . . .	274
15.5.5	Schaltungsbeispiel 5 . . . . .	278
15.5.6	Schaltungsbeispiel 6 . . . . .	282
15.5.7	Schaltungsbeispiel 7 . . . . .	284
15.5.8	Schaltungsbeispiel 8 . . . . .	287
15.6	Zündkurventabellen – DIN EN 60079-11 (VDE 0170-7):2012-06, Anhang A. . . . .	290
15.6.1	Kapazitiver Stromkreis (Werte für $C_o$ als Funktion von $U_o$ ). . . . .	290
15.6.2	Induktiver Stromkreis (Werte für $L_o$ als Funktion von $I_o$ ). . . . .	293
15.6.3	Ohm'scher Stromkreis (Werte für $I_o$ als Funktion von $U_o$ ) . . . . .	295
<b>16</b>	<b>Fallbeispiele mit explosionsgeschützten Betriebsmitteln/ Geräten . . . . .</b>	<b>299</b>
16.1	Zusammenschaltungen mit zugehörigen Betriebsmitteln . . . . .	299
16.2	Zusammenschaltungen mit eigensicheren Betriebsmitteln . . . . .	300
16.3	Verfügbare Leitungslängen in Abhängigkeit von „Ex ia IIC“ bis „Ex ib IIB“. . . . .	301
16.4	Fallbeispiele von Zusammenschaltungen mit zugehörigen Betriebsmitteln/Geräten. . . . .	302
16.5	Fallbeispiele von Zusammenschaltungen mit eigensicheren Geräten . .	308

<b>17</b>	<b>Feldbussysteme im explosionsgefährdeten Bereich</b>	311
17.1	Aufbau eines eigensicheren Feldbussystems	311
17.2	Konzept für Feldbusse im explosionsgefährdeten Bereich	312
17.3	Speisegerät des Feldbussystems	313
17.3.1	Zusatzanforderungen für FISCO-Speisegeräte	313
17.3.2	Zusatzanforderungen für FNICO-Speisegeräte	314
17.4	Feldgerät des Feldbussystems	315
17.4.1	Zusatzanforderungen für FISCO-Feldgeräte	315
17.4.2	Zusatzanforderungen für FNICO-Feldgeräte	316
17.4.3	Zusatzanforderungen für FISCO-Abschlusswiderstände	317
17.4.4	Zusatzanforderungen für FNICO-Abschlusswiderstände	317
17.5	Anforderungen an das Bussystem	317
17.5.1	Zusatzanforderungen für FISCO-Bussysteme	318
17.5.2	Zusatzanforderungen für FNICO-Bussysteme	318
17.5.3	Kennzeichnung von FISCO-Geräten	319
17.5.4	Kennzeichnung von FNICO-Geräten	319
17.6	Anwendung anderer Zündschutzarten bei Feldbussystemen	319
17.7	Schirmkonzept bei Feldbussystemen	320
<b>18</b>	<b>Notifizierte ATEX-Prüfstellen der europäischen Länder</b>	323
<b>19</b>	<b>Notifizierte IECEx-Prüfstellen außerhalb von Europa</b>	327
<b>Literatur</b>		329
<b>Abkürzungen und Kurzzeichen</b>		335
<b>Stichwortverzeichnis</b>		339