

# Inhaltsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| <b>Wichtige Abkürzungen</b> .....   | 14 |
| <b>1 Physikalisch-chemische Grundlagen der Explosions-<br/>gefährdung</b> .....                                     | 15 |
| 1.1 Explosion .....   | 15 |
| 1.2 Explosionsfähige Atmosphäre .....   | 16 |
| 1.3 Sicherheitstechnische Kennzahlen .....  | 16 |
| 1.3.1 Dichte .....  | 18 |
| 1.3.2 Gemiskonzentration .....  | 18 |
| 1.3.3 Flammpunkt .....  | 18 |
| 1.3.4 Zündbereich, Zündgrenzen .....  | 19 |
| 1.3.5 Reaktionsgeschwindigkeit, Explosionsdruck .....   | 20 |
| 1.4 Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre .....   | 22 |
| 1.5 Explosionsfähige Staub-Luft-Gemische .....  | 23 |
| 1.6 Zündquellen .....   | 27 |
| 1.6.1 Wärmezündung, Zündtemperatur .....  | 28 |
| 1.6.2 Funkenzündung, Mindestzündenergie .....   | 31 |
| 1.6.3 Zündung durch elektrische Aufladung .....   | 33 |
| 1.6.4 Zündung durch Strahlung .....   | 33 |
| 1.6.5 Zündung durch adiabatische Kompression .....  | 35 |
| 1.6.6 Zündung durch chemische Reaktionen .....  | 35 |
| 1.7 Einteilung des explosionsgefährdeten Bereichs in Zonen ...  | 36 |
| 1.8 Explosionsschutz .....  | 44 |
| 1.8.1 Primärer Explosionsschutz .....   | 46 |
| 1.8.2 Zündschutzmaßnahmen .....   | 50 |
| 1.8.3 Konstruktive Maßnahmen, die die Auswirkung<br>einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß<br>beschränken ..... | 52 |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>2</b> | <b>Die Verordnung über elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen (ElexV) und ihre Anwendung in der Praxis</b> | <b>53</b> |
| 2.1      | Allgemeines  | 53        |
| 2.2      | Einführung   | 54        |
| 2.3      | Montage, Installation und Betrieb elektrischer Betriebsmittel nach der ElexV   | 56        |
| 2.3.1    | Geltungsbereich  | 56        |
| 2.3.2    | Aufbau der ElexV   | 57        |
| 2.3.3    | Grundsätze   | 58        |
| 2.3.4    | Abweichungen   | 59        |
| 2.3.5    | Prüfungen  | 59        |
| 2.3.6    | Sachverständige  | 61        |
| 2.3.7    | Betreiberpflichten   | 62        |
| 2.3.8    | Behördliche Zuständigkeit  | 63        |
| 2.4      | Beschaffenheitsanforderungen   | 63        |
| 2.4.1    | Grundsätze   | 63        |
| 2.4.2    | Regelungen zu elektrischen Betriebsmitteln in Ex-Bereichen   | 65        |
| 2.4.3    | Elektrische Betriebsmittel und 11. GSGV  | 66        |
| 2.4.4    | Elektrische Betriebsmittel und VbF   | 68        |
| <b>3</b> | <b>Elektrische Antriebe und ihre Schutzeinrichtungen</b>   | <b>71</b> |
| 3.1      | Allgemeines  | 71        |
| 3.2      | Bestimmungen für Bauart und Prüfung  | 74        |
| 3.3      | Zündschutzart „Erhöhte Sicherheit e“   | 76        |
| 3.3.1    | IP-Schutzart und Zündschutzart   | 76        |
| 3.3.2    | Thermische Schutzmaßnahmen   | 77        |
| 3.3.3    | Auslösekenntlinie  | 80        |
| 3.3.4    | Anzahl und Schaltung der Auslöser  | 83        |
| 3.3.5    | Phasenausfallschutz  | 83        |
| 3.3.6    | Thermischer Motorschutz  | 84        |
| 3.3.7    | Isolationstechnische Schutzmaßnahmen   | 88        |
| 3.4      | Zündschutzart „Druckfeste Kapselung d“   | 89        |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 3.4.1  | Schutzmaßnahmen gegen Zünddurchschlag . . . . .                 | 90  |
| 3.4.2  | Thermische Schutzmaßnahmen . . . . .                            | 92  |
| 3.4.3  | Anschlußtechnik . . . . .                                       | 93  |
| 3.5    | Zündschutzart „Überdruckkapselung p“ . . . . .                  | 95  |
| 3.6    | Wahl der Zündschutzart nach der Betriebsart . . . . .           | 96  |
| 3.6.1  | Grenzen der Stromüberwachung . . . . .                          | 97  |
| 3.6.2  | Kurzzeit- oder Aussetzbetrieb (S2 oder S3) . . . . .            | 98  |
| 3.6.3  | Schaltbetrieb (S4, S5 oder S7) . . . . .                        | 98  |
| 3.6.4  | Schweranlauf . . . . .  | 99  |
| 3.6.5  | Konsequenzen für die Wahl der Zündschutzart . . . . .           | 100 |
| 3.7    | Wahl der Zündschutzart nach dem Motorpreis . . . . .            | 101 |
| 3.8    | Mechanische Bremsung . . . . .                                  | 102 |
| 3.9    | Umrichter gespeiste Drehstromantriebe . . . . .                 | 105 |
| 3.9.1  | Gründe für die Wahl der Drehzahlverstellung . . . . .           | 105 |
| 3.9.2  | Umrichterarten . . . . .  | 107 |
| 3.9.3  | Ausnutzung des Motors . . . . .                                 | 108 |
| 3.9.4  | Festlegungen in den Normen . . . . .                            | 109 |
| 3.9.5  | Umrichterspeisung bei Zündschutzart d . . . . .                 | 110 |
| 3.9.6  | Umrichterspeisung bei Zündschutzart e . . . . .                 | 112 |
| 3.9.7  | Preisvergleich der Zündschutzarten e und d . . . . .            | 113 |
| 3.9.8  | Begrenzung der Spannungsspitzen . . . . .                       | 114 |
| 3.9.9  | Luft- und Kriechstrecken . . . . .                              | 115 |
| 3.10   | Welt-Normspannung 400 V nach IEC 38 . . . . .                   | 116 |
| 3.10.1 | Zulässige Spannungsschwankung für Elektro-<br>motoren . . . . . | 116 |
| 3.10.2 | Neubeschaffung elektrischer Maschinen . . . . .                 | 118 |
| 3.10.3 | Weiterbetrieb elektrischer Maschinen . . . . .                  | 120 |
| 3.10.4 | Prüfkriterien für den Weiterbetrieb an 400 V . . . . .          | 121 |
| 3.10.5 | Vorentscheidung nach dem Leistungsfaktor . . . . .              | 122 |
| 3.10.6 | Funktion des Sachverständigen . . . . .                         | 123 |
| 3.11   | Staubexplosionsschutz . . . . .                                 | 125 |
| 3.11.1 | Zoneneinteilung und Baumusterprüfbescheinigung . . . . .        | 125 |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 3.11.2   | Grundsätze des Staubexplosionsschutzes   | 127        |
| 3.11.3   | Staubschutzgrade   | 127        |
| 3.11.4   | Maximal zulässige Oberflächentemperatur  | 130        |
| 3.11.5   | Staubablagerungen und Einschüttung   | 131        |
| <b>4</b> | <b>Explosionsgeschützte Schaltgeräte und Schaltanlagen</b>                                 | <b>137</b> |
| 4.1      | Einleitung   | 137        |
| 4.2      | Explosionsschutz   | 137        |
| 4.2.1    | Gehäusekapselung   | 140        |
| 4.2.2    | Komponentenkapselung   | 146        |
| 4.2.3    | Einzelkontaktkapselung   | 149        |
| 4.2.4    | Schaltgeräte und Schaltanlagen für Zone 2  | 150        |
| 4.3      | Fabrikfertige Schaltgerätekombinationen (FSK)  | 150        |
| 4.3.1    | Begrenzung von Störungen   | 151        |
| 4.3.2    | Schaltanlagen für Be- und Verarbeitungsmaschinen   | 153        |
| 4.3.3    | Eigensichere Stromkreise in Schaltanlagen  | 153        |
| <b>5</b> | <b>Errichten elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen</b>                   | <b>155</b> |
| 5.1      | Auswahl der Betriebsmittel   | 155        |
| 5.2      | Vermeidung von Zündungen durch die Anwendung der Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag | 155        |
| 5.3      | Potentialausgleich   | 156        |
| 5.4      | Elektrische Anlage   | 157        |
| 5.4.1    | Notabschaltung   | 159        |
| 5.4.2    | Verlegung von Kabeln und Leitungen   | 159        |
| 5.4.3    | Steckdosenstromkreise  | 166        |
| 5.4.4    | Steckdosen für Reparatur und Instandhaltung  | 172        |
| <b>6</b> | <b>Beleuchtungsanlagen in explosionsgefährdeten Bereichen</b>                              | <b>175</b> |
| 6.1      | Anforderungen an die Beleuchtungsanlage  | 175        |
| 6.2      | Lampen   | 179        |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 6.3    | Leuchten  | 181 |
| 6.3.1  | Leuchtengehäuse   | 183 |
| 6.3.2  | Lampenfassungen   | 184 |
| 6.3.3  | Anschlußklemmen   | 187 |
| 6.3.4  | Innenverdrahtung  | 187 |
| 6.3.5  | Vorschaltgeräte   | 187 |
| 6.3.6  | Reflektoren   | 189 |
| 6.3.7  | Schaltanlagen   | 191 |
| 6.4    | Leuchten der Zündschutzart e  | 191 |
| 6.5    | Leuchten der Zündschutzart d  | 196 |
| 6.6    | Leuchten der Zündschutzart p  | 200 |
| 6.7    | Leuchten und Lampen für die Zone 2  | 201 |
| 6.8    | Leuchten und Lampen für die Zonen 21 und 22                                 | 207 |
| 6.9    | Leuchten und Lampen für die Zone 0  | 210 |
| 6.10   | Leuchten und Lampen für die Zone 20   | 210 |
| 6.11   | Sicherheitsbeleuchtung in explosionsgefährdeten Bereichen                   | 211 |
| 6.11.1 | Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege in Zone 1                           | 212 |
| 6.11.2 | Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege in Zone 2                           | 214 |
| 6.11.3 | Sicherheitsbeleuchtung für Rettungswege in den Zonen 21 und 22              | 215 |
| 6.11.4 | Sicherheitsbeleuchtung für Arbeitsplätze mit besonderer Gefährdung          | 216 |
| 6.11.5 | Rettungszeichen-Leuchten in explosionsgefährdeten Bereichen                 | 217 |
| 6.11.6 | Bodennahe Sicherheitsleitsysteme in explosionsgefährdeten Bereichen         | 218 |
| 6.12   | Auswahl von Leuchten für explosionsgefährdete Bereiche                      | 221 |
| 7      | <b>Anforderungen an elektrische Anlagen mit eigen-sicheren Stromkreisen</b> | 223 |
| 7.1    | Besonderheiten der Zündschutzart „Eigensicherheit“                          | 223 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 7.2   | DIN EN 50 020 / VDE 0170 / 0171 Teil 7 Zündschutzart „Eigensicherheit“                            | 228 |
| 7.2.1 | Definition der Zündschutzart „Eigensicherheit“  | 228 |
| 7.2.2 | Definition des Fehlers  | 229 |
| 7.2.3 | Kategorien der elektrischen Betriebsmittel  | 230 |
| 7.2.4 | Eigensicherer Stromkreis  | 230 |
| 7.2.5 | Sicherheitsbarrieren  | 233 |
| 7.2.6 | Elektrische Grenzwerte eigensicherer Stromkreise  | 237 |
| 7.2.7 | Zündgrenzkurven   | 238 |
| 7.2.8 | Einfache elektrische Betriebsmittel   | 238 |
| 7.2.9 | Grundsätzliche Beurteilungskriterien eigensicherer Stromkreise                                    | 239 |
| 7.3   | DIN EN 50 039 / VDE 0170/0171 Teil 10 Zündschutzart „Eigensichere Systeme“                        | 241 |
| 7.4   | Errichtungsbestimmungen   | 242 |
| 7.4.1 | Allgemeines   | 242 |
| 7.4.2 | Europaweit gültige Errichtungsbestimmungen  | 242 |
| 7.4.3 | Grundlegende deutsche Vorschriften  | 246 |
| 7.4.4 | Erdung von Sicherheitsbarrieren   | 247 |
| 7.4.5 | Verdrahtung von Europakarten  | 247 |
| 7.4.6 | Instandhaltung eigensicherer Anlagen  | 250 |
| 7.5   | Nachweis der Eigensicherheit  | 250 |
| 7.5.1 | Nachweis der Eigensicherheit für einen einfachen Stromkreis                                       | 250 |
| 7.5.2 | Rechnerischer Nachweis der Eigensicherheit für eine Zusammenschaltung                             | 253 |
| 7.5.3 | Nachweis für Zusammenschaltungen von Betriebsmitteln mit nichtlinearen Strom-Spannungs-Kennlinien | 259 |
| 8     | <b>Betrieb, Instandhaltung, Instandsetzung</b>  | 261 |
| 8.1   | Betrieb   | 261 |
| 8.1.1 | Bedienen  | 261 |
| 8.1.2 | Arbeiten  | 261 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 8.1.3 | Sicherer Betrieb und ordnungsgemäßer Zustand . . .     | 262 |
| 8.2   | Instandhaltung . . . . .                               | 267 |
| 8.2.1 | Allgemeines . . . . .                                  | 267 |
| 8.2.2 | Inspektion . . . . .                                   | 269 |
| 8.2.3 | Wartung . . . . .                                      | 271 |
| 8.2.4 | Neukonzeption . . . . .                                | 271 |
| 8.2.5 | Instandhaltungsorganisation . . . . .                  | 272 |
| 8.2.6 | Überprüfung . . . . .                                  | 276 |
| 8.3   | Instandsetzung . . . . .                               | 288 |
| 9     | <b>Instandsetzung elektrischer Maschinen</b> . . . . . | 291 |
| 9.1   | Ausfallursachen . . . . .                              | 291 |
| 9.2   | Abgrenzung der Instandsetzungsarbeiten . . . . .       | 293 |
| 9.2.1 | Allgemeine Instandsetzungsarbeiten . . . . .           | 293 |
| 9.2.2 | Besondere Instandsetzungsarbeiten . . . . .            | 294 |
| 9.2.3 | Bewertung üblicher Instandsetzungsarbeiten . . . . .   | 295 |
| 9.3   | Zusatzschild und Prüfbescheinigung . . . . .           | 298 |
| 9.4   | Fallbeispiele bei Zündschutzart e . . . . .            | 301 |
| 9.5   | Fallbeispiele bei Zündschutzart d . . . . .            | 309 |
|       | <b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .                  | 315 |
|       | <b>Register</b> . . . . .                              | 327 |