

# Inhalt

<b>Vorwort zur 4. Auflage .....</b>	5
<b>1 Grundsätzliches .....</b>	13
<b>2 Explosionsschutz .....</b>	15
2.1 Explosionsrisiko, Zündquellen, Schutzmaßnahmen .....	15
2.2 Explosionsgefährdete Bereiche, Zoneneinteilung .....	17
2.3 Explosionsgeschützte elektrische Geräte .....	19
2.3.1 Gerätegruppe und Gerätekategorie .....	19
2.3.2 Temperaturklasse .....	21
2.3.3 Zündschutzart .....	21
2.3.4 Geräteschutzniveau – Equipment protection level (EPL) .....	21
2.4 Zertifizierung .....	24
2.4.1 Baumusterprüfung .....	24
2.4.2 Benannte Stellen (Notified Bodies, kurz: NB) .....	27
2.4.3 EG-Konformitätserklärung des Herstellers .....	27
<b>3 Zündschutzarten und Maschinenkonstruktion .....</b>	31
3.1 Zündschutzarten für drehende elektrische Maschinen .....	31
3.2 Umgebungstemperatur und Maschinenkonstruktion .....	35
3.2.1 Hohe Umgebungstemperaturen .....	36
3.2.2 Tiefe Umgebungstemperaturen .....	37
3.2.3 Temperaturerhöhung am Motor durch Wärmefluss von der Arbeitsmaschine .....	39
3.2.4 Zusammenfassung .....	40
<b>4 Motoren in Zündschutzart <i>Druckfeste Kapselung „d“</i> .....</b>	41
4.1 Allgemeines .....	41
4.1.1 Explosionsgruppen IIA, IIB, IIC .....	41
4.1.2 Temperaturklassen T1 bis T6 .....	42
4.2 Baubestimmungen .....	43
4.2.1 Druckfest gekapselter Raum .....	43
4.2.2 Wellendurchführungen .....	45
4.3 Elektrischer Anschluss von Motoren in Ex d .....	49
4.4 Zertifizierung .....	50
4.4.1 Typ- und Explosionsprüfung .....	50
4.4.2 Berücksichtigung extremer Umgebungstemperaturen ( $T_{amb}$ ) .....	52
4.4.3 Zertifizierung für ein bestimmtes Gas .....	53

<b>4.5</b>	Ausführungsbeispiele von Drehstrommotoren in Ex d . . . . .	55
<b>4.5.1</b>	Allgemeines . . . . .	55
<b>4.5.2</b>	Druckfest gekapselte Normmotoren. . . . .	55
<b>4.5.3</b>	Transnorm- und Hochspannungsmotoren. . . . .	58
<b>5</b>	<b>Motoren in Zündschutzart Überdruckkapselung „p“ . . . . .</b>	65
<b>5.1</b>	Allgemeines . . . . .	65
<b>5.2</b>	Zündschutzzarten . . . . .	65
<b>5.3</b>	Baubestimmungen und Sicherheitseinrichtungen . . . . .	66
<b>5.4</b>	Prüfungen . . . . .	70
<b>5.4.1</b>	Überdruck und Leckverluste . . . . .	70
<b>5.4.2</b>	Vorspülung . . . . .	71
<b>5.4.3</b>	Verdünnung . . . . .	73
<b>5.5</b>	Leistungsgrenzen von elektrischen Maschinen in Ex p . . . . .	73
<b>6</b>	<b>Motoren in Zündschutzart ÖlkapSELUNG „o“ . . . . .</b>	75
<b>6.1</b>	Blick zurück . . . . .	75
<b>6.2</b>	„Ex o“ für Motoren wird kommen . . . . .	75
<b>6.3</b>	Baubestimmungen, Prüfungen, Kennzeichnung . . . . .	77
<b>7</b>	<b>Motoren in Zündschutzart Erhöhte Sicherheit „e“ . . . . .</b>	79
<b>7.1</b>	Allgemeines . . . . .	79
<b>7.2</b>	Baubestimmungen . . . . .	80
<b>7.3</b>	Begrenzung der Wicklungstemperatur . . . . .	80
<b>7.4</b>	Störfall „Überlast“ . . . . .	82
<b>7.5</b>	Zeit $t_E$ und Anzugsstromverhältnis $I_A/I_N$ . . . . .	82
<b>7.6</b>	Luft- und Kriechstrecken . . . . .	85
<b>7.7</b>	IP-Schutzart . . . . .	86
<b>7.8</b>	Wicklungen . . . . .	87
<b>7.9</b>	Luftspalt . . . . .	87
<b>7.10</b>	Elektrischer Anschluss von Motoren in Ex e . . . . .	87
<b>7.11</b>	Zündrisiko durch mögliche Funkenbildung im Betrieb . . . . .	88
<b>7.11.1</b>	Allgemeines . . . . .	88
<b>7.11.2</b>	Zirkulationsströme in mehrteiligen Gehäusen . . . . .	89
<b>7.11.3</b>	Bewertung des Zündrisikos am Läufer/Maßnahmen . . . . .	89
<b>7.11.4</b>	Bewertung des Zündrisikos am Ständer/Maßnahmen . . . . .	91
<b>7.12</b>	Prüfungen, Zertifizierung . . . . .	92
<b>7.13</b>	Ausführung von Drehstrommotoren in Ex e . . . . .	97
<b>7.13.1</b>	Normmotoren . . . . .	97
<b>7.13.2</b>	Transnorm- und Hochspannungsmotoren. . . . .	98
<b>7.13.3</b>	Einphasen-Wechselstrommotoren . . . . .	103

<b>8</b>	<b>Motoren in doppelter Zündschutzart</b>	
8.1	<i>Druckfeste Kapselung und Erhöhte Sicherheit „d + e“</i>	107
8.2	Allgemeines	107
8.3	Baubestimmungen, Prüfungen, Kennzeichnung	109
8.3	Ausführung von Drehstrommotoren in „Ex d + Ex e“	110
<b>9</b>	<b>Motoren in Zündschutzart „n“</b>	111
9.1	Allgemeines	111
9.2	Baubestimmungen	112
9.3	Bewertung des Zündrisikos am Läufer/Maßnahmen	113
9.4	Bewertung des Zündrisikos an der Ständerwicklung/Maßnahmen	114
9.5	Kennzeichnung, Dokumentation, Konformitätserklärung	114
<b>10</b>	<b>Schutzeinrichtungen</b>	117
10.1	Allgemeines	117
10.2	Stromabhängige Schutzeinrichtungen	119
10.2.1	Funktionsprinzip	119
10.2.2	Besonderheiten für Zündschutzart Erhöhte Sicherheit „e“	120
10.3	Direkt temperaturabhängige Schutzeinrichtungen	122
10.3.1	Temperaturfühler	122
10.3.2	Thermischer Motorschutz (TMS) durch Kaltleiter	125
<b>11</b>	<b>Netzspannung und Motorauslegung</b>	129
11.1	Normspannungen für Netze	129
11.2	Spannungs- und Frequenzschwankungen für drehende elektrische Maschinen	130
11.3	Spannungsschwankungen bei explosionsgeschützten elektrischen Maschinen	131
<b>12</b>	<b>Umrichterspeisung von Drehstrommotoren in explosionsgefährdeten Bereichen</b>	133
12.1	Allgemeines	133
12.2	Umrichterarten und ihre Eigenschaften	134
12.3	Besondere Bedingungen und Prüfungen bei Umrichterspeisung	136
12.4	Schutzeinrichtungen bei Umrichterspeisung	137
12.5	Auswirkungen der Umrichterspeisung im Motor	139
12.5.1	Übererwärmungen	139
12.5.2	Variable und einstellbare Speisegrößen	142
12.5.3	Zusätzliche Spannungsbeanspruchungen bei I-Umrichterspeisung	143
12.5.4	Zusätzliche Spannungsbeanspruchungen bei Pulsumrichterspeisung	144
12.5.5	Drahtisolation	147
12.5.6	Leitungslänge, Filter, Mehrstufen-Umrichter	148
12.5.7	Wellenspannungen und Lagerströme	150
12.6	Direktantriebe	155

<b>13</b>	<b>Motoren für Staub-Explosionsschutz . . . . .</b>	159
13.1	Grundlagen des Staub-Explosionsschutzes . . . . .	159
13.1.1	Allgemeines . . . . .	159
13.1.2	Unterschied zwischen Gas- und Staub-Explosion . . . . .	161
13.1.3	Kenngrößen von Stäuben . . . . .	162
13.2	Zoneneinteilung, Geräte-Kategorie, Geräte-Schutzniveau (EPL) und Gerätekategorie . . . . .	163
13.3	Zündschutzarten für Staubexplosionsschutz . . . . .	165
13.4	Geräte-Staubexplosionsschutz durch Gehäuse „t“ (Zündschutzart „t“) . . . . .	166
13.4.1	Staubdichtheit . . . . .	166
13.4.2	Begrenzung der Oberflächentemperatur . . . . .	167
13.4.3	Unvermeidbare oder übermäßige Staubablagerungen . . . . .	168
13.5	Baubestimmungen für staubexplosionsgeschützte drehende elektrische Maschinen . . . . .	169
13.6	Umrichterspeisung von staubexplosionsgeschützten Motoren . . . . .	171
13.7	Kennzeichnung . . . . .	171
13.8	Zertifizierung . . . . .	172
13.9	Reinhaltung des Betriebs . . . . .	177
13.10	Geräte/Motoren für hybride Gemische aus Gas und Staub . . . . .	177
<b>14</b>	<b>Motoren für Schlagwetterschutz . . . . .</b>	179
14.1	Grundlagen des Schlagwetterschutzes . . . . .	179
14.2	Zündschutzarten für schlagwettergeschützte Motoren . . . . .	179
14.3	Ausführung schlagwettergeschützter Motoren . . . . .	180
14.3.1	Selbstgekühlte Motoren . . . . .	180
14.3.2	Oberflächengekühlte Motoren . . . . .	180
14.3.3	Wassergekühlte Motoren . . . . .	181
14.4	Umrichterspeisung von schlagwettergeschützten Motoren . . . . .	182
<b>15</b>	<b>Richtlinien, Normen, Vorschriften – national und international . . . . .</b>	185
15.1	EG-Richtlinien . . . . .	185
15.2	Normenorganisationen . . . . .	187
15.3	Europäische Normen (EN) . . . . .	188
15.4	Kennzeichnung für explosionsgeschützte elektrische Geräte . . . . .	189
15.5	Nordamerikanische Regelungen im Explosionsschutz . . . . .	190
15.6	Das IECEx-Schema . . . . .	192
<b>16</b>	<b>Instandhaltung und Ändern von explosionsgeschützten Elektromotoren . . . . .</b>	195
16.1	Instandhaltung – Struktur, Rechtsgrundlagen, Aufgaben . . . . .	195
16.2	Instandhaltung von elektrischen Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen . . . . .	196
16.3	Instandsetzung und Ändern von explosionsgeschützten Elektromotoren . . . . .	197
16.3.1	Zuverlässigkeit . . . . .	197

16.3.2	Ausfallursachen und Lebensdauer . . . . .	199
16.4	Instandsetzung und Änderung . . . . .	200
16.4.1	Instandsetzung – Aufgaben und Begriffe . . . . .	200
16.4.2	Instandsetzungen, die nicht abgenommen werden müssen . . . . .	201
16.4.3	Instandsetzungen, die eine Prüfung erfordern . . . . .	201
16.5	Prüfung nach der Instandsetzung . . . . .	204
16.6	Praxis der Revisions- und Reparaturverfahren. . . . .	204
<b>17</b>	<b>Explosionsschutz bei nicht-elektrischen Geräten</b> . . . . .	<b>207</b>
17.1	Allgemeines . . . . .	207
17.2	Zündschutzarten . . . . .	208
17.3	Wechselwirkungen von nicht-elektrischen Geräten und Elektromotoren	210
17.3.1	Zulässige Kräfte am Wellenende des Motors . . . . .	210
17.3.2	Ausrichtgenauigkeit bei direkter Kupplung . . . . .	211
<b>Literatur</b> . . . . .		<b>213</b>
<b>Gegenüberstellung EN/IEC vice versa DIN/VDE (Auswahl)</b> . . . . .		<b>227</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b> . . . . .		<b>229</b>