

Explosivstoffe zur Brandbekämpfung?

Prüfkriterien für Schnellauslöseeinrichtungen

Dr.-Ing. Kurt Ziegler und Dipl.-Ing. Herbert Meyer

1. Einleitung

Es klingt zunächst wie ein Paradoxon, wenn man erfährt, daß Explosivstoffe dazu beitragen sollen, Brände zu bekämpfen, während der umgekehrte Fall, daß Brände durch Explosivstoffe ausgelöst werden, sehr viel einleuchtender ist.

Grundvoraussetzung für jede Brandbekämpfung ist nach der Branderkennung, daß in einem möglichst frühzeitigen Stadium das Feuerlöschmittel zur Verfügung steht und eventuell sogar selbsttätig sowie sicher ausgelöst wird. Hierzu können Explosivstoffe, die in Metallhülsen eingepreßt sind, sogenannte Sprengkapseln, einen wesentlichen Beitrag liefern. Diese Sprengkapseln (Abb. 1) gibt es sowohl mit mechanischer als auch mit elektrischer Auslösung. Die sicherheitstechnischen Anforderungen an Sprengkapseln mit mechanischer Auslösung wurden bereits vor einigen Jahren veröffentlicht [1]. Sprengkapseln mit elektrischer Auslösung unterscheiden sich in ihrem grundsätzlichen Aufbau nicht von elektrischen Zündern. Auch sie bestehen aus einer mit zwei Zuleitungsdrähten versehenen Zündpille, die in eine Sprengkapsel eingesetzt ist. Werden die Zünderdrähte mit einer Stromquelle verbunden, so fließt ein Strom über die Zünderdrähte in die Glühbrücke, die zusammen mit dem sie umgebenden pyrotechnischen Satz die Zündpille bildet. Der Strom erhitzt die Glühbrücke der Zündpille und heizt den Satz auf. Wird die Entzündungstemperatur erreicht, zündet der pyrotechnische Satz in Form einer kleinen Stichflamme, die auf die Primärladung trifft und diese zündet. Die Primärladung initiiert die Sekundärladung.

In einigen Fällen ist der Glühdraht in die Primärladung eingebettet und zündet diese direkt (Abb. 2).

Im Gegensatz zu den elektrischen Zündern, die im Bereich des Bergbaus und der anderen Grundstoffindustrie zur Zündung von Sprengstoffen verwendet werden, wird bei den Sprengkapseln mit elektrischer Auslösung das Arbeitsvermögen der Sprengkapsel selber genutzt, um

Dr.-Ing. Kurt Ziegler und Dipl.-Ing. Herbert Meyer, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Unter den Eichen 87, 1000 Berlin 45

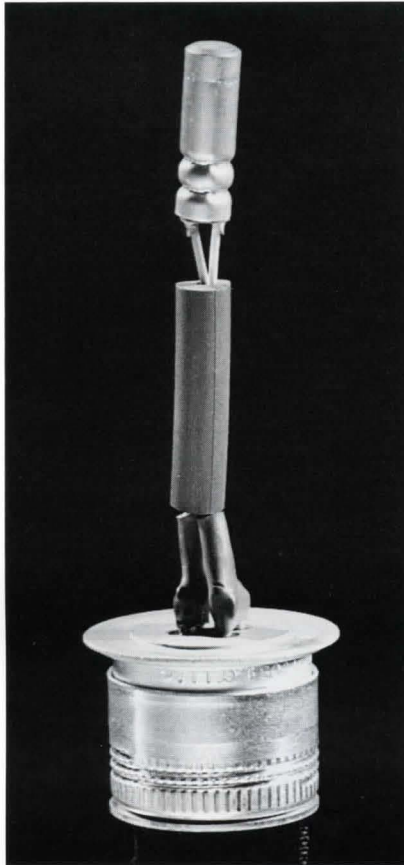


Abb. 1. Spezialzünder für Halon-Feuerlöscher.

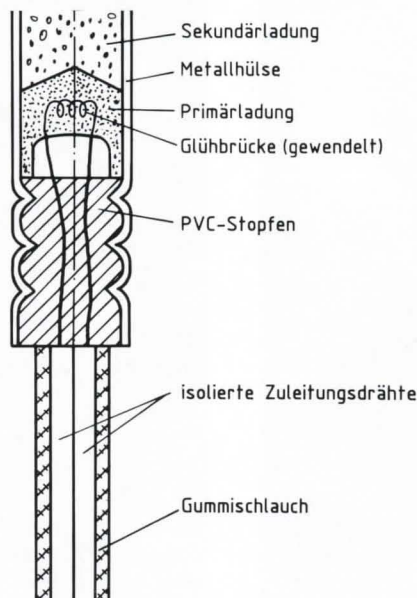


Abb. 2. Prinzipskizze einer Sprengkapsel mit elektrischer Auslösung (SKE).

Berstscheiben oder Stützringe zu öffnen bzw. zu zerstören. Sie dienen also nicht als Zündmittel im eigentlichen Sinne und sind meist auch nicht imstande, einen Sprengstoff zu zünden.

Die Abb. 1, 3 und 4 zeigen die Grundelemente einer derartigen Löschmittel-Anlage, bestehend aus Löschmitteldruckbehälter, Berstscheibe und Sprengkapsel mit elektrischer Auslösung.

Speziell im Bereich der HRD-Systeme (High Rate Discharge) sorgen die Sprengkapseln mit elektrischer Auslösung für die gewünschte schlagartige Abgabe der erforderlichen Löschmittelmengen, um zu erreichen, daß die Flammen in der Entstehungsphase bereits eingedämmt werden. Ein Teil der Schnellöffnungsventile arbeitet auf dem Prinzip, daß durch ein Stützröhrchen der Ventilpilz fest auf seinen Sitz gepreßt wird und dieses Stützröhrchen im Falle der Auslösung durch die Sprengkraft der Sprengkapsel mit elektrischer Auslösung zerstört wird, so daß das Feuerlöschmittel freigesetzt wird. Um Verletzungen bei gewollter oder ungewollter Auslösung zu vermeiden, ist es notwendig, dafür zu sorgen, daß keine Splitter beim Auslösevorgang nach außen gelangen.

Bei anderen Schnellöffnungsventilen wird durch die Sprengkraft der Sprengkapsel mit elektrischer Auslösung im Brandfall eine vorgestanzte Berstscheibe geöffnet, ohne daß dabei Splitter entstehen. Letztere wird vorwiegend in Verbindung mit Halon-Feuerlöschanlagen eingesetzt. Die Abb. 5 zeigt die Auslösung einer Halon-1211-Objekt-Schutzanlage [2, 3, 4].

2. Sprengstoffrechtliche Grundlagen

Sprengstoffrechtlich ergibt sich bezüglich der Notwendigkeit einer Zulassung dieser Gegenstände nach § 5 des Sprengstoffgesetzes (SprengG) folgendes Bild: Gemäß § 1 (4) Nummer 1 SprengG [6] ist der militärische Bereich vom Sprengstoffgesetz freigestellt. Anders ist die Rechtslage auf dem gewerblichen Sektor. Hier ist das Gesetz nur teilweise anzuwenden, wenn die Sprengkapseln mit elektrischer Auslösung (SKE) Bestandteil von Schnellauslöseeinrichtungen sind. So ist das Gesetz nicht anzuwenden auf den Erwerb, die Beförderung, die Einfuhr, das Aufbewahren, das Verwenden und das Vernichten

von Schnellauslöseeinrichtungen. Dies gilt jedoch nur unter folgenden Bedingungen: Ihre Explosivstoffladung darf 2 g nicht übersteigen. Die Einrichtungen müssen druckfest und splittersicher ausgelegt sowie gegen unbefugtes Öffnen gesichert sein. Sie müssen ferner von dem Leiter eines Betriebes oder einer von ihm schriftlich beauftragten Person erworben oder verwendet werden. Sind die SKE jedoch nicht in Schnellauslöseeinrichtungen eingebaut, ist das Gesetz in vollem Umfange anzuwenden, sofern es sich nicht um Bereiche handelt, die ohnehin vom Sprengstoffgesetz freigestellt sind.

Ein Antragsteller hat ein Anrecht auf eine Zulassung, sofern nicht Versagungsgründe nach § 5 (2) SprengG vorliegen: „Die Zulassung ist zu versagen (auf den vierten Versagungsgrund soll hier nicht eingegangen werden):

1. soweit der Schutz von Leben, Gesundheit oder Sachgütern Beschäftigter oder Dritter bei bestimmungsgemäßer Verwendung nicht gewährleistet ist,
2. wenn die explosionsgefährlichen Stoffe oder das Sprengzubehör den Anforderungen an die Zusammensetzung, Beschaffenheit und Bezeichnung (§ 5 Abs.1 Nr.2 Buchstabe a) nicht entsprechen,
3. soweit die explosionsgefährlichen Stoffe oder das Sprengzubehör in ihrer Wirkungsweise, Brauchbarkeit und Beständigkeit dem jeweiligen Stand der Technik nicht entsprechen.“

Für die Entscheidung, ob Versagungsgründe vorliegen, ist es notwendig, Anforderungen aufzustellen, die von den Sprengkapseln mit elektrischer Auslösung erfüllt werden müssen. Diese Anforderungen sollen in die Anlage 1 der 1. Verordnung zum Sprengstoffgesetz (1. SprengV) [7] aufgenommen werden. Nur so kann der Antragsteller erkennen, welche Anforderungen und Prüfungen die von ihm hergestellten Sprengkapseln zu erfüllen haben. Die Prüfvorschriften sind vom Bundesministerium des Innern als Anlage zum Bundesanzeiger veröffentlicht worden [8] und müssen dann ergänzt werden.

Für die Prüfung ist im vorliegenden Falle die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) zuständig, da es sich bei diesen Sprengkapseln nicht um einen der explosionsgefährlichen Stoffe oder Sprengzubehör handelt, die in § 9 (3) Nr. 2 der 1. SprengV genannt werden.

Für diese Prüfung war es notwendig, einen speziellen Prüfstand zu entwickeln:



Abb. 4. Sprengkapselhalterung und Berstscheibe nach der Zündung.

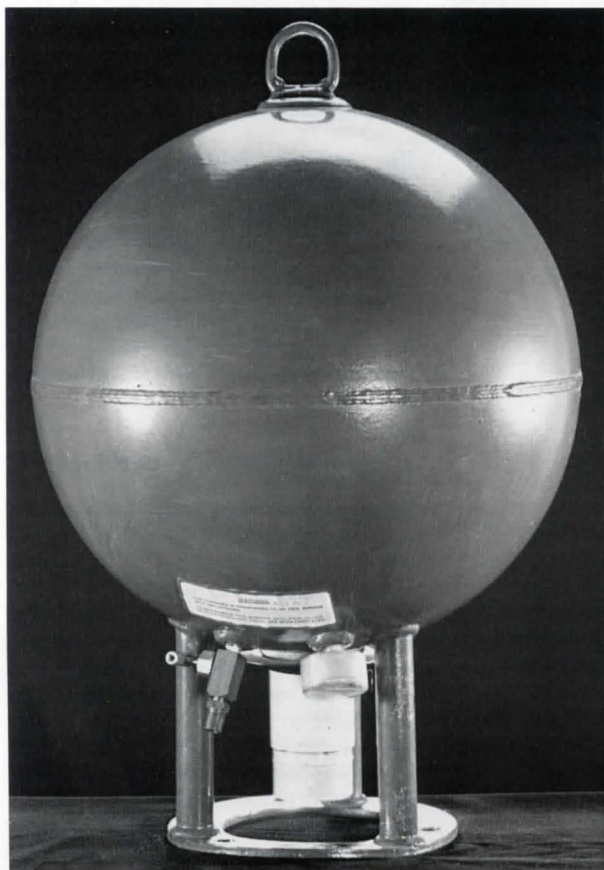


Abb. 3. Druckgasbehälter für Halon-Feuerlöscher.

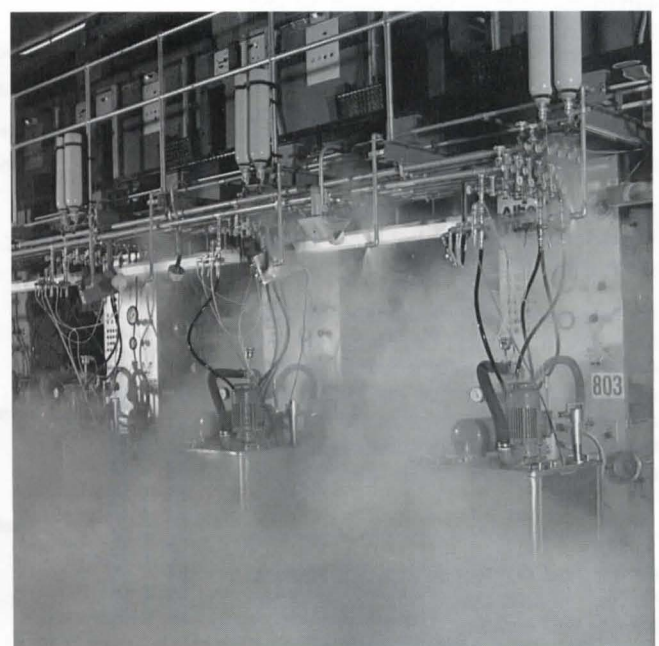


Abb. 5. Löschauslösung einer Halon-Objektschutzanlage.

3. Zünderprüfstand

Nach den gesetzlichen Vorschriften sind eine Reihe verschiedener, vorwiegend elektrischer Größen zu messen bzw. definiert vorzugeben, insbesondere Ströme, Spannungen, Widerstände, Ladungsmengen und Zeiten. Für diesen Zweck geeignete Meßeinrichtungen lassen sich zum großen Teil aus universellen Labor-, Meß- und Prüfgeräten zusammenstellen. Solche Meßplätze haben jedoch den Nachteil, daß die Handhabung relativ unübersichtlich ist und daß Schaltfehler sich nicht konsequent vermeiden lassen. Dies wiederum kann sowohl für die bedienenden Personen als auch für das Gerät gefährlich sein, zumal es sich um explosive Prüfobjekte handelt und die Prüfspannungen zum Teil sehr hoch sind. Bei der im folgenden beschriebenen Konzeption wurden deshalb alle Teilfunktionen zu einem integrierten Spezialgerät zusammengefaßt.

Durch entsprechende Verriegelungsschaltungen lassen sich Bedienungsfehler weitgehend ausschließen.

3.1 Mechanischer Aufbau

Die Prüfeinrichtung besteht aus einem Prüfbehälter und einem Elektronik-Schrank. In dem Prüfbehälter befinden sich die Anschlüsse für den bzw. für die Zünder, ferner eine Photodiode zur Detektierung des Lichtblitzes. Prüfbehälter einerseits und Elektronik-Schrank andererseits sind über zwei Kabel miteinander verbunden. Das eine Kabel hat vier Adern, davon zwei zur Übertragung des Zündstromes und zwei weitere als Potentialabgriffsleitungen. Dieses Kabel ist an beiden Seiten steckbar. Die am Behälter befindliche Steckverbindung muß zum Öffnen des Behälters zunächst gelöst werden, bevor mittels Riegelmechanik der Deckel des Behälters geöffnet werden kann. Über das zweite Kabel wird die Photodiode mit einem nachgeschalteten Verstärker im Elektronik-Schrank verbunden, dessen Frontseite in Abb. 6 dargestellt ist und zwei 19"-Einschübe enthält. In dem oberen Einschub sind das zentrale Meßgerät, die Verriegelungslogik, die Anwahl der Betriebsarten und die Anzeige von Betriebszuständen untergebracht. Im unteren Einschub wird die für die Zündung des Prüflings erforderliche elektrische Energie erzeugt.

3.2 Elektrischer Aufbau

Zur Verarbeitung der analogen Signale werden integrierte Operationsverstärker und hybride Module verwendet. Diese Bauelemente werden mit $\pm 15V$ versorgt. Die Zähl- und Verriegelungsschaltungen sind mit integrierten TTL-Bausteinen aufgebaut. Diese werden aus einer 5-V-Quelle versorgt. Außerdem werden benötigt: Eine 5-V-Quelle zur

Speisung des Photoverstärkers, eine 200-V-Quelle zur Versorgung der Anzeigeröhren und eine 24-V-Quelle für die Versorgung von Relais. Alle Versorgungsquellen mit Ausnahme der $\pm 15V$ -Quelle sind erdfrei. Die Versorgungsbereiche sind galvanisch nicht miteinander verbunden. Lediglich der 5-V-Bereich und der 200-V-Bereich haben einen gemeinsamen Bezugspunkt. An allen sonstigen Übergangsstellen wurden zur Potentialtrennung Optokoppler oder Relais eingefügt. Durch die Potentialtrennung werden Erdschleifen vermieden und die Störsicherheit des Gerätes verbessert. In dem unteren Einschub befinden sich zwei Energiequellen, die beide aus dem Stromversorgungsnetz unmittelbar versorgt werden: Eine 3-kV-Gleichspannungsquelle und ein steuerbares Netzgerät (Leistungsverstärker). Die Relais des unteren Einschubes werden aus der 24-V-Quelle des oberen Einschubes mitversorgt.

3.3 Funktion

Die Funktionen des Gerätes werden im Folgenden an Hand von dreistelligen Zahlen erläutert. Dabei werden Details nur soweit erläutert, als dies zum Gesamtverständnis erforderlich ist. Die erste Stelle dieser Zahl entspricht der Stellung des

Betriebsartenwahlschalters. Die zweite und dritte Stelle kennzeichnen die Stellung der Schalter für die Eingabe der Versuchsparameter für die Kondensatorentladung bzw. für die Größe des eingepreßten Stromes. An Stelle der zweiten und dritten Ziffer kann auch der Buchstabe x stehen, was bedeutet, daß die betreffende Schalterstellung keinen Einfluß hat.

3.4 Widerstandsmessung

Die ersten drei Betriebsarten 0xx, 1xx und 2xx sind für die Widerstandsmessung vorgesehen.

In der ersten Betriebsart, 0xx, kann ein unbekannter Widerstand R_x an zwei Polklemmen des oberen Einschubes angeschlossen und gemessen werden. Der Meßstrom wird einer hochohmigen Stromquelle entnommen, die an R_x abfallende Spannung wird über einen Meßverstärker an einen Spannungsfrequenzwandler durchgeschaltet und das Gleichspannungssignal in ein Rechtecksignal entsprechender Frequenz umgewandelt. Dieses Signal wird über einen Optokoppler an einen Zähler weitergegeben. Ein Taktgeber erzeugt durch Untersetzung der Netzfrequenz ein Torsignal, was jeweils 100 ms den Zähler

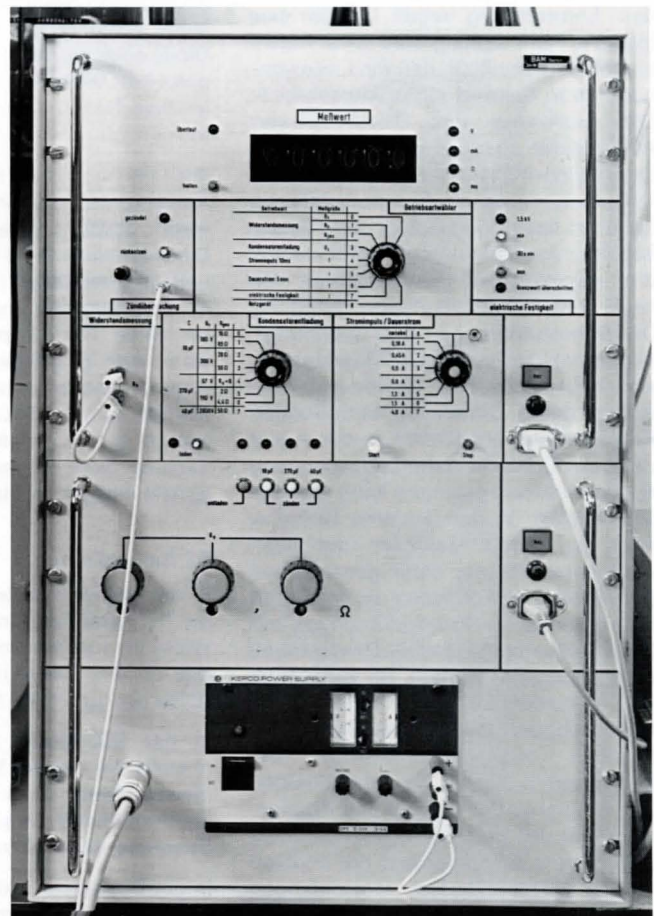


Abb. 6.
Zünderprüfstand,
Elektronik-Schrank.

freigibt und 100 ms den Zähler sperrt. Es werden also 5 Messungen in der Sekunde durchgeführt. Ein Speicher übernimmt nach Beendigung des Zählvorganges den Zählerstand. Ein Kodierer schließlich wandelt den Kode in eine für die Anzeige geeignete Form um. Der Meßvorgang wird gesteuert durch eine Logikeinheit. Diese erzeugt den Löschbefehl für den Zähler und den Setzbefehl für den Speicher und bildet aus der Überlaufmeldung des Zählers ein blinkendes Anzeigesignal. Die Logikeinheit erzeugt ferner ein Signal, welches den Meßbereich bestimmt.

In der Betriebsart 1xx wird der Widerstand R_b des Zünders gemessen. Der Meßvorgang läuft in gleicher Weise ab wie bei der Messung von R_x .

In der Betriebsart 2xx wird der Gesamtwiderstand des angeschlossenen Zünders einschließlich des Kabelwiderstandes und des Vorwiderstandes R_v gemessen. Der Meßvorgang läuft in der bereits geschilderten Weise ab.

3.5 Kondensatorentladung

In der Betriebsart 30x bis 37x wird eine Hochspannungsquelle mit einer Kondensatorbatterie verbunden. Die Spannung am Kondensator wird über einen Meßteiler angezeigt. Am Ausgang des unter 3.4 genannten Meßverstärkers ist ein Zweipunktregler angeschlossen, der den Ladevorgang regelt. Durch eine logische Verknüpfung wird eine Relais-einheit so beeinflußt, daß die Ladespannung ihren Sollwert nicht überschreitet. Die Auslösung des Zündvorganges erfolgt durch manuelles Betätigen eines Quecksilber-Kippschalters. Ein weiterer Quecksilber-Kippschalter ermöglicht das Entladen des Kondensators ohne Stromfluß über den Zünder. Insgesamt stehen drei verschiedene Kondensatoren von $10\ \mu\text{F}$, $270\ \mu\text{F}$ und $40\ \mu\text{F}$ zur Verfügung. Die Stromzuführungen und Spannungsabgriffe vor und hinter dem Widerstand R_v sind in der Betriebsart Kondensatorentladung durch Öffnen der betreffenden Relaiskontakte abgetrennt. Dadurch wird verhindert, daß die hohe Ladespannung in den Meßkreis gelangen kann und diesen zerstört. In den anderen Betriebsarten ist mittels Meßteiler und Überwachungsschaltung dafür gesorgt, daß die Ladung des Kondensators genügend klein ist, bevor die Stromzuführungen und Spannungsabgriffe über die Relaiskontakte durchgeschaltet werden. So kann auch bei versehentlichem Betätigen der Quecksilberschalter in keiner Betriebsart Schaden angerichtet werden. Die Betriebsarten 30x bis 37x unterscheiden sich einmal in der Anwahl des Kondensators, in der Höhe der Ladespannung und in dem entsprechend der Prüfvorschrift einzustellenden Gesamtwiderstand. Schalterstellungen, die sich nur im

Gesamtwiderstand voneinander unterscheiden, sind elektrisch identisch. Der Zustand „Entladen“ wird durch eine Lumineszenz-Diode angezeigt.

3.6 Impulsstrom

In der Betriebsart 4x0 bis 4x7 wird nach Betätigung der Start-Taste ein 10 ms langer Stromimpuls einstellbarer Höhe erzeugt. In der Logikeinheit befindet sich ein monostabiler Multivibrator, welcher einen 10 ms langen Impuls erzeugt. Dieser gelangt über einen Optokoppler an einen Verstärker. Der Verstärker wird über eine analoge Torschaltung freigegeben und verstärkt ein mit dem entsprechenden Wahlschalter eingestelltes Gleichspannungssignal. Dieses dient als Eingangssgröße für den Leistungsverstärker im unteren Einschub und liefert unabhängig von der angeschlossenen Last einen eingepprägten Strom. Der Strom durchfließt über Relaiskontakte die Leitungsadern und den Zünder. In diesen Betriebsarten ist der Eingang des Spannungsfrequenzwandlers so mit einer konstanten Spannung beaufschlagt, daß am Zähler eine konstante Frequenz von 100 kHz anliegt. Mit dem Beginn des Stromimpulses wird der Zähler freigegeben. Der Zählvorgang endet, wenn mittels Photodiode und Verstärker ein Lichtblitz-Signal an die Logikeinheit gemeldet wird. Angezeigt wird die Verzögerungszeit des Zünders in ms mit einer Auflösung von $10\ \mu\text{s}$. Der Anzeigewert bleibt bis zum nächsten Versuch gespeichert. Eine Lumineszenz-Diode zeigt an, daß der Zünder angesprochen hat. Diese Anzeige und die Digitalanzeige lassen sich durch Tastendruck rücksetzen.

Vor und nach dem Stromimpuls ist der Ausgang des Leistungsverstärkers über einen Relaiskontakt kurzgeschlossen. Diese Maßnahme ist notwendig, weil der Leistungsverstärker beim Übergang vom Leerlauf auf eine endliche Last kurzzeitig einen Stromimpuls erzeugt, auch wenn sein Eingangssignal Null ist. Verzögerungsschaltungen in der logischen Einheit sorgen dafür, daß der Stromimpuls erst freigegeben wird und die Zählung beginnt, wenn der Kurzschluß bereits aufgehoben ist.

3.7 Dauerstrom

In der Betriebsart 5x0 bis 5x7 und 6x0 bis 6x7 wird der Strom auf die gleiche Weise erzeugt wie bei dem Impulsstrom-Betrieb. Die Dauer ist jedoch nicht auf 10 ms sondern auf 5 min begrenzt.

In der Betriebsart 5x0 bis 5x7 wird anstelle der Zeit der Strom angezeigt. Zu diesem Zweck ist in den Stromkreis ein Meßwiderstand eingefügt, über den die Spannung abgegriffen wird.

In der Betriebsart 6x0 bis 6x7 dient das Meßgerät als Zeitmesser, wobei der

kleinste Schritt $100\ \mu\text{s}$ entspricht. Mit dem ersten Überlauf der sechsstelligen Anzeige, also nach 100 s, erscheint die Überlaufanzeige, die nach weiteren 100 s wieder erlischt usw.

3.8 Elektrische Festigkeit

Laut Prüfvorschrift soll die elektrische Festigkeit der Zünderdrähte mit einer Spannung von 1,5 kV geprüft werden. Ein über Relaiskontakte zugeschalteter Teiler teilt die Spannung von 3 kV auf 1,5 kV. Gemessen wird der von den Zünderdrähten über eine in Flüssigkeit eintauchende Elektrode fließende Strom. Der Meßbereich ist 1 mA. Bei Überschreiten eines Grenzwertes von 0,1 mA erscheint an der Frontplatte eine Anzeige „Grenzwert überschritten“. Diese Meldung bleibt gespeichert, auch wenn der Grenzwert anschließend wieder unterschritten wird. Die Prüfspannung kann wahlweise für Dauer oder für eine begrenzte Zeit von 30 s eingeschaltet werden. Das Anliegen der Prüfspannung wird ebenfalls angezeigt. Der Prüfvorgang kann zu beliebigen Zeiten abgebrochen werden.

4. Anforderungen und Prüfvorschriften

Ein Teil der Anforderungen sowie die dazugehörige Prüfmethode konnten aus den bestehenden Vorschriften für elektrische Zünder übernommen werden. Diese Anforderungen und Prüfungen werden der Vollständigkeit halber mitaufgeführt, jedoch nur hinsichtlich der Notwendigkeit ihrer Durchführung bei der Prüfung von Sprengkapseln mit elektrischer Auslösung (SKE) kommentiert.

Von besonderem Interesse ist allerdings zwangsläufig eine wesentliche Reduzierung der Prüfmuster, bedingt durch die geringen Produktionszahlen und Einfuhrlose der Sprengkapseln für technische Sonderzwecke, damit bei der Bereitstellung der Proben der wirtschaftliche Wert einer Charge angemessen berücksichtigt wird. Wenn die Anzahl der Prüfmuster jedoch für die Ermittlung von sicherheitstechnischen Grenzwerten zu gering ist, muß der vorgesehene Verwendungsbereich eingeschränkt und dem Antragsteller müssen in der Zulassung unter „Bestimmungen für die Verwendung“ Auflagen gemacht werden. Die Zahl der Prüfmuster kann bei kleinen Losgrößen vermindert werden, wenn dies ohne wesentliche Beeinträchtigung der Genauigkeit der Aussage über die einzelnen durchzuführenden Prüfungen möglich ist.

Im folgenden bedeutet:

A = Anforderung, P = Prüfverfahren, K = Kommentar

4.1 Allgemeines

4.1.1 Festigkeit der inneren Zünderteile

A: Die inneren Zünderteile und der Verschluß müssen fest in der Zünderhülse sitzen.

P: Beide Zünderdrähte sind gemeinsam bei festgehaltener Zünderhülse 2 min mit einem Zug von 20 N zu belasten. Dabei dürfen keine mechanischen Schäden auftreten. Nach der Belastungsprobe müssen sich die Zünder noch auslösen lassen. Zehn Zünder sind in dem vom Hersteller gelieferten Zustand bei Raumtemperatur, zehn Zünder nach vierzehntägiger Lagerung bei mindestens 96% rel. Feuchte und Raumtemperatur sowie zehn Zünder nach fünfständiger trockener Lagerung bei 50°C zu prüfen.

K: Auch bei Sprengkapseln mit elektrischer Auslösung muß eine feste Verbindung zwischen der Zünderhülse und den inneren Teilen gegeben sein, die einer möglichen Zugbelastung beim Einbau und Ausbau widersteht. Es dürfen in Einzelfällen die vorgeschriebenen Warm- und Feuchtlagerungen miteinander kombiniert werden, um die Zahl der Prüfmuster zu reduzieren.

4.1.2 Zünderdraht und dessen Isolierung

Mechanische und thermische Festigkeit

A: Bei Zünderdrähten aus Stahl muß der Drahtdurchmesser mindestens 0,6 mm, bei Zünderdrähten aus Kupfer mindestens 0,5 mm betragen. Zünderdrähte aus Stahl müssen einen leitenden Überzug haben, der den Stahl vor dem Rosten schützt und eine gut leitende Verbindung mit den anschließenden Teilen gewährleistet. Die Zünderdrähte müssen auf ihrer ganzen Länge isoliert sein. Die Isolierung muß bei bestimmungsgemäßer Verwendung mechanisch fest, thermisch beständig und elektrisch durchschlagsicher sein. Für Zünderdrähte, deren Isolierung bei der Verwendung besonderen Beanspruchungen ausgesetzt ist, werden diesen Beanspruchungen entsprechende Anforderungen an die mechanische Festigkeit der Isolierung gestellt.

P: a) Zur Prüfung der mechanischen und thermischen Festigkeit der Zünderdrahtisolierung ist ein Drahtstück von 1 m Länge auf einen zylindrischen Stab von 5 mm Durchmesser in eng aneinanderliegenden Windungen fest auf- und wieder abzuwickeln. Dabei darf keine blanke Drahtstelle sichtbar werden. Der Versuch ist zehnmal mit jeweils einem neuen Drahtstück durchzuführen.

b) Ein Drahtstück von 1 m Länge ist mit einem Zug von 5 N einmal so über eine rechtwinklige Eisenkante mit einem Krümmungsradius von 0,3 mm zu ziehen, daß es an den beiden 3 cm breiten Schenkeln der

Eisenkante anliegt. Dabei darf keine blanke Drahtstelle sichtbar werden. Insgesamt sind zehn Versuche mit jeweils neuen Drahtstücken durchzuführen.

c) Die Versuche entsprechend den Buchstaben a) und b) sind mit Drahtstücken nach 14tägiger Lagerung bei mindestens 96% rel. Feuchte und Raumtemperatur, mit Drahtstücken nach 14tägiger trockener Lagerung bei 40°C sowie mit Drahtstücken nach 10 min langer Lagerung bei -5°C zu wiederholen.

K: Bei der Zünderdrahtprüfung kann die Anzahl der Drahtenden verringert werden, wenn insbesondere bei konfektionierten Sprengkapseln bzw. Auslöseelementen mit komplett montierten Anschlußsteckern je nach Verwendungszweck keine besonderen Anforderungen hinsichtlich der mechanischen und thermischen Festigkeit der Drähte zu stellen sind.

4.1.3 Elektrische Festigkeit

A/P: Zehn unmittelbar an den Zünderhülsen abgeschnittene Zünderdrähte von jeweils 3,5 m Länge sind 60 s lang in eine bei Raumtemperatur gesättigte Kochsalzlösung zu tauchen. Die Drahtenden, die außerhalb der Flüssigkeit bleiben, sind elektrisch zu verbinden. An die Zünderdrähte und an eine in die Flüssigkeit einzutauchende Elektrode ist 30 s lang eine Gleichspannung von 1500 V anzulegen. Es darf kein größerer Strom als 0,1 mA fließen.

K: Bei der Prüfung sind Abweichungen von der genannten Länge der Drahtenden möglich, wenn das bei der Messung der Grenzstromstärke berücksichtigt wird.

4.2 Elektrische Kennwerte

4.2.1 Gesamtwiderstand

A: Der elektrische Gesamtwiderstand eines Zünders mit einer Zünderdrahtlänge bis zu 3,5 m darf nicht mehr als 3,5 Ohm betragen.

P: Der Gesamtwiderstand ist an 50 Zündern zu messen.

K: Die Anforderung ist aus sich selbst heraus verständlich.

4.2.2 Brückenwiderstand

A: Die Brückenwiderstände müssen zwischen 0,4 Ohm und 0,8 Ohm liegen.

P: Von 50 Zündern, deren Zünderdrähte auf rund 5 cm gekürzt sind, ist der elektrische Widerstand zu messen. Der Widerstand der verbleibenden Zünderdrähte ist vom Meßwert abziehen.

K: Hier gilt das unter 4.2.1 Gesagte.

4.2.3 Zündimpuls

A: Der zur Zündung erforderliche Zündimpuls muß zwischen 8,0 mWs/Ohm und 16,0 mWs/Ohm liegen.

P: 1. Ein auf 300 V aufgeladener Kondensator von 10 µF ist unter Zwischenschaltung eines Vorwiderstandes über den zu prüfenden Zünder zu entladen. Hierbei ist der Vorwiderstand so einzuregulieren, daß der Gesamtwiderstand von Zünder und Vorwiderstand 28 Ohm beträgt. Bei dieser Kondensatorentladung (Stromimpuls rd. 16 Milliwattsekunden/Ohm) muß der Zünder ausgelöst werden. Die Prüfung ist zehnmal zu wiederholen.

2. In einer weiteren Versuchsreihe entsprechend Nummer 1 ist der dort genannte Gesamtwiderstand auf 56 Ohm zu erhöhen.

Bei Entladung des Kondensators (Stromimpuls rund 8 Milliwattsekunden/Ohm) darf der Zünder nicht ausgelöst werden. Diese Prüfung ist an zehn Zündern vorzunehmen.

K: Diese Prüfung kann entfallen, wenn eine Auslösung mittels Kondensatorentladung nicht vorgesehen ist.

4.2.4 Ansprechempfindlichkeit

A: Die Zünder müssen durch einen Gleichstrom der Stärke 1,3 A innerhalb von 10 ms ausgelöst werden.

P: Zehn Zünder sind einzeln mit 1,3 A Gleichstrom zu belasten. Die Stromstärke muß unmittelbar nach dem Einschalten die vorgeschriebene Höhe erreichen. Dabei müssen alle Zünder innerhalb von 10 ms Stromdauer ausgelöst werden. Die Prüfung ist mit Zündern nach vierzehntägiger Lagerung bei mindestens 96% rel. Feuchte und Raumtemperatur sowie mit Zündern nach vierzehntägiger trockener Lagerung bei 40°C zu wiederholen.

K: Da auch bei der Verwendung von SKE als Bestandteil von Feuerlöscheinrichtungen oft mehrere SKE verwendet werden, ist insbesondere hinsichtlich einer sicheren Funktionsweise die Prüfung der Ansprechempfindlichkeit von besonderer Bedeutung.

4.2.5 Streustromsicherheit

A: Die Zünder dürfen durch einen Gleichstrom der Stärke 0,45 A innerhalb von 5 min nicht ausgelöst werden.

P: Der Prüfung sind zehn Zünder zu unterziehen.

K: Feuerlöscheinrichtungen werden häufig in Maschinenhallen und anderen Betriebsstätten installiert, in

denen mit erhöhter Streustromgefahr oft als Folge mangelhafter Isolierung von Starkstromanlagen zu rechnen ist.

4.2.6 Versagerfreie Reihenzündung und Zündfähigkeit

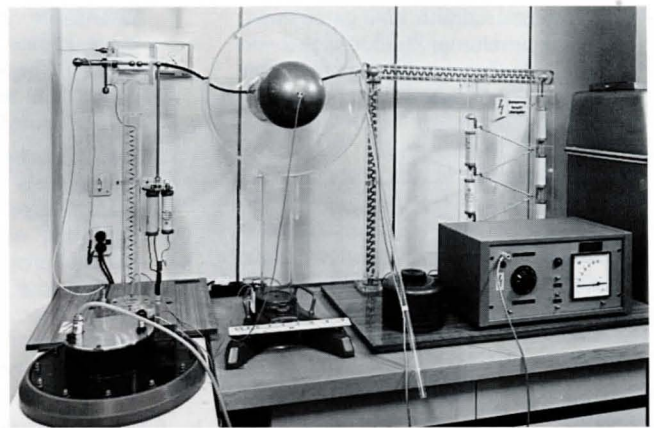
- A: Fünf Zünder der gleichen Ausführung müssen sich, hintereinandergeschaltet, mit einem Gleichstrom der Stärke 1,5 A versagerfrei zünden lassen.
- P: 25 Zünder sind, in Gruppen zu fünf hintereinandergeschaltet, mit dem vorgeschriebenen Strom zu belasten. Die Stromstärke muß unmittelbar nach dem Einschalten die vorgeschriebene Höhe erreichen. Dabei dürfen keine Versager auftreten. Die Prüfung ist mit Zündern nach 14tägiger Lagerung bei mindestens 96% rel. Feuchte und Raumtemperatur sowie mit Zündern nach 14tägiger trockener Lagerung bei 40°C zu wiederholen.
- K: Die Prüfung trägt der Tatsache Rechnung, daß auch SKE in Feuerlöschanlagen meist in Serie geschaltet sind.

4.2.7 Sicherheit gegen elektrostatische Ladungen

Die Prüfung auf elektrostatische Sicherheit kann mit einer Hochspannungs-Prüfeinrichtung durchgeführt werden (Abb. 7). Das Hochspannungs-Prüfverfahren und die Handhabung der Geräte sind in [5] veröffentlicht.

- A: Die Zünder dürfen unter Zugrundelegung einer Zünderdrahtlänge von 3,5 m und einer elektrischen Kapazität von 2000 pF durch elektrostatische Spannungen von 10 kV über die Glühbrücke nicht ausgelöst werden. Bei Zündern mit Zünderdrähten aus Kupfer ermäßigt sich dieser Wert auf 8 kV. Darüber hinaus müssen die Zünder gegen Auslösung durch Überschläge im Innern der Hülse gesichert sein.
- P: 1. Die mit einer Kugelfunkenstrecke (Kugeldurchmesser 20 mm) eingestellte Spannung von 10 kV eines Kondensators von 2000 pF ist an die beiden Zünderdrähte von 3,5 m Länge eines Zünders anzulegen. Bei Zündern mit Zünderdrähten aus Kupfer ist die Spannung auf 8 kV einzustellen. Dabei darf der Zünder nicht ausgelöst werden. Dieser Prüfung sind 25 Zünder zu unterziehen.
2. Die mit einer Kugelfunkenstrecke (Kugeldurchmesser 20 mm) eingestellte Spannung von 15 kV eines Kondensators von 2000 pF ist an die kurzgeschlossenen Zünderdrähte von 3,5 m Länge und die Zünderhülse eines Zünders anzulegen. Bei Zündern mit Zünderdrähten aus Kupfer ist die Span-

Abb. 7. Hochspannungsprüfstand mit Zünderprüfkessel.



nung auf 8 kV einzustellen. Dabei darf der Zünder nicht ausgelöst werden. Dieser Prüfung sind 25 Zünder zu unterziehen.

3. In einer weiteren Versuchsreihe ist die Spannung eines auf 10 kV aufgeladenen Kondensators von 2000 pF in gleicher Weise jeweils erst über einen und dann über den anderen Zünderdraht zur Hülse zu führen. Bei Zündern mit Zünderdrähten aus Kupfer ist die Spannung auf 7 kV einzustellen. Dabei darf der Zünder nicht ausgelöst werden. Dieser Prüfung sind 25 Zünder zu unterziehen.
- K: Künstliche Raumbelüftung und Klimatisierung bewirken besonders die Bewegung von Stäuben in der Luft. In Verbindung mit Kunststoffteilen kann dies zu gefährlichen elektrostatischen Aufladungen führen.

4.2.8 Alterungsbeständigkeit

- A: Sprengkapseln für den mehrjährigen Einsatz in fest installierten Anlagen müssen turnusmäßig ausgewechselt werden. Während der Verweildauer in den Anlagen dürfen sich die Sprengkapseln nicht mechanisch, elektrisch und im Detonationsverhalten verändern.
- P: Die Anforderung gilt als erfüllt, wenn das Verhalten der turnusmäßig ausgewechselten Sprengkapseln bei der nachfolgenden Funktionsprüfung sich nicht wesentlich von dem der fabrikneuen Sprengkapseln unterscheidet.
- K: Diese Vorschrift bedeutet hier, daß die Sprengkapseln während des Einsatzzeitraumes bis zum erstmaligen turnusmäßigen Auswechseln nur zur Erprobung zugelassen bleiben und danach der Prüfbehörde zur Nachprüfung erneut vorgestellt werden müssen.

4.2.9 Widerstandsfähigkeit gegen Beanspruchungen beim mobilen Einsatz

- A: Sprengkapseln für den mobilen Einsatz auf Fahrzeugen dürfen nach einer fünfständigen Rüttelbeanspruchung keine Veränderung der mechanischen, elektrischen und detonativen Eigenschaften zeigen.
- P: Die Prüfung wird nach der 1. SprengV Anlage 1 Absatz 145 durchgeführt, jedoch abweichend davon ohne Verpackung und mit einer Rütteldauer von 5 Stunden.
- K: Bei Sprengkapseln enthaltenden Geräten, die auf Fahrzeugen montiert sind, muß wegen der häufig rauen Betriebsbedingungen mit starken Erschütterungen gerechnet werden. Deswegen erscheint eine Rütteldauer von 2 Stunden als nicht ausreichend zur Beurteilung der Stoßbelastbarkeit.

4.2.10 Widerstandsfähigkeit gegen besondere Klimabeanspruchungen

- A: Sprengkapseln für den Einsatz an Betriebspunkten mit besonderen Klimabeanspruchungen müssen unter solchen betriebsnahen Temperatur- und Feuchtebedingungen gelagert und geprüft werden, daß eine sicherheitliche Beurteilung der Prüfmuster möglich ist.
- P: Sprengkapseln mit erhöhten Anforderungen an die Temperatur- und Feuchtebeständigkeit müssen mit jeweils wenigstens 10% höheren Werten bzw. 10°C höheren Temperaturen, als bei der Anwendung vorgesehen ist, gelagert und geprüft werden. Die Lagerdauer muß mindestens 2 Wochen betragen.
- K: Durch die Prüfung soll sichergestellt werden, daß die Sprengkapseln auch unter extremen klimatischen Bedingungen, z. B. bei der Verwendung von Feuerlöschern in Kühlhallen, eine zuverlässige Funktionsweise gewährleisten.

An dieser Stelle möchten die Verfasser den Herren Oberregierungsrat Dipl.-Ing. J. Knapp, E. Altmann und G. Preschel danken für die ausgezeichnete kollegiale Zusammenarbeit, insbesondere bei der Entwicklung des speziellen Zünderprüfstandes.

5. Zusammenfassung

Sprengkapseln mit elektrischer Auslösung (SKE) werden in großer Zahl, z. B. in Schnellauslöseeinrichtungen insbesondere für Feuerlöschanlagen unter und über Tage, eingesetzt. Da diese Gegenstände, soweit sie vertrieben, anderen überlassen und verwendet werden, einer Zulassung nach § 5 des Sprengstoffgesetzes bedürfen, wurden die not-

wendigen Anforderungen zusammen mit den zugehörigen Prüfvorschriften formuliert und kommentiert und eine für die Prüfung notwendige Meßapparatur beschrieben.

Literaturverzeichnis

- [1] Bartels und Ziegler:
Über die sicherheitstechnischen Anforderungen an Sprengkapseln mit mechanischer Auslösung für gewerbliche Zwecke, Nobelhefte 44 (1978), S. 35–39
- [2] TOTAL – Foerstner GmbH + Co.:
Explosionsunterdrückung in Behältern, technisches Firmeninformationsblatt
- [3] Walter Kidde GmbH, Lüneburg:
Sicherheit auf See, maßgeschneiderte Sicherheit und umfassender Feuerschutz, technische Firmeninformationsblätter
- [4] Ludwig Scheichl:
Halone für die Brandbekämpfung, Sonderdruck aus der „VFDB-Zeitschrift“, Heft 4/1966, W. Kohlhammer Verlag, Stuttgart
- [5] Herrmann
Ein Gerät zur Prüfung der Sicherheit elektrischer Zünder gegen Zündung durch elektrostatische Aufladungen.
Nobel Hefte 39 (1973), H. 2, S. 72–79
- [6] Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe (Sprengstoffgesetz) vom 13. September 1976, BGBl. I, S. 2737
- [7] Erste Verordnung zum Sprengstoffgesetz (1. SprengV) vom 21. Juni 1983 (BGBl. I, S. 744)
- [8] Bekanntmachung der Prüfvorschriften für Sprengstoffe, Zündmittel, Sprengzubehör sowie pyrotechnische Gegenstände und deren Sätze vom 12. 03. 1982
Beilage zum Bundesanzeiger Nr. 59 vom 26. 03. 1982

Gefahrenquelle statische Elektrizität in der chemischen Industrie

Nachdruck aus „CHIMIA“ 40 (1986) Nr. 1

Martin Glor

Die Elektrostatik hat seit ihrer Entdeckung durch Thales von Milet vor ca. 2600 Jahren die Menschen fasziniert. Die damals beobachtete Anziehung leichter Teilchen durch geriebenen Bernstein ist heute, im Zeitalter der Kunststoffe mit hochisolierenden Oberflächen, erneut aktuell geworden. Aber auch in der Zwischenzeit wurden die Leute immer wieder mit elektrostatischen Phänomenen konfrontiert, sei es in Form von imposanten Gewitterblitzen in der Natur oder in Form von magisch anmutenden Experimenten, wie sie in den vergangenen Jahrhunderten oft nicht nur zu wissenschaftlichen Zwecken unternommen, sondern auch zum Ergötzen und Erstaunen des Volks vorgeführt worden sind. Bis in die Gegenwart hat die Elektrostatik etwas von diesem magischen Anschein beibehalten. Nur so ist erklärlich, daß bis vor kurzem noch allzu oft der Elektrostatik die Schuld an Störungen oder Explosionen in all jenen Fällen zugeschoben wurde, in welchen keine anderen nachweisbaren Ursachen gefunden worden sind. In den letzten Jahrzehnten wurden große Anstrengungen unternommen, um die Erklärung und Voraussage elektrostatischer Phänomene in der industriellen Praxis auf eine wissenschaftliche Grundlage zu stellen. Dieser Fortschrittsbericht soll einen Überblick über unsere Kenntnisse von durch elektrostatische Aufladungen verursachten Gefahren geben.

1. Einleitung

In der Physik wird dasjenige Spezialgebiet der Elektrizitätslehre mit „Elektrostatik“ bezeichnet, welches sich mit den Gesetzmäßigkeiten zwischen ruhenden Ladungen, elektrischen Feldern und Potentialen befaßt. Abweichend von einer streng physikalischen Definition wird jedoch heute immer dann von Elektrostatik gesprochen, wenn infolge starker statischer elektrischer Felder irgendwelche Ladungsträger bewegt werden. In diesem erweiterten Sinne umfaßt die Elektrostatik die Bereiche industrielle Anwendungen, Störungen und Gefahren. Beispiele für industrielle Anwendungen, in denen man sich die Kraftwirkung von elektrischen Feldern auf geladene Teilchen oder Tröpfchen zu Nutzen macht, sind die elektrostatischen Kopier-, Beschichtungs-, Lackier- und Druckverfahren sowie die elektrostatische Staub-

abscheidung und die elektrostatische Applikation von Pflanzenschutzmitteln.

Störungen und Schäden infolge elektrostatischer Aufladungen sind entweder direkt auf die Anziehung oder Abstoßung aufgeladener Oberflächen (z. B. Textilien, Fertigung und Verarbeitung von Kunststoffen) zurückzuführen oder auf die Wirkung von Gasentladungen, welche durch hohe elektrostatische Aufladungen ausgelöst werden können (Verblitzung von Filmen bei deren Herstellung, Zerstörung von Halbleiterbauteilen, Störung von Computern).

Durch elektrostatische Aufladungen hervorgerufene Gasentladungen sind zwar für den Menschen unangenehm, aber im allgemeinen nicht unmittelbar gefährlich. Bei Anwesenheit einer explosionsfähigen Atmosphäre werden derartige Gasentladungen jedoch zu einer Gefahr. Sie können als Zündquelle wirksam werden und Explosionen mit verheerenden Folgen initiieren. Aus der Sicht der Elektrostatik ist naturgemäß die Explosionsgefahr dort am größten, wo Stoffe gehandhabt werden, die sich sowohl hierbei hoch auf-

laden als auch zur Entstehung einer explosionsfähigen Atmosphäre beitragen. Dies trifft besonders für den Umgang mit brennbaren nichtleitfähigen Flüssigkeiten wie Kraftstoffe oder apolare Lösemittel und für den Umgang mit brennbaren nichtleitfähigen Stäuben zu. Daher sind insbesondere sämtliche Produktionszweige der chemischen Industrie, der Petrolindustrie sowie der Nahrungs- und Futtermittelindustrie betroffen. Leider wird dies durch einige spektakuläre Explosionsereignisse hinreichend bestätigt.

Im Zusammenhang mit der elektrostatischen Aufladung von Flüssigkeiten sind beispielsweise das Großereignis von Bitburg in der Bundesrepublik Deutschland [1] und drei verheerende Großtankerexplosionen [2], welche innerhalb eines Monats am Ende der sechziger Jahre stattfanden, zu erwähnen. Bild 1 vermittelt einen Eindruck von der Heftigkeit und den Auswirkungen einer solchen Explosion. Nach der Zusammenstellung einer großen Ölgesellschaft für die Jahre 1960–1969 konnten innerhalb dieser Zeit-

Dr. M. Glor
Zentrale Funktion Forschung, Physik
Ciba-Geigy AG, Basel