

Pepperl+Fuchs GmbH – Lilienthalstraße 200 – 68307 Mannheim

Bei Veröffentlichungen bitte folgende Kontaktdaten angeben:

Tel.: +49 621 776-2222, Fax: +49 621 776-27-2222, www.pepperl-fuchs.com, pa-info@de.pepperl-fuchs.com

Ansprechpartner für Redaktionen: Christa Blas (Tel.: -1420, Fax: -1108), cblas@de.pepperl-fuchs.com

Nachweis der Eigensicherheit

Die Eigensicherheit Ex i ist in der MSR-Technik eine seit Jahrzehnten bewährte Zündschutzart, deren Funktionsprinzip darauf beruht, die im Stromkreis verfügbaren Spannungen, Ströme und Leistungen verlässlich auf Werte zu begrenzen, bei denen weder zündfähige Funken noch unzulässig hohe Oberflächentemperaturen entstehen. Dabei übernimmt jedoch der Anwender ein hohes Maß an Verantwortung, da dieser in der Regel aus einer Vielzahl auf dem Markt erhältlicher Betriebsmittel die für seine Anwendung am besten geeigneten auswählt und selbst zusammenschaltet. In diesem Zuge ist der Nachweis der Eigensicherheit zu führen, bei dem geprüft wird, ob die beiden oben genannten Zündmechanismen – zündfähige Funken und heiße Oberflächen – sicher vermieden sind. Dass dieser in aller Regel rechnerisch geführte Nachweis gelegentlich nicht ganz so trivial ist, wie oftmals dokumentiert, soll im Folgenden beschrieben werden.

Grundaufbau eigensicherer Stromkreise

Im einfachsten Fall besteht ein eigensicherer Stromkreis aus einer Quelle – in der Terminologie der Eigensicherheit ein zugehöriges Betriebsmittel – welches in der Regel im nicht explosionsgefährdeten Bereich installiert wird, einem Verbraucher als Feldgerät im Ex-Bereich – dem eigensicheren Betriebsmittel – sowie der Verbindungsleitung.

Bild 1

Der Nachweis der Eigensicherheit besteht nun darin, diese Zusammenschaltung zu bewerten. Da in der Regel ein bescheinigtes zugehöriges Betriebsmittel als Quelle zum Einsatz kommt, welches von einer benannten Stelle bewertet wurde, ist in diesem Fall davon auszugehen, dass dieses Betriebsmittel an sich bereits eigensicher ist. Allerdings ist vom Anwender zu prüfen, unter welchen Voraussetzungen dies der Fall ist, z.B. für welche Zone und Explosionsgruppe (IIA, IIB oder IIC) die Quelle geeignet ist. Diese Aussage zur

Funkenzündung bezieht sich aber zunächst nur auf die eigensicheren Klemmen, d.h. dort entstehende Funken sind für die vorgesehene Explosionsgruppe nicht zündfähig. Da aber der Anwender an diese Klemmen die Leitung sowie das Feldgerät anschließt, ist im zweiten Schritt zu prüfen, welche Energiespeicher damit in den gesamten Stromkreis eingebracht werden. Denn erst dadurch kann die Frage beantwortet werden, ob die Summe aus der von der Quelle an sich bereits gelieferten Energie zuzüglich der in Induktivitäten und Kapazitäten gespeicherten Energie immer noch zündunfähig ist. Damit wird klar, dass die hierzu erforderlichen Informationen zunächst vom Hersteller der Quelle geliefert werden müssen: die in den Prüfbescheinigungen zu findenden Angaben U_o , I_o und P_o beschreiben zunächst die Quelle an sich, während die Angaben zu den maximal anschließbaren Induktivitäten L_o und Kapazitäten C_o beschreiben, welche zusätzlichen Energiespeicher die Eigensicherheit der Quelle noch „verkräftet“.

Bild 2

Historischer Rückblick – Funkenprüfgerät und Zündgrenzkurven

Im Abschnitt Typprüfungen der Gerätenorm EN 60079-11 ist beschrieben, wie die Funkenprüfungen für eigensichere Stromkreise erfolgen kann. Ein mögliches Verfahren besteht in der Verwendung des Funkenprüfgerätes, welches auf einem experimentellen Nachweis der Zündunfähigkeit beruht. Nachteil ist allerdings der erhöhte konstruktive Aufwand sowie die nicht ganz unkritische Kalibrierung des Funkenprüfgerätes. Vor diesem Hintergrund ist der frühe Wunsch vor allem der Gerätehersteller nachvollziehbar, ein einfacheres Bewertungsverfahren zu haben, welches z.B. bereits in der Entwicklungsphase eine Bewertung der Stromkreise ermöglicht.

Auf Basis zahlreicher Experimente wurden deshalb schon früh sogenannte Zündgrenzkurven veröffentlicht, die mit recht einfachen Mitteln eine Beurteilung der Quelle ermöglichen.

Bild 3

Das Grundverfahren bei der Anwendung besteht für den Hersteller der Quelle in zwei Schritten: im ersten Schritt wird geprüft, inwieweit die Quelle im Hinblick auf Strom und Spannung selbst bereits eigensicher ist. Hierbei wird die ohmsche Zündgrenzkurve herangezogen. Im zweiten Schritt wird geprüft, welche maximalen Reaktanzen angeschlossen werden können, ohne die Eigensicherheit zu beeinträchtigen – hier kommen die induktive sowie die kapazitive Zündgrenzkurve zum Einsatz. Allerdings ist an dieser Stelle bereits Vorsicht geboten: zum einen macht die Gerätenorm EN 60079-11 darauf aufmerksam, dass die genannten Zündgrenzkurven nur dann herangezogen werden dürfen, wenn der zu beurteilende Stromkreis dem einfachen Stromkreis entspricht, von dem die

Kurven abgeleitet wurden. In erster Linie bedeutet das zunächst, dass dies nur auf Quellen mit linearer Ausgangsennlinie zutrifft. Zum anderen ist – wenn auch nicht ausdrücklich beschrieben – der Zustand, in dem sich sowohl Induktivitäten als auch Kapazitäten im Stromkreis befinden, durch die Kurven nicht abgedeckt.

Auswirkungen auf Bescheinigungen von Quellen

Die EG-Baumusterprüfbescheinigungen von Quellen listet die sicherheitstechnischen Kenngrößen U_o , I_o , P_o , L_o , und C_o auf, so dass der Anwender diese für die Berechnung relevanten Werte problemlos erhält; gleiches gilt für die auf der Feldgeräteseite korrespondierenden Werte U_i , I_i , P_i , L_i , und C_i . Hält man sich jedoch die Herkunft der Induktivitäts- und Kapazitätswerte der Quelle vor Augen, ist leicht zu erkennen, dass bereits an dieser Stelle eine erste Schwierigkeit lauern kann: haben sich nämlich Hersteller bzw. Prüfstelle im Rahmen der Quellenbewertung bei der Angabe von L_o und C_o auf die Zündgrenzkurven bezogen, gilt die oben genannte Einschränkung bezüglich der Verwendbarkeit: der zu prüfende Stromkreis muss dem einfachen Stromkreis entsprechen, aus dem die Kurve abgeleitet wurde! Wenn nun aber ein Feldgerät zum Einsatz kommen soll, welches gleichzeitig Kapazitäten und Induktivitäten enthält, ist dies offenbar nicht der Fall.

Diesen Umstand hat die Physikalisch-technische Bundesanstalt PTB in Braunschweig schon frühzeitig erkannt und in entsprechenden Berichten veröffentlicht. Spätestens mit der deutschen Ausgabe der Errichternorm EN 60079-14 aus dem Jahre 1997 (VDE 0165-1:1998) wurde dieser Umstand in Form eines nationalen Vorwortes hervorgehoben. Hieraus ging hervor, dass die L_o - und C_o -Werte üblicherweise so zu verstehen sind, dass entweder L_o oder C_o als sogenannte konzentrierte Reaktanzen in den Stromkreis eingebracht werden dürfen; bei ausschließlicher Ausnutzung als Leitungsreaktanzen sind keine besonderen Maßnahmen erforderlich. Bei gemischter Beschaltung sollte der PTB-Bericht W-39 (mittlerweile als ThEX-10 bzw. Anhang C der EN 60079-25 bekannt) herangezogen werden. Es war offenbar der Nachweis gelungen, dass sonst der geforderte Sicherheitsfaktor auf Werte unter 1 sinken kann, was bedeutet, dass zündfähige Funken entstehen können. Auf diesen Umstand weisen auch viele Baumusterprüfbescheinigungen z.B. der PTB hin, die für den Fall der Ausnutzung ausschließlich als Leitungsbeläge bzw. im Falle gemischter Beschaltung unterschiedliche Wertepaare für L_o und C_o ausweisen.

Bild 4

Auswirkungen auf den Nachweis der Eigensicherheit

Für den Fall, dass die oben genannte Bedingung der Ausnutzung als Leitungsbeläge sichergestellt ist, kann vom Nachweisverfahren her direkt auf eine beispielsweise

tabellarische Darstellung gemäß Bild 2 verwiesen werden. Ansonsten ist der auf einem graphischem Verfahren beruhende Bericht ThEX-10 anzuwenden, welcher über die gemischte Beschaltung hinaus zusätzlich noch den Fall der Zusammenschaltung mehrerer Quellen abdeckt sowie – im Gegensatz zu den vorher beschriebenen Kurven – auch die Bewertung für nichtlineare Ausgangskennlinien erlaubt. Damit steht ein sehr hilfreiches Instrument zur Bewertung verschiedenster Schaltungssituationen zur Verfügung.

Graphisches Nachweisverfahren ThEX-10

Das Grundverfahren zur Anwendung des Berichtes gliedert sich im Groben in folgende Schritte (s.a. Bild 5):

- ausgehend von der erforderlichen Explosionsgruppe – zur Verfügung stehen IIB und IIC – wird zunächst ein geeignetes Diagramm ausgewählt, welches die maximal zu erwartende Induktivität zulässt (5 Diagramme von 0,15 ... 5 mH)
- in dieses Diagramm wird die Kennlinie der Quelle eingetragen; gleiches für die Summenkennlinie im Falle mehrerer beteiligter Quellen
- anschließend wird geprüft, welche Grenzkurven von dieser Kennlinie (nicht) geschnitten werden bzw. unterhalb welcher weiterer Grenzkurven der durch die Kennlinie bestimmte Punkt (U_{max} ; I_{max}) verläuft
- abhängig vom Kennlinienverlauf sowie der Lage des Punktes (U_{max} ; I_{max}) wird nun die maximal Kapazität C_o ermittelt

Mit den auf diese Weise ermittelten Werten für L_o und C_o kann nun der Nachweis der Eigensicherheit gemäß Anmerkung 2 erfolgen; der Rechenweg ist ab dieser Stelle identisch.

Obwohl dieses Verfahren sehr vielseitig anwendbar ist, ist es doch mit einem gewissen Aufwand verbunden, den man versucht hat, für bestimmte Anwendungsfälle deutlich zu reduzieren. In den neuesten Ausgaben der Gerätenorm EN 60079-11 sowie der Errichternorm IEC 60079-14 wird deshalb ein neues Verfahren – die 50%-Regel – beschrieben.

Neue 50%Regel

Bei diesem neuen Verfahren wird die Tatsache der unter Umständen höheren Zündfähigkeit gemischter Stromkreise ebenfalls anerkannt, allerdings wird nicht in jedem Fall davon ausgegangen, dass beliebige „Mischungsverhältnisse“ der beteiligten Reaktanzen als gleichermaßen zündfähig anzusehen sind. Das Grundverfahren geht vom Vorhandensein

der hohen, auf Basis der Zündgrenzkurven der EN 60079-11 ermittelten, L_o - und C_o -Werte in der Dokumentation der Quelle aus und gliedert sich in folgende Schritte:

- es ist zu prüfen, welchen konzentrierten Reaktanzen L_i und C_i sich insgesamt im Stromkreis befinden
- übersteigen sowohl L_i als auch C_i 1 % des Wertes der jeweiligen L_o -, C_o -Werte der Quelle, sind reduzierte L_o -, C_o -Werte zu ermitteln
- falls zutreffend, erfolgt die Ermittlung der neuen Werte durch Halbierung der bisherigen Werte
- in allen anderen Fällen – so z.B. der ausschließlichen Ausnutzung in Form von Leitungsreaktanzen oder der Kombination einer Leitung mit einer Reaktanz – werden nach wie vor die ursprünglich bescheinigten höheren Werte herangezogen

Dieses Verfahren ist deutlich einfacher anzuwenden, ist allerdings auf den Fall beschränkt, dass sich zum einen nur eine Quelle im Stromkreis befindet, die zudem auch eine lineare Ausgangskennlinie besitzen muss. In allen anderen Fällen ist z.B. wieder auf den ThEX-10 zurückzugreifen.

Fazit

Die zumindest in Kürze beschriebenen Nachweisverfahren und vor allem deren Hintergründe zur Grenzen der Anwendbarkeit zeigen, dass der Nachweis der Eigensicherheit offenbar eine gewisse Komplexität erreicht hat, der einigen Anwender auf den ersten Blick vielleicht etwas verwirrend erscheinen mag. Führt man sich jedoch die Entwicklung des Kenntnisstandes zu dieser Thematik vor Augen, so lässt sich nachvollziehen, warum an der ein oder anderen Stelle mittlerweile die Notwendigkeit besteht, die bisherige einfache tabellarische Gegenüberstellung zumindest im Hinblick auf die Herkunft der L_o -, C_o -Werte zu überdenken.

Weiterhin empfiehlt es sich, auch vorhandene Nachweise bestehender Installationen im Hinblick auf den beschriebenen Effekt zu überprüfen. Schließlich gilt nicht erst seit Inkrafttreten der Betriebssicherheitsverordnung, dass überwachungsbedürftige Anlagen – und damit auch Ex-Anlagen – nach dem Stand der Technik zu installieren sind, was nach allgemeiner Leseart sehr häufig über das hinausgeht, was im eigentlichen Text z.B. der Anwendernorm EN 60079-14 beschrieben ist. In diesem Zusammenhang sind beispielsweise auch der zuvor beschriebenen PTB-Bericht ThEX-10 als Erkenntnisquelle heranzuziehen sowie ggf. weitere Veröffentlichungen zum jeweiligen Themenkreis.

Da andererseits mit der neuen 50%-Regel zwischenzeitlich ein einfaches Mittel zur Berechnung einer Vielzahl in der Praxis vorkommender Stromkreise zur Verfügung steht, wird die Eigensicherheit genauso unkompliziert einsetzbar sein wie zuvor; im Zweifelsfalle stehen kompetente Experten zur Unterstützung zur Verfügung.

Schlagworte: Eigensicherheit, Nachweis, konzentrierte und verteilte Reaktanzen

Autor: Michael Wenglorz, Dipl.-Ing. (BA)
Trainer für Explosionsschutz, Eigensicherheit und funktionale
Sicherheit
Geschäftsbereich Prozessautomation

Zeichen: 10.361, ohne Leerzeichen

Zeichen Kurzfassung: 815, ohne Leerzeichen

März 2009

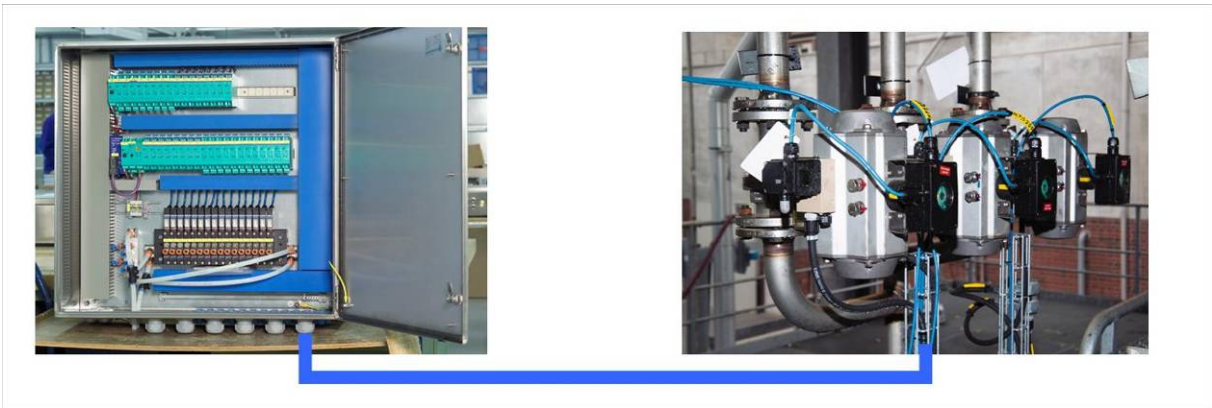


Abb. 1: Einfacher eigensicherer Stromkreis mit zugehörigem Betriebsmittel, Leitung und Feldgerät

Zugehöriges Betriebsmittel	Kabel	Eigensicheres Betriebsmittel
$U_o \leq$		U_i
$I_o \leq$		I_i
$P_o \leq$		P_i
$L_o \geq$	L_c	+ L_i
$C_o \geq$	C_c	+ C_i

Abb. 2: Vergleich sicherheitstechnischer Kennwerte

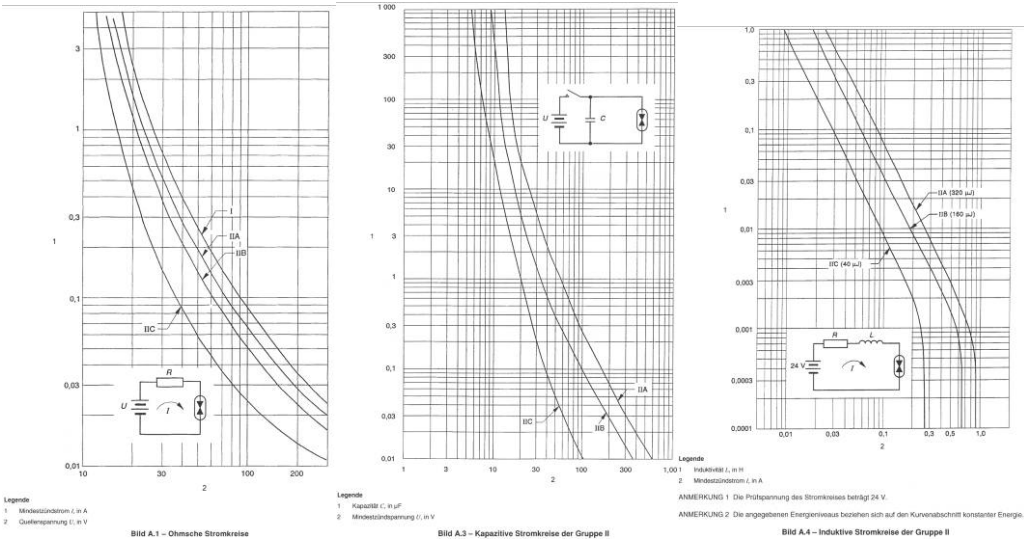


Abb. 3: Ohmsche, kapazitive und induktive Zündgrenzkurve

Anmerkung: folgende Vermerk muß aus urheberrechtliche Gründen an geeigneter Stelle des Artikels erscheinen:

Auszüge aus DIN EN 60079-11 (VDE 0170-7):2007-08 und DIN EN 60079-25 (VDE 0170/0171-10-1):2004-09 sind für die angemeldete limitierte Auflage wiedergegeben mit Genehmigung 082.009 des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. und des VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.. Für weitere Wiedergaben oder Auflagen ist eine gesonderte Genehmigung erforderlich.

Maßgebend für das Anwenden der Normen sind deren Fassungen mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der VDE VERLAG GMBH, Bismarckstr. 33, 10625 Berlin und der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin erhältlich sind.

Eingangstromkreise in Zündschutzart Eigensicherheit EEx ia IIA/IIB/IIC
(Klemmen 1, 2, 3 bzw. 4, 5, 6) bzw. EEx ib IIA/IIB/IIC

Höchstwerte je Stromkreis:

$$U_o = 10,5 \text{ V}$$

$$I_o = 13 \text{ mA}$$

$$P_o = 34 \text{ mW}$$

$$R_i = 807,7 \text{ } \Omega$$

Kennlinie linear

$$C_i \approx 0$$

$$L_i \approx 0$$

Zündschutzart	EEx ia bzw. ib		
	IIA	IIB	IIC
höchstzulässige äuß. Induktivität L_o	1 H	840 mH	210 mH
höchstzulässige äuß. Kapazität C_o	75 μF	16,8 μF	2,41 μF

Bei Vorhandensein konzentrierter Kapazitäten und/oder Induktivitäten im eigensicheren Eingangstromkreis sind die höchstzulässigen äußeren Kapazitäten und Induktivitäten für Stromkreise der Kategorie „ia“ der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Zündschutzart	EEx ia	
	IIB	IIC
höchstzulässige äußere Induktivität L_o	7 mH	3 mH
höchstzulässige äußere Kapazität C_o	2,1 μF	620 nF

Abb. 4: Auszug aus einer EG-Baumusterprüfbescheinigung eines eigensicheren Trennschaltverstärkers

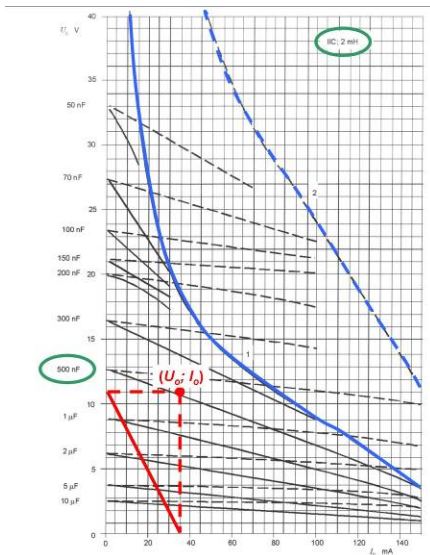


Abb. 5: Graphisches Verfahren gem. ThEX-10. Die Kennlinie der beispielhaft dargestellten Quelle (rot) darf die induktive Grenze der Rechteckquelle (blau) nicht schneiden, der Punkt $(U_o; I_o)$ muss unterhalb der Grenze der linearen Quelle (blau gestrichelt) liegen. Die max. zulässigen Reaktanzen betragen in diesem Beispiel 2 mH und 500 nF.

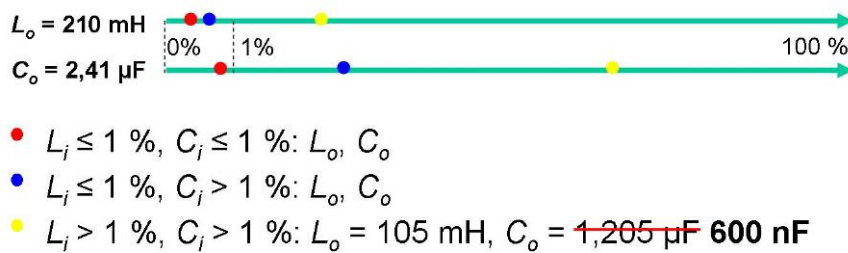


Abb. 6: Anwendung der 50%-Regel am Beispiel eines Trennschaltverstärkers mit hohen L_o , C_o -Werten (Anmerkung: nach Informationen der DKE, Frankfurt/M. wird empfohlen, die Kapazitätswerte 600 nF (IIC) bzw. 1 μF (IIB) nicht zu überschreiten)