

gene Technik des Anputzens ließ sich bei dieser Konsistenz nicht mehr anwenden.) Auch bei dieser Vorgehensweise ließ sich ein vorzeitiges Einreißen der Kalkschicht nicht verhindern. Entsprechend fielen auch die Konzentrationsprofile, die zu verschiedenen Zeiten nach dem Aufbringen der Kalkschlämme ermittelt wurden, aus.

In Abb. 8 sind diese Profile wiedergegeben. Gegenüber den vorbeschriebenen Messungen wurden die Chloridkonzentrationen hier durch saures Lösen und potentiometrische Bestimmung (nach Bernhardt, „schadenprisma“ 3/81 S. 51-56) ermittelt. Diese Methode kann nur die Gesamtchloridkonzentration wiedergeben und erlaubt keine Unterscheidung von löslichen und unlöslichen Chloriden. Neben den Chlorid-Konzentra-

tionsprofilen sind auch die ermittelten Werte des prozentualen Feuchtigkeitsgehalts als Kurven dargestellt.

Es ist zu erkennen, daß die Hauptmenge der Chloride innerhalb von 8 Stunden in einen Bereich von 5 bis 15 mm Tiefe eingespült wurde und anschließend dort blieb. In den folgenden Stunden flachte sich lediglich das Maximum bei ca. 10 mm Tiefe durch „Diffusion“ nach innen und außen ab.

Der Anstieg der Feuchtigkeits-Kurve (6) nach 48 Stunden von der Oberfläche bis zum Maximum bei 7 bis 11 mm Tiefe bestätigt die oben angeführte Hypothese, daß die Verdunstung des Wassers auch aus dem Inneren des Gasbeton-Bauteils erfolgt und damit ein Rückspül-effekt ausbleibt.

Inzwischen wurden im Labor des IfS Versuche durchgeführt, die anstatt Kalk ein geeigneteres Material für die Extraktion von Chlorid aus Gasbeton untersuchen. Zu gegebener Zeit soll darüber in dieser Zeitschrift berichtet werden.

Die grundlegende Untersuchung der Korrosionsanfälligkeit der Armierung im Gasbeton konnte bisher noch nicht durchgeführt werden. Die Beurteilung von Chloridgehalten im Gasbeton ist ohne den Vergleich mit zulässigen Grenzwerten, unterhalb derer mit Korrosionen nicht zu rechnen ist, nicht möglich.

Bei Bimsbeton, bei dem außer der Porosität der Zuschlagstoffe ansonsten ähnliche Verhältnisse vorliegen wie im Normalbeton, kann der Grenzwert von 0,4 % Chlorid pro Zementanteil des Betons zugrunde gelegt werden.

Explosionsgefahren beim Umgang mit Acetylen

Gerrit Marcks

Einleitung

Unter den technisch genutzten brennbaren Gasen nimmt Acetylen eine Sonderstellung ein, weil es unter erheblicher Energiefreigabe – 227 kJ/mol – zu Kohlenstoff und Wasserstoff zerfallen kann. Vergleicht man die Zerfallsenergie des Acetylens mit der des Sprengstoffes TNT, so entspricht energiemäßig

1 kg C_2H_2 etwa 1,9 kg TNT.

Acetylen kann daher auch als ein gasförmiger Sprengstoff angesehen werden.

Die ersten systematischen Untersuchungen des Acetylens führte Berthelot aus. Berthelot war es auch, der 1883 vor den vom komprimierten und verflüssigten Acetylen ausgehenden Explosionsgefahren warnte. Die ersten Versuche, Acetylen industriell zu nutzen, führten – da die Warnungen Berthelots nicht hinreichend beachtet wurden – zu schweren Explosionsunglücken. Diese veranlaßten die

zuständigen Behörden, spezielle Vorschriften in bezug auf den Umgang mit Acetylen zu erlassen. In Deutschland war es 1896 der Berliner Polizeipräsident, der als erster nach zwei Acetylenexplosionen eine Verordnung erließ, durch die im wesentlichen eine Anzeigepflicht für Acetylenanlagen eingeführt, eine Beschränkung des zulässigen Gasdruckes vorgeschrieben, eine Abnahmepflicht für die Acetylenapparate eingeführt und Ausnahmen für staatliche wissenschaftliche Institute festgelegt wurden. Die heute gültige Acetylenverordnung kann auch als eine Weiterentwicklung dieser Polizeiverordnung angesehen werden.

Die allgemein an Acetylenanlagen zu stellenden sicherheitstechnischen Forderungen sind im § 3 und zugehörigem Anhang der Acetylenverordnung zusammengefaßt. Zur Abwendung der durch die Zerfallsfähigkeit des Acetylens bedingten Explosionsgefahren werden die im folgenden zitierten Anforderungen erhoben:

„Insbesondere ist dafür zu sorgen, daß Drücke und Temperaturen nicht entste-

hen, bei denen Acetylen zerfallen kann, oder, falls dies nicht möglich ist, die Anlagen den Beanspruchungen sicher widerstehen, die bei einem Acetylenzerfall auftreten können.“

Die sicherheitstechnische Beurteilung einer Acetylenanlage besteht im wesentlichen aus den Aufgaben:

1. Bestimmung der Bereiche, in denen ein Acetylenzerfall möglich ist und
2. Bestimmung der Beanspruchungen, denen diese Anlageteile im Falle eines Acetylenzerfalls ausgesetzt sein werden.

Zündquellen

Wie beim Sprengstoff wird zur Einleitung eines Acetylenzerfalls eine Zündquelle benötigt. Als Zündquellen können heiße Gase, heiße Oberflächen, elektrische und mechanische Funken und exotherme Reaktionen wirken.

Die zur Einleitung eines fortschreitenden Zerfalles erforderliche Energie ist beim Acetylen stark vom Gasdruck abhängig.

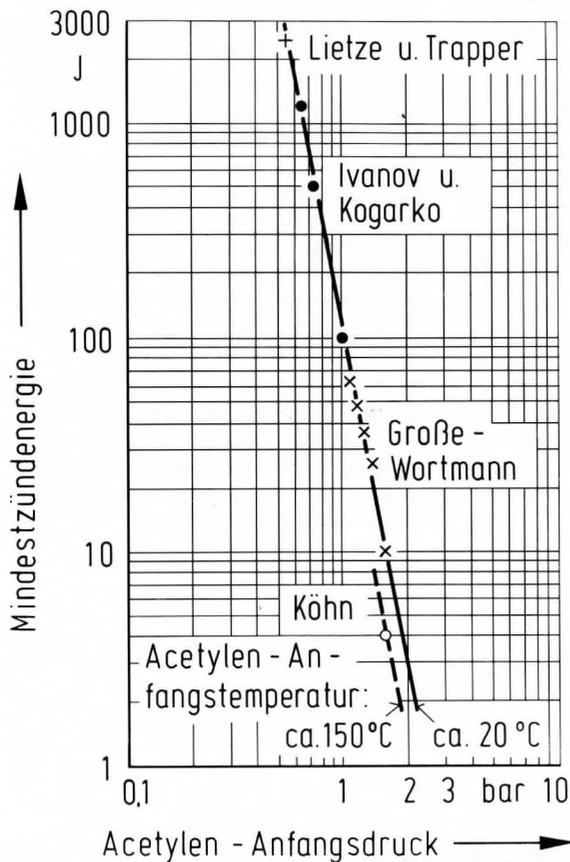


Bild 1. Mindestzündenergie für das Einleiten eines Acetylenzerfalls nach D. Lietze*).

*) „Absicherung von Entnahmestellen beim Schweißen, Schneiden und bei verwandten Arbeitsverfahren“, Die Berufsgenossenschaft, 8/79, S. 442-447.

Bild 1 zeigt den Zusammenhang zwischen Mindestzündenergie und dem Acetylen-Druck im Druckbereich 0,5 bis 2 bar. Bei einem Druck von 2 bar ist zur Einleitung eines Acetylenzerfalls eine Zündenergie von 3 Joule erforderlich, bei einem Druck von 1 bar eine Zündenergie von 100 Joule und bei einem Druck von 0,55 bar eine Mindestzündenergie von 2500 Joule.

Im Vergleich zu der zur Zündung von Brenngas/Luft-Gemischen erforderlichen Energie ist die zur Einleitung eines Acetylenzerfalls notwendige Energie sehr groß. So hat die in der Technik wohl am häufigsten genutzte Zündquelle – die in den Verbrennungsmotoren verwendete Zündkerze – üblicherweise nur Zündenergien um 20 mJoule. Liegt reines Acetylen unter Drücken bis zu 2 bar vor, so kann mit den in Verbrennungsmotoren eingesetzten Zündsystemen also kein fortschreitender Acetylenzerfall eingeleitet werden.

Als Standardzündquelle zur Untersuchung der vom Acetylen ausgehenden Explosionsgefahren hat man anfänglich im wesentlichen dünne Metalldrähte verwandt, die durch Anlegen einer elektrischen Spannung zum Aufglühen, Durchschmelzen oder Explodieren gebracht wurden. Bei den von Reppe und Weiswei-

ler ausgeführten Versuchen zur Bestimmung des Zünd- oder Explosionsgrenzdruckes wurde die Zündenergie durch Änderung der Schmelztemperatur des Zünddrahtes variiert. Mit Platin (Schmelztemperatur 1773°C) und Molybdän (Schmelztemperatur 2622°C) ausgeführte Versuche ergaben den gleichen Zündgrenzdruck von 1,4 bar. Einige Zeit nahm man daher allgemein an, daß Acetylen unter einem Druck von weniger als

1,4 bar nicht mehr zum fortschreitenden Zerfall gebracht werden kann.

Unfälle, bei denen Acetylen in Rohrleitungen unter Gasometerdruck – entsprechend einem Überdruck von etwa 20 bis 70 mbar – zum fortschreitenden Zerfall gebracht wurde, sind wegen der erforderlichen hohen Zündenergie vergleichsweise selten. Als Zündquellen wurden hierbei z. B. Sprengstoffe (Abwurf von Sprengbomben während des Krieges), exotherme Reaktionen (versehentliche Einleitung von Chlor) und stark erhitzte Oberflächen (Bruch und Brand einer Wasserstoffleitung neben einer Acetylenleitung) wirksam.

Im Gegensatz zum reinen Acetylen ist Acetylen im Gemisch mit oxydierend wirkenden Gasen besonders leicht zündbar. Bei Acetylen/Chlor-Gemischen reicht die Energie des Lichtes aus, um eine Zündung auszulösen. Die Mindestzündenergie des zündwilligsten Acetylen/Luft-Gemisches beträgt weniger als $2 \cdot 10^{-5}$ Joule und ist um eine Zehnerpotenz geringer als die der meisten Kohlenwasserstoff/Luft-Gemische. Das Eindringen von oxydierend wirkenden Gasen in Acetylenanlagen läßt die Explosionsgefahren stark ansteigen und sollte daher auf alle Fälle vermieden werden.

Beim Anschluß von Acetylen-Flaschenbündeln an die Verbrauchseinrichtungen erfolgende Zündungen gaben den Anlaß zu untersuchen, unter welchen Voraussetzungen durch die Betätigung von Kugelhähnen ein Acetylenzerfall ausgelöst werden kann. Bild 2 zeigt Ergebnisse einer der Versuchsanordnungen. Das Versuchsrohr und der Kugelhahn hatten einen Innendurchmesser von 20 mm, der Hochdruckteil eine Länge von 7,1 m und der Niederdruckteil von 1,6 m. Entsprechend den praktischen Bedingungen war zu prüfen, ob durch schnelle oder langsame Betätigung des Kugelhahnes eine Zündung erreicht werden kann,

Hochdruckteil		Niederdruckteil	
l = 7,1 m		l = 1,6 m	
d _i = 20 mm		d _i = 20 mm	
Gas	Mindestdruck	Gas	Druck
Acetylen	> 31 bar	Acetylen	1 bar
Luft	25 bar	30 % Acetylen in Luft	1 bar
Luft	18 bar	8 % Acetylen in Luft	1 bar
Luft	23 bar	5 % Acetylen in Luft	1 bar
Acetylen	18 bar	Luft	1 bar
Umgebungstemperatur	18 °C		

Bild 2. Zündung durch Aufreißen eines Kugelhahnes DN 20.

wenn der Hochdruckteil mit Acetylen bis zu 26 bar und der Niederdruckteil

1. nur mit Acetylen
2. nur mit Acetylen/Luft-Gemischen und
3. nur mit Luft

unter Atmosphärendruck gefüllt war.

Wurde der Niederdruckteil nur mit Acetylen gefüllt, so war es sogar bis zu einem Druck von 31 bar nicht möglich, einen Acetylenzerfall auszulösen.

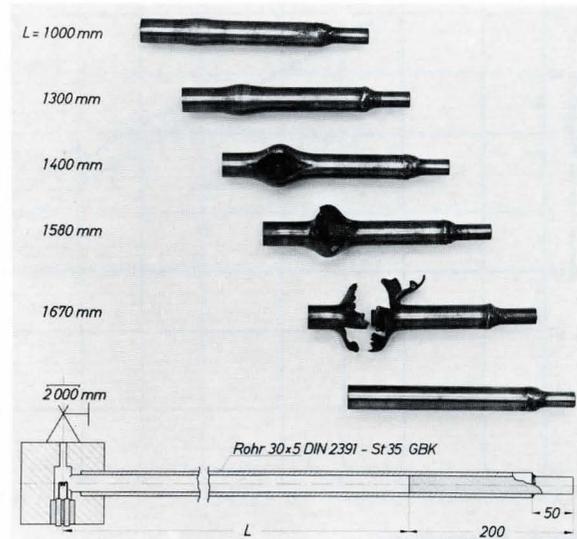
Mit Acetylen/Luft-Gemischen im Niederdruckteil ausgeführte Versuche ergaben, daß der im Hochdruckteil für eine Zündung erforderliche Druck stark von der Gemischzusammensetzung abhängt. Um ein Acetylen/Luft-Gemisch mit einer Volumenkonzentration von 30 % zu zünden, war im Hochdruckteil ein Gasdruck von 25 bar erforderlich. Um 8 % zu zünden, nur 18 bar, und um 5 % Acetylen in Luft zu zünden, war ein Druck von 23 bar erforderlich. Bei diesen Versuchen konnte das Acetylen/Luft-Gemisch auch gezündet werden, wenn der Kugelhahn vergleichsweise langsam geöffnet wurde. Im Vergleich zum Aufreißen – Öffnungszeiten zwischen 50 und 80 ms – waren dann jedoch um einige Bar höhere Drücke erforderlich.

Stellte der Kugelhahn die Grenze zwischen Acetylen unter hohem Druck und Luft unter Atmosphärendruck dar, so konnte jedoch nur durch Aufreißen des Kugelhahnes ein Acetylenzerfall ausgelöst werden. Der untere Grenzdruck, bei dem noch eine Zündung ausgelöst werden konnte, entspricht mit 18 bar dem Wert für das am leichtesten zu zündende Acetylen/Luft-Gemisch. Besonders bemerkenswert erscheint, daß bei diesen Versuchen nur durch Aufreißen des Kugelhahnes ein Acetylenzerfall ausgelöst werden konnte. Das schnelle Öffnen ist offensichtlich eine notwendige Voraussetzung, um die erforderliche hinreichend intensive Durchmischung der vorher getrennten Gase zu erreichen.

Untersuchungen des Einflusses von Rohrdurchmesser und Temperatur auf den für eine Zündung erforderlichen Druck im Hochdruckteil ergaben erwartungsgemäß ein Ansteigen des zur Auslösung einer Zündung erforderlichen Druckes mit fallender Temperatur und abnehmendem Rohrdurchmesser.

Die Untersuchungen zeigten ferner, daß auch die Vorbehandlung der Rohre die Versuchsergebnisse beeinflusst. Wurde die Rohrinneiseite vor dem Versuch einer Flammeneinwirkung ausgesetzt, so konnte bei erheblich geringerem Druck

Bild 3.
Beanspruchung des Rohrendes bei Variation der Rohrlänge nach D. Lietze*).



*) „Anforderungen an die Festigkeit von Rohrleitungen für Hochdruck-Acetylen“, Arbeitsschutz Nr. 2/1973, S. 61–66.

eine Zündung der Acetylen/Luft-Gemische erreicht werden. Reproduzierbare Werte ergaben sich, wenn das Versuchsrohr nach einer Flammeneinwirkung nicht nur mechanisch gereinigt, sondern auch mit Aceton ausgespült wurde. An Acetylenanlagen durchgeführte Schweißarbeiten können daher bei der Inbetriebnahme eine Zündung durch adiabatische Verdichtung begünstigen.

Der Mechanismus des Druckanstieges in einem Rohrsystem mit Kugelhahn ist abhängig von dessen Öffnungsgeschwindigkeit. Beim sehr schnellen Öffnen sollte es zur Ausbildung von Stoßwellen kommen. Wird der Kugelhahn langsam geöffnet, so erfolgt einfach ein Druckausgleich. Bei den Versuchen ausgeführte Druckmessungen zeigten, daß die Kugelhähne mit der Hand nicht so schnell geöffnet werden können, daß es zur Ausbildung von Stoßwellen kommt. Durch Aufreißen des Kugelhahnes mit der Hand kann jedoch erreicht werden, daß zum Zeitpunkt der vollständigen Öffnung kein Druckausgleich im Rohr vorliegt. Der weitere Druckausgleich erfolgt dann über eine im Rohr mit Schallgeschwindigkeit pendelnde gedämpfte Druckwelle. Das Gas im Niederdruckteil wird durch diese Druckwelle periodisch auf höhere Drücke als den zu erwartenden Ausgleichsdruck verdichtet. Der Maximaldruck ist hierbei durch den Anfangsdruck im Hochdruckteil gegeben, wenn man mögliche Interferenzen vernachlässigt.

Wegen des erreichbaren höheren Verdichtungsdruckes ist das Aufreißen von Kugelhähnen also auch mit größeren Zündgefahren durch adiabatische Kompression verbunden.

Diesen Zündgefahren kann jedoch durch sorgfältiges Spülen der Anschlußleitung mit Acetylen oder Inertgasen sicher begegnet werden.

Aufgrund der ausgeführten Versuche muß angenommen werden, daß adiabatische Verdichtung von Acetylen/Luft-Gemischen die Ursache für verschiedene früher scheinbar nicht erklärliche Zündungen beim Anschluß von Bündeln und Batterien war.

Beim Umgang mit Acetylen muß auf die Ausschaltung einer speziellen Zündquelle geachtet werden. Acetylen kann mit verschiedenen Schwermetallen – z. B. Kupfer und Silber – unter Bildung von Acetylide reagieren. Acetylide können durch sehr leichte mechanische Beanspruchung oder Erhitzung auf Temperaturen von weniger als 200 °C zur Explosion gebracht werden. Durch die Nichtverwendung der entsprechenden Metalle in Acetylenanlagen kann diese Zündgefahr einfach ausgeschaltet werden.

Explosionsablauf

Ein Acetylenzerfall kann als Deflagration und als Detonation erfolgen. Im Falle der

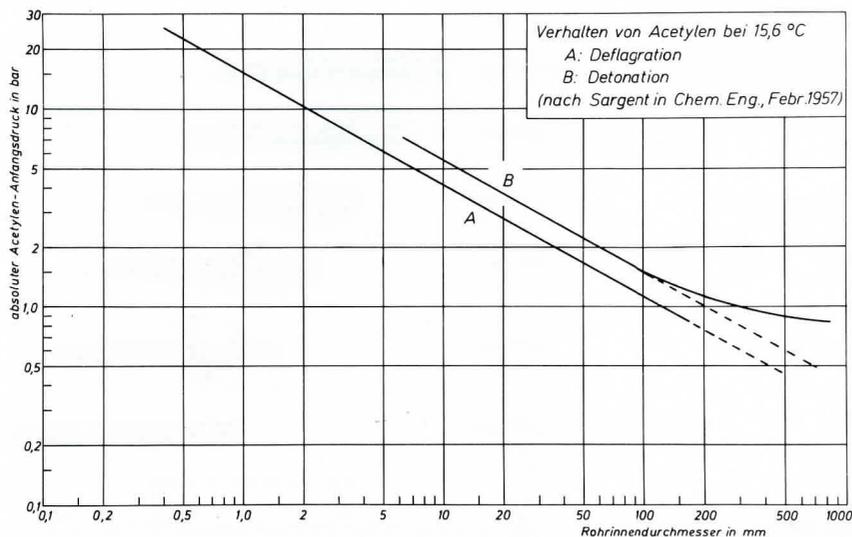


Bild 4. Sargent-Diagramm.

Deflagration ist mit Flammenfortpflanzungsgeschwindigkeiten zwischen mehreren cm/s und einigen 10 m/s zu rechnen. Der Explosionsdruck kann hierbei bis zum elffachen des Anfangsdruckes steigen. Im Falle der Detonation liegt die Flammenfortpflanzungsgeschwindigkeit bei 2000 m/s, und der Detonationsdruck beträgt etwa das 20fache des Acetylen-Druckes vor der Stoßwelle. Mit besonders großen Drucksteigerungsfaktoren muß also gerechnet werden, wenn das Acetylen erst durch einen als Deflagration verlaufenden Acetylenzerfall auf einen höheren Druck gebracht wurde. Bild 3

zeigt die Ergebnisse einer mit Stahlrohren 30 x 5 mm Außendurchmesser ausgeführten Versuchsserie. Das Schema des Versuchsaufbaues ist unten im Bild dargestellt. Links befinden sich die Füll- und Zündrichtungen. Um das Rohrende frei von durch das Schweißen bedingten Materialbeeinflussungen zu halten, wurde jeweils ein Blindstopfen mit einer Länge von 200 mm eingeschweißt. Statische Wasserdruckversuche mit den Rohren ergaben Berstdrücke um 2000 bar. Bei allen Versuchen betrug der Füllüberdruck 25 bar. Variiert wurde bei den Versuchen die Rohrlänge. Bei einer Rohr-

länge von 1000 mm wird das Rohrende beim Versuch leicht aufgebeult. Bei 1300 mm erfolgt eine stärkere Aufbeulung, bei einer Rohrlänge von 1400 mm wird das Rohrende erstmals aufgerissen, bei 1580 mm ein stärkeres Aufreißen, bei einer Rohrlänge von 1670 mm wird das Rohrende völlig zerrissen. Aber bei 2000 mm können keine bleibenden Verformungen mehr festgestellt werden.

Die Versuchsrohre halten einer Deflagration mit Sicherheit ohne bleibende Verformung stand. Bei einer Länge von 1000 mm muß deshalb bereits eine Detonation vorgelegen haben. Da jedoch die Detonation erst nahezu am Rohrende einsetzt, ist die detonierende Acetylenmenge noch zu gering, um das Rohrende zu zerstören. Mit steigender Rohrlänge wächst zunächst die noch unter hohem Druck zur Detonation kommende Acetylenmasse und zeigt entsprechende Auswirkungen. Bei einer Rohrlänge von 2000 mm setzt die Detonation bereits ein, wenn der Druck im Rohr erst auf etwa 50 bar gestiegen ist. Dem Detonationsdruck von ungefähr 1000 bar kann das Rohr jedoch widerstehen.

Der Zündgrenzdruck des Acetylen ist nicht nur von der Zündenergie, sondern auch sehr stark von den Behälterabmessungen abhängig. Bild 4 zeigt ein 1957 von Sargent veröffentlichtes Diagramm. Ordinate ist der Acetylen-Druck und Abszisse der Rohrdurchmesser. Die Gerade A gibt den Zusammenhang zwischen dem Acetylen-Druck und dem Rohrdurchmesser wieder, bei dem eine Deflagration gerade noch durch lange Rohre laufen kann. Wählt man für eine Acetylenanlage Rohrdurchmesser und Acetylen-Drücke so, daß die zugehörigen Punkte immer unterhalb der Geraden A liegen, sollte sich in der Anlage kein fortschreitender Acetylenzerfall ausbreiten können. Die Kurve B gibt den Zusammenhang zwischen Acetylen-Druck und Rohrdurchmesser wieder, bei dem eine Acetylen-Deflagration in langen Rohren noch in eine Detonation umschlagen kann. Wählt man für eine Acetylenanlage Rohrdurchmesser und Arbeitsdruck so, daß die zugehörigen Punkte zwischen der Geraden A und der Kurve B liegen, so ist im Falle einer Zündung nur mit einer Acetylen-Deflagration zu rechnen. Berücksichtigt man den Einfluß der Zündenergie, so wäre das Sargent-Diagramm aufgrund der in der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) ausgeführten Versuche, wie im Bild 5 dargestellt, abzuändern.

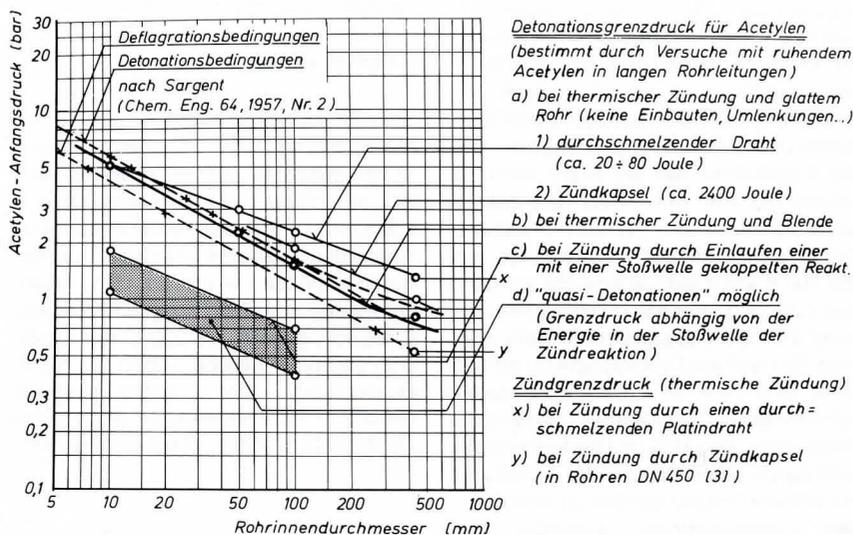


Bild 5. Detonationsgrenzdruck für Acetylen nach D. Lietze und H. Pinkofsky*).

*) „Verlauf des Acetylenzerfalls in längeren Rohrleitungen“, Chem.-Ing.-Techn. 50 (1978) Nr. 10, S. 808-809.

„Quasi-Detonationen“ sind hier Detonationen zu verstehen, die nach einer bestimmten Laufstrecke zum Erliegen kommen. Daß solche Vorgänge im praktischen Betrieb von Bedeutung sind, zeigen die gelegentlich vorkommenden Flammenrückschläge von Verbrauchsgeschäften zu den Acetylenflaschen.

Wird Acetylen außerhalb der Explosionsgrenzen gehandhabt, so ist der erforderliche sicherheitstechnische Aufwand am geringsten. Aus technischen bzw. wirtschaftlichen Gründen ist dies jedoch häufig nicht möglich. Durch Zugabe von anderen Gasen oder Lösen des Acetylen in Flüssigkeiten kann erreicht werden, daß Acetylen bei wesentlich höheren Drücken oder Dichten ohne Explosionsgefahren verwendet werden kann.

Als Beispiel für die Mischung mit einem anderen Gas sei hier kurz auf das Gemisch Acetylen/Ethylen eingegangen. Solche Gemische treten beispielsweise bei der Trennung des Acetylen aus dem Spaltgas von Ethylenanlagen auf. Als flüssiges tiefkaltes Gas werden in Japan und Frankreich Gemische von Acetylen und Ethylen als Brenngase eingesetzt. Sicherheitstechnisch bemerkenswert an der Verwendung von Ethylen als Mischkomponente ist, daß Ethylen selbst – wenn auch erst unter vergleichsweise hohem Druck und hoher Temperatur (~ 150 bar, ~ 150 °C) – zum Zerfall gebracht werden kann. Bild 6 zeigt den Zündgrenzdruck für Acetylen/Ethylen-Gemische bei einer Temperatur von 15 °C. Aufgetragen ist als Ordinate der Acetylenpartialdruck p' geteilt durch den Gesamtdruck p und als Abszisse der Gesamtdruck des Gemisches. Bei den eingetragenen Meßwerten konnte das System Acetylen/Ethylen gerade noch zum fortschreitenden Zerfall gebracht werden. Zum Vergleich sind schon länger bekannte Literaturwerte angegeben. Daß es bei den hier ausgeführten Versuchen gelang, Acetylen/Ethylen-Gemische mit deutlich geringeren Acetylenanteilen zu zünden, ist vermutlich auf die Zündmethode zurückzuführen. Bei den Versuchen wurden Zündwendeln aus Platin oder Nickel durch Anlegen einer Wechsellspannung nur zum Aufglühen gebracht. Die Zeiten zwischen dem Anlegen der Spannung und dem Beginn des Druckanstieges lagen teilweise über 10 s.

Versuche, bei denen Acetylen/Ethylen-Gemische in Stahlrohren 30 x 5 mm einer äußeren Flammeneinwirkung ausgesetzt wurden, führten zu fast gleichen Zündgrenzdruckwerten. Die angewandte Zündmethode erscheint daher gut geeignet, in der betrieblichen Praxis mögliche Zündquellen zu simulieren.

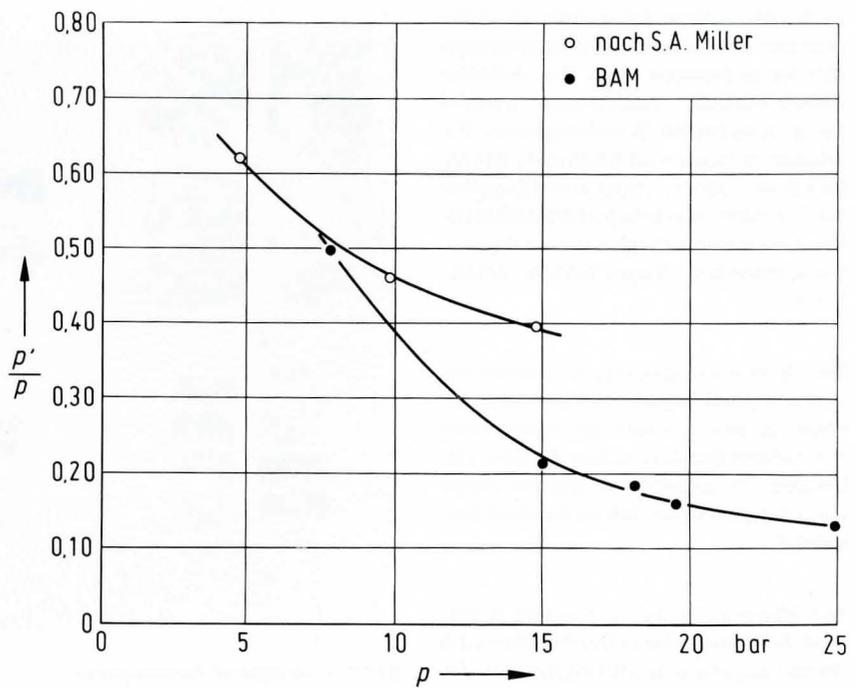


Bild 6. Explosionsgrenzdruck von Acetylen/Ethylen-Gemischen bei 15 °C.

In erster Näherung kann diese Zündgrenzkurve als ein Hyperbelausschnitt angesehen werden, für den gilt:

$$\frac{p'}{p} \cdot p = \text{const.}$$

oder $p' = \text{const.}$

Der höchste Acetylenpartialdruck, bei dem kein fortschreitender Zerfall mehr eingeleitet werden kann, ist also nahezu unabhängig vom Gesamtdruck. Relativ große Acetylenanteile sind daher nur bei geringem Gesamtdruck möglich. Verflüssigt man Gemische von Acetylen und Ethylen, so kann durch Wahl der Temperatur der Druck hinreichend abgesenkt werden. Die flüssige Phase dürfte aufgrund ihrer hohen Energiedichte zerfallfähig bleiben. Die Sicherheit soll also im wesentlichen durch Absenken des maximalen Betriebsdruckes unter den Zündgrenzdruck der Gasphase gewährleistet werden.

In Flüssigkeiten gelöstes Acetylen kann erst oberhalb bestimmter Konzentrationsgrenzen zum fortschreitenden Zerfall gebracht werden. Hierbei ergeben sich keine eindeutigen Konzentrationsgrenzen, weil zwischen dem Ausdampfen des Acetylen aus der Lösung und dem direkten Zerfall der Lösung nicht unterschieden werden kann.

Für die häufig verwendeten Lösungsmittel Aceton und Dimethylformamid

beginnt ein merkliches Umsetzen des gelösten Acetylen bei Konzentrationen um 0,2 kg Acetylen/kg Lösungsmittel. Bei Konzentrationen um 0,4 kg Acetylen/kg Aceton oder DMF erfolgt dann in geschlossenen Behältern das Umsetzen der gesamten Lösung. Verflüssigtes Acetylen kann einfach zur Detonation gebracht werden. Für Acetylenlösungen sollten daher auch Detonationsgrenzen existieren. Die in der BAM bislang ausgeführten Versuche ergaben, daß bis zu Konzentrationen von 0,6 kg Acetylen/kg Aceton die Lösung nicht zur Detonation gebracht werden und daß die Auswirkungen eines Zerfalles der Lösung durch Druckentlastungsmaßnahmen beherrschbar sein könnten.

Sicherheitsmaßnahmen

Den vom Acetylen ausgehenden Explosionsgefahren kann begegnet werden durch Handhabung außerhalb der Zündgrenzen, Phlegmatisierung oder druckfeste Bauweise. Welche Schutzmaßnahmen durchgeführt werden, ergibt sich im allgemeinen aus verfahrenstechnischen, wirtschaftlichen und sicherheitstechnischen Überlegungen. Im Regelfall werden innerhalb von Acetylenanlagen verschiedene der angeführten Schutzprinzipien angewandt.

Kann Acetylen nicht außerhalb der Explosionsgrenzen gehandhabt werden, so ist

zu prüfen, welche Anlageteile als deflagrations- und welche als detonationsgefährdet anzusehen sind. Die deflagrationsdruckfeste Ausführung bereitet keine prinzipiellen Schwierigkeiten. Bei solchen Anlagen muß besonders beachtet werden, daß durch die Verbindung von für sich allein nur deflagrationsgefährdeten Anlageteilen durchaus eine detonationsgefährdete Gesamtanlage entstehen kann.

Die detonationsdruckfeste Ausführung von Acetylenanlagen ist wegen der möglichen großen Drucksteigerungsfaktoren mit außerordentlich hohen Kosten verbunden. Im allgemeinen werden daher auch nur Leitungen detonationsfest ausgeführt.

Zur Abgrenzung der von einem möglichen Acetylenzerfall bedrohten Bereiche dienen sogenannte Zerfallssperren. Als Zerfallssperren haben sich insbesondere mit Füllkörpern versehene Behälter oder Rohrteile bewährt (Bild 7). Durch die Eingabe der Füllkörper wird für den Bereich der Füllkörperstrecke der Explosionsgrenzdruck so weit heraufgesetzt, daß ein fortschreitender Acetylenzerfall nicht mehr möglich ist. An verschiedenen Zerfallssperren vorgenommene Prüfungen ergaben, daß ihre Wirksamkeit nicht allein durch den Acetylendruck, sondern z. B. auch durch die Art des Acetylenzerfalls (Deflagration oder Detonation) sowie durch die Form des Anschlusses an

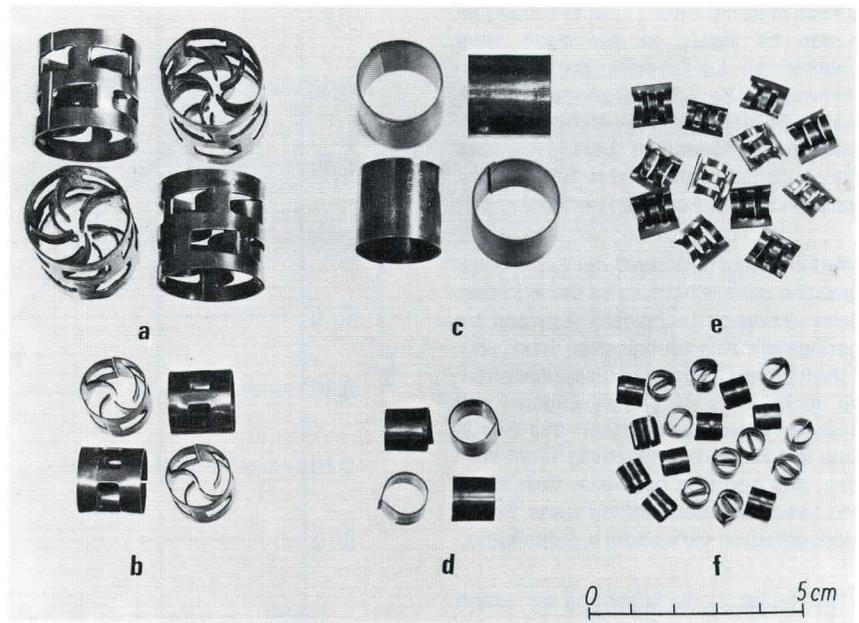


Bild 7. Füllkörper für Zerfallssperren

- a) Pallringe 25 x 25 x 0,6 mm
- b) Pallringe 15 x 15 x 0,4 mm
- c) Raschringe 20 x 20 x 0,6 mm
- d) Raschringe 10 x 10 x 0,4 mm
- e) Interpackfüllringe 10 x 10 mm
- f) Ringe mit Mittelsteg

die Leitung beeinflusst wird. Die in TRAC 207 angegebenen Dimensionierungsvorschriften für trockene Füllkörperstrecken beruhen im wesentlichen

auf in der BAM ausgeführten Untersuchungen.

Bewährt hat sich auch das Verfahren, Rohrleitungen mit Rohrbündeln auszulegen. Um den Strömungswiderstand innerhalb solcher Leitungen möglichst gering zu halten, wird häufig der Durchmesser der Bündelrohre so groß gewählt, daß sich in dem Rohrsystem eine Deflagration ausbreiten kann und nur das Anlaufen einer Detonation verhindert wird.

Nicht immer ganz unproblematisch erscheint der Einsatz von Berstscheiben in Acetylenanlagen. Durch Verwendung von Berstscheiben kann bei Deflagrationen der Druckanstieg begrenzt und bei Detonationen die Reflexion von Stoßwellen weitgehend verhindert werden. Werden Berstscheiben eingesetzt, so sollte immer geprüft werden, ob Deflagrationen – bedingt durch die beim Ausströmen auftretenden Turbulenzen – nicht in Detonationen umschlagen und ob das herausgepreßte Acetylen nicht in Verbindung mit der Umgebungsluft Voraussetzungen für gefährliche Raumexplosionen schafft. Mit welchen Auswirkungen auf die Umgebung beim Ansprechen von Berstschei-

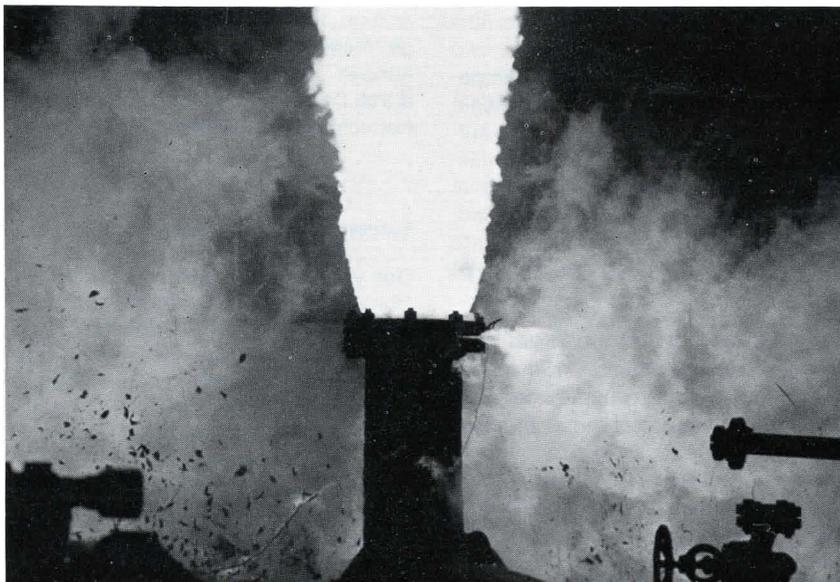


Bild 8. Acetylenfernleitung – Druckentlastung durch Berstscheibe.



Bild 9.
Druckentlastung durch
Berstscheibe.

ben durch Detonationen gerechnet werden muß, veranschaulichen die Bilder 8 und 9.

Von allgemeiner anwendungstechnischer Bedeutung sind die Acetylenflaschen. Den auf der Zerfallsfähigkeit des Acetylens beruhenden Explosionsgefahren wird durch Ausfüllen des Flaschenhohlraumes mit poröser Masse und Lösen des Acetylens in einem durch die poröse Masse verteilten Lösungsmittel begegnet. Bild 10 zeigt einen Schnitt durch eine Acetylenflasche.

Allgemein wird beim Umgang mit acetylenhaltigen Lösungen angestrebt, daß die flüssige Phase nicht zerfallsfähig ist. Kann eine zerfallsfähige flüssige Phase nicht vermieden werden, so ist sicherzustellen, daß die Gasphase über der Lösung stabil ist. Im letztgenannten Fall ist zu kontrollieren, ob störungsbedingtes Ausdampfen von Acetylen aus der Lösung nicht zu einer zum fortschreitenden Zerfall fähigen Gasphase führen kann.

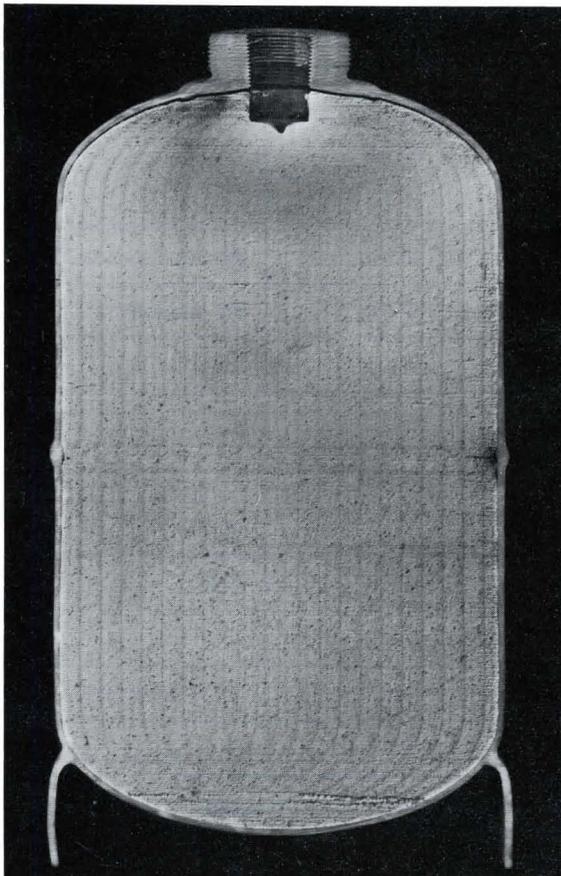


Bild 10.
Schnitt durch eine Acetylen-
flasche mit einer Calciumsili-
kathydratmasse.

Schlußbemerkungen

Die Sicherheitstechnik des Acetylens kann als so weit entwickelt angesehen werden, daß im Vergleich zu anderen brennbaren Gasen der Umgang mit Acetylen nicht mit wesentlich höheren Risiken verbunden ist.

Der hierzu erforderliche sicherheitstechnische Aufwand setzt aus Kostengründen der Verwendung des Acetylens enge Grenzen. Die weitere Entwicklung der Acetylenindustrie ist auch davon abhängig, mit welchen Kosten weiterhin die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen verbunden sind.

Wünschenswert im Hinblick auf eine Weiterentwicklung der Acetylen-Sicherheitstechnik erscheinen Untersuchungen, aus denen allgemeine Aussagen über die Beanspruchung von Bauteilen bei anlaufenden und stationären Acetylendetonationen hergeleitet werden können. In anwendungstechnischer Hinsicht ist die weitere Klärung von Fragen im Zusammenhang mit Stabilität von Acetylenlösungen von Interesse. Im Hinblick auf wirtschaftliche Nutzung der Acetylenanlagen wäre allgemein zu untersuchen, unter welchen Voraussetzungen der Betriebsdruck weiter erhöht werden kann.