

Explosionsunterdrückung

Von J. Zehr

Unter dem Begriff „Raumexplosion“ faßt man die Gruppe von Explosionen zusammen, bei denen in Gemischen aus brennbaren Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben mit Luft (oder Sauerstoff) eine Verbrennung so schnell abläuft, daß sich durch das wärmebedingte Expansionsbestreben der schon vorhandenen und der bei der Verbrennung entstehenden Gase ein Druck aufbaut, der zur Zerstörung der begrenzenden Wände z. B. des Behälters führen kann. Die Dauer des gesamten Vorganges ist so kurz, daß Abwehrmaßnahmen häufig nur gegen den sekundär entstehenden Folgebrand vorbereitet werden. Aus diesem Grunde ist es das Anliegen der Sicherheitstechnik, Explosionen von vornherein unmöglich zu machen, insbesondere explosible Atmosphäre in gefährdender Menge gar nicht erst entstehen zu lassen. Zu derartigen Maßnahmen des primären Explosionsschutzes gehören auch solche, die die Auswirkung einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken, wie

- explosionsdruckfeste Bauweise
- Explosionsdruckentlastung
- Explosionsunterdrückung.

Die letztgenannte Möglichkeit ruft gelegentlich noch Erstaunen hervor („kann man denn einen so schnellen Vorgang wie eine Explosion nach ihrem Start noch unterdrücken?“), obwohl sie seit vielen Jahrzehnten im

Prinzip bekannt ist. Dieses Prinzip besteht darin, daß man die Explosion in ihrer Anfangsphase „erkennt“ und geeignete Maßnahmen so schnell auslöst, daß der Druck sich nicht bis zu seinem Maximum aufbauen kann: Die Explosion wird unterdrückt, bevor der Druck einen gefährlich hohen Wert erreicht. Bild 1 zeigt diesen Zusammenhang schematisch: nach Zündung des explosiblen Gemisches (Punkt 1) steigt der Druck in dem Behälter zunächst recht langsam, dann (ohne Unterdrückung) immer steiler an, bis er sein — stoffspezifisches — Maximum P_{max} erreicht hat. Nach abgelaufener Reaktion nimmt der Druck im Behälter durch Abkühlung allmählich ab, wenn der Behälter der Explosion standhält (explo-

sionsdruckfeste Bauweise). Wenn die Behälterfestigkeit jedoch nur geringere Druckbeanspruchungen erlaubt, ist die Schutzmaßnahme „Explosionsunterdrückung“ angezeigt: Bei einem bestimmten, noch recht niedrigen Druck P_A (Punkt 2) spricht das Unterdrückungssystem an, ein geeignetes Löschmittel gelangt in den Behälter (Punkt 3) und beginnt die Explosion abzustoppen (Punkt 4), und bei einem immer noch unter der Belastbarkeit des Behälters liegenden reduzierten Explosionsdruck P_{red} (Punkt 5) ist die Unterdrückung abgeschlossen und der Behälter unbeschädigt geblieben.

Wesentliche Elemente eines solchen Unterdrückungssystems sind also

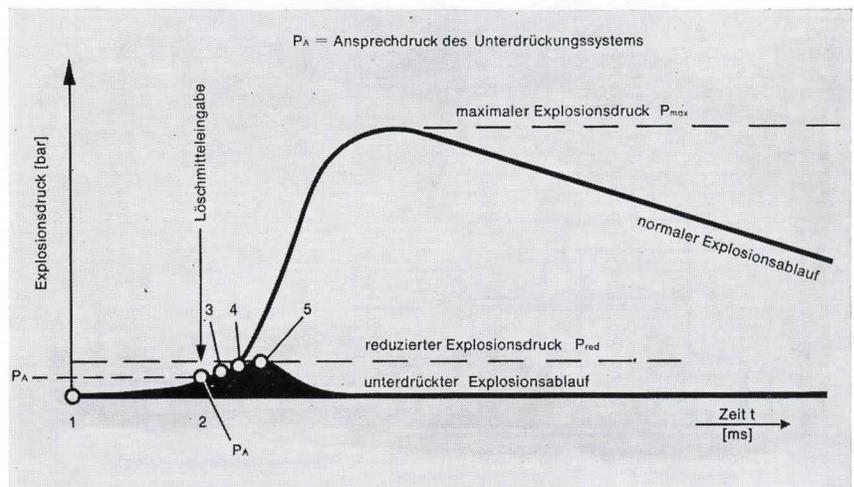


Bild 1. Zeitlicher Druckverlauf einer Explosion ohne und mit Unterdrückung.

Dr.-Ing. Joachim Zehr, Leitender Direktor und Professor, Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin-Dahlem.

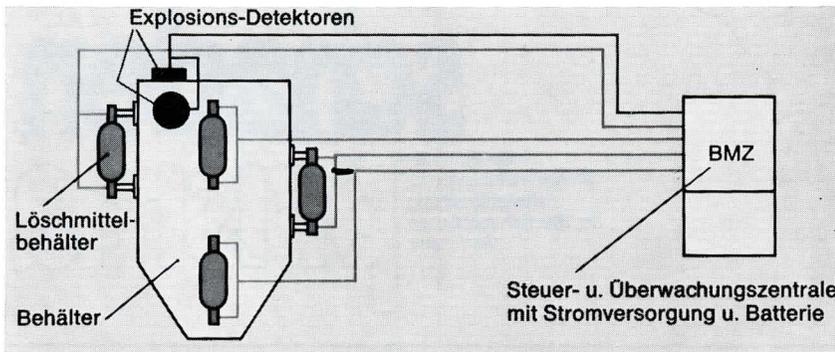


Bild 2. Schematische Darstellung des Explosionsunterdrückungssystems.

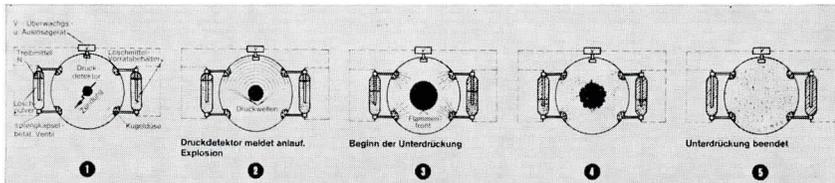


Bild 3. Schematische Darstellung des Unterdrückungsvorganges.

Detektoren

das Überwachungs- und Auslösegerät

Löschmittel-Vorratsbehälter mit Ventilen und Verteileinrichtungen.

Bild 2 zeigt schematisch die Anordnung des Unterdrückungssystems an einem Behälter. In Bild 3 ist der Vorgang in den durch die Punkte 1 bis 5 oben erläuterten Phasen skizziert.

Die Kürze der für die Unterdrückung zur Verfügung stehenden Zeit nach

Auslösen der Explosion erfordert bei allen Elementen des Systems ein möglichst verzögerungsfreies Arbeiten. Das bedeutet für den Detektor, daß wegen möglicher Meldeverzögerung infolge Strahlungsabsorption optische Detektoren (Flammenmelder) häufig nicht geeignet sind; daher werden meist Druckdetektoren (Membrandetektoren, vgl. Bild 4) eingesetzt. Selbstverständlich müssen sie unempfindlich gegenüber dem Behältergut und auch gegen Stöße und Vibrationen des Behälters sein.

Das Überwachungs- und Auslösegerät hat neben steuernden Funktionen die wesentliche Aufgabe, die Anlage selbst auf ständige Einsatzbereitschaft zu überwachen und die Arbeitsfähigkeit auch bei Netzausfall noch eine gewisse Zeit zu gewährleisten.

Das Löschmittel muß innerhalb kürzester Zeit in den zu schützenden Behälterraum eingebracht werden. Dies geschieht mittels unter Druck stehenden Treibgases (Stickstoff) durch die an beiden Enden des Gefäßes befindlichen Ventile, die durch vom Steuergerät ausgelöste Sprengkapseln im ganzen Querschnitt freigegeben werden. Kugeldüsen an geeigneten Stellen im Innern des Behälters sorgen für eine gleichmäßige Verteilung des Löschmittels, um hohe Wirksamkeit bei möglichst geringer Menge zu erreichen. Löschmittelgefäß und Kugeldüse sind in Bild 5 gezeigt.

Grundsätzlich sind übliche Feuerlöschmittel wie Wasser, Löschpulver verschiedener Art und halogenierte Kohlenwasserstoffe auch für diesen Verwendungszweck geeignet. Neuere Untersuchungen und Erfahrungen sprechen für Löschpulver; welches Pulver am besten geeignet ist, sollte jedoch für jeden Anwendungsfall (Behältergut) zuvor geprüft werden, da auch bei der Löschwirkung der Zeitfaktor wesentlich ist.

Hier stößt man auf Grenzen der Anwendbarkeit der Explosionsunterdrückung, die sich aus der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Löschmittels ergeben. Zu große Abstände zwischen der Löschmittelverteildüse und dem Ausgangspunkt der Explosion können nicht hinreichend schnell und mit der nötigen Konzentration überbrückt werden.

Eine weitere Grenze ergibt sich aus der Heftigkeit des Explosionsablaufes für den jeweiligen brennbaren Stoff in seiner optimalen Konzentration in Luft. Während der maximale Explosionsdruck eines solchen Gemisches unabhängig von der Behältergröße, d. h. vom Volumen ist, hängt der maximale zeitliche Druckanstieg (die Steilheit des linken Kurventeils für den normalen Explosionsablauf in Bild 1) mit dem Behältervolumen zusammen nach der Gleichung

$$\left(\frac{dp}{dt}\right)_{\max} \cdot \sqrt[3]{V} = K$$

wobei die Konstante K angenähert stoffspezifisch ist, allerdings auch vom Turbulenzgrad des Gemisches abhängt (turbulente Gemische haben einen heftigeren Explosionsablauf als ruhende). Jedenfalls ist die Schutzmaßnahme „Explosionsunterdrückung“ nur bis zu bestimmten K-Werten anwendbar,

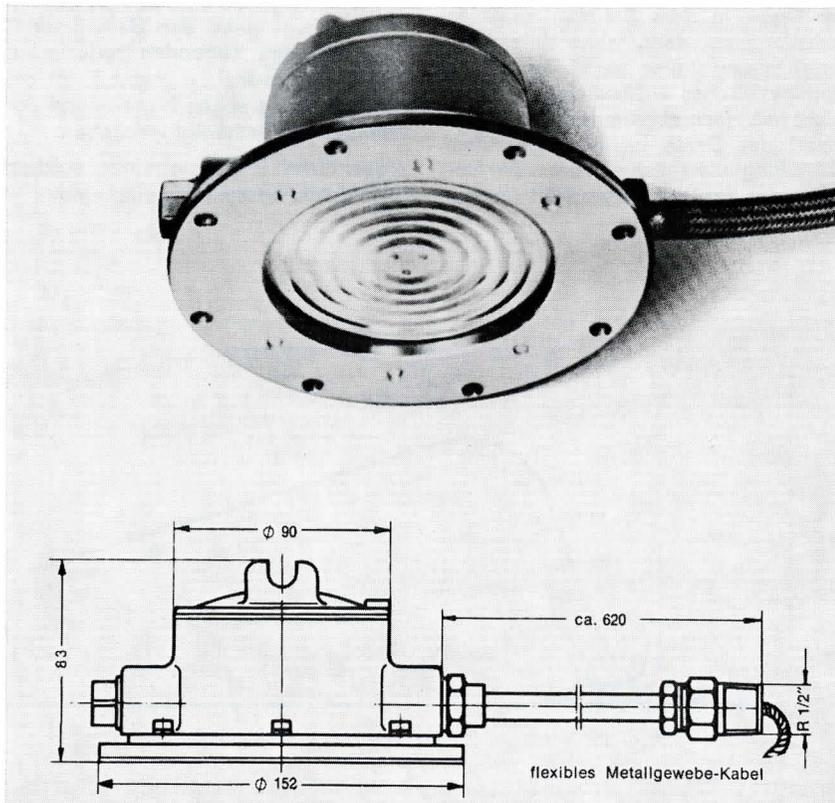


Bild 4. Membrandetektor

und besonders heftig explodierende Gemische, z. B. aus Wasserstoff oder feinstem Aluminiumstaub mit Luft, werden nicht mehr gesichert. Auf alle Fälle ist es notwendig, bei der Planung bereits Fachfirmen heranzuziehen, die die Anwendbarkeit von Explosionsunterdrückungsanlagen für den speziellen Fall ermitteln und die richtige Auslegung der Anlage projektieren.

Übrigens ist es mit Hilfe des Detektorsystems auch möglich, andere Sicherheits- oder Schutzfunktionen auszulösen, wobei gleichfalls Sprengkapseln für die erforderliche Schnelligkeit sorgen. So können z. B. Sollbruchstellen und Druckentlastungseinrichtungen geöffnet oder Schieber in Rohrleitungen geschlossen werden.

Einleitend war erwähnt worden, daß das Prinzip der Explosionsunterdrückung schon lange bekannt ist. Hierzu sei auf die älteste Anwendung verwiesen, nämlich den Schutz von Militärflugzeugen und insbesondere deren Treibstofftanks z. B. in den Tragflächen gegen Brand und Explosion infolge von Beschuß. Zunächst wurden Anfang der 30er Jahre CO₂-Löschanlagen hierfür eingesetzt, später die um 1940 entwickelten Löschmittel auf Halogenkohlenwasserstoff-Basis. Neben der chemischen Industrie im weitesten Sinne ist die Luftfahrt auch heute noch ein wesentliches Anwendungsgebiet für solche Anlagen, daneben aber auch Landfahrzeuge wie Rennautos oder Panzerwagen. Aus dem englischen Sprachraum, wo wesentliche Untersuchungen auf diesem Gebiet durchgeführt wurden, hat sich auch der Name „HRD-Anlagen“ verbreitet: High Rate Discharging = hohe Ausstoßrate (an Löschmittel).

Gegenüber diesen technisch hoch entwickelten Anlagen mutet ein verwandtes Anwendungsgebiet fast primitiv an, obwohl auch hier gute Erfolge erzielt wurden: nämlich die Bekämpfung von Grubengas- und Kohlenstaubexplosionen im Bergbau. Selbst unter den rauen Bedingungen unter Tage bewähren sich Wassertrogsperrn und Gesteinstaubsperrn, die in Form von Wannan auf Trägern unter der Firste fast labil aufgestellt sind, durch die der Flammenfront einer Explosion in der Strecke vorauslaufende Druckwelle umgeworfen werden und ihren Inhalt (Wasser oder Inertstaub als Löschmittel) über den Streckenquerschnitt verteilen, so daß die nachfolgende Explosionsflamme abgelöscht wird. Ähnlich soll auch die Gesteinstaubstreuung auf der Streckensohle wirken; der Inertstaub soll bei Aufwirbelung durch die Druckwelle die Flammenfront aufhalten, die sich sonst durch den aufgewirbelten Kohlenstaub explosionsartig fortpflanzen würde.

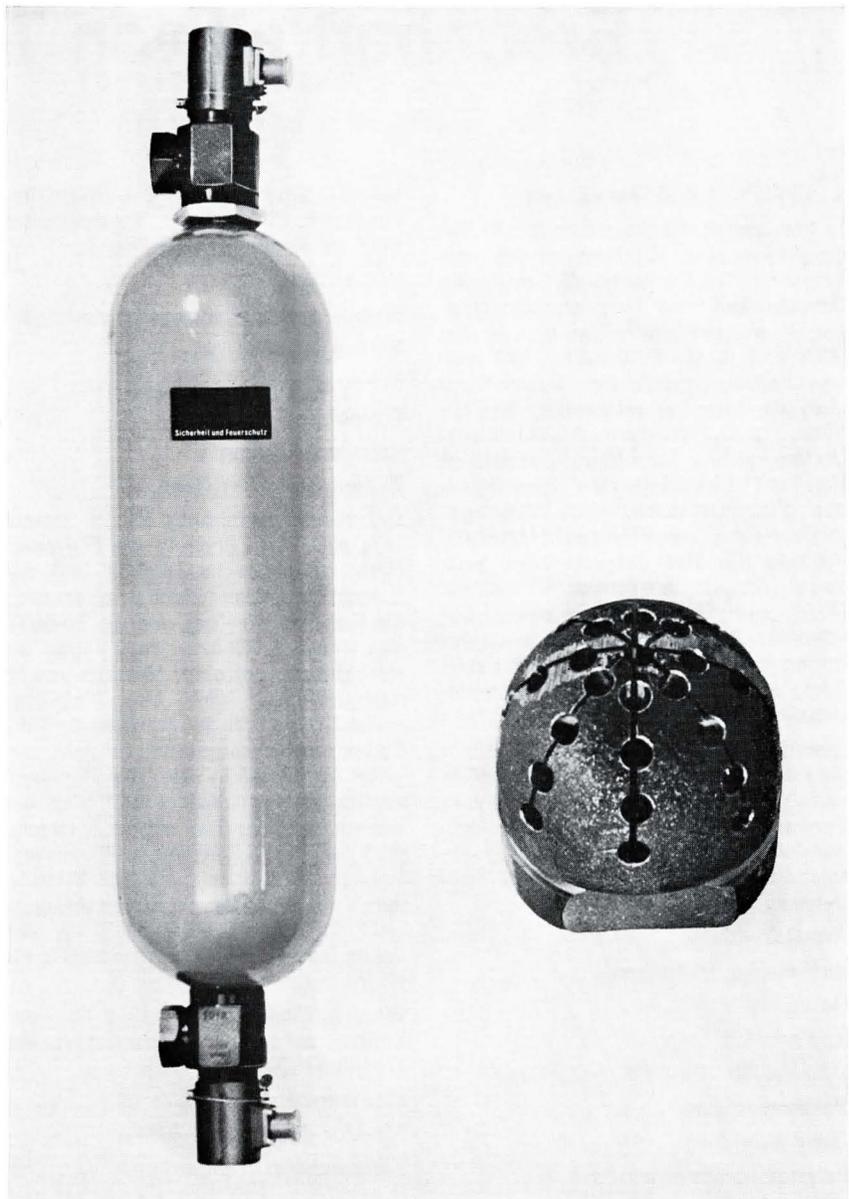


Bild 5. Löschmittelbehälter mit zwei Ventilen; Kugeldüse für die Löschmittelverteilung.

Zusammenfassung

Die Schutzmaßnahme „Explosionsunterdrückung“ ermöglicht es, in Produktionsanlagen und in anderen Anwendungsbereichen Anlageteile in Behälterform, in denen sich explosive Gemische aus brennbaren Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben befinden können, gegen ihre Zerstörung im Falle einer Explosion im Inneren zu schützen, sofern die Behälter nicht zu groß sind und das Gemisch nicht extrem heftig reagiert. Bei Anwendung dieser Schutzmaßnahme gelangen keine Flammen, Brandgase oder evtl. toxischen Produkte aus dem Behälter heraus. Das System beruht darauf, daß durch die der Explosionsflamme vorauslaufende Druckwelle über einen Detektor, ein Auslösegerät und schnell öffnende Ventile das Löschmittel (vorzugsweise Löschpulver) so rasch und

gleichmäßig verteilt in den Behälter gegeben wird, daß die anlaufende Explosion abgestoppt wird und der bis dahin entstandene Druck so gering bleibt, daß der Behälter in seiner Festigkeit nicht gefährdet wird.

Literatur

1. W. Bartknecht: Die Schutzmaßnahme Explosionsunterdrückung. Der Ladenburger Kreis Nr. 50 (März 1977) (Dort 7 weitere Literaturhinweise!)
2. W. Wetterich: HRD-Verfahren zur Schnell-Löschung und Explosionsunterdrückung. VFDB-Zeitschr. H. 4/1977, S. 122 ff.

Abbildungen entnommen aus

„Der Ladenburger Kreis“ Nr. 50 (März 1977).