
Innovative eigensichere Konzepte eröffnen neue Perspektiven im Explosionsschutz – erfordern aber neue Prüfmethode.

Dr.-Ing. Udo Gerlach, Dr.-Ing. Ulrich Johannsmeyer

Abstract

Durch innovative Hardwarelösungen lässt sich das Zündverhalten eines elektrischen Stromkreises stark beeinflussen, indem diese Hardware den Stromkreisen eine genau definierte Verhaltensweise im Störfall (z.B. Funken) aufprägt. Dazu sind neuartige sicherheitsrelevante Anforderungen erforderlich, die zur Zeit in der internationalen Normung der Zündschutzart Eigensicherheit „i“ IEC 60079-11: 2006 nicht enthalten sind.

In diesem Papier wird die „Power-i“-Technologie vorgestellt, die den grundlegenden sicherheitstechnischen Anforderungen genügt. Diese basiert auf einer dynamischen Erkennung und Beherrschung von sicherheitstechnisch kritischen Zuständen. Die mit dieser Technologie verbundene Wirkleistungssteigerung ermöglicht eine deutliche Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten der Zündschutzart Eigensicherheit „i“.

Da eine Prüfung und Zertifizierung dieser Technologie auf internationaler Ebene z.Z. nicht möglich ist, wird angestrebt, die sicherheitsrelevanten Vorgaben in die Internationale Normung (z.B. IEC 60079-11 oder 60079-25 oder eine Technical Specification) einfließen zu lassen. Gemeinsam mit international agierenden Herstellerfirmen und Prüfstellen wird ein internationaler Standard angestrebt, der weltweite Interoperabilität ermöglicht und die Führung des Nachweises der Eigensicherheit auf einfachem Weg realisiert.

1 Motivation

Zur Zeit gibt es keine international anwendbare Prüfvorschrift zur sicherheitstechnischen Bewertung von „Power-i“- Systemen. Damit ist das weltweite Inverkehrbringen dieser wirtschaftliche Vorteile versprechenden Technologie nur bedingt möglich – obwohl das Grundkonzept der weltweit anerkannten Zündschutzart Eigensicherheit „i“ definitiv eingehalten wird. In diesem Papier soll ein erster sicherheitstechnischer Nachweis erbracht und ein geeignetes Prüfverfahren vorgestellt werden.

2 „Power-i“-Systeme

2.1 Definition

Ein „Power-i“- System beinhaltet Stromkreise, die im Normalbetrieb, d.h. dem Arbeitsbereich, mit Spannungs- und/oder Stromwerten operieren, die außerhalb der im Anhang A der IEC 60079-11:2006 definierten Werte liegen können. Bei Anwendung der in Anhang B dieser IEC definierten Prüfbedingungen kann keine sichere Aussage über die Dauer des betriebsgemäß

aktiven Zustandes während der Prüfzeit getroffen werden. Dadurch ist keine sichere Aussage über das Zündvermögen der zu prüfenden Stromkreise oder Systeme möglich.

„Power-i“ beruht auf einer gezielten Einflussnahme der Quelle auf jede Art der Funkenentstehung, wobei eine Rückkehr in den Normalbetrieb erst dann erfolgen darf, wenn der kritische Zustand (Funken) beendet ist.

Bei derartigen Stromkreisen ist das System Quelle, Leitung und Verbraucher als Gesamtheit sicherheitstechnisch zu bewerten.

2.2 Vorteile

Der Hauptvorteil der „Power-i“-Technologie besteht darin, dass - bei Wahrung aller positiven Eigenschaften der Eigensicherheit - deutlich mehr eigensicher umsetzbare Wirkleistung im explosionsgefährdeten Bereich zur Verfügung steht.

Damit können u.a. bei deutlich höheren Leistungen Wartungsarbeiten und Umbauten im laufenden Betrieb ohne Heiarbeitserlaubnisschein durchgeführt werden. Mit „Power-i“ lassen sich auch aufwendig zu realisierende und somit teure Schutzarten wie Erhöhte Sicherheit „e“ oder Druckfeste Kapselung „d“ in vielen Applikationen durch Eigensicherheit „i“ ersetzen. Dadurch eröffnen sich für die Zündschutzart Eigensicherheit in vielen Bereichen – besonders in der Prozessindustrie - neuartige Perspektiven. Als Beispiele seien genannt: Waagen, Beleuchtungssysteme, Ventilansteuerungen und Feldbusse wie FOUNDATION Fieldbus H1 oder PROFIBUS PA. Diese Technologie lässt sich gut in existierende und neue Technologien integrieren und eröffnet dem Anlagenbauer und Anlagenbetreiber eine Vereinfachung existierender Applikationen.

Eine konkrete Ausführungsform von „Power-i“ ist die DART®-Technologie (DART: Dynamic Arc Recognition and Termination), der viele Jahre intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeit vorausgingen. Durch „Power-i“ stehen im Vergleich zu heutigen Lösungen deutlich höhere eigensicher umsetzbare Wirkleistungen zu Verfügung (siehe Tabelle 1).

| | U_{out} | P_{out} | Kabellänge |
|----------------------|-----------|------------|------------|
| Power-i | 50 VDC | ca. 50 W | 100 m |
| | 24 VDC | ca. 22 W | 100 m |
| | 50 VDC | ca. 8 W | 1000 m |
| Speisegerät Ex i | 16 VDC | ca. 320 mW | 1000 m |
| Power-i/DART-Feldbus | 24 VDC | ca. 8 W | 1000 m |
| FISCO Feldbus | 12,8 VDC | ca. 1,4 W | 1000 m |

Tabelle 1: Mit „Power-i“ erreichbare Wirkleistungswerte

2.3 Wie vereinbart sich diese Technologie mit der konventionellen Betrachtungsweise der Eigensicherheit nach IEC 60079-11: 2006 ?

Dies soll am Beispiel (siehe Abbildung 1) des Anhangs A der IEC 60079-11 Figure A.1 erklärt werden. Bei Vorgabe der Versorgungsspannung von $U = 24$ VDC und unter Berücksichtigung des Sicherheitsfaktors $SF = 1,5$ sind hier in der Explosionsgruppe IIC für den Strom $I = 174$ mA zulässig (bei $SF = 1,0$ ergeben sich $I = 261$ mA). Daraus lässt sich bei Leistungsanpassung die umsetzbare eigensichere Wirkleistung zu $P = 1,04$ W ermitteln.

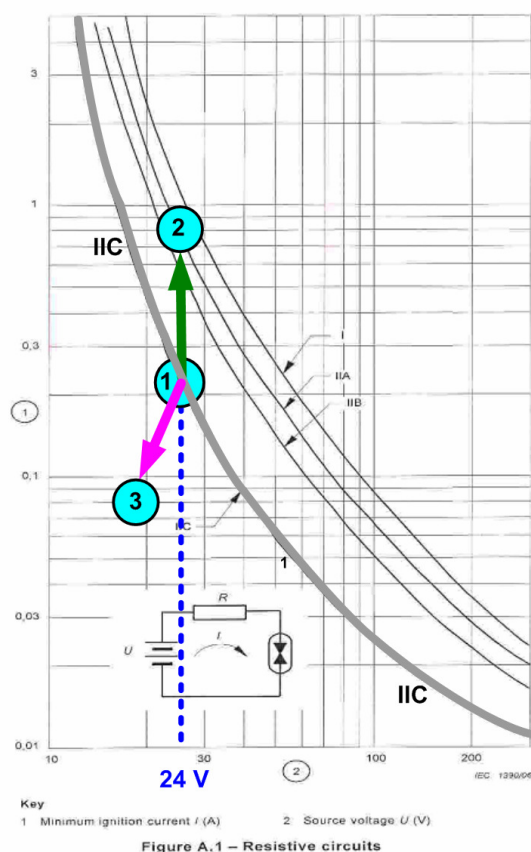


Abbildung 1. Arbeitsbereich von „Power-i“ im Ohmschen Kennlinienfeld der IEC 60079-11: 2006 (Figure A.1) für $U = 24$ VDC (Punkt 1: „konventionell“ eigensicherer Grenzwert; Punkt 2: Normalbetrieb = störungsfreier „Power-i“ Arbeitsbereich; Punkt 3: eigensicherer Bereich)

Mit Anwendung der „Power-i“-Technologie ist eine deutliche Erhöhung des eigensicher zulässigen Stromes ($I \gg 174$ mA) möglich (siehe Pfeil in Abbildung 1). Die exakte Festlegung dieses höchstzulässigen Stromwertes hängt von den dynamischen Eigenschaften des Gesamtsystems Quelle, Leitung und Verbraucher - ab. So sind mit „Power-i“, wie Tabelle 1 für z.B. $U = 24$ VDC zeigt, unter bestimmten Bedingungen 22 W eigensicher verfügbar.

2.4 Worin liegt die Ursache für dieses Verhalten ?

Bei der konventionellen Betrachtungsweise (auf Basis der IEC 60079-11: 2006) kann ein Funke im ohmschen Kreis während der gesamten Funkendauer (Zünd-) Energie aus der

Quelle beziehen. Eine Begrenzung erfolgt hier ausschließlich durch eine statische Begrenzung des maximalen Stromflusses in der Quelle und die Funkendauer bedingt durch die Bewegung von Draht und Scheibe im Funkenprüfgerät.

„Power-i“ basiert dagegen auf einem komplexeren Ansatz.

Es handelt sich hier um eine Schnellabschaltung, die einen Störzustand im elektrischen System (z.B. einen Funken) bereits im Moment des Entstehens erkennt und daraus eine sofortige Überführung in einen sicheren Zustand erwirkt. Dadurch wird wirkungsvoll die Umsetzung zündfähiger Funkenenergie verhindert; das führt zu den signifikant höheren elektrischen Anschlusswerten als zur Zeit nach IEC-Norm zulässig sind. Dabei wird die Tatsache ausgenutzt, dass in ohmschen Kreisen jeglicher sicherheitstechnisch kritische Zustand unmittelbar mit einer – wenn auch geringen – Stromänderung verbunden ist. Diese muss sicher durch Stromsensoren detektiert werden und die zuvor beschriebene Überführung in einen sicheren Zustand z.B. durch Abschaltung, bewirken. Die Erkennung der Stromänderung darf durch keine andere Komponente des Gesamtsystems negativ beeinträchtigt werden.

2.5 Welche Eigenschaften muss eine „Power-i“- Energieversorgung aufweisen ?

Das zuvor beschriebene Verhalten lässt sich beispielsweise mit dem in Abbildung 2 dargestellten Hardwarekonzept realisieren. Die hier dargestellte Energieversorgung enthält Komparatoren zur Erkennung von Stromsprüngen (+di/dt-Detector für Schließfunken und –di/dt-Detector für Öffnungsfunken) und Überlastzuständen (I-Detector), konventionelle eigensichere Begrenzungseinrichtungen sowie einen elektronischen Schalter S1. Der Innenwiderstand R_{start} gewährleistet bei geöffnetem Schalter S1, dass nur ein „kleiner“ eigensicherer Strom auf Basis der IEC 60079-11: 2006 in den Lastkreis fließen kann.

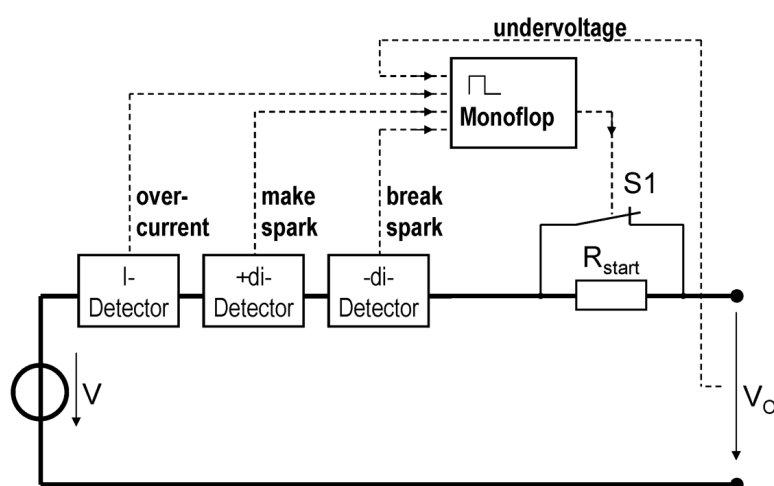


Abbildung 2. Prinzipschaltung einer Ausführungsform der „Power-i“-Energieversorgung

Das prinzipielle Verhalten soll am Beispiel des U-I-Ausgangs-Kennlinienfeldes einer „Power-i“-Quelle nach Abbildung 2 verdeutlicht werden (siehe Abbildung 3).

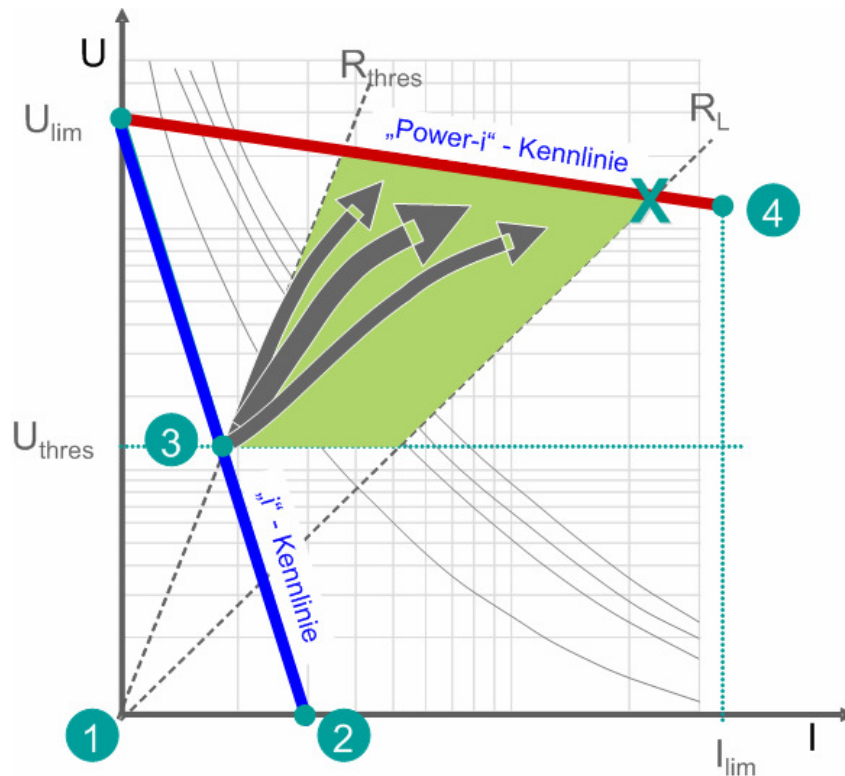


Abbildung 3. Ausgangskennlinienfeld einer „Power-i“-Quelle bei Lastaufschaltung

Grundsätzlich besteht dieses Kennlinienfeld aus zwei unterschiedlichen Kennlinienbereichen - der „i“-Kennlinie, d.h. dem Anfahr- und Rückkehr-Bereich und der „Power-i“- Kennlinie, d.h. dem Normal- oder Arbeitsbereich.

1. „i“- Kennlinie: (Schalter S1=offen). Diese befindet sich komplett im eigensicheren Bereich der Kennlinienscharen der IEC 60079-11:2006 Annex A. Der Verlauf dieser Kennlinie wird durch den linear begrenzenden Ausgangswiderstand R_{Start} (siehe Abbildung 2) festgelegt. Die Ausgangsspannung muss in Abhängigkeit von der Last einen vorgegebenen Schwellwert U_{thres} erreichen (Punkt 3 bei R_{thres}), sonst kann der Übergang in den Bereich der „Power-i“ Kennlinie nicht erfolgen.
2. „Power-i“- Kennlinie: (Schalter S1=geschlossen) Nur nach Überschreitung des Schwellwertes U_{thres} , erfolgt der „langsame“ Übergang vom Bereich der „i“-Kennlinie in den „Power-i“-Bereich. „Langsamer“ Übergang bedeutet hierbei, dass die Stromänderung di/dt unterhalb der Auslöseschwelle der dynamischen Abschaltungen liegt. Der „Power-i“-Bereich ist der Betriebsbereich, der die maximale Ausgangsleistung (im Punkt 4) ermöglicht. Dieser Bereich liegt in der Regel deutlich oberhalb der „i“-Kennlinie (und somit auch außerhalb der in der IEC-60079-11:2007 Annex A spezifizierten Werte).
3. Wird in diesem Betriebsbereich auf Grund von verbraucherseitigen Störungen (z.B. Funken) eine Stromänderung di/dt detektiert, die oberhalb der Auslöseschwelle der

dynamischen Abschaltung liegt (siehe Abbildung 4), führt dies durch das sofortige Öffnen des elektronischen Schalters S1 unmittelbar und sehr schnell zur Rückkehr in den eigensicheren Bereich der „i“-Kennlinie.

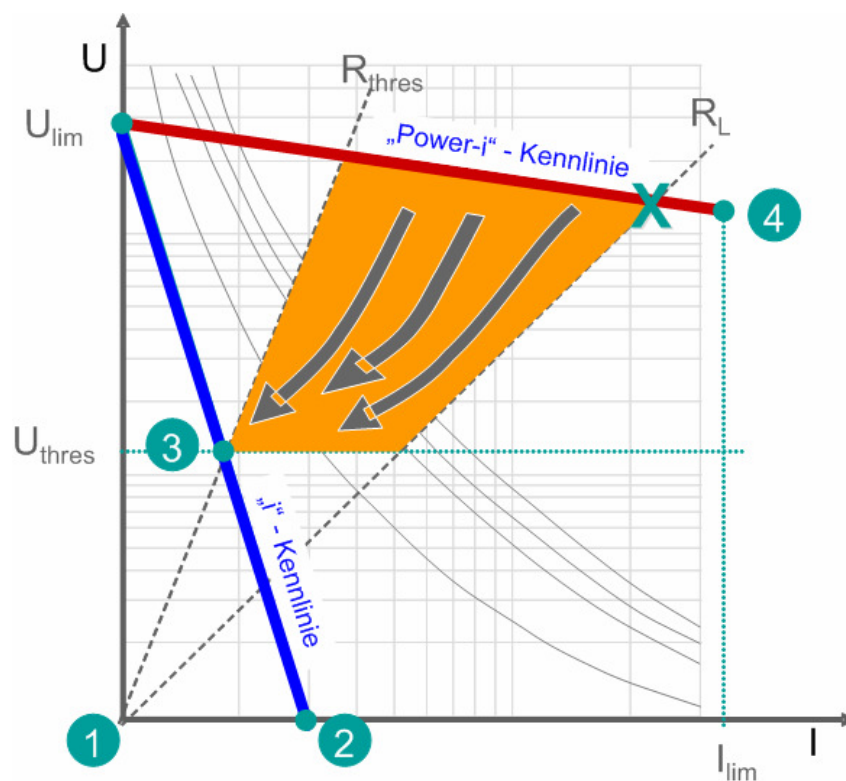


Abbildung 4. Ausgangskennlinienfeld einer „Power-i“-Quelle im Störfall

Während der Übergang von der „i“-Kennlinie zur „Power-i“-Kennlinie (Anfahren) langsam, d.h. im ms- Bereich erfolgen kann, muss der umgekehrte Weg (Abschalten) im Bereich von wenigen μ s erfolgen.

2.6 Das sicherheitstechnische Konzept von „Power-i“

Die allgemeine Voraussetzung für eine Zündung besteht in der Notwendigkeit der Überschreitung einer definierten Zündtemperatur in einem Initialvolumen des Gas-Luft-Gemisches. Dazu ist das Erreichen einer bestimmten Energiedichte in diesem Initialvolumen erforderlich. Da sich die Energiedichte aus dem Leistungseintrag in einer bestimmten Zeit ergibt, lässt sich ableiten, dass dem Faktor „Zeit“ fundamentale Bedeutung bei einer Entzündung zukommt. Durch gezielte Beeinflussung des Faktors „Zeit“ kann das Zündverhalten stark beeinflusst werden. Diesem Umstand wird in der momentanen Norm IEC 60079-11:2006 keine Rechnung getragen.

Grundlagenuntersuchungen der PTB haben gezeigt, dass sich durch eine definierte Beeinflussung dieses Faktors deutlich höhere „eigensichere“ Grenzwerte erreichen lassen. Zur

Optimierung ist hierbei allerdings die sicherheitstechnische Bewertung der drei wesentlichen Komponenten des Gesamtsystems - Quelle, Leitung und Verbraucher - notwendig (siehe Abbildung 5).

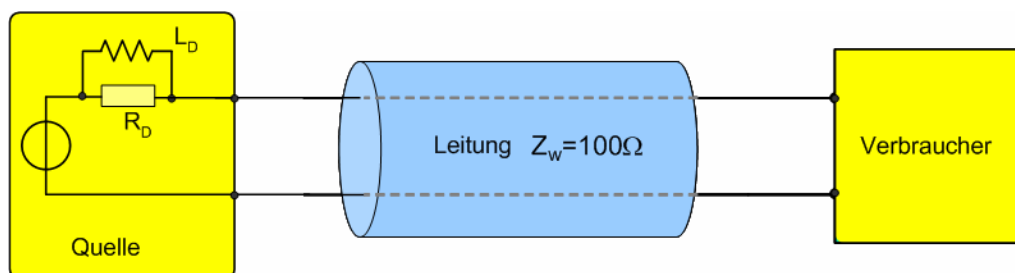


Abbildung 5. System-Komponenten eines „Power-i“ Systems

Grundsätzlich darf die Information über eine sicherheitstechnisch relevante Störung unter keinen Umständen weder durch die Leitung noch durch die Verbraucher dahingehend negativ beeinflusst werden, dass eine Detektion mit nachfolgender Reaktion der Quelle nicht mehr möglich ist.

Die wesentlichsten Eigenschaften der Komponenten eines „Power-i“-Systems sind:

⇒ **Quelle:**

Die Quelle muss die Störungserkennung und die Abschaltung entsprechend den Ausführungen der vorherigen Abschnitte beinhalten.

⇒ **Leitung:**

Die Leitungslaufzeit und die Signalbeeinflussung durch die Leitung sind sicherheitsrelevant und hängen maßgeblich von den Leitungsparametern und der Leitungslänge ab.

⇒ **Verbraucher:**

- sollten ein definiertes Anfahrverhalten aufweisen (Der Widerstand sollte im Anfahrmoment kurzzeitig weit oberhalb des betriebsmäßigen Lastwiderstandes liegen);
- sollten sich langsam und ohne Stromsprünge aufschalten;
- müssen durch ihr elektrisches Verhalten bei Leitungsöffnung einen definierten di/dt -Sprung im Funkenübergangsbereich gewährleisten;
- dürfen die sicherheitsrelevanten Informationen über Stromsprünge auf der Leitung nicht beeinflussen;
- sollten sich einfach in das System integrieren lassen.

Dieses erforderliche „definierte“ Verbraucherverhalten lässt sich für eine große Anzahl von Verbrauchern durch eine sogenannte Eingangsbeschaltung zur Lastentkopplung realisieren. Eine mögliche Form dieser Lastentkopplung in Verbindung mit einer nahezu beliebigen Last zeigt Abbildung 6.

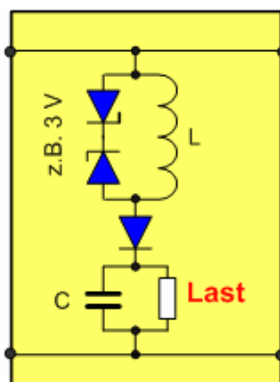


Abbildung 6. Beispiel für einen Verbraucher mit integrierter Lastentkopplung

2.7 Quantitative Festlegung der sicherheitsrelevanten Parameter

Vor der Bewertung des Zündverhalten von „Power-i“-Stromkreisen soll zunächst der typische Verlauf eines Öffnungsfunkens in einem Ohmschen Stromkreis (Basis: IEC 60079-11: 2006 Annex A) analysiert werden. Abbildung 7 zeigt dafür beispielhaft den realen zeitlichen Verlauf von Funkenstrom, –strom und –leistung eines Funkens.

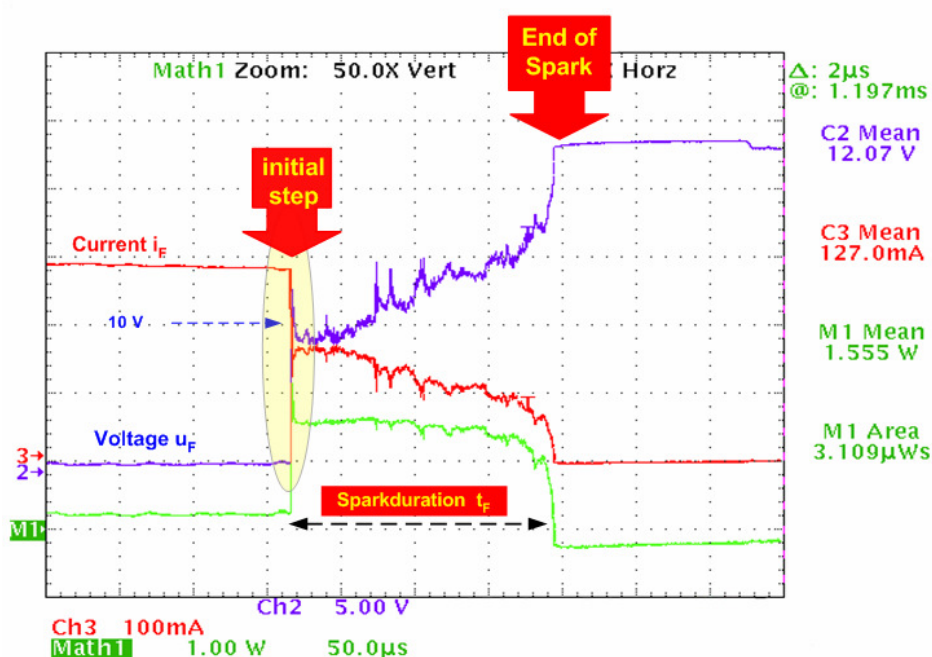


Abbildung 7. Typischer Verlauf von Funkenstrom und -spannung eines Öffnungsfunkens, der von einer linear begrenzten Quelle versorgt wird (hier: $U = 24 \text{ V}$ und $I = 280 \text{ mA}$, Funkendauer $\approx 180 \mu\text{s}$)

Diese Arten von Öffnungsfunkens sind – ohne Betrachtung der verwendeten Versorgungsspannung und des verwendeten Versorgungsstromes - durch folgende zündrelevante Parameter charakterisiert:

- ⇒ **den Initialsprung** – jeder dieser Funken beginnt ursächlich mit einem Initialsprung; Hier steigt die Funkenspannung in weniger als 100 ns von 0 V auf den Wert der Funkenverlustspannung von ca. 10 V; daraus resultiert der gleichzeitige Abfall des Funkenstromes.
(Anmerkung: Der Wert für die Funkenverlustspannung gilt für die Kontaktpaarung des Funkenprüfgerätes für Wolfram – Cadmium; für andere Kontaktpaarungen liegt dieser Wert höher).
- ⇒ **dem Verlauf der Funkenspannung** während der Funkendauer - Dieser ist maßgeblich für den wirksamen Zündenergieeintrag. Nur Spannungswerte oberhalb der Funkenverlustspannung von ca. 10 V sind zündwirksam und liefern einen Beitrag zur wirksamen Zündenergie und
- ⇒ **die Funkenlänge** – Diese kann bei dieser Art Öffnungsfunken von ca. 20 µs bis ca. 2 ms variieren ! (Begründung siehe oben)

Die in der IEC 60079-11: 2006 im Annex A aufgeführten zulässigen Maximalwerte ergeben sich unter diesen Randbedingungen. Da die stark variierende Funkendauer unmittelbar mit der Möglichkeit eines stark variierenden Energieeintrages in den Funken verbunden ist, muss dem bei der Festlegung der zulassungsfähigen Maximalwerte Rechnung getragen werden. Das führt zu den im Vergleich zu „Power-i“ recht kleinen Grenzwerten der o.a. IEC. Genau hier setzt die sicherheitstechnische Grundidee des „Power-i“-Konzeptes an. Unmittelbar nach der Detektion eines Funkens erfolgt die sichere Trennung des Lastkreises von der Energieversorgung der Quelle. Mit der Trennung wird dem Funken die für eine Zündung erforderliche Energiezufuhr entzogen. Übliche Hardware-Abschaltzeiten der Power-i-Quellen liegen unterhalb von 2 µs.

Für die sicherheitstechnische Betrachtung ist allerdings die Bewertung der maximalen systemabhängigen „Power-i“-Reaktionszeit relevant. Sie ist gleichzusetzen mit der maximalen Abschaltzeit des Systems. Diese ergibt sich aus der Summe der Hardwareabschaltzeit (z.B. 2 µs) und der (doppelten) maximalen Leitungslaufzeit zuzüglich möglicherweise durch Verbraucher verursachte Verzögerungen. Die maximale Abschaltzeit ist somit im voraus berechenbar. Beispielsweise ergibt sich für ein System nach Abbildung 5 mit einer 1000 m langen Leitung (maximale Leitungslaufzeit hierbei ca. 6 µs) die maximale „Power-i“-Abschaltzeit zu ca. 15 µs (2 µs + 6 µs + 6 µs + 1 µs). Im Gegensatz zu konventionell gespeisten DC-Kreisen, bei denen die Funkendauer äußerst variabel ist, sind hierbei Funkendauern von mehr als 15 µs definitiv ausgeschlossen.

Dies ermöglicht - unter Beibehaltung der gleichen Zündwahrscheinlichkeit wie bei der konventionellen Betrachtung – deutlich höhere zulässige Grenzwerte. Abbildung 8 verdeutlicht diese Zusammenhänge an Hand eines realen Plots. In diesem Beispiel beträgt die verkürzte Funkendauer 13,8 µs.

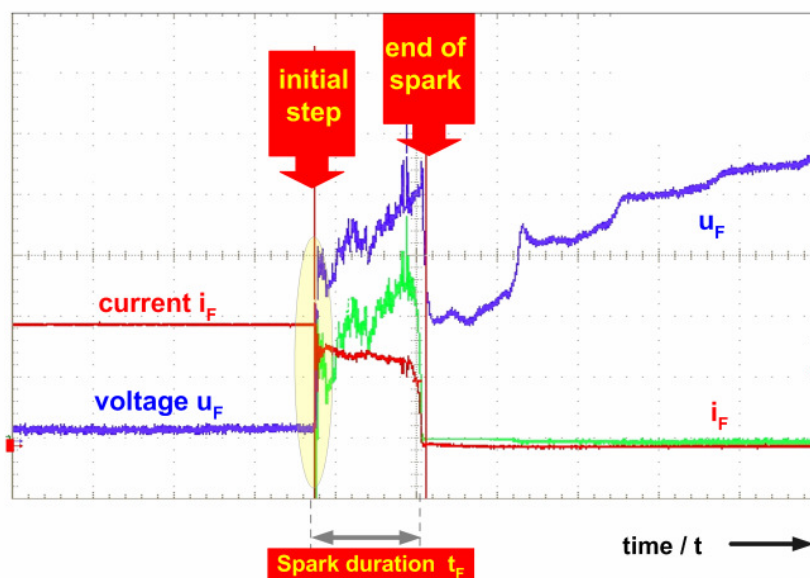


Abbildung 8. Zwangsverkürzung eines Öffnungsfunkens durch „Power-i“-Versorgung
(hier: 24 VDC / 400 mA, Leitungslänge 1000 m, Funkendauer = 13,8 μ s)

2.8 Wie wirkt sich die Funkenverkürzung aus energetischer Sicht auf das Zündverhalten aus ?

Vorbemerkung:

Bei den hier betrachteten Funken sind im Wesentlichen zwei Energieverlustarten dominant. Das sind zum einen die spezifische Wärmekapazität des Gasgemisches und andererseits die Wärmeverluste. Bei „langen“ Funken ($> 50 \mu$ s) sind die Wärmeverluste dominant. Um diese Verluste für eine mögliche Zündung auszugleichen, sind höhere Leistungseinträge erforderlich. Bei den hier betrachteten „kurzen“ Funken sind deshalb die Wärmeverluste zu vernachlässigen - hier dominieren eindeutig die Verluste, die sich durch die spezifische Wärmekapazität des Gasgemisches ergeben.

Abbildung 9 zeigt die Kurve konstanter Funkenenergie in Abhängigkeit von der Funkenleistung und bei Funkendauern, die maximal 20 μ s lang sind. Diese Kurve stellt den minimalen Energiewert dar, der – abzüglich aller energetischen Verluste – für eine Entzündung erforderlich ist; dieser soll als „minimale effektive Funkenenergie“ $W_{F-effective}$ definiert werden (effective incendive energy). Für Funkendauern unter 20 μ s gilt der vereinfachte Ansatz:

$$W_{F-effective} = \int_{initial-step}^{spark-end} P_F dt = W_F = W_{F-cons tan t} \quad \text{mit} \quad P_{F-effective} = P_F = (u_F - 10V) * i_F$$

Zündversuche der PTB mit dem Funkenprüfgerät ergaben für $W_{F-effective}$ einen Wert von unter 10 μ J für die Explosionsgruppe IIC.

Jeder Punkt der Kurve in Abbildung 9 bildet somit ein Rechteck mit konstantem Flächeninhalt. Bezogen auf die beispielhaft dort eingetragenen Energiewerte W_1 und W_2 gilt:

$W_1 = W_2 = W_{F\text{-constant}}$. Die Abbildung zeigt deutlich, dass die erforderliche „Effektive Zündleistung“ $P_F = P_{F\text{-effective}}$ bei längeren Funkendauern (z.B. $t_F = t_2 = 20 \mu\text{s}$ bei P_2), deutlich geringer ist als bei kürzeren Funkendauern (z.B. $t_F = t_1 = 5 \mu\text{s}$ bei P_1).

Die Erhöhung der „Effektiven Zündleistung“ ist unmittelbar mit einer möglichen Erhöhung der elektrischen Anschlusswerte verbunden ! Dieser Effekt wird bei „Power-i“ angewendet.

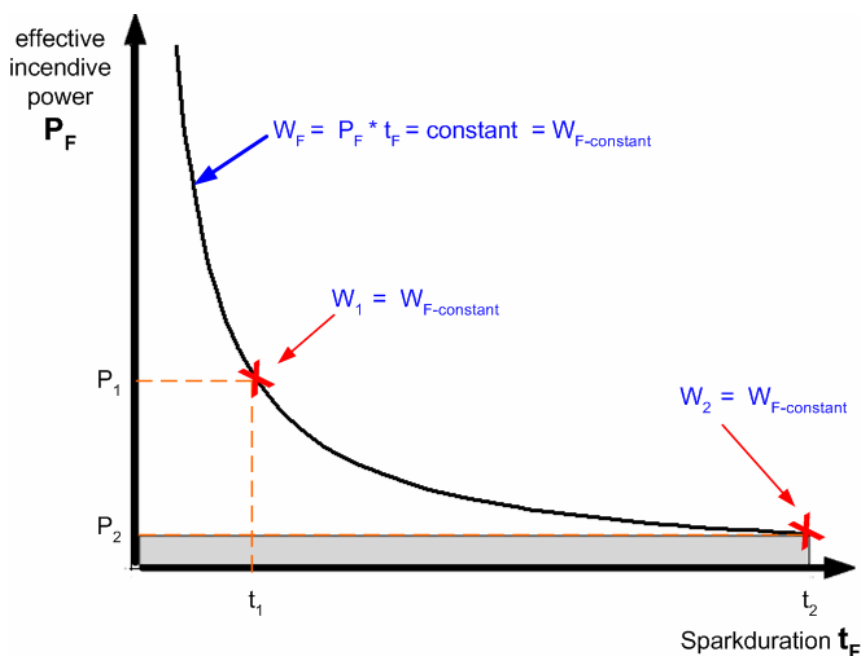


Abbildung 9. Kurve konstanter „Effektiver Funkenenergie“ $W_{F\text{-effective}}$ (Prinzipdarstellung für Funkendauern $t_F < 20 \mu\text{s}$) (effective incendive energy)

In Abbildung 10 wurde, basierend auf Abbildung 9, die unter bestimmten Randbedingungen in einem „Power-i“-System erreichbare effektive Ausgangsleistung (Wirkleistung) in Abhängigkeit von der System-Reaktionszeit und der Leitungslänge aufgetragen. Es handelt sich hierbei um qualitativ ermittelte Zündgrenzkurven, die auf einzelnen mit dem Funkenprüfgerät ermittelten Werten beruhen. (Anmerkung: Sämtliche in der IEC 60079-11 im Annex A befindlichen Kurven wurden genau so ermittelt !)

Bei der Vorgabe der Anstiegsgeschwindigkeit der Funkenspannung von $1,2 \text{ V}/\mu\text{s}$ handelt es sich um einen empirisch ermittelten Maximalwert, der auf Basis zahlreicher Messungen der PTB festgelegt wurde. Kleinere Anstiegsgeschwindigkeiten sind sicherheitstechnisch unkritisch – das Auftreten höherer Werte kann bzgl. der Zündwahrscheinlichkeit als vernachlässigbar betrachtet werden. Ähnliches trifft auch auf die Leitungfortpflanzungsgeschwindigkeit von $160 \text{ m}/\mu\text{s}$ zu. Hier gilt der Wert als Minimalwert, d.h. höhere Geschwindigkeiten bedeuten höhere Sicherheit. Niedrigere Geschwindigkeiten bedürfen einer besonderen Betrachtung.

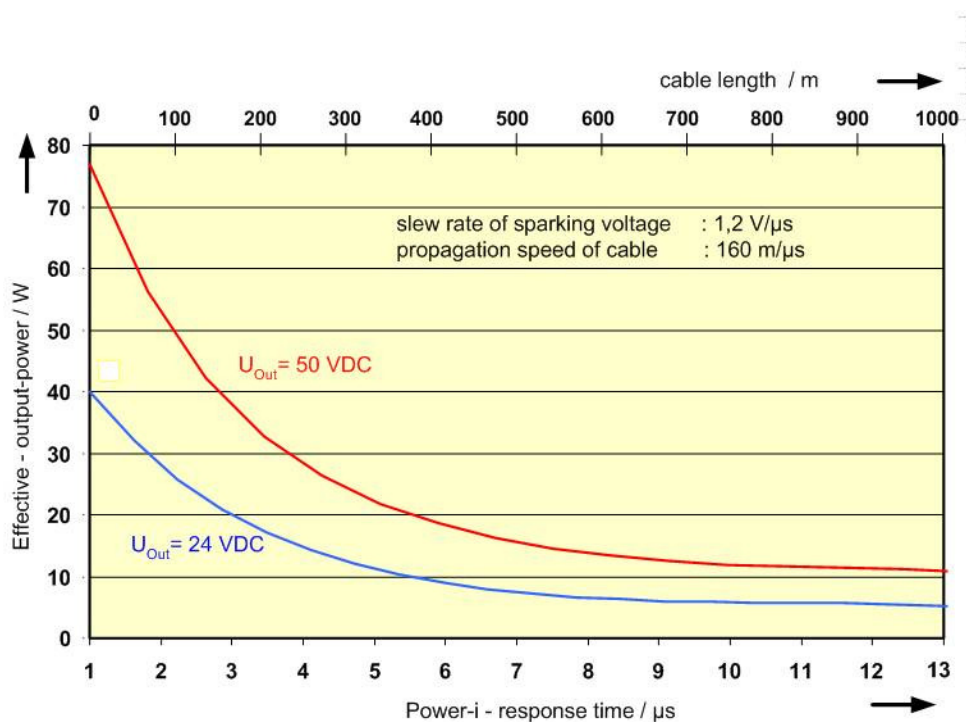


Abbildung 10. Zündgrenzkurve: Effektive Ausgangsleistung einer „Power-i“-Quelle in Abhängigkeit von der System-Reaktionszeit und der Leitungslänge

2.9 Zusammenfassende Betrachtung zur Vorgabe sicherheitsrelevanter Parameter

Die bisher üblichen (klassischen) Bewertungsverfahren für eigensichere Stromkreise nach IEC 60079-11:2006 sind für die Bewertung von „Power-i“-Stromkreisen nicht ausreichend. Folgende sicherheitsrelevanten Nachweise sind erforderlich:

- Nachweis über die maximale systemabhängige Power-i-Reaktionszeit,
- Nachweis über die sichere Detektion der Stromsprünge (Pegel, Schaltzeiten u.a.);
- Nachweis über das sichere Abschalten (bzw. den Übergang in einen sicheren Zustand) im Störfall;
- Nachweis darüber, dass die Auflistungen a) bis c) durch keine Komponente des Gesamtsystems Quelle–Leitung–Verbraucher negativ beeinträchtigt werden.

3 Neuartiges praktisches Nachweisverfahren zur Prüfung von „Power-i“-Systemen

3.1 Zielstellung

Ausgehend von der Definition der „Power-i“-Systeme und den Ausführungen des Abschnittes 2 existiert zur Zeit kein international anerkanntes Prüfverfahren zum Nachweis des Zündvermögens derartiger Stromkreise. Die hierfür erforderlichen sicherheitsrelevanten Anforder-

rungen sind in der Basisnorm der Zündschutzart Eigensicherheit „i“, der IEC 60079-11: 2006, nicht enthalten; eine normkonforme Prüfung ist somit zur Zeit nicht möglich.

Die Zielstellung besteht deshalb darin, ein geeignetes Nachweisverfahren für das Zündvermögen zu entwickeln, welches den speziellen Bedingungen dieser Art dynamisch reagierender Stromkreise Rechnung trägt. Als Kontaktvorrichtung soll dabei das Funkenprüfgerät nach IEC 60079-11 Annex B Verwendung finden. Perspektivisch ist vorgesehen, dieses neuartige Prüfverfahren in die IEC- Normung einfließen zu lassen.

3.2 Anforderungen

Folgende Anforderungen muss das neue Nachweisverfahren erfüllen:

- a) Der Mechanismus der Funkenerzeugung hat auf Basis des Funkenprüfgerätes nach IEC 60079-11: 2006 Annex B zu erfolgen. Damit wird die Vergleichbarkeit der dort in Annex A festgeschriebenen Grenzwerte gewährleistet;
- b) Zur Bestimmung des Zündvermögens (Zündwahrscheinlichkeit) dürfen nur die Kontaktgaben herangezogen (gezählt) werden, bei denen sich die Quelle auch im aktiven Betriebszustand befindet, d.h. die zu prüfenden elektrischen Ausgangsgrößen (U_{Out} und I_{Out}) müssen nachweisbar an der Kontaktvorrichtung anliegen.
- c) Das Prüfverfahren sollte möglichst einfach implementierbar sein;
- d) Stromkreise, die statische Kennlinien besitzen und somit nach IEC 60079-11: 2006 prüfbar wären, müssen bei Anwendung des neuartigen Prüfverfahrens vergleichbare Ergebnisse liefern (im Rahmen der üblicherweise messtechnisch zu erzielenden Ungenauigkeit).

3.3 Prüfaufbau mit Spark-Test –Apparatus-Control-Unit (STA-CU)

Die zuvor spezifizierten Anforderungen lassen sich mit Hilfe des in Abbildung 11 dargestellten Prüfaufbaus realisieren. Kernstück bildet eine Vorschaltbox, die im folgenden „Spark-Test–Apparatus-Control-Unit“ (STA-CU) genannt werden soll. Es handelt sich hierbei um eine spezielle Steuerungs- und Kontrolleinheit, die zwischen das zu prüfende Power-Supply (DUT), das Funkenprüfgerät (STA) und die Last geschaltet wird. Die STA-CU bewirkt, dass nur diejenigen Kontaktgaben für die sicherheitstechnische Beurteilung gewertet werden, bei denen die Quelle auch Leistung an den Verbraucher abgeben kann, d.h. die Quelle aktiv ist. Der prinzipielle Aufbau der STA-CU ist ebenfalls aus Abbildung 11 ersichtlich.

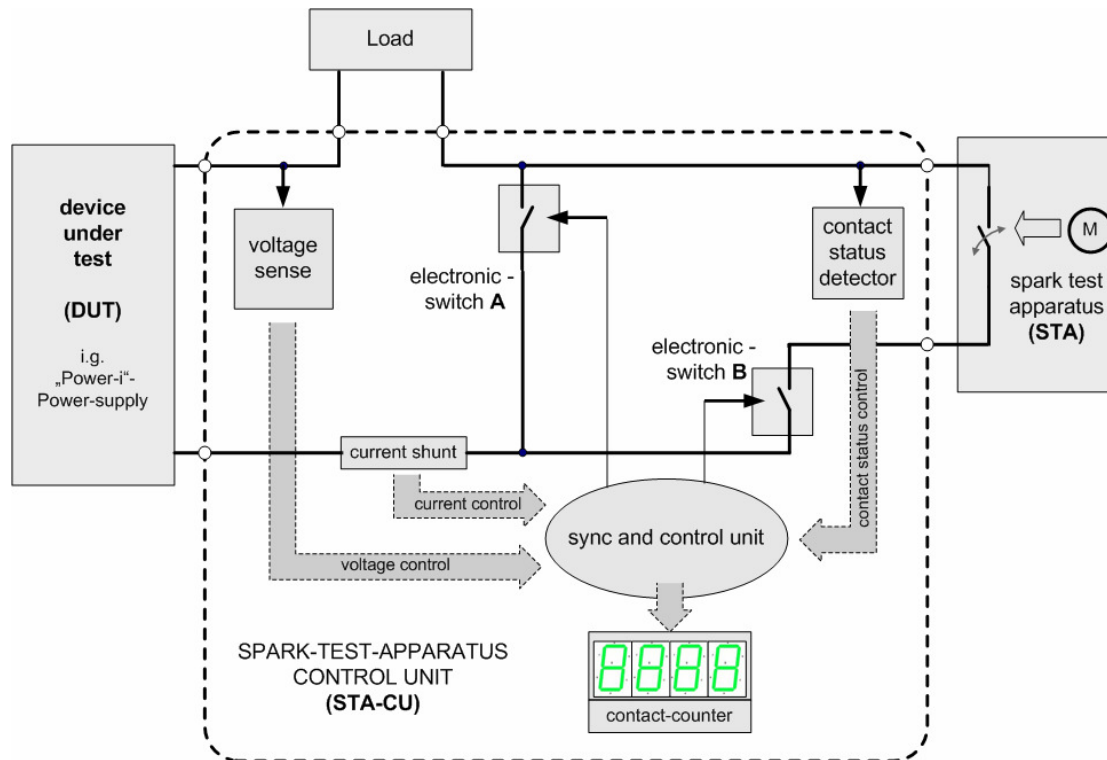


Abbildung 11. Prüfaufbau mit Spark-Test-Apparatus-Control-Unit (STA-CU)

3.4 Anwendung der Spark-Test –Apparatus-Control-Unit (STA-CU)

Vor Beginn jeder praktischen Prüfung sind die Werte für den betriebsgemäßen Zustand von Spannung und Strom (U_{Out} und I_{Out}) an der STA-CU vor einzustellen (preset values). Nur wenn diese während der Kontaktierung erreicht werden können, gelten die Kontaktgaben als gültig und sind somit zählbar.

Bekannterweise ist zwischen den zwei Kontaktierungsarten „Stromkreisöffnung“ und „Stromkreisschließung“ zu unterscheiden. Hier wirken jeweils unterschiedliche Mechanismen, die unterschiedliche Verfahrensweisen erfordern. Bei dieser Prüfung ist die jeweils zündkritischste Kontaktart, d.h. Öffnungs- oder Schließfunken, an der STA-CU vor einzustellen. Wenn keine sichere Aussage möglich ist, sind beide Kontaktarten zu prüfen.

Bei beiden Kontaktierungsarten werden jeweils zu Beginn die Eigenschaften des zu prüfenden Stromkreises ermittelt - unabhängig vom Zustand des Funkenprüfgerätes.

Zuerst wird der Leerlauftest durchgeführt. Dazu wird geprüft, ob die voreingestellte Spannung (Sollspannung) der „Power-i“-Supply (DUT) wirklich anliegt (Switch A und Switch B – offen). Ist diese vorhanden, folgt der Belastungstest, bei dem das DUT sanft (durch langsames Schließen von Switch A) bis zur Sollbelastung durch die STA-CU zugeschaltet wird. Die sanfte Aufschaltung verhindert ein vorzeitiges Abschalten der „Power-i“-Supply (DUT). Dadurch wird der betriebsgemäße Zustand des Prüfstromkreises (DUT) sichergestellt.

Ausgehend von diesem Ausgangszustand (Switch A - geschlossen, Switch B – offen) werden anschließend die für beide Kontaktierungsarten unterschiedlichen Prüfabläufe realisiert.

Prüfung auf Öffnungsfunken:

- a) Liegen die voreingestellten Werte für Strom und Spannung (I_{Out} und U_{Out}) an der Last an, erfolgt die Abfrage der Kontaktposition des Funkenprüfgerätes (STA). Erst bei geschlossener Kontaktvorrichtung des Funkenprüfgerätes schaltet die STA-CU den Laststrom über Switch B (Switch B geschlossen) auf das Funkenprüfgerät auf. Anschließend wird Switch A geöffnet und der Strom fließt somit ausschließlich über die Kontaktvorrichtung des Funkenprüfgerätes.
- b) Die nachfolgende Kontaktöffnung des Funkenprüfgerätes erzeugt somit einen Öffnungsfunken, der unter „realen“ Bedingungen im Normalbetrieb entsteht. Jetzt liegen hier die zu prüfenden Werte für Strom und Spannung (I_{Out} und U_{Out}) an (siehe auch den Bereich der Power- i -Kennlinie in Abbildung 3).
Nur die unter diesen Bedingungen erzeugten Öffnungsfunken werden bei der Beurteilung des Zündverhaltens gezählt bzw. gewertet.

Prüfung auf Schließfunken:

- a) Hier wird Switch A „sanft“ geschlossen und gleichzeitig die Ausgangsspannung des DUT kontrolliert (Switch B ist offen). Sinkt die Ausgangsspannung des DUT während des Schließvorganges von Switch A nicht ab, so ist davon auszugehen, dass sich das DUT in einem betriebsbereiten Zustand befindet. Anschließend wird Switch A wieder „sanft“ geöffnet.
- b) Nur bei geöffneter Kontaktvorrichtung des Funkenprüfgerätes wird über die STA-CU Switch B geschlossen und das Funkenprüfgerät (STA) ist direkt mit dem DUT verbunden. Jetzt liegen hier die betriebsmäßigen Werte für Strom und Spannung (I_{Out} und U_{Out}) an. Die anschließend erfolgende Kontaktschließung des Funkenprüfgerätes erzeugt somit einen Schließfunken, der unter „realen“ Bedingungen entsteht.
Ein unter diesen Bedingungen erzeugter Schließfunken ist für die Beurteilung des Zündverhaltens als zählbar zu werten.

3.5 Zusammenfassende Betrachtung zu diesem Nachweisverfahren

Mit der Anwendung dieses Nachweisverfahrens wird Prüf- und Zertifizierstellen die Möglichkeit gegeben, auch das Zündverhalten von dynamisch reagierenden eigensicheren Stromkreisen (wie z.B. „Power- i “) praktisch zu überprüfen. Als Kontaktvorrichtung wird, wie für alle anderen Zündversuche in der Zündschutzart Eigensicherheit, das Funkenprüfgerät nach IEC 60079-11 Annex B verwendet.

Kernstück des Nachweisverfahrens bildet eine zwischen Last, Funkenprüfgerät und dem zu testenden Gerät (DUT) zu schaltende Vorschaltbox, die „Spark-Test-Apparatus-Control-Unit“ (STA-CU). Die STA-CU ist eine spezielle Steuerungs- und Kontrolleinheit, die gewährleistet, dass für die Bewertung des Zündvermögens eines Stromkreises nur die Kontaktgaben gewertet werden, bei denen sich der zu prüfende Stromkreis auch im aktiven Modus befindet.

Dadurch wird wirkungsvoll verhindert, dass bei Abschaltung der Versorgungseinheit – z.B. verursacht durch eine detektierte Störung im Lastkreis – eine Weiterzählung der Kontaktgaben an der Kontaktvorrichtung erfolgen kann.

Das mit diesem Nachweisverfahren ermittelte Zündvermögen eines Stromkreises ist somit bezüglich der Zündwahrscheinlichkeit direkt mit den momentan in der IEC 60079-11:2006 zu findenden Zündgrenzwerten vergleichbar.

4 Notwendige Schritte zur Implementierung in die internationale Normung

Da die Prüftechnik und auch die Normenanforderungen hinsichtlich der Bauart und der Systemkonfiguration bei dynamisch wirkenden Stromkreisen neuartig und komplex sind, wird vorgeschlagen, diese Technologie im Normenwerk des Explosionsschutzes zunächst als eine **"Technical Specification" (TS) bei IEC** einzubringen. Eine Technical Specification kann nach den IEC-Verfahrensregeln publiziert werden, wenn die Technologie noch in der Entwicklung ist oder wenn aus anderen Gründen zukünftig die Möglichkeit besteht, eine Einigung zu erzielen, um eine internationale Norm zu veröffentlichen. Die zeitliche Abfolge bei der Erarbeitung einer Technical Specification ist dabei deutlich schneller, als bei der Veröffentlichung einer normalen IEC-Norm. Nachdem mit der TS ausreichende Erfahrungen gesammelt wurden, kann daraus eine normale IEC-Norm entstehen, oder der Inhalt kann in bereits bestehende IEC-Normen eingearbeitet werden.

Für den europäischen Wirtschaftsraum können schon heute nach der Richtlinie 94/9/EG (ATEX) "Benannte Stellen" - auch abweichend von aktuell gültigen Normen - EG-Baumusterprüfbescheinigungen für dynamische Quellen - wie z.B. „Power-i“ - ausstellen.

Um den Verbreitungsgrad und die industrielle Akzeptanz dieser innovativen Technologie zu erhöhen, hat die PTB Mitte 2009 mit der Bearbeitung eines industriefinanzierten **Projektes** zum Thema „Mehr eigensichere Wirkleistung durch dynamisch wirkende Stromkreise – Realisierung, Implementierung, Prüfung und Inverkehrbringen“ (**Kurztitel – Power „i“**) begonnen.

5 Conclusion

Durch neue Denkansätze in Verbindung mit neuartigen schaltungstechnischen Lösungskonzepten ist es gelungen, die Attraktivität der Zündschutzart Eigensicherheit deutlich zu stei-

gern. So lassen sich mit dem dynamisch reagierenden „Power-i“-Konzept eigensichere Wirkleistungen bis zu 50 W realisieren.

Zahlreiche Marktteilnehmer haben sich darauf verständigt, einen offenen Standard und Interoperabilität für „Power-i“- Systeme zu unterstützen.

6 Literatur

- [1] IEC 60079-11:2006
- [2] Udo Gerlach, Thomas Uehlken, Ulrich Johannsmeyer, Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB, Andreas Hennecke, Martin Junker, Pepperl+Fuchs, DART oder Die neue Dimension der Eigensicherheit“, Automatisierungstechnische Praxis atp 04/2008, S. 39-51
- [3] Dr. Udo Gerlach, Dr. Ulrich Johannsmeyer, Dipl.-Ing. (FH) Thomas Uehlken, Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB,
Dr. Martin Junker, Dipl.-Ing. Andreas Hennecke (MBA), Pepperl+Fuchs Mannheim;
„Deutlich mehr Power in der Eigensicherheit durch Nutzung innovativer Technologien“, VDI-Berichte 2067, Automation 2009 - Der Automatisierungskongress in Deutschland, 16. - 17.Juni 2009, S.241 – 244 und auf CD