

13 Gebräuchlichste Zündschutzarten in der industriellen MSR-Technik

Die Explosionsgefahren treten mit unterschiedlicher Intensität auf. Es ist aber weder technisch erforderlich noch wirtschaftlich vertretbar, den gesamten technischen Schutzaufwand immer nach den höchsten Erfordernissen entsprechend einer möglichen Explosionsgefahr anzupassen und festzulegen. Deshalb werden innerhalb der explosionsgefährdeten Anlagen für elektrotechnische Anwendungen in der MSR-Technik von Anlagenbetreibern elektrische Geräte der Gerätegruppe II mit EG- bzw. EU-Baumusterprüfbescheinigung von einer „benannten Stelle“ (Prüfstelle) bzw. EG- bzw. EU-Konformitätserklärung vom Gerätehersteller gemäß EG-Richtlinie 94/9/EG (ATEX 95) [6] eingesetzt.

In der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR-Technik) werden, um komplexe Abläufe bei Prozessen erfassen, melden und verarbeiten zu können, in einem sehr hohen Prozentsatz explosionsgeschützte elektrische Geräte eingesetzt, die entweder aus einer oder auch aus einer Kombination mehrerer genormter Zündschutzarten bestehen. Die Bestimmungen dieser Zündschutzarten für elektrische Betriebsmittel/ Geräte zum Einsatz in gasexplosionsgefährdeten Bereichen sind in der Normenreihe DIN EN 60079 (**VDE 0170**) [23] zusammengefasst und nachfolgend mit den wichtigen Punkten zu den Maßnahmen angesprochen, die zur Gewährleistung des Explosionsschutzes dienen.

13.1 Druckfeste Kapselung „d“ – DIN EN 60079-1 (VDE 0170-5)

Diese Zündschutzart wird insbesondere dort angewendet, wo stark funkende und/ oder sich erheblich erwärmende Geräte und/oder Teile, z. B. Schalter (Schaltgeräte), Kollektoren von Motoren, Heizungen, Leuchten für Leuchtstoff- und Glühlampen, Analysengeräte, mit explosionsfähiger Atmosphäre in Berührung kommen können.

Ex-d-Gehäuse sind **nicht** gasdicht aufgebaut, sondern verfügen über einen gewissen IP-Schutzgrad, z. B. $\geq$ IP54 oder $\geq$ IP65 (DIN EN 60529 (**VDE 0470-1**) [37]).

Das wesentliche Merkmal dieser Zündschutzart ist der zünddurchschlagsichere Spalt mit den speziellen Angaben zu **Spaltweite** (w bzw. i) und **Spaltlänge** (L). Des Weiteren sind die Anforderungen an die Gehäusematerialien und Kabeleinführungen einzuhalten.

13.1.1 Zünddurchschlagsicherer Spalt

Dieser zünddurchschlagsichere Spalt entsteht beim Zusammenfügen von Gehäuseteilen zu einem vollständigen Gehäuse. Das Gehäuse ist nicht gasdicht gebaut, sondern verfügt über einen Spalt, der als eine Öffnung zum Abbau des entstandenen Innendrucks dient.

Die Temperaturen der austretenden heißen Gase werden am Spalt über seine zu gewährleistenden Höchstspaltweiten und Mindestspaltlängen so stark abgekühlt, dass die Mindestzündtemperatur und Mindestzündenergie der das Gehäuse umgebenden explosionsfähigen Atmosphäre sicher unterschritten werden.

Das Gehäuse muss bei den auftretenden mechanischen Beanspruchungen einer Explosion standhalten. An den Spaltweiten und Spaltlängen dürfen beim Öffnen und Schließen durch unsachgemäße Behandlung keine Beschädigungen auftreten. Die Oberflächen der Spalte müssen gegen Korrosion geschützt sein und dürfen durch Einfetten oder galvanischen Überzug (Lacküberzüge sind verboten!) nicht verändert werden.

In DIN EN 60079-1 (VDE 0170-5) [38] werden in Tabellenform Angaben über die zu gewährleistenden kleinsten Spaltlängen und größten Spaltweiten in Abhängigkeit des Gehäusevolumens, von der Art des Spalts und der Explosionsgruppen (A, B, C) gemacht. Es werden auch Konstruktionsbeispiele z. B. für ebene Spalte und sog. „zusammengesetzte Spalte“ angegeben.

Zusammengesetzte Spalte können Bohrungen und Gewindespalte, verklebte Spalte in Gehäusen und Betätigungsteile wie auch z. B. bei Achsen oder Wellen (Spaltlängen ≤ 25 mm) sein. Unter **Spaltweite** (w bzw. i) versteht man den Abstand zwischen den gegenüberliegenden Spaltoberflächen der Gehäuseteile. Soweit zwischen den Oberflächen eines Spalts eine Spaltöffnung bzw. Spaltweite vorhanden ist, dürfen die in den Tabellen zur Norm angegebenen Maximalwerte **an keiner Stelle überschritten** werden. Die Oberflächen der Spalte müssen hinsichtlich ihrer Rautiefe so beschaffen sein, dass ihr Mittelwert R_a (DIN EN ISO 4287) **6,3 μm** nicht überschreitet. Unter **Spaltlänge** (L) versteht man den kürzesten Weg des Spalts vom Gehäuseinnern bis zur Außenseite des Gehäuses. Die Spaltlänge darf die Mindestwerte, die in den Tabellen zur Norm angegebenen sind, **nicht unterschreiten**.

DIN EN 60079-1 (VDE 0170-5) [38] unterscheidet bezüglich des vorhandenen Spalts zwischen Gehäuseoberteil und -unterteil, ob hier eine Verbindung mit oder ohne Gewinde besteht. Für ebene, zylindrische Spalte können die Werte für Spaltlänge L und Spaltweite w bzw. i für Gehäusevolumen $500 \text{ cm}^3 \leq V \leq 2\,000 \text{ cm}^3$ aus der **Tabelle 13.1** entnommen werden.

Explosionsgruppe	Spaltenart	Spaltlänge L in mm	Spaltweite w bzw. i in mm
IIA	eben + zylindrisch	12,5	0,3
IIB	eben + zylindrisch		0,2
IIC	eben bzw. eben + zylindrisch		0,04 bzw. 0,15

Tabelle 13.1 Spaltlänge und Spaltweite für Gehäusevolumen $500 \text{ cm}^3 \leq V \leq 2000 \text{ cm}^3$

13.1.2 Gehäusewerkstoff

In der Regel kommen metallische Werkstoffe beim Ex-d-Gehäuse zum Einsatz, die den auftretenden mechanischen Beanspruchungen standhalten müssen. Zur Vermeidung von Thermozündung muss die Oberflächentemperatur an den äußeren Gehäusewandungen in den Grenzwerten der zugeordneten Zündtemperatur in Abhängigkeit von der zulässigen Umgebungstemperatur eingehalten werden.

13.1.3 Kabeleinführungen

Für die Kabel- und Leitungseinführungen gelten besondere Anforderungen:

- Beim Rohrleitungssystem oder dem sog. **Conduit-Kabeleinführungssystem** werden diese durch druckfeste Rohrleitungen, die mit dem Gehäuse verschraubt sind, in das Gehäuseinnere geführt. Diese Rohrleitungen sind in bestimmten Abständen mit Gießharz vergossen (in den USA verbreitet).
- Bei Kabelsystemen mit sog. **indirekter Kabeleinführung**, die in Deutschland die weitverbreitetste Anschluss technik ist, wird z. B. der Anschlussraum, bestehend aus den Anschlussklemmen und den Kabeleinführungen, in der Zündschutzart erhöhte Sicherheit „Ex e“ ausgeführt und ist vom eigentlichen Ex-d-Raum sicher räumlich getrennt. Die elektrischen Leitungsdurchführungen, die vom Ex-e-Raum in den Ex-d-Raum hineinführen, müssen extra geprüft, bescheinigt und deren Installation in der Gehäuseinnenwand muss verdreh- und selbstlockerungssicher ausgeführt sein.
- Bei Kabelsystemen mit sog. **direkter Kabeleinführung** werden metallbewehrte Kabel/Leitungen durch druckfeste Kabeleinführungen in das Gehäuse geführt und mit diesem verschraubt. Diese Kabelarmaturen müssen von einer „benannten Stelle“ (Prüfstelle) geprüft und für diese Zündschutzart „Ex d“ zertifiziert sein. Um die geforderte Dichtigkeit hinsichtlich dieser Zündschutzart bei Verwendung derartiger Kabelarmaturen gewährleisten zu können, muss der Spannungsbereich der Kabeleinführungsdichtungsringe für den durchzuleitenden Kabel- bzw. Leitungs-

außendurchmesser genau angepasst sein. Nach einem Festanlegen bzw. Anziehen der Kabeleinführungen an den Außenmantel des eingeführten Kabels entstehen zwischen Dichtring der Kabeleinführung und Außenmantel des Kabels die für diese Zündschutzart „Ex d“ geforderten und einzuhaltenden Werte der Spaltweite und Spaltlänge.

13.1.4 Elektrische Steckverbindungen

Elektrische Steckverbinder müssen so am oder im Gehäuse angebracht sein, dass die Bestimmung gemäß DIN EN 60079-1 (**VDE 0170-5**) [38] auch nach dem Ziehen des Steckers eingehalten wird. Die am Ex-d-Gehäuse angebrachte Steckvorrichtung darf nur in spannungsfreiem Zustand gezogen bzw. getrennt werden. Die Ausnahme bilden Steckvorrichtungen für eigensichere Stromkreise.

Soll dagegen eine Kombination von Steckverbindern unter Spannung getrennt werden, so müssen der Stecker und die Buchse innerhalb des Gehäuses der Steckverbinder entsprechend den Werten der Spaltweite und Spaltlänge für diese Zündschutzart „Ex d“ gewährleistet sein. Der spannungsführende Teil der Steckvorrichtung muss nach der endgültigen Trennung bzw. Spannungsfreischaltung innerhalb des Gehäuses des Steckverbinders noch die für die Zündschutzart „Ex d“ geforderten Abmessungen für die Spaltweite und Spaltlänge gewährleisten.

13.2 Erhöhte Sicherheit „e“ – DIN EN 60079-7 (VDE 0170-6)

Die Bestimmungen dieser Zündschutzart beziehen sich auf die inneren und auch die äußeren Bauteile der elektrischen und elektromechanischen Geräte. Diese müssen so ausgeführt sein, dass sie mit einem höheren Grad an Sicherheit als bei nicht explosionsgefährdeten Bauarten das Auftreten sowie das Entstehen von unzulässig hohen Temperaturen und/oder Funken oder Lichtbögen im Normalbetrieb verhindern. Damit ist auch eine Zündung der das Ex-e-Gerät umgebenden explosionsfähigen Atmosphäre ausgeschlossen.

Durch die evtl. auftretenden äußeren Einflüsse wie Wasser und fremde Festkörper dürfen keine Kriechstrecken oder Lichtbögen entstehen. Gehäuse, die blanke unter Spannung stehende Teile enthalten, müssen einen Gehäuse-Schutzgrad $\geq$ IP54 (DIN EN 60529 (**VDE 0470-1**) [37]) gewährleisten. Sind bei Gehäusen nur isolierte unter Spannung stehende Teile verwendet oder installiert worden, dann ist der Gehäuse-Schutzgrad mit $\geq$ IP44 (DIN EN 60529 (**VDE 0470-1**) [37]) ausreichend.

13.2.1 Kabeleinführungen

Die Kabel- und Leitungseinführungen müssen mindestens den gleichen Schutzgrad gewährleisten, der durch die Verwendung von Teilen im Gehäuse bestimmt wird. Alle Teile der Kabeleinführung müssen mechanisch so stabil aufgebaut sein, dass sie einer Zerstörung bei normalem Gebrauch hinsichtlich Anwendung und Betrieb standhalten.

13.2.2 Anschlussklemmen

Anschlussklemmen der Zündschutzart „Ex e“ müssen so gefertigt sein, dass sie einen zuverlässigen Anschluss äußerer Leitungen gewährleisten. Sie müssen im Klemmensockel fest montiert sein, d. h., die angeschlossenen Zuleitungen dürfen sich nicht aus den Klemmen selbsttätig lösen (Selbstlockerungsschutz). Weiterhin darf eine anzuschließende Zuleitung beim Anziehen der Klemmen zu keiner Leiterbeschädigung führen.

13.2.3 Innere Leiterverbindungen

Diese Verbindungen dürfen nicht unzulässigen mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt werden. Als sichere Verbindungen gelten Schraub- und Bolzenverbindungen, die gegen Selbstlockerung gesichert sind. Ebenso zulässig sind Drahtverbindungen auf Verdrahtungspfeilen (Wire-Wrap- oder Thermipoint-Verfahren), Weichlöt-, Hartlöt- oder Schweißverbindungen. Die Leitungsverlegung muss so ausgelegt sein, dass die Leitungen keine blanken Teile berühren können und gegen Beschädigung geschützt sind.

13.2.4 Luft- und Kriechstrecken

Die Abmessungen der Luft- und Kriechstrecken zwischen blanken Teilen, die sich nach der Höhe der Nennisolationsspannung richten, sind aus Tabelle 2 der DIN EN 60079-7 (VDE 0170-6):2016-08 [39] zu entnehmen, s. a. **Tabelle 13.2** in diesem Buch. Die Bemessung der Kriechstrecken hängt noch von der Kriechstromfestigkeit bzw. Kriechstromzahl (CTI-Wert) des Isolierstoffs und dessen Oberflächengestaltung ab.

Die Einstufung der Materialgruppen nach ihrer vergleichbaren Kriechstromzahl (CTI-Wert) ist gemäß DIN EN 60664-4 (VDE 0110-4) identisch festgelegt. Anorganische Isolierstoffe, z. B. Glas und Keramik, bilden keine Kriechstromspuren. Diese Bestimmung der vergleichbaren Kriechstromzahl kann für diese Stoffe dann entfallen, wenn diese nach der Werkstoffgruppe I eingestuft sind.

Arbeitsspannung AC (Effektivwert) oder DC in V	Mindestkriechstrecke in mm Werkstoffgruppe			Mindestluftstrecke in mm
	I	II	IIIa	
$U \leq 10$	1,6	1,6	1,6	1,6
$U \leq 20$	1,6	1,6	1,6	1,6
$U \leq 25$	1,7	1,7	1,7	1,7
$U \leq 32$	1,8	1,8	1,8	1,8
$U \leq 63$	2,1	2,6	3,4	2,1
$U \leq 100$	2,4	3,0	3,8	2,4
$U \leq 320$	6,3	8,0	10,0	6,0

Tabelle 13.2 Mindestkriech- und Mindestluftstrecken in Abhängigkeit der Arbeitsspannung

Materialgruppe/Werkstoffgruppe	Vergleichbare Kriechstromzahl
I	$600 \leq \text{CTI-Wert}$
II	$400 \leq \text{CTI-Wert} \leq 600$
IIIa	$175 \leq \text{CTI-Wert} \leq 400$

Tabelle 13.3 Vergleichbare Kriechstromzahl in Abhängigkeit von der Werkstoffgruppe

13.2.5 Feste Isolierstoffe

Die mechanischen Eigenschaften der festen Isolierstoffe, die sich auf ihr Verhalten auswirken, z. B. Festigkeit und Härte, müssen ausreichend sein, entweder

- bei einer Temperatur, die mindestens 20 K über der Temperatur des Dauernennbetriebs liegt oder aber mindestens für eine Beanspruchung von 80 °C ausgelegt ist, oder
- für isolierte Wicklungen, für interne Verbindungen und Leitungen, die am Gerät fest angeschlossen sind, bis zur höchsten Temperatur, die im Bemessungsbetrieb erreicht wird.

Die Isolierteile aus Formpressstoff oder aus einem geschichteten Werkstoff, bei denen die Außenhaut oder die Oberfläche bei der Herstellung beschädigt oder entfernt wurde, müssen einen Lacküberzug von mindestens der gleichen Kriechstromzahl wie der des Isolierstoffs aufweisen.

13.2.6 Abzweig- und Verbindungskästen

Die Abzweig- und Verbindungskästen werden mit einer Anzahl von Klemmen bestückt bzw. ausgerüstet, die den „ungünstigsten Fall“ darstellen, was einer höchstzulässigen Verlustleistung entspricht, die zur Gewährleistung der Grenztemperatur im Betrieb maßgebend ist. Abhängig ist die mögliche Verlustleistung von

- der Bestückung mit Klemmen und Leitern im Gehäuse, die zur örtlichen Erwärmung im Innern führen,
- der Erwärmung einzelner Klemmen und Leiter gegenüber der örtlichen Temperatur.

Jeder Hersteller von Abzweig- und Verbindungskästen stellt für die Anwendung bzw. Installation durch eine Fachkraft eine entsprechende Tabelle zur Verfügung, deren Informationen hinsichtlich der Verwendung einer max. Klemmen- und Leiteranzahl, eines bestimmten Nennstroms bei Betrieb und bei Verwendung eines vorgegebenen Leiterquerschnitts den Einsatz dieser Zündschutzart sicherstellt.

Nennstrom in A	Leiteranzahl bei Verwendung eines Leiterquerschnitts				
	1,5 mm ²	2,5 mm ²	4 mm ²	6 mm ²	10 mm ²
3	42	*)	*)	*)	*)
6	42	42	*)	*)	*)
10	10	42	36	*)	*)
16	**)	8	36	32	*)
20	**)	**)	18	32	26
25	**)	**)	**)	24	26
Maximale Klemmenanzahl	21	21	17	16	13
*) In diesem Bereich kann unter Beachtung der Hinweise und der festgelegten Einbaumaße in einem Gehäuse beliebig zusätzlich bestückt werden. **) Eine Bestückung in diesem Bereich erfordert einen gesonderten Erwärmungsnachweis.					

Tabelle 13.4 Anzahl der Klemmen und Leiter

13.2.7 Kombination von Klemmen und Leitern in Abzweig- und Verbindungskästen

Bei den meisten Arten elektrischer Ex-Geräte ist die Wärmequelle ein genau festgelegter Teil des Geräts. Bei Abzweig- und Verbindungskästen, die nur eine Anordnung von Klemmen enthalten, sind die an den Klemmen angeschlossenen Kabel die hauptsächlichen Wärmequellen. Deshalb ist die eigentliche Installation der kritische Punkt, und es müssen bei jedem Verfahren zur Zuordnung von Bemessungsdaten Abzweig- und Verbindungskästen berücksichtigt werden, um eine Temperaturklasse festlegen zu können.

Eine max. Temperaturerhöhung in einem solchen Gehäuse ist von zwei Faktoren abhängig. Einmal von der Bestückung mit Klemmen und Leitern im Gehäuse, die zu einer örtlichen Erwärmung im Innern führen kann. Zum anderen die Erwärmung einzelner Klemmen und Leiter gegenüber der örtlichen Temperatur. Beim Bemessungswert mit der höchsten Verlustleistung wird von der Klemme ausgegangen, die den „ungünstigsten Fall“ darstellt und die Verbindung mit dem am höchsten belasteten Leiter hergestellt wurde.

Anmerkung: Um Berechnungen in Anlagen hinsichtlich aller Klemmen und Leiter in Abzweig- und Verbindungskästen zu erleichtern, sollte vom Hersteller eine Tabelle mit den Widerstandswerten (gemessen bei 20 °C) angegeben sein, wie in **Tabelle 13.5** beispielhaft gezeigt.

Querschnitt in mm ²	Strom in A	Anzahl	Ausnutzung
1,5	10	20 (von max. 40)	50 %
2,5	20	3 (von max. 16)	33,3 %
4	25	2 (von max. 18)	11,7 %
		Gesamt ≤ 100 %	95,0 %

Tabelle 13.5 Beispiel einer Tabelle für bestimmte Anschlussklemmen/Leiteranordnungen

13.2.8 Querschnitte von Kupferleitern

In **Tabelle 13.6** ist ein Vergleich dargestellt, der Leitergrößen „AWG“ des amerikanischen Markts „American Wire Gauge“ (Drahtquerschnitt) mit äquivalenten metrischen Leitergrößen bzw. mit metrischen nach ISO in Quadratmillimetern vergleicht.

Metrische Größe nach ISO in mm ²	Vergleich zwischen AWG und metrischen Größen	
	Leitergröße AWG	Äquivalente metrische Leitergröße in mm ²
0,2	24	0,205
–	22	0,324
0,5	20	0,519
0,75	18	0,82
1,0	–	–
1,5	16	1,3
2,5	14	2,1
4,0	12	3,3
6,0	10	5,3
10,0	8	8,4
16,0	6	13,3
25,0	4	21,2
36,0	2	33,6
50,0	0	53,5

Tabelle 13.6 Normquerschnitte von Kupferleitern

13.3 Eigensicherheit „i“ – DIN EN 60079-11 (VDE 0170-7)

Die Bestimmungen dieser Zündschutzart beziehen sich nicht nur auf Schutzmaßnahmen für elektrische Geräte, sondern auf alle Geräte, die an diesem Stromkreis angeschlossen sind. Diese Schutzmaßnahmen bestehen darin, dass zum einen aus den äußeren Stromkreisen der zugehörigen elektrischen Geräte die Spannungen, Ströme und Leistungen so klein gehalten und begrenzt werden, dass auch im Fall einer Störung, einem oder zweier Fehler und beim Öffnen und/oder Schließen der Stromkreise keine zündfähigen Funken (Funkenzündung) entstehen können (Explosionsgruppen: A oder B oder C).

Des Weiteren wird bei einer Zusammenschaltung, z. B. eines speisenden eigensicheren Stromkreises eines zugehörenden Geräts (Installation im „sicheren Bereich“) mit einem eigensicheren Stromkreis eines eigensicheren Geräts (Installation im Ex-Bereich), dieser angeschlossene Ex-i-Stromkreis mit begrenzten Output-Werten für Strom, Spannung und Leistung so beaufschlagt, dass keine Zündung der explosionsfähigen Atmosphäre, die im Ex-Bereich vorhanden ist, infolge unzulässig auftretender Oberflächenerwärmung (Thermozündung) hervorgerufen werden kann (Temperaturklassen: T1 ... T6).

Der Begriff eines zündfähigen Funkens (Funkenzündung) umfasst Vorgänge, die über den Öffnungs- und Schließfunken eine explosionsfähige Atmosphäre zünden lassen können. Beim Öffnungsfunken, d. h. Leitungsunterbrechung oder Öffnen eines mechanischen Kontakts, wird eine Energie freigesetzt, die in der Induktivität des eigensicheren Stromkreises, aus der Kurzschlussstrombegrenzung resultierend, gespeichert ist $\Rightarrow W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$.

Beim Schließfunken, d. h. Leitungskurzschluss oder Schließen eines mechanischen Kontakts, wird eine Energie freigesetzt, die in der Kapazität des eigensicheren Stromkreises, aus der Leerlaufspannungsbegrenzung resultierend, gespeichert ist $\Rightarrow W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$.

Das Begrenzen der Energie im eigensicheren Stromkreis erfolgt durch spannungs- und strombegrenzende Maßnahmen mit relativ einfachen schaltungstechnischen Komponenten. Die Grundschaltungsmaßnahmen zur Begrenzung der Verlustleistung sind:

- Verwendung eines ohmschen Widerstands zur Begrenzung des Kurzschlussstroms, der in Reihe zum eigensicheren Stromkreis geschaltet wird.
- Verwendung von z. B. Zenerdioden zur Begrenzung der Leerlaufspannung, die parallel zum eigensicheren Stromkreis geschaltet werden.
- Verwendung z. B. einer Schmelzsicherung, die den Schutz der spannungsbegrenzenden Zenerdioden vor einer Überlastung und die Begrenzung deren Leistung gewährleistet.