

# 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 Explosionstechnische Entkopplung .....	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. . . . .	<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 . . .	155
6.7	Instandsetzung einer Anlage . . . . .	156
6.8	Instandsetzung explosionsgeschützter Betriebsmittel/Geräte . . . . .	161
6.9	Installationsbescheinigung. . . . .	162
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) . . . . .	185
11.2.4	Kennzeichnung explosionsgeschützter Geräte (Staubexplosionsschutz) . . . . .	186
11.3	Zündschutzarten in gasexplosionsgefährdeten Bereichen . . . . .	188
11.3.1	Ölkapselung „o“ – DIN EN 60079-6 (VDE 0170-2) . . . . .	188
11.3.2	Überdruckkapselung „p“ – DIN EN 60079-2 (VDE 0170-3) . . . . .	189
11.3.3	Sandkapselung „q“ – DIN EN 60079-5 (VDE 0170-4) . . . . .	189
11.3.4	Druckfeste Kapselung „d“ – DIN EN 60079-1 (VDE 0170-5) . . . . .	190
11.3.5	Erhöhte Sicherheit „e“ – DIN EN 60079-7 (VDE 0170-6) . . . . .	191
11.3.6	Eigensicherheit „i“ – DIN EN 60079-11 (VDE 0170-7) . . . . .	192
11.3.7	Vergusskapselung „m“ – DIN EN 60079-18 (VDE 0170-9) . . . . .	194
11.3.8	Nicht funkend „n“ – DIN EN IEC 60079-15 (VDE 0170-16) . . . . .	195
11.3.9	Eigensicheres System „i-SYST“ – DIN EN IEC 60079-25 (VDE 0170-10-1) . . . . .	196
11.3.10	Sonderschutz „s“ – IEC 60079-33 . . . . .	200
11.4	Zündschutzarten in staubexplosionsgefährdeten Bereichen . . . . .	201
11.4.1	Schutz durch Gehäuse „t“ – DIN EN 60079-31 (VDE 0170-15-1) . . . . .	201
11.4.2	Überdruckkapselung „pD“ – DIN EN 60079-2 (VDE 0170-3), vormals DIN EN 61241-4 (VDE 0170-15-4) . . . . .	203
11.4.3	Eigensicherheit „iD“ – DIN EN 60079-11 (VDE 0170-7) . . . . .	204
11.4.4	Vergusskapselung „mD“ – DIN EN 60079-18 (VDE 0170-9) . . . . .	206
<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
12.2.7	Kennzeichnung nicht elektrischer Geräte gemäß DIN EN ISO 80079-36 .....	216
<b>13</b>	<b>Gebräuchlichste Zündschutzarten in der industriellen 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	Trennabstände in Schränken und Gehäusen mit Ex-i-Stromkreisen ..	231
13.3.6	Erdung eigensicherer Stromkreise.....	232
13.3.7	Anforderungen an Bauteile, von denen die Eigensicherheit abhängt ..	233
13.3.8	Sicherheitsbarrieren bzw. Zener-Barrieren .....	234
13.3.9	Prüfung der Durchschlagsfestigkeit (Typprüfung) .....	235
13.3.10	Prüfung der Spannungsfestigkeit (Stückprüfung) .....	235
13.3.11	„Fremdartige“ Zusammenschaltung von Ex-i- bzw. Ex-nL-Stromkreisen .....	237
13.4	Vergusskapselung „m“ – DIN EN 60079-18 (VDE 0170-9).....	237
13.4.1	Schutzniveau „ma“ und „mb“ und „mc“ .....	237
13.4.2	Vergussmasse .....	238
13.4.3	Dauergebrauchstemperatur der Vergussmasse.....	238
13.4.4	Schichtdicke der Vergussmasse .....	238
13.4.5	Hohlräume im Verguss.....	239

13.4.6	Kabel- und Leitungseinführung im Verguss . . . . .	239
<b>14</b>	<b>Zusammenschaltung eigensicherer Stromkreise. . . . .</b>	<b>241</b>
14.1	Quellenkennlinie (Strom-/Spannungs-Kennlinie) . . . . .	242
14.1.1	Schaltung mit linearer Quellenkennlinie . . . . .	243
14.1.2	Schaltung mit trapezförmiger Quellenkennlinie . . . . .	244
14.1.3	Schaltung mit rechteckförmiger Quellenkennlinie . . . . .	245
14.2	Ein aktives Gerät im eigensicheren Stromkreis. . . . .	245
14.3	Berechnung der Zuleitungslänge . . . . .	246
14.4	Mehrere aktive Betriebsmittel/Geräte im eigensicheren Stromkreis. . . . .	247
14.5	„Einfache“ elektrische Betriebsmittel/Geräte (simple apparatus) . . . . .	250
14.5.1	Aktive Betriebsmittel/Geräte . . . . .	252
14.5.2	Passive Betriebsmittel/Geräte (ohne Energiespeicher) . . . . .	253
14.5.3	Passive Betriebsmittel/Geräte (mit Energiespeicher) . . . . .	255
<b>15</b>	<b>Nachweis der Eigensicherheit bei Zusammenschaltungen . . . . .</b>	<b>257</b>
15.1	$C_o$ - und $L_o$ -Parameter für gemischte Ex-i-Stromkreise . . . . .	259
15.2	$C_o$ - und $L_o$ -Parameter als konzentrierte Energiespeicher. . . . .	261
15.3	Nachweis der Eigensicherheit nach sog. 50 %-Regel . . . . .	266
15.4	Fazit der Ex-i-Zusammenschaltungen . . . . .	269
15.5	Schaltungsbeispiele mit Beurteilung der Eigensicherheit . . . . .	270
15.5.1	Schaltungsbeispiel 1 . . . . .	270
15.5.2	Schaltungsbeispiel 2 . . . . .	272
15.5.3	Schaltungsbeispiel 3 . . . . .	274
15.5.4	Schaltungsbeispiel 4 . . . . .	276
15.5.5	Schaltungsbeispiel 5 . . . . .	280
15.5.6	Schaltungsbeispiel 6 . . . . .	284
15.5.7	Schaltungsbeispiel 7 . . . . .	286
15.5.8	Schaltungsbeispiel 8 . . . . .	289
15.6	Zündkurventabellen – DIN EN 60079-11 (VDE 0170-7):2012-06, Anhang A. . . . .	292
15.6.1	Kapazitiver Stromkreis (Werte für $C_o$ als Funktion von $U_o$ ) . . . . .	292
15.6.2	Induktiver Stromkreis (Werte für $L_o$ als Funktion von $I_o$ ) . . . . .	295
15.6.3	Ohm'scher Stromkreis (Werte für $I_o$ als Funktion von $U_o$ ) . . . . .	297
<b>16</b>	<b>Fallbeispiele mit explosionsgeschützten Betriebsmitteln/Geräten . . . . .</b>	<b>301</b>
16.1	Zusammenschaltungen mit zugehörigen Betriebsmitteln . . . . .	301
16.2	Zusammenschaltungen mit eigensicheren Betriebsmitteln . . . . .	302
16.3	Verfügbare Leitungslängen in Abhängigkeit von „Ex ia IIC“ bis „Ex ib IIB“. . . . .	303

16.4	Fallbeispiele von Zusammenschaltungen mit zugehörigen Betriebsmitteln/Geräten. . . . .	304
16.5	Fallbeispiele von Zusammenschaltungen mit eigensicheren Geräten. . .	310
<b>17</b>	<b>Feldbussysteme im explosionsgefährdeten Bereich . . . . .</b>	<b>313</b>
17.1	Aufbau eines eigensicheren Feldbussystems. . . . .	313
17.2	Konzept für Feldbusse im explosionsgefährdeten Bereich . . . . .	314
17.3	Speisegerät des Feldbussystems . . . . .	315
17.3.1	Zusatzanforderungen für FISCO-Speisegeräte . . . . .	315
17.3.2	Zusatzanforderungen für FNICO-Speisegeräte. . . . .	316
17.4	Feldgerät des Feldbussystems . . . . .	317
17.4.1	Zusatzanforderungen für FISCO-Feldgeräte . . . . .	317
17.4.2	Zusatzanforderungen für FNICO-Feldgeräte. . . . .	318
17.4.3	Zusatzanforderungen für FISCO-Abschlusswiderstände . . . . .	319
17.4.4	Zusatzanforderungen für FNICO-Abschlusswiderstände . . . . .	319
17.5	Anforderungen an das Bussystem . . . . .	319
17.5.1	Zusatzanforderungen für FISCO-Bussysteme. . . . .	320
17.5.2	Zusatzanforderungen für FNICO-Bussysteme . . . . .	320
17.5.3	Kennzeichnung von FISCO-Geräten. . . . .	321
17.5.4	Kennzeichnung von FNICO-Geräten . . . . .	321
17.6	Anwendung anderer Zündschutzarten bei Feldbussystemen. . . . .	321
17.7	Schirmkonzept bei Feldbussystemen. . . . .	322
<b>18</b>	<b>Notifizierte ATEX-Prüfstellen der europäischen Länder . . . . .</b>	<b>325</b>
<b>19</b>	<b>Notifizierte IECEx-Prüfstellen außerhalb der EU . . . . .</b>	<b>329</b>
<b>Literatur</b>	. . . . .	<b>331</b>
<b>Abkürzungen und Kurzzeichen</b>	. . . . .	<b>337</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b>	. . . . .	<b>341</b>