

# **BAM-BERICHT Nr. 9**

DER BUNDESANSTALT FÜR  
MATERIALPRÜFUNG (BAM)

BERLIN

## **Untersuchung über die sichernde Wirkung poröser Massen in Acetylenflaschen**

von Dr.-Ing. Karl-Heinz Möller

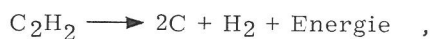


<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
<b>1. Allgemeines</b>	<b>1</b>
<b>2. Problemstellung</b>	<b>2</b>
<b>3. Fall- und Vibrationsversuche</b>	<b>3</b>
3.1 Fallversuche auf dem Daumenfallwerk	3
3.2 Vibrationstest	4
3.3 Fallversuche aus 70 cm Höhe	4
<b>4. Zündversuche an mit porösen Massen gefüllten Acetylenflaschen</b>	<b>6</b>
4.1 Zündversuche mit CTR-Zündventil	6
4.2 Zündversuche mit ISO/CPI-Zündventil	7
4.3 Vergleichende Zündversuche mit CTR-Zündventil und mit ISO/CPI-Zündventil	8
4.4 Zündversuche an vor Zündung waagrecht gelagerten Flaschen	8
4.5 Zündversuche an vor Zündung erwärmten Acetylenflaschen	13
<b>5. Kombierter Fall- und Zündversuch nach ISO/CPI</b>	<b>19</b>
<b>6. Versuchsanlage für Zündversuche mit Acetylenflaschen</b>	<b>20</b>
<b>7. Bestimmung der maximal zulässigen Acetylenfüllung in Acetylenflaschen</b>	<b>22</b>
<b>8. Zusammenfassung</b>	<b>27</b>
<b>9. Literaturverzeichnis</b>	<b>28</b>

## Verwendete Zeichen

- $P$  = Porosität der porösen Masse in Prozent
- $T$  = Temperatur in Grad Celcius
- $F$  = Freies Volumen in der Flasche in Prozent des Wasservolumens der Flasche
- $A_T$  = Aceton-Toleranzen (= 0,95; 0,9; 0,85; 0,8)
- $C$  = Füllverhältnis in kg Acetylen je kg Aceton
- $g_A$  = Füllgewicht Acetylen in der Flasche in kg
- $G_A$  = Füllgewicht Acetylen in der Flasche in kg Acetylen je Liter Wasservolumen
- $g_L$  = Füllgewicht Aceton in der Flasche in kg
- $G_L$  = Füllgewicht Aceton in der Flasche in kg Aceton je Liter Wasservolumen
- $V_B$  = Gesamtrauminhalt der Flasche in Liter
- $V_W$  = Wasservolumen der Flasche in Liter (Das Wasservolumen ist das in der Flasche für die Acetylen/Aceton-Lösung noch zur Verfügung stehende Volumen, wenn vom Rauminhalt der Flasche das von den Festteilen der porösen Masse eingenommene Volumen abgezogen wird)
- $v_L$  = Volumen der Acetylen/Aceton-Lösung in Liter Lösung je kg Aceton
- $V_L$  = Gesamtvolumen der Acetylen/Aceton-Lösung in einer Acetylenflasche in Liter Lösung
- $V_F$  = Freies Volumen in einer Flasche in Liter (Das freie Volumen ist das in einer Flasche übrig bleibende Volumen, wenn vom Rauminhalt der Flasche das von den Festteilen der porösen Masse und das von der Acetylen/Aceton-Lösung eingenommene Volumen abgezogen wird).

Nach der Verordnung über ortsbewegliche Behälter und über Füllanlagen für Druckgase (Druckgasverordnung - DruckgasV) [1] dürfen ortsbewegliche Behälter nur dann mit Acetylen unter Druck gefüllt und in den Verkehr gebracht werden, wenn sie vollständig mit einer porösen Masse ausgefüllt sind und eine bestimmte Menge Lösungsmittel enthalten. Bestimmte Füllverhältnisse (in kg Acetylen je kg Aceton) und bestimmte Drücke dürfen aus sicherheitstechnischen Gründen beim gelösten Acetylen nicht überschritten werden. Die Ursache für solche sicherheitstechnischen Maßnahmen ist die Fähigkeit des Acetylens zum exothermen Zerfall in seine Elemente Kohlenstoff und Wasserstoff nach der Beziehung



wobei rund 54 kcal frei werden, wenn 1 Mol Acetylen in der angegebenen Art zerfällt. Unter gewissen Bedingungen - die unter anderem auch abhängig sind von Druck, Temperatur, Füllverhältnis, Gefäßabmessungen, Reinheit des Gases, Art und Menge eines Phlegmatisierungsmittels, Art der Zündquelle - kann ein solcher Zerfall deflagrationsartig oder auch detonativ verlaufen. Bei deflagrationsartigem Verlauf können Drücke bis etwa zum 10fachen des absoluten Anfangsdruckes auftreten und bei detonativ verlaufenden Zersetzungen können Drücke bis zum 350fachen des absoluten Anfangsdruckes entstehen [2, 3, 4].

Als Lösungsmittel wird allgemein Aceton verwendet. Wegen des guten Lösungsvermögens für Acetylen, Bild 1 [5], ermöglicht das Aceton eine auch wirtschaftlich vertretbare Speicherung des Acetylens in ortsbeweglichen Behältern. Die Verwendung von Aceton als Lösungsmittel für Acetylen geht auf Untersuchungen von Claude und Hess [6, 7] zurück. Bei Löslichkeitsversuchen stellten sie fest, daß Aceton ein besonders gutes Lösungsvermögen für Acetylen besitzt. Aceton löst bei Zimmertemperatur und 760 mm Hg etwa das 24fache seines Eigenvolumens an Acetylen. Berthelot und Vieille [8] fanden, daß Aceton nicht nur das Acetylen gut löst, sondern daß es auch phlegmatisierend wirkt bis zu Drücken von

10 ata<sup>1)</sup>. Le Chatelier schließlich wies den Weg, wie die Explosivität des über der Acetonlösung stehenden Gases noch weiter gemindert werden konnte. So wurde der französischen Firma "Com-

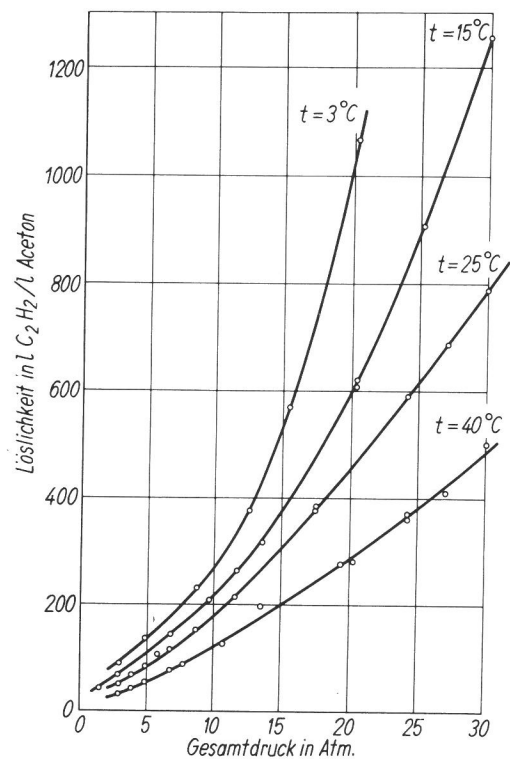


Bild 1  
Löslichkeit von Acetylen in Aceton in Abhängigkeit von Druck und Temperatur (nach Hölemann und Hasselmann [5])

1) Hölemann, Hasselmann und Dix [9] fanden in neuerer Zeit, daß bereits bei Drücken von 7 ata und 15°C ein merklicher Zerfall des in der Lösung vorhandenen Acetylens stattfindet. Möller [10] stellte bereits bei Drücken von 1,5 ata und -20°C einen merklichen Zerfall des in Aceton gelösten Acetylens fest. In beiden Fällen wurden die Untersuchungen an reinen Lösungen ohne poröse Massen durchgeführt.

pagnie française de l'Acétylène dissous" 1897 ein deutsches Patent (DRP 101 204) erteilt, das grundlegend für die Industrie des gelösten Acetylen wurde. Der Patentanspruch lautet: "Verfahren, das Ausbreiten von Explosionen in mit komprimiertem explosiblen Gas gefüllten Behältern dadurch zu verhindern, daß man diese Behälter vor Aufnahme des Gases mit porösen Körpern in Körner- oder Pulverform wie Bimsstein, keramische Massen oder dergleichen anfüllt, deren Poren oder Zwischenräume die Aufnahme geeigneter Gasmengen zulassen und die Zirkulation des Gases in gasförmiger oder flüssiger Form oder eines eingeführten Lösungsmittels für das Gas nicht hindern."

Auf der Basis dieses Patentes - Acetylen in Aceton lösen und die Lösung in mit porösen Massen gefüllten Behältern aufbewahren - war es um 1900 möglich, etwa 4,5 kg Acetylen in einer 40-l-Flasche gefahrlos unterzubringen. Nachdem im ersten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts bei der Auf-

bewahrung von Acetylen/Aceton-Lösungen in mit porösen Massen gefüllten Behältern gute Erfahrungen gesammelt worden waren und weitere Versuchsergebnisse vorlagen, wurde in verschiedenen Ländern der ursprünglich auf 10 ata begrenzte Gasdruck der Füllung auf 15 atü erhöht, was einem Füllgewicht zwischen 5,0 und 6,0 kg Acetylen in der 40-l-Flasche entspricht. In der Bundesrepublik Deutschland wurde dann 1956 der Gasdruck der Füllung auf maximal 18 atü bei 15°C heraufgesetzt und das Acetylengewicht auf maximal 0,1575 kg Acetylen je Liter Flaschenvolumen (= 6,3 kg Acetylen in der 40-l-Flasche) begrenzt [11, 12]. Nach neuesten von der Bundesanstalt für Materialprüfung durchgeführten Untersuchungen bestehen jedoch keine grundsätzlichen Bedenken sicherheitstechnischer Art, je nach den Eigenschaften der porösen Massen über das bisher in der Bundesrepublik Deutschland zulässige höchste Acetylenfüllgewicht und über einen Gasdruck von 18 atü hinauszugehen [13, 14, 15].

## 2. Problemstellung

Die porösen Massen in den Stahlflaschen sollen nicht nur das Lösungsmittel (Aceton) aufsaugen und fein verteilen, sondern vor allem eventuell durch Flammenrückschläge in den Flaschen eingeleitete Acetylenzersetzungen löschen. Zur Beurteilung der Eignung poröser Massen als Füllmassen für ortsbewegliche Behälter für unter Druck gelöstes Acetylen sind unter anderem Versuche an Stahlflaschen mit den jeweiligen porösen Massen durchzuführen. Diese werden im Rahmen des Bauartzulassungsverfahrens nach § 14 der Druckgas V [1] und gegebenenfalls auch bei Nachprüfungen von porösen Massen von der Bundesanstalt für Materialprüfung vorgenommen.

Seit Jahren ist man in der ISO (International Organization for Standardization), TC 58, WG 1 - Acetylen -, und in der CPI (Commission Permanente Internationale de l'Acétylène, de la Soudure Autogène et des Industries qui s'y rattachent) darum bemüht, die verschiedenen nationalen Vorschriften über die Prüfung poröser Massen für Acetylenflaschen zu vereinheitlichen und inter-

national in der ISO durch Normung festzulegen. So hat die CPI der ISO im Jahre 1962 Vorschläge zur Prüfung poröser Massen für Acetylenflaschen unterbreitet. Nach den Vorschlägen der CPI (und der ISO) sollen die für die Untersuchung ausgewählten Acetylenflaschen nacheinander dem Fall- und Zündversuch unterworfen werden und die Zündung soll in einer auf die Flasche geschraubten Zündkammer vorgenommen werden. Das weicht von dem früher von der Chemisch-Technischen Reichsanstalt (CTR) in Berlin-Plötzensee und dem bis vor kurzem auch noch von der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) in Berlin-Dahlem angewandten Verfahren ab [16, 17, 18, 19]. Vor dem CPI/ISO-Vorschlag waren die Fall- und Zündversuche getrennt voneinander an verschiedenen Flaschen ausgeführt worden. Über die verschiedenen Prüfmethode und über die Ergebnisse von vergleichenden Untersuchungen soll berichtet werden. Ferner soll ein Verfahren mitgeteilt werden, nach dem unter Verwendung von Zündversuchsergebnissen die zulässigen Füllungen an Acetylen und Aceton in den Behältern ermittelt werden können.



Bild 2  
Risse in einer starren porösen Masse aus einer mit Überlappstoß geschweißten Acetylenflasche nach dem zehnmaligen Fallenlassen aus 70 cm Höhe nach ISO

Die Fall- und Vibrationsversuche haben zum Ziel, das Verhalten poröser Massen in den Stahlflaschen bei Erschütterungen zu prüfen, die in der Praxis beim Transport und bei der Handhabung der Acetylenflaschen auftreten können. Es ist bekannt, daß Schüttmassen durch Erschütterungen oder durch Stöße in den Flaschen absacken können, wodurch sich im Kopf der Flaschen Hohlräume bilden, und daß sich die Masse in den oberen Schichten auflockern kann. Es wurden bei Fallversuchen in 40-l-Acetylenflaschen Hohlräume von über  $200 \text{ cm}^3$  festgestellt. Bei starren Massen (sogenannten Zementmassen, monolithischen Massen) kann es bei nicht genügender "Elastizität" der Masse vorkommen, daß bei Stoßbeanspruchung Risse im Masseblock entstehen, bevorzugt dann, wenn der Behälter keine glatte Oberfläche im Inneren aufweist, Bild 2 [20]. Hohlräume, Auflockerungen und Risse üben einen ungünstigen Einfluß auf die löschende Wirkung der porösen Massen in den Behältern aus. Auf die Gefahr der Hohlräume hat bereits Rimarski [21] hingewiesen.

#### 3.1 Fallversuche auf dem Daumenfallwerk

Lange Zeit (etwa 40 Jahre) wurde in Deutschland das Verhalten poröser Massen in Stahlflaschen bei Erschütterungen durch Fallversuche auf dem Daumenfallwerk, Bild 3, untersucht [16, 17]. Dabei

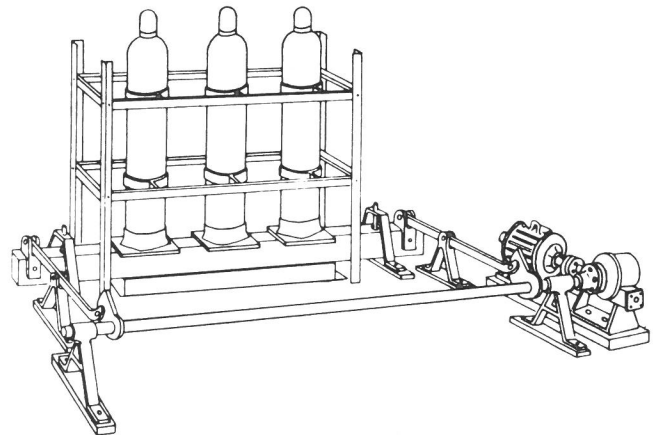


Bild 3  
Daumenfallwerk für Fallversuche aus einer Höhe von 30 mm

wurden mindestens drei mit Masse, Aceton und Sättigungsacetylen gefüllte Stahlflaschen 100 000 mal aus 30 mm Höhe fallengelassen. Die Acetylenflaschen stehen auf einem Balken, der durch eine Nockenwelle über Hebel angehoben wird. Er fällt auf einen darunterliegenden Balken, der auf Seesand der Körnung 0,2 bis 1 mm innerhalb eines Betonfundamentes liegt. Die Balken sind aus Weichholz. Beim Aufprall tritt eine Beanspruchung von maximal 60 g ( $g = \text{Erdbeschleunigung}$ ) auf (50 bis 60 mal in der Minute).

Nach dem Fallversuch wird ein eventuell entstandener Hohlraum mit Glaskugeln ausgelitert. Flaschen, die eine Zementmasse enthalten, werden entacetoniert, aufgeschnitten und auf Risse in der Masse untersucht.

Dieser Fallversuch auf dem Daumenfallwerk wird seit kurzem von der Bundesanstalt für Materialprüfung nicht mehr ausgeführt. An seine Stelle ist der im Abschnitt 3.3. beschriebene Fallversuch aus 70 cm Höhe gemäß CPI/ISO-Vorschlag getreten.

### 3.2 Vibrationstest

Im Rahmen der CPI- und ISO-Verhandlungen wurde von Schweden auch ein Vibrationstest vorgeschlagen. Er sah vor, daß die mit Masse, Aceton und Sättigungsacetylen gefüllten Stahlflaschen 100 000 Schwingungen in axialer Richtung bei  $\pm 3g$  ( $g = \text{Erdbeschleunigung}$ ) ausgesetzt werden sollten. Zur Klärung der Frage, ob durch eine solche Beanspruchung eine Veränderung in der Dichte oder im Zusammenhalt der Masse eintreten kann, hat die Bundesanstalt für Materialprüfung entsprechende Vibrationsversuche sowohl an Schüttmassen als auch an starren Massen ausgeführt. Hierfür wurde in Anlehnung an den Vorschlag der ISO und der CPI die in Bild 4 wiedergegebene Apparatur entwickelt.

Die mit poröser Masse, Aceton und Sättigungsacetylen gefüllten Flaschen wurden als Hauptmasse in ein senkrecht schwingfähiges System eingebaut, dessen Federsteife so gewählt wurde, daß das System eine Eigenfrequenz von etwa 10 Hz aufwies. Das Federglied des Systems wurde aus zwei Gruppen von Druckschraubenfedern gebildet, die ober- und unterhalb der Grundplatten, die die Acetylenflaschen zu führen hatten, angeordnet waren. Das System wurde über einen mit der unteren Grundplatte gekoppelten Unwuchterreger (Schwinger) im ansteigenden Ast der Resonanzkurve zu Amplituden regelbarer Größen angeregt.

Entsprechend der Funktion

$$b = a (2\pi f)^2$$

wurde die Schwingamplitude  $a$  so gewählt, daß die Beschleunigung  $b$  mit  $\pm 30 \text{ m/s}^2 = \pm 3g$  konstant gehalten werden konnte. Die Anzahl der aufgetragenen Schwingperioden wurde über einen mit dem Antriebsmotor des Erregers gekoppelten Zähler registriert. Die Versuche wurden so ausge-

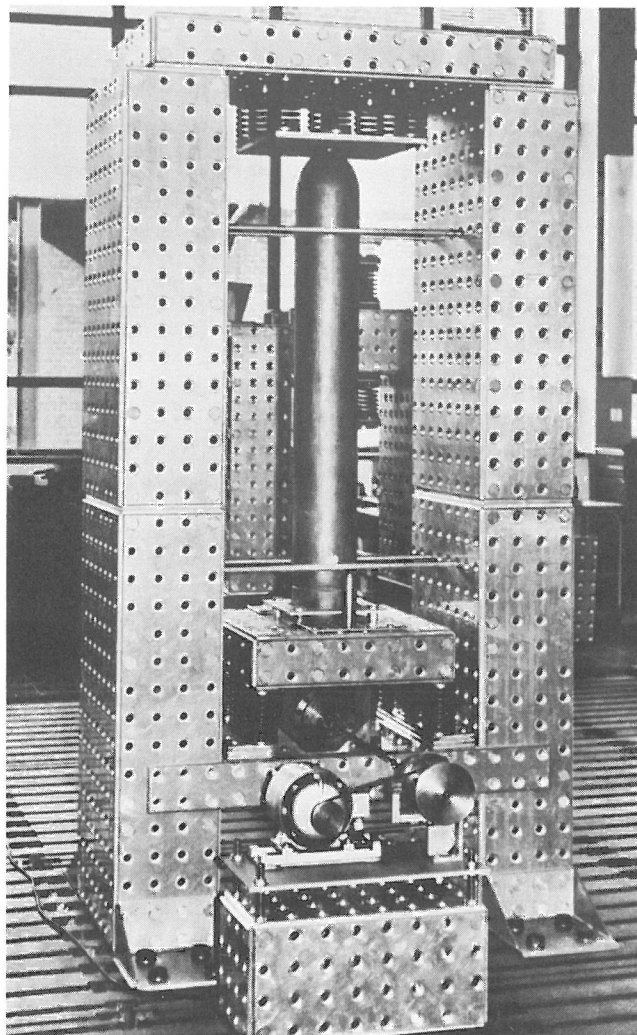


Bild 4  
Anlage für Vibrationsversuche

führt, daß in jedem Falle die vorgeschlagene Periodenzahl von  $10^5$  etwas überschritten wurde<sup>2)</sup>.

Die Versuche zeigten, daß die Vibration unter den angegebenen Versuchsbedingungen keine den bisher üblichen Fallversuchen vergleichbaren Wirkungen auf die untersuchten porösen Massen (Schüttmassen und monolithische Massen) ausübten. Der Vibrationstest wurde daraufhin von der ISO und von der CPI aus dem internationalen Prüfplan für poröse Massen gestrichen.

### 3.3 Fallversuche aus 70 cm Höhe

Dervon der CPI und von der ISO außerdem vorgeschlagene Fallversuch sieht ein zehnmaliges Fallenlassen der mit poröser Masse, Aceton und Sättigungsacetylen gefüllten Acetylenflaschen aus 70 cm Höhe vor. Die zu prüfenden Flaschen werden dabei auf eine Kunststoffplatte (Dicke 25 mm, Härte 45 HB) fallengelassen, die auf einem Betonwürfel von 1 m Kantenlänge liegen soll, Bilder 5 und 6.

<sup>2)</sup> Die Versuche wurden von der Fachgruppe "Mechanisches Verhalten von Metallen und Konstruktionen" durchgeführt.



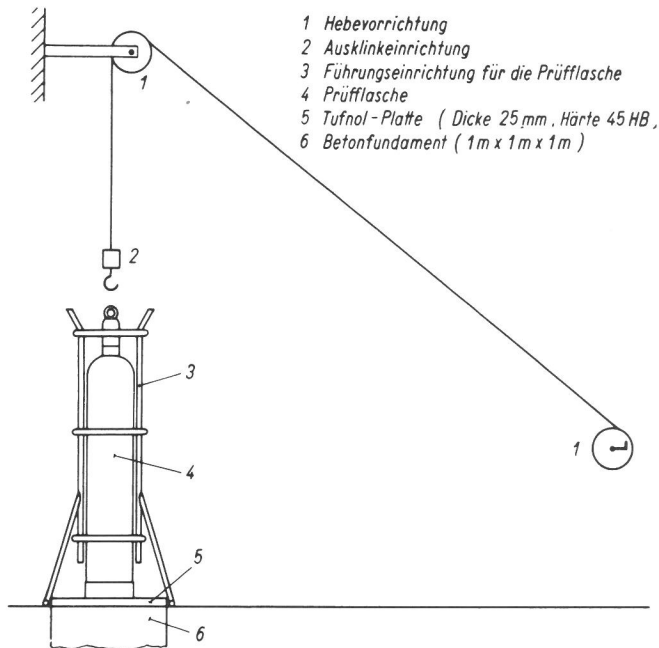


Bild 5  
 Versuchsanordnung für Fallversuche mit Acetylenflaschen (schematisch)

Der 100 000 malige Aufprall aus 30 mm Fallhöhe (Daumenfallwerk) entspricht den Stoßbeanspruchungen, denen lose auf einem Lastwagen stehende Flaschen beim Fahren über schlechte Straßen ausgesetzt sind. Ein Fall aus 70 cm Höhe kann beim Verladen der Flaschen vorkommen. Beide Prüfungen sind also praxisnahe. Der zehnmalige Fall aus 70 cm Höhe senkrecht auf den Flaschenboden ist nach Ergebnissen vergleichender Fallversuche an Flaschen mit verschiedenen porösen Massen gegenüber dem Fallversuch auf dem Daumenfallwerk härter. Es erübrigt sich daher, den Versuch aus 30 mm Höhe (Daumenfallwerk) zusätzlich auszuführen.

Die untersuchte Schüttmasse war nach dem zehnmaligen Fall aus 70 cm Höhe in den Flaschen abgesackt, und im oberen Teil der Flaschen waren Hohlräume unterschiedlicher Größe entstanden. Gleichfalls wurde festgestellt, daß die obersten Schichten der porösen Masse in den Flaschen stark aufgelockert waren. Die Tiefe der Zone der Auflockerung lag zwischen 2 und 3,5 cm, die Größe der Hohlräume zwischen 10 und 245 cm<sup>3</sup>. Von früheren Fallversuchen auf dem Daumenfallwerk war bekannt, daß diese Masse nach 100 000 Stößen (30 mm Hubhöhe) zwar eine geringfügige Auflockerung zeigte, jedoch keine Hohlraumbildung.

Die untersuchte Zementmasse zeigt nach den Fallversuchen (10 mal aus 70 cm Höhe) im oberen Teil Veränderungen im Zusammenhalt der Masse. In allen Fällen hatten sich Teile aus dem Massekörper gelöst. Bei allen Flaschen hatte sich unterhalb des Flaschenhalsgewindes zwischen der Flaschenwand und der Masse ein Spalt ausgebildet, der in einem Falle eine Weite zwischen 5 und 10 mm hatte. Daraufhin wurde eine Flasche entacetoniert und aufgeschnitten, und die Masse wurde aus den Flaschenteilen entfernt. Dabei stellte sich heraus,

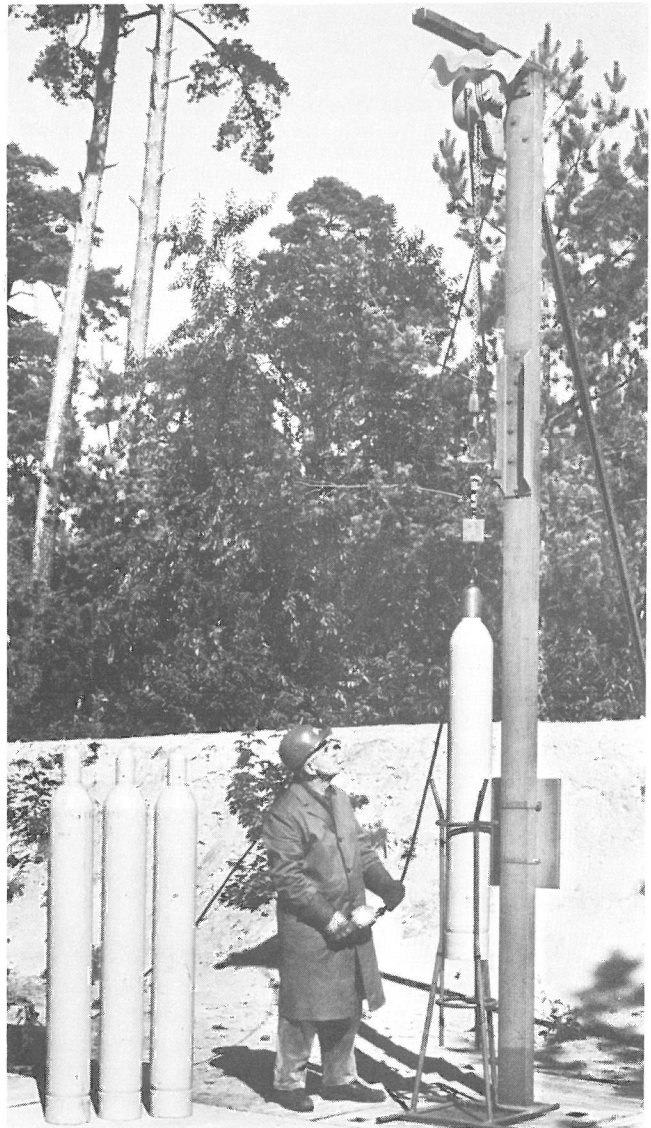


Bild 6  
 Anlage für Fallversuche



Bild 7  
 Vom Masseblock einer monolithischen Masse abgebröckelte Masseteile nach dem Fallversuch aus 70 cm Höhe nach ISO

daß von dem ursprünglich zusammenhängenden Massekörper im Kopfteil der Flasche Massebrocken unterschiedlicher Größe abgebröckelt waren, Bild 7. Diese Masse hatte bei früheren Versuchen auf dem Daumenfallwerk keine derarti-

gen Veränderungen in ihrem Zusammenhalt gezeigt.

Der Fallversuch aus 70 cm Höhe ist nunmehr der einzige Fallversuch im ISO-Vorschlag zur Prü-

fung poröser Massen für Acetylenflaschen. Er wird in der hier beschriebenen Art seit kurzem von der Bundesanstalt für Materialprüfung bei der Zulassungs- und Nachprüfung poröser Massen für Acetylenflaschen ausgeführt.

#### 4. Zündversuche an mit porösen Massen gefüllten Acetylenflaschen

Als ein wesentliches Kriterium bei der sicherheitstechnischen Beurteilung von porösen Füllmassen für Acetylenflaschen ist der Zündversuch anzusehen. Hierbei soll sich erweisen, ob die poröse Masse die Ausbreitung eines durch äußere Einwirkung eingeleiteten Acetylenzerfalls aufhält.

##### 4.1 Zündversuche mit CTR-Zündventil

Bis vor nicht allzulanger Zeit wurde in der Bundesrepublik Deutschland die sichernde Wirkung von porösen Massen gegen einen Acetylenzerfall durch Zündversuche nach dem von der ehemaligen Chemisch-Technischen Reichsanstalt (CTR) entwickelten Verfahren ermittelt [16, 17, 18, 19].

Bei dem Zündversuch nach diesem Verfahren wird im Kopf der 40-l-Flaschen ein Hohlraum von 150 cm<sup>3</sup> Volumen aus der Masse ausgeschabt. Die Hohlraumgröße wird durch Auslitern mit Glaskugeln gemessen. Nachdem das für den Versuch vorgesehene Acetongewicht durch Absaugen oder Nachfüllen von Aceton eingestellt worden ist, wird anstelle des Flaschenventils das in Bild 8 dargestellte CTR-Zündventil in die Flasche geschraubt. Die mit den für den jeweiligen Versuch vorgesehenen Acetylenmengen gefüllten Flaschen werden mehrere Tage stehend bei einer Temperatur zwischen 15 und 20°C gelagert. Dabei wird der Druck des Gases in den Flaschen wiederholt gemessen. Durch die mehrtägige Lagerung soll sichergestellt werden, daß es in den Flaschen zu einer Gleichgewichtseinstellung kommt, bevor die Flaschen dem Zündversuch ausgesetzt werden.

Im allgemeinen werden die betreffenden Flaschen nach mehrtägiger stehender Lagerung bei einer Temperatur von 15°C stehend dem Zündversuch unterworfen. Der Zerfall des Acetylen in der Flasche wird durch einen durchschmelzenden Platindraht eingeleitet, der eine Länge von 90 mm, einen Durchmesser von 0,15 mm hat und in Form einer Wendel mit sechs Windungen von 3 bis 4 mm Durchmesser zwischen den Elektroden des in die

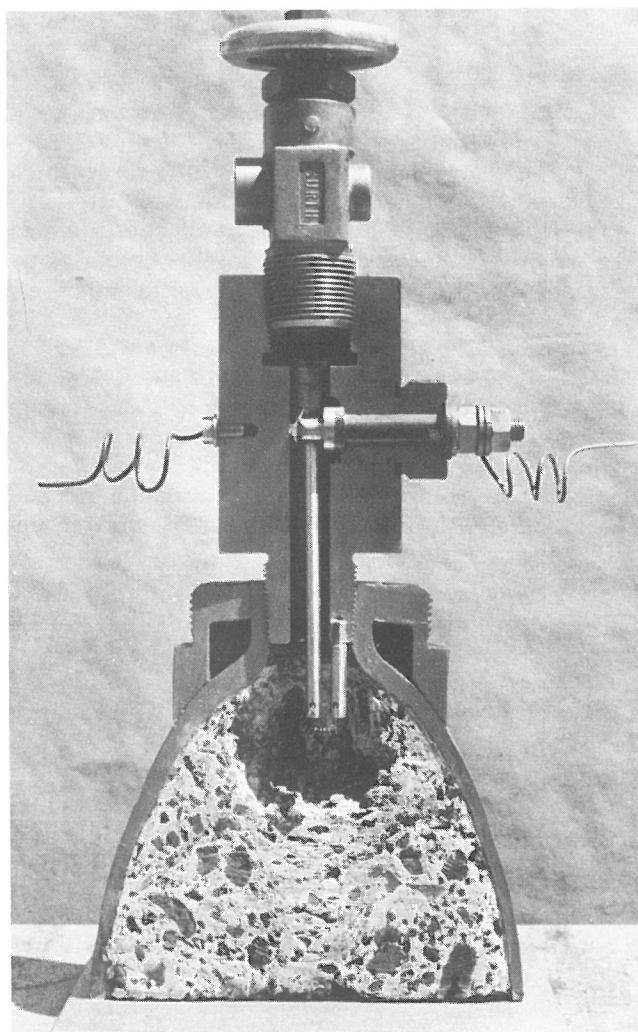


Bild 8  
CTR-Zündventil

Flasche geschraubten Zündventils gespannt ist. Die Zündspannung beträgt 110 V Wechselstrom, die Zündstromstärke maximal 15 A, die Durchschmelzzeit des Platindrahtes 0,03 s bei einer Einschaltdauer des Zündgerätes von 0,3 s. Die beschriebene Zündvorrichtung gewährleistet ein

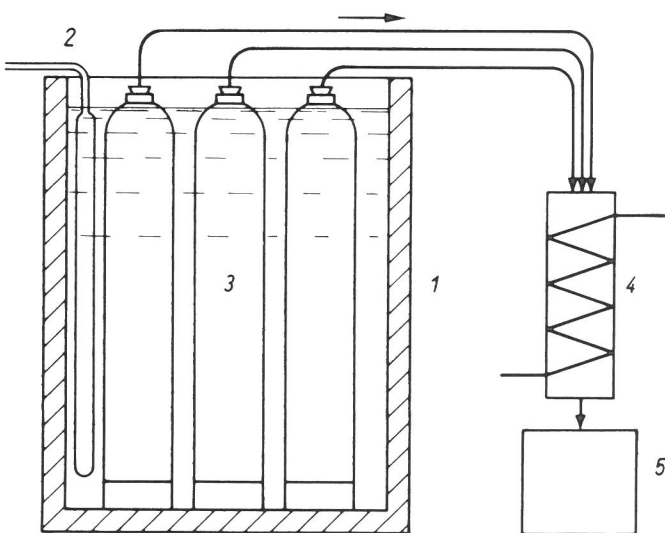
schnelles Durchschmelzen des Platindrahtes und führt auf jeden Fall zum explosionsartigen Zerfall des Acetylen bei der Prüfung. Die Prüfung berücksichtigt also den in der Praxis möglichen ungünstigen Fall, nämlich das Durchschlagen einer Explosion in die Flasche. Andere Initialzündungen, wie z. B. langsames Erglühen lassen des Drahtes oder Erhitzen des Drahtes auf Weißglut, führen gewöhnlich nur zu Teilerzetzungen des Acetylen [16].

Die Temperatur am Mantel der Flasche nach der Zündung wird mit je einem außen an der Schulter der Flasche und in 2/3-Flaschenhöhe angebrachten Thermolement gemessen und über Linienschreiber registriert. Während des Zündversuchs kann der Druck in der Flasche über einen Druckgeber (z. B. Federmanometer mit angeschlossenen Potentiometer) durch einen Linienschreiber registriert werden.

Wenn die poröse Masse den eingeleiteten Acetylenzerfall aufhalten konnte, wird die betreffende Flasche etwa 20 bis 24 h nach der Zündung entgast, entacetoniert (Bild 9) und aufgeschnitten, damit der Umfang der Zersetzung in der Masse ermittelt werden kann (Bilder 10 und 11).

#### 4.2 Zündversuche mit ISO/CPI-Zündventil

Im Gegensatz zum Zündversuch nach dem Verfahren der CTR, der an Acetylenflaschen ausgeführt wird, die vor der Zündung nicht Fallversuchen oder Vibrationsversuchen ausgesetzt waren, sollen nach dem Vorschlag der ISO die Flaschen vor der Zündung dem Fallversuch aus 70 cm Höhe nach Abschnitt 3.3 ausgesetzt werden, damit alle Zufälligkeiten erfaßt werden, die beim Fallenlassen



1. Wasserbad
2. Heizkörper
3. Acetylenflaschen
4. Schlangenkühler
5. Sammelgefäß

Bild 9  
Einrichtung für die Entacetonierung von Acetylenflaschen (schematisch)

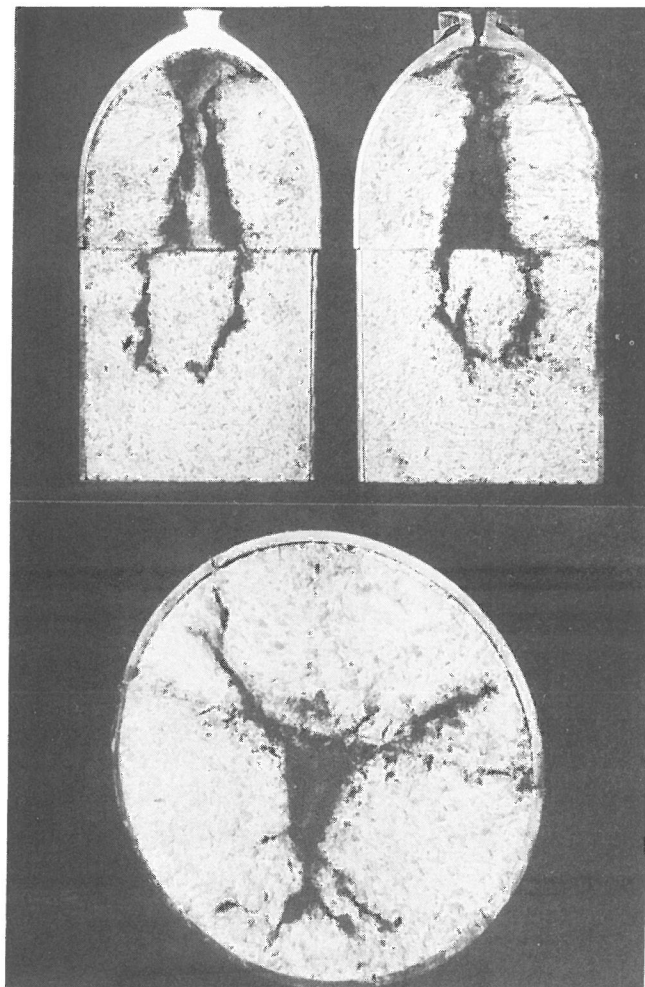


Bild 10  
Teile einer aufgeschnittenen Acetylenflasche, bei der in der porösen Füllmasse ein eingeleiteter Acetylenzerfall zum Stillstand gebracht wurde. Die Schwärzungen in der Masse stammen von dem bei der Acetylenzersetzung entstandenen Ruß



Bild 11  
Teile einer porösen Masse aus einer aufgeschnittenen Acetylenflasche, in der ein Acetylenzerfall zum Stillstand kommen konnte. Die Schwärzungen in der Masse stammen von dem bei der Acetylenzersetzung entstandenen Ruß

entstehen können. Außerdem soll der Acetylenzerfall nicht in einem aus der Masse am Kopf der Flasche ausgeschabten Hohlraum, sondern in einer auf die Flasche geschraubten Zündkammer, Bild 12, eingeleitet werden. Die Zündkammer hat einen Rauminhalt von etwa  $75 \text{ cm}^3$  und ist durch eine Bohrung von 4 mm Durchmesser und 70 mm Länge mit dem Inneren der zu untersuchenden Flasche verbunden.

### ISO/CPI-Zündventil

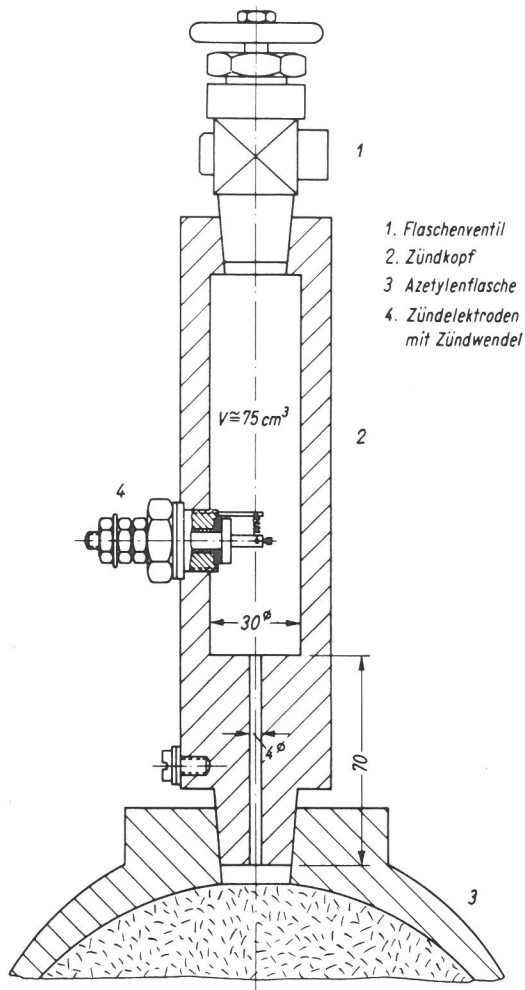


Bild 12

Die Einstellung des Acetongewichtes, die Lagerung der Flaschen vor dem Zündversuch, die Einleitung der Zersetzung des Acetylen und die Behandlung der Flaschen nach dem Zündversuch sollten wie beim Zündversuch mit CTR-Zündventil vorgenommen werden.

#### 4.3 Vergleichende Zündversuche mit CTR-Zündventil und mit ISO/CPI-Zündventil

Zur Klärung der Frage, ob beide Prüfmethode - Zünden der Flaschen mit CTR-Zündventil oder Zünden der Flaschen mit ISO/CPI-Zündventil - zu gleichen Ergebnissen führen, wurden vergleichende Zündversuche an 40-l-Flaschen ausgeführt. Alle Acetylenflaschen waren für diese Versuche neu mit poröser Masse gefüllt worden. Sie wurden alle bei einer Temperatur von etwa  $15^\circ\text{C}$  gezündet, und zwar nach den Angaben in Abschnitt 4.1 bzw. 4.2. Zwischen der Beendigung der Füllung der Flaschen mit Acetylen und der Zündung lagen mindestens drei Tage, wobei die Flaschen zwischen  $15$  und  $20^\circ\text{C}$  und bis auf zwei Ausnahmen stehend aufbewahrt wurden. Zündversuche wurden sowohl an Flaschen mit einer Schüttmasse als auch an Flaschen mit einer monolithischen Masse ausgeführt. Das Prinzip der Versuche bestand darin, daß bei gleicher Acetonfüllung ( $10,5 \text{ kg Ace-$

ton in der 40-l-Flasche) durch Zünden von Flaschen mit verschieden hoher Acetylenfüllung die Grenzbeladungen ermittelt wurden, bei denen die poröse Masse die eingeleitete Zersetzung gerade noch aufzuhalten vermochte bzw. bei denen die Flasche explodierte. Die Grenzbeladungen wurden durch Änderung der Acetylenbeladung in Stufen von  $0,3 \text{ kg Acetylen}$  (je  $40 \text{ l Flaschenvolumen}$ ) gefunden.

Tafel 1 gibt die Ergebnisse von 24 Versuchen wieder. Nachdem der Durchmesser des Zündkanals an der ISO/CPI-Zündkammer von ursprünglich  $3$  auf  $4 \text{ mm}$  vergrößert worden war, haben sich sowohl für die verwendete Schüttmasse als auch für die monolithische Masse gleiche Resultate ergeben, wobei die Grenzbeladungen der einen Masse etwas höher lagen als die der anderen. Bei Zündung im ISO/CPI-Zündventil wird die in der Kammer eingeleitete Zersetzung einwandfrei durch den Kanal von  $4 \text{ mm}$  Durchmesser und  $70 \text{ mm}$  Länge in das Innere der Flasche übertragen. Dies wurde durch je einen Versuch mit einem Zündkanal von  $6 \text{ mm}$  und einem von  $10 \text{ mm}$  Durchmesser bestätigt, deren Ergebnisse keine Verschärfung der Versuchsbedingungen erkennen ließen.

#### 4.4 Zündversuche an vor Zündung waagrecht gelagerten Flaschen

Bei den in Abschnitt 4.3 beschriebenen Zündversuchen mit CTR- oder mit ISO/CPI-Zündventil wurde beobachtet, daß zwei Flaschen, die vor der Zündung etwa zehn Tage waagrecht gelagert worden waren, beim Zündversuch barsten, während andere Flaschen mit gleicher Acetylenbeladung nach senkrechter Lagerung unter sonst gleichen Versuchsbedingungen hielten, Tafel 1. Diese Beobachtung gab Veranlassung, vergleichende Zündversuche an vor Zündung senkrecht und waagrecht gelagerten Flaschen vorzunehmen. Die bei diesen vergleichenden Untersuchungen gezündeten Flaschen waren alle neu mit poröser Masse gefüllt worden. Der Acetylenzerfall wurde mit ISO/CPI-Zündventil durch einen durchschmelzenden Platindraht eingeleitet (vgl. Abschnitt 4.2).

Soweit nicht schon bekannt, wurde zunächst die Grenzbeladung in vor Zündung senkrecht gelagerten Flaschen ermittelt. Mit den so gefundenen Füllungen an Aceton und Acetylen wurden dann Flaschen gezündet, die vor der Zündung mehrere Tage waagrecht gelagert worden waren.

Wie aus den Ergebnissen hervorgeht, Tafeln 2 bis 4, kann eine waagerechte Lagerung der Flaschen die sichernde Wirkung der porösen Massen ungünstig beeinflussen. Bei den Füllmassen X 1 und X 3 konnten die an senkrecht gelagerten Flaschen gefundenen Grenzbeladungen nicht bestätigt werden; sie fallen in den vor Zündung waagrecht gelagerten Flaschen niedriger aus, Tafeln 2 und 3. Bei der Füllmasse X 2 dagegen hatte die waagerechte Lagerung keinen Einfluß auf die sichernde Wirkung, Tafel 4; eine Verschiebung der Acetylen-grenzbeladung zu niedrigeren Werten trat durch die waagerechte Lagerung nicht ein.

Acetylen- beladung in kg/40 l	Füllmasse X 1		Füllmasse X 2	
	CTR-Verfahren	ISO/CPI-Verfahren	CTR-Verfahren	ISO/CPI-Verfahren
8,4			+ t = 551'' p = 21,9/310 T = 175/15	+ t = 44'' p = 23,8/230 T = 42/15
			o p = 19,4/25 T = 90/-	
8,1			+ t = 2370 p = 21,0/210 T = 106/28	+ t = 744 p = 22,0/330 T = > 100/-
			+ t = 787 p = 20,6/200 T = 102/-	o p = 22,5/41 T = 130/32
			o p = 21,5/30 T = x/25	o p = 22/x T = 113/95
7,8	+ t = 60 p = 26,0/165 T = 83/-	+ t = 24 p = 23,9/210 T = 50/-	o p = 21,0/30 T = 97/18	o p = 21,2/30 T = 107/-
	+ t = 60 p = 25,0/150 T = 65/-		o p = 20,4/x T = 110/15	o p = 20,2/30 T = 56/-
7,5	o p = 22,0/28 T = 65/19'	+ t = 1,85(c) p = 21,2/185 T = 85/85		
	o p = 23,0/30 T = 76/-	+ t = 1080(c) p = 21,8/220 T = 175/90		
		o p = 21,8/30 T = 38/-		
		o p = 20,6/x T = 34/-		
		c p = 22,6/x(a) T = 35/-		
		o p = 22,4/35(b) T = 57/-		
7,2		o p = 21,2/38 T = 29/-		

Zeichenerläuterungen:

- |   |  |
|---|--|
| o = Flasche gehalten  | - = keine Veränderungen                    |
| + = Flasche geborsten   | x = Meßstelle ausgefallen                  |
| t = Zeit von Zündung bis Bersten in s                                   | a = Zündkanal 6 mm Durchmesser             |
| p = Anfangsdruck/maximaler Druck in atü                                 | b = Zündkanal 10 mm Durchmesser            |
| T = maximale Temperatur an der Schulter / in 2/3-<br>Flaschenhöhe in °C | c = zehn Tage vor Zündung liegend gelagert |

Tafel 2

Ergebnis vergleichender Zündversuche an vor Zündung senkrecht und waagrecht gelagerten Flaschen mit Füllmasse X 1

	1	2	3
Acetylen- beladung in kg/40 l	40-l-Flaschen 204 mm Außendurchm. nahtlos gezogen ISO/CPI-Kopf B = 4 mm Vibrations- u. Fallvers. Flasche nach stehender Lagerung bei 15°C stehend bei 15°C gezündet 10,5 kg Aceton/40 l Masse neu eingefüllt	40-l-Flaschen 204 mm Außendurchm. nahtlos gezogen ISO/CPI-Kopf B = 4 mm Vibrations- u. Fallvers. nach waage- rechter Lagerung bei 15°C stehend bei 15°C gezündet 10,5 kg Aceton/40 l Masse neu eingefüllt	40-l-Flaschen 204 mm Außendurchm. nahtlos gezogen ISO/CPI-Kopf B = 4 mm keine Fallvers. 150 cm <sup>3</sup> Hohlraum Fla- sche nach waagerechter Lagerung bei 15°C lie- gend bei 15°C gezündet 10,5 kg Aceton/40 l Masse neu eingefüllt
6,3			o L = 3 Ts + 13 Tw p = -/-/17/28/15,5(8°C) T = 55 (3,5')/-
6,9			+ t = 25'18" L = 1 Ts + 13 Tw p = -/-/18,4/220/- T = 148/83
7,2	o L = 1 Ts + 7 Tw + 8 Ts p = 20,9/21,2/38/- T = 29/-		
7,5	o L = 1 Ts + 5 Tw + 1 Ts p = 21,8/21,8/30/- T = 38/-	+ t = 3'5" L = 1 Ts + 7 Tw p = 21,9/21,2/185/- T = 85/85	+ t = 4'31" L = 2 Ts + 11 Tw p = 20,5/20,5/20,6/180/- T = 95/42
	o L = 1 Ts p = 21,4/20,6/-/- T = 34/-	+ t = 18'30" L = 2 Ts + 13 Tw p = 21,6/21,8/220/- T = 175/95	
7,8	+ t = 24" L = 1 Ts + 2 Tw + 3 Ts p = 24,6/23,9/210/- T = 50/-		

### Zeichenerläuterungen:

o = Flasche gehalten  
+ = Flasche geborsten  
t = Zeit von Zündung bis Bersten  
L = Lagerung der Flaschen  
Ts = Tage senkrecht  
Tw = Tage waagrecht  
sL = senkrechte Lagerung  
wL = waagerechte Lagerung  
- = kein Meßwert bzw. kein Anstieg

p = Spalte 1 u. 2: Druck bei 15°C / unmittelbar vor Zündung / maximal nach Zündung / etwa 20 h nach Zündung / in atü

Spalte 3: Druck bei 15°C nach sL / Druck bei 15°C nach wL / unmittelbar vor Zündung / maximal nach Zündung / etwa 20 h nach Zündung / in atü

T = Temperatur maximal in °C an der Schulter der Flasche / in 2/3-Flaschenhöhe

Tafel 3

Ergebnis vergleichender Zündversuche an vor Zündung senkrecht und waagrecht gelagerten Flaschen mit Füllmasse X 3

	1	2
Acetylen- beladung in kg/40 l	40-l-Flaschen 204 mm Außendurchm. nahtlos gezogen ISO/CPI-Kopf B = 4 mm kein Fallversuch Flasche nach stehender Lagerung bei 15°C stehend bei 15°C gezündet  10,5 kg Aceton/40 l Masse neu eingefüllt	40-l-Flaschen 204 mm Außendurchm. nahtlos gezogen ISO/CPI-Kopf B = 4 mm kein Fallversuch Flasche nach waagerechter Lagerung bei 15°C liegend bei 15°C gezündet  10,5 kg Aceton/40 l Masse neu eingefüllt
6,9		o L = 4 Ts + 13 Tw p = 20,4/19,6/19,8/28/ 22,5 (3°C) T = 54 (15')/75 (2')
7,2		o L = 4 Ts + 14 Tw p = 21,4/20,7/20,7/45/ 25 (2°C) T = 56 (20')/16
7,5	o L = 7 Ts p = 21,4/21,2/32/18(2°C) T = 34 (7')/-	+ t = 2,5' L = 4 Ts + 16 Tw p = 21,9/21,3/21,2/95/- T = 46/85
	o L = 16 Ts p = 21,3/21,4/35/20(8°C) T = 34 (5')/-	
7,8	+ t = 4'15" L = 7 Ts p = 22,4/22,3/175/- T = 48/16	

#### Zeichenerläuterungen:

o = Flasche gehalten  
+ = Flasche geborsten  
t = Zeit von Zündung bis Bersten  
L = Lagerung der Flaschen  
Ts = Tage senkrecht  
Tw = Tage waagrecht  
sL = senkrechte Lagerung  
wL = waagerechte Lagerung  
- = kein Meßwert bzw. kein Anstieg

p = Spalte 1: Druck bei 15°C / unmittelbar vor Zündung / maximal nach Zündung / etwa 20 h nach Zündung / in atü

Spalte 2: Druck bei 15°C nach sL / Druck bei 15°C nach wL / unmittelbar vor Zündung / maximal nach Zündung / etwa 20 h nach Zündung / in atü

T = Temperatur maximal in °C an der Schulter der Flasche / in 2/3-Flaschenhöhe

Tafel 4

Ergebnis vergleichender Zündversuche an vor Zündung senkrecht und waagrecht gelagerten Flaschen mit Füllmasse X 2

	1	2
Acetylen- beladung in kg/40 l	40-l-Flaschen 204 mm Außendurchm. nahtlos gezogen ISO/CPI-Kopf B = 4 mm Vibrations- u. ISO-Fallversuch Flasche nach stehender Lagerung bei 15°C stehend bei 15°C gezündet  10,5 kg Aceton/40 l Masse neu eingefüllt	40-l-Flaschen 204 mm Außendurchm. nahtlos gezogen ISO/CPI-Kopf B = 4 mm Flasche nach waagerechter Lagerung bei 15°C liegend bei 15°C gezündet  10,2 kg Aceton/40 l (a) 10,3 kg Aceton/40 l (b) Masse neu eingefüllt
7,8	o L = 1 Ts p = 21,5/20,2/30/19,4 T = 56/-	o (a) L = 2 Ts + 18 Tw p = 20/19,8/19,6/25/19,5(2°C) T = 71 (5')/-
	o L = 3 Ts p = 21,8/21,2/30/23,5 T = 107/-	
8,1	+ t = 12'24" L = 1 Ts p = 21,8/22,0/330/- T = > 100/-	o (b) L = 1 Ts + 18 Tw p = -/-/20,3/36/23,5(5°C) T = 143 (17')/20
	o L = 9 Ts p = 23,2/22,5/41/26 T = 130/32	o (b) L = 1 Ts + 19 Tw p = 21,2/21,2/21,3/30/24,5(5°C) T = 135/-
	o L = 19 Ts p = 22,1/22/-/18,3 T = 113/95	
8,4	+ t = 44" L = 2 Ts p = 24,8/23,8/230/- T = 42/15	

Zeichenerläuterungen:

o = Flasche gehalten  
+ = Flasche gebersten  
t = Zeit von Zündung bis Bersten  
L = Lagerung der Flaschen  
Ts = Tage senkrecht  
Tw = Tage waagrecht  
sL = senkrechte Lagerung  
wL = waagerechte Lagerung  
- = kein Meßwert bzw. kein Anstieg

p = Spalte 1: Druck bei 15°C / unmittelbar vor Zündung / maximal nach Zündung / etwa 20 h nach Zündung / in atü

Spalte 2: Druck bei 15°C nach sL / Druck bei 15°C nach wL / unmittelbar vor Zündung / maximal nach Zündung / etwa 20 h nach Zündung / in atü

T = Temperatur maximal in °C an der Schulter der Flasche / in 2/3-Flaschenhöhe

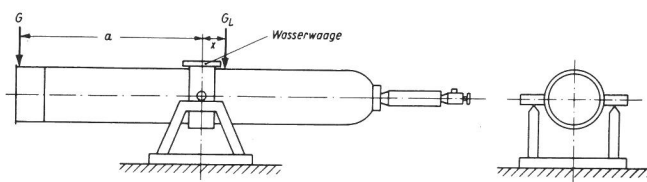


Die Ursache für das unterschiedliche Verhalten der Füllmassen X 1 und X 3 bei Zündungen nach senkrechter oder waagerechter Lagerung gegenüber der Füllmasse X 2 ist in der geringeren Kapillarität der Massen X 1 und X 3 zu sehen. Die Acetylen/Aceton-Lösung ist in Flaschen mit Füllmassen vom Typ X 1 und X 3 nicht gleichmäßig in der porösen Masse über den ganzen Rauminhalt der Flasche verteilt, sondern der Schwerpunkt der Lösung ist bei senkrecht gelagerten Flaschen in Richtung Flaschenfuß verschoben. Bei der waagerechten Lagerung der mit Füllmassen vom Typ X 1 und X 3 gefüllten Flaschen kommt es dann zum Fließen der Acetylen/Aceton-Lösung, und der Schwerpunkt verschiebt sich zum Kopf der Flasche. Dabei wandert die Zone der höheren Energiedichte, d. h. der "Lösungsspiegel" näher zum Flaschenventil und damit näher zur Zündquelle. Unter diesen Bedingungen kann sich der in der Gasphase eingeleitete Acetylenzerfall - wie die Ergebnisse der Versuche zeigen - leichter auf die in der Flasche vorhandene Lösung übertragen.

Bereits früher wurden von der Chemisch-Technischen Reichsanstalt (CTR) Versuche an waagrecht gelagerten Flaschen ausgeführt, die über das Abfließen der flüssigen Phase in den Flaschen Aufschluß geben sollten. Dabei wurden die Flaschen zu Beginn des Versuches in ihrem Schwerpunkt in der Art eines Waagebalkens gelagert. Ein durch das Abfließen der flüssigen Phase bewirktes Absinken des Kopfendes der Flasche wurde durch Auflegen von Gewichten in einem bestimmten Abstand vom ursprünglichen Schwerpunkt ausgeglichen. Aus dem Drehmoment, gegeben durch das Produkt des aufgelegten Gewichtes und des Abstandes, und dem ihm gleichzusetzenden Produkt aus dem Gewicht der flüssigen Phase und der Schwerpunktsverschiebung konnte der Wert dieser Verschiebung ermittelt werden, Bild 13.

$$\text{Schwerpunktsverschiebung } x = \frac{G \cdot a}{G_L}$$

G = Gewichtsauflage am Flaschenfuß  
 a = Abstand des Schwerpunkts der Flasche vom Flaschenfuß vor der waagerechten Lagerung  
 G<sub>L</sub> = Gewicht der Lösung Aceton und Acetylen



**Bild 13**  
 Vorrichtung zur Ermittlung der Verschiebung des Schwerpunkts der Aceton/Acetylen-Lösung bei waagerechter Lagerung der Acetylenflasche

Eine Vorschrift, daß Acetylenbehälter bei der Beförderung und der Lagerung stehen müssen, existiert nicht. Im allgemeinen werden mit Acetylen gefüllte Behälter vom Füllwerk zum Verbraucher liegend transportiert und in der Praxis werden Acetylenbehälter auch liegend aufbewahrt. Lediglich beim Gebrauch, d. h. bei der Gasentnahme, sollen nach § 13 der VBG 15 [22] die Acetylenflaschen stehen oder mit ihrem Flaschenventil mindestens 40 cm höher als der Flaschenfuß gelagert werden, damit die in den Behältern befindliche Lösung nicht in das Ventil gelangen und dann daraus austreten kann. Diese Gefahr ist jedoch bei

den zulässigen Füllungen nach § 29 und § 31 der Technischen Grundsätze [11] und einer Gasentnahme von 1000 l/h (in der 40-l-Flasche) bei waagerechter Lagerung der Flaschen nicht gegeben, sondern erst bei Flaschen, die im Winkel von 45 Grad nach unten geneigt sind [23].

Da eine waagerechte Lagerung der mit Acetylen gefüllten Behälter bei der Handhabung nicht auszuschließen ist und die porösen Massen auch unter diesen Bedingungen einen Acetylenzerfall aufhalten müssen, sind die Acetylenbehälter aufgrund der vergleichenden Untersuchungen vor dem Zündversuch einige Tage waagrecht zu lagern. Diese Erfahrung ist im ISO-Entwurf "Grundlegende Anforderungen an Flaschen für gelöstes Acetylen" berücksichtigt worden, nach dem die mit Lösungsmittel und Acetylen gefüllten Behälter vor Zündung unter anderem mindestens fünf Tage waagrecht gelagert werden müssen.

#### 4.5 Zündversuche an vor Zündung erwärmten Acetylenflaschen

Nach Ziffer 32 Absatz 1 der Technischen Grundsätze zur Druckgasverordnung [11] dürfen Behälter nicht geworfen und in gefülltem Zustand nicht der längeren Einwirkung der Sonnenstrahlen ausgesetzt werden. Der Einwirkung anderer Wärmequellen (Heizkörper, Öfen) sind die Behälter durch hinreichende Entfernung oder Schutzwände zu entziehen. Nach Absatz 7 dürfen gefüllte Behälter im Freien nur gelagert werden, wenn sie in geeigneter Weise gegen die ungünstige Einwirkung der Sonnenstrahlen geschützt sind. Nach Ziffer 34 Absatz 1 sind ferner gefüllte Behälter bei der Beförderung auf Fahrzeugen zeltartig mit einer Decke aus Segeltuch oder in anderer geeigneter Weise gegen die ungünstige Einwirkung der Sonnenstrahlen zu schützen.

Zur Klärung der Frage, ob auf den Sonnenschutz verzichtet werden kann, wurden Zündversuche an mit porösen Massen, Aceton und Acetylen gefüllten 40-l-Flaschen vorgenommen, die neu mit poröser Masse gefüllt worden waren. Sie wurden vor der Zündung drei Stunden lang senkrecht stehend in einem auf 48°C erwärmten Wasserbad gelagert. Ein derartiges Vorgehen beim Versuch erschien deswegen gerechtfertigt, weil eine Erwärmung von Flaschen (und auch Bezinbehältern) auf Temperaturen von sogar mehr als 70°C infolge direkter Sonneneinstrahlung nach drei Stunden wiederholt gemessen worden ist [24, 25].

Ohne Rücksicht darauf, daß es innerhalb dieser Zeit noch nicht zu einer Gleichgewichtseinstellung in den Flaschen gekommen war, wurden die Flaschen unmittelbar danach mit aufgeschraubtem ISO/CPI-Zündventil gezündet. Die Acetylenflaschen waren alle neu mit poröser Masse gefüllt worden.

40-l-Acetylenflaschen, die 10,5 kg Aceton enthielten und deren Acetylen grenzbelastungen bei einer Versuchstemperatur von 15°C zwischen 7,5

und 7,8 kg Acetylen (in der 40-l-Flasche) lagen, barsten nach der beschriebenen vorherigen Erwärmung auf 48°C bei einer Acetylenbeladung von 6,5 kg. Die porösen Massen in den untersuchten Flaschen konnten unter den angegebenen Versuchsbedingungen den eingeleiteten Acetylenzerfall nicht aufhalten. Acetylenflaschen mit der maximal zulässigen Acetylenfüllung nach Ziffer 31 Absatz 3 b der Technischen Grundsätze [11] wären also nach einer direkten Sonneneinstrahlung, die dem Erwärmungsversuch bei ca 48°C entspricht, nicht mehr als sicher anzusehen.

Durch die Versuche ist nachgewiesen, daß eine Erwärmung z.B. durch direkte Sonneneinstrahlung die sichernde Wirkung der porösen Massen in den Acetylenflaschen ungünstig beeinflusst. Infolgedessen muß die Bestimmung, daß die Acetylenflaschen vor direkter Sonneneinstrahlung bei der Lagerung und beider Beförderung zu schützen sind, auch in den neu zu erstellenden Technischen Regeln zur Druckgasverordnung bestehen bleiben.

Angeregt durch diese Ergebnisse wurden Zündversuche an Flaschen unmittelbar an eine dreistündige Erwärmung in einem auf etwa 38°C erwärmten Wasserbad vorgenommen. Die Erwärmung auf 38°C entspricht etwa den Verhältnissen, wie sie in den Sommermonaten (in unseren Breiten) im Schatten vorliegen können. Das wird bestätigt durch vergleichende Druckmessungen an Flaschen mit gleichen Füllungen, die im Schatten aufbewahrt wurden, d.h. die vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt waren.

Die gezündeten Flaschen waren bei diesen vergleichenden Untersuchungen alle neu mit poröser Masse gefüllt worden. Der Acetylenzerfall wurde mit ISO/CPI-Zündventil durch einen durchschmelzenden Platindraht eingeleitet (vgl. Abschnitt 4.2).

Soweit es erforderlich war, wurden bei diesen vergleichenden Untersuchungen zunächst die Grenzbeladungen an Flaschen ermittelt, die vor Zündung bei etwa 15°C senkrecht gelagert worden waren. Dann wurden die Grenzbeladungen ermittelt an Flaschen, die nach dem Füllen mit Lösungsmittel und Acetylen mehrere Tage senkrecht bei etwa 15°C gelagert und dann vor Zündung für drei Stunden senkrecht in ein auf etwa 38°C erwärmtes Wasserbad gestellt worden waren. Zur Zündung wurden die Flaschen aus dem Wasserbad herausgenommen. Die Zeit zwischen Herausnahme aus dem Wasserbad und Zündung betrug fünf bis zehn Minuten. Wie die Ergebnisse zeigen, Tafeln 5 bis 7, wird die sichernde Wirkung der porösen Massen durch eine Wärmeeinwirkung, die etwa den Verhältnissen entspricht, wie sie in den Sommermonaten im Schatten vorliegen können, ungünstig beeinflusst. Die Acetylen Grenzbeladungen in den nach dreistündiger Erwärmung bei etwa 38°C gezündeten Flaschen liegen um 10 bis 15% niedriger als die bei 15°C Versuchstemperatur ermittelten.

Der Wert der Acetylen Grenzbeladung ist von ver-

schiedenen Faktoren abhängig, unter anderem von der Art der porösen Masse, den Füllungen an Aceton und an Acetylen, den Flaschenabmessungen [26], der Porosität der Masse, der Kapillarität der Masse, der Art der Vorbehandlung der Behälter vor Zündung (vgl. Abschnitt 4.4 und Literatur [27, 28]) und - wie im folgenden gezeigt wird - auch von dem freien Volumen F in den Flaschen (in Prozent des Wasservolumens der Flasche)<sup>3)</sup>. Errechnet man für die untersuchten porösen Massen die im Bereich der Grenzbeladungen noch zur Verfügung stehenden Volumina in den Flaschen in Prozent des Wasservolumens der Flaschen (F), so erhält man folgende Werte für F (vgl. Tafel 8):

bei 15°C: Flaschen stehend gezündet

Masse	Porosität	Flasche gehalten	Flasche geborsten
X 1	72 %	F = 3,1 %	F = 1,0 %
X 3	74 %	5,7 %	3,7 %
X 2	78 %	8,7 %	6,7 %
X 4	90 %	11,1 %	8,4 %

bei 38°C: Flaschen stehend gezündet

Masse	Porosität	Flasche gehalten	Flasche geborsten
X 1	72 %	F = 2,8 %	F = 0,7 %
X 3	74 %	5,4 %	3,4 %
X 2	78 %	7,7 %	6,1 %
		(35°C)	(35°C)
X 4	90 %	11,4 %	7,7 %

Die freien Volumina wurden mit Hilfe der von Hölemann und Hasselmann [29] angegebenen Werte über das Volumen von Acetylen/Aceton-Lösungen ermittelt (vgl. Abschnitt 7 und Literatur [30]).

Die Übersicht zeigt, daß bei Porositäten der Füllmassen zwischen 70 und 90% (bis maximal etwa 93%) das freie Volumen F in Flaschen mit hochporösen Massen größer sein muß, wenn diese Massen den eingeleiteten Acetylenzerfall aufhalten sollen. Das gibt auch die graphische Darstellung in Bild 14 wieder, und zwar unabhängig von der Temperatur der Vorbehandlung der Flaschen, die senkrecht gelagert und senkrecht gezündet wurden. Trotz des großen freien Volumens F, das in den Flaschen vorhanden sein muß, liegt bei den hochporösen Massen die Acetylen Grenzbeladung höher als bei Massen mit niedriger Porosität. Es scheint, daß zwei Faktoren hierbei eine wesentliche Rolle spielen: einmal die Kapillarität der porösen Massen, d.h. die Fähigkeit der porösen Massen, die Acetylen/Aceton-Lösung gleichmäßig über den ganzen Rauminhalt der Flasche zu verteilen, und zum anderen die Porosität der porösen Massen, von der auch die höheren Füllungen an Acetylen in den Flaschen abhängen.

<sup>3)</sup> Das Wasservolumen ist das in der Flasche für die Acetylen/Aceton-Lösung noch zur Verfügung stehende Volumen, wenn vom Rauminhalt der Flasche das von den Festteilen der porösen Masse eingenommene Volumen abgezogen wird.

Tafel 5

Ergebnis vergleichender Zündversuche an 40-l-Flaschen bei Temperaturen um 15°C und an erwärmten 40-l-Flaschen bei Temperaturen um 38°C mit der Füllmasse X 1

	1	2
Acetylenfüllung in kg/40 l	40-l-Flaschen 204 mm Außendurchm. nahtlos gezogen ISO/CPI-Kopf B = 4 mm Vibrations- und Fallversuche  Flaschen nach stehender Lagerung bei 15°C stehend bei 15°C gezündet  10,5 kg Aceton/40 l Masse war neu in Flaschen gefüllt worden	40-l-Flaschen 204 mm Außendurchm. nahtlos gezogen ISO/CPI-Kopf B = 4 mm keine Fallversuche  Flaschen nach stehender Lagerung bei 15°C und einer dreistündigen Erwärmung in einem Wasserbad von etwa 38°C stehend gezündet  10,5 kg Aceton/40 l Masse war neu in Flaschen gefüllt worden
6,9		0 L = 10 Ts + 3 hs (38°C) p = -/28,0/27,0/-/- T = 40/-
7,2	0 L = 1 Ts + 7 Tw + 8 Ts p = 20,9/21,2/38/- T = 29/-	+ t = 1' 20" L = 17 Ts + 3 hs (38°C) p = -/30,0/29,5/-/- T = 130/66
7,5	0 L = 1 Ts + 5 Tw + 1 Ts p = 21,8/21,8/30/- T = 38/-	
	0 L = 1 Ts p = 21,4/20,6/-/- T = 34/-	
7,8	+ t = 24" L = 1 Ts + 2 Tw + 3 Ts p = 24,6/23,9/210/- T = 50/-	

#### Zeichenerläuterungen:

0 = Flasche gehalten  
+ = Flasche geborsten  
t = Zeit von Zündung bis Bersten  
L = Lagerung der Flaschen  
Ts = Tage senkrecht  
Tw = Tage waagrecht  
hs = Stunden senkrecht  
sL = senkrechte Lagerung  
- = kein Meßwert bzw. kein Anstieg  
B = Bohrung des Zündventils  
h = Stunden

p = Spalte 1: Druck bei 15°C / unmittelbar vor Zündung / maximal nach Zündung / etwa 20 h nach Zündung in atü

Spalte 2: Druck bei 15°C nach sL / Druck nach 3 h sL bei 38°C / unmittelbar vor Zündung / maximal nach Zündung / etwa 20 h nach Zündung in atü

T = Temperatur maximal nach Zündung in °C an der Schulter der Flasche / in 2/3-Flaschenhöhe

Tafel 6

Ergebnis vergleichender Zündversuche an 40-l-Flaschen bei Temperaturen um 15°C und an erwärmten 40-l-Flaschen bei Temperaturen um 38°C mit der Füllmasse X 3

	1	2
Acetylenfüllung in kg/40 l	40-l-Flaschen 204 mm Außendurchm. nahtlos gezogen ISO/CPI-Kopf B = 4 mm kein Fallversuch  Flasche nach stehender Lagerung bei 15°C stehend bei etwa 15°C gezündet  10,5 kg Aceton/40 l Masse war neu in Flaschen gefüllt worden	40-l-Flaschen 204 mm Außendurchm. nahtlos gezogen ISO/CPI-Kopf B = 4 mm kein Fallversuch  Flasche nach senkrechter Lagerung bei 15°C und einer dreistündigen Erwärmung in einem Wasserbad von etwa 38°C stehend gezündet  10,5 kg Aceton/40 l Masse war neu in Flaschen gefüllt worden
6,9		0 L = 4 Ts + 3 hs (38°C) p = 19,9/28,2/27,5/-/- T = 54/-
7,2		+ t = 7,3' L = 5 Ts + 3 hs (38°C) p = 20,3/29,8/29,5/-/- T = 56/38
7,5	0 L = 7 Ts p = 21,4/21,2/32/18 (2°C) T = 34/-	
	0 L = 16 Ts p = 21,3/21,4/35/20 (8°C) T = 34/-	
7,8	+ t = 4' 15" L = 7 Ts p = 22,4/22,3/175/- T = 48/16	

Zeichenerläuterungen:

0 = Flasche gehalten  
+ = Flasche gebersten  
t = Zeit von Zündung bis Bersten  
L = Lagerung der Flaschen  
Ts = Tage senkrecht  
hs = Stunden senkrecht  
sL = senkrechte Lagerung  
- = kein Meßwert bzw. kein Anstieg  
B = Bohrung des Zündventils  
h = Stunden

p = Spalte 1: Druck bei 15°C / unmittelbar vor Zündung / maximal nach Zündung / etwa 20 h nach Zündung in atü

Spalte 2: Druck bei 15°C nach sL / Druck nach 3 h sL bei 38°C / unmittelbar vor Zündung / maximal nach Zündung / etwa 20 h nach Zündung in atü

T = Temperatur maximal nach Zündung in °C an der Schulter der Flasche / in 2/3-Flaschenhöhe

Tafel 7

Ergebnis vergleichender Zündversuche an 40-l-Flaschen bei Temperaturen um 15°C und an erwärmten 40-l-Flaschen bei Temperaturen um 38°C mit der Füllmasse X 4

	1	2
Acetylenfüllung in kg/40 l	40-l-Flaschen 232 mm Außendurchm. 1175 mm Länge ISO/CPI-Kopf B = 4 mm kein Fallversuch  Flaschen nach stehender Lagerung bei 15°C stehend bei etwa 15°C gezündet  12,2 (12,3) kg Aceton/40 l Masse war neu in Flaschen gefüllt worden	40-l-Flaschen 232 mm Außendurchm. 1175 mm Länge ISO/CPI-Kopf B = 4 mm kein Fallversuch  Flaschen nach stehender Lagerung bei 15°C und einer dreistündigen Erwärmung in einem Wasserbad von etwa 38°C stehend gezündet  12,1 (12,2) kg Aceton/40 l Masse war neu in Flaschen gefüllt worden
7,8		0 L = 6 Ts + 3 hs (38°C) p = 19,5/27,3/26,5/-/21 (9°C) T = 47 (12')/- 12,1 kg Aceton/40 l
8,4		+ t = 95' L = 8 Ts + 3 hs (38°C) p = 22,0/30,0/29,5/-/- T = 53/30 12,2 kg Aceton/40 l
8,7	0 L = 14 Ts p = 22,6/22,7/Abfall/18,5 (5°C) T = 17/- 12,3 kg Aceton/40 l Druckmeßeinrichtung bei Zündung undicht geworden!	
9,0	0 L = 8 Ts p = 23,5/23,9/48/30 (7°C) T = 42/19 12,2 kg Aceton/40 l	
	+ t = 95' L = 13 Ts p = 23,3/23,6/135/- T = 66/25 12,2 kg Aceton/40 l	
9,3	+ t = 7" L = 9 Ts p = 24,4/24,5/90/- T = 32/75 12,3 kg Aceton/40 l	
<p><u>Zeichenerläuterungen:</u></p> <p>0 = Flasche gehalten + = Flasche geborsten t = Zeit von Zündung bis Bersten L = Lagerung der Flaschen Ts = Tage senkrecht hs = Stunden senkrecht sL = senkrechte Lagerung - = kein Meßwert bzw. kein Anstieg B = Bohrung des Zündventils h = Stunden</p> <p>p = Spalte 1: Druck bei 15°C / unmittelbar vor Zündung / maximal nach Zündung / etwa 20 h nach Zündung in atü</p> <p>Spalte 2: Druck bei 15°C nach sL / Druck nach 3 h sL bei 38°C / unmittelbar vor Zündung / maximal nach Zündung / etwa 20 h nach Zündung in atü</p> <p>T = Temperatur maximal nach Zündung in °C an der Schulter der Flasche / in 2/3-Flaschenhöhe</p>		

Tafel 8

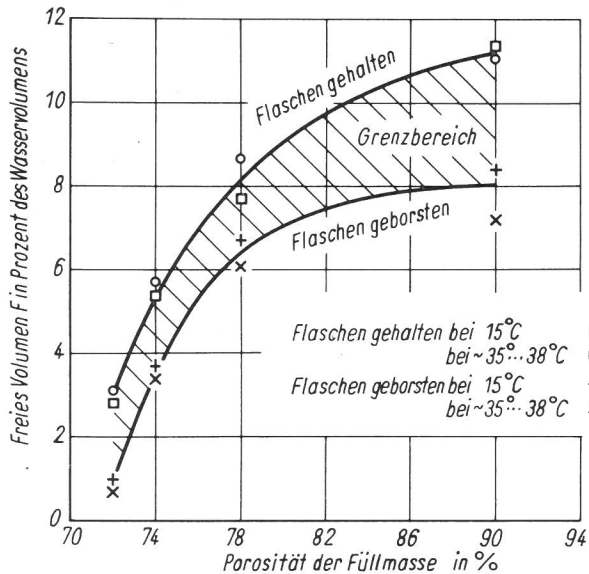
Abhängigkeit des freien Volumens F (in Prozent des Wasservolumens) von der Porosität der Füllmasse im Bereich der Acetyलगrenzbeladungen

Füllmasse	Porosität P in %	Wasservolumen $V_W$ in l $V_W = V_B \cdot P \cdot 10^{-2}$	Acetonfüllung $g_L$ in kg Aceton je 40-l-Flasche	Acetylenfüllung $g_A$ in kg Acetylen je 40-l-Flasche	Füllverhältnis C in kg Acetylen je kg Aceton	Volumen der Lösung $v_L$ bei (°C) in l Lösung je kg Aceton	Volumen der Lösung $V_L$ bei (°C) in l Lösung je Gesamtmenge Aceton	Freies Volumen $V_F$ in l	Freies Volumen F in Prozent des Wasservolumens
X 3	74	29,6	10,5	6,9	0,657	2,67 (38°C)	28,0 (38°C)	1,6 (38°C)	5,4 (38°C)
			10,5	7,2	0,686	2,725 (38°C)	28,6 (38°C)	1,0 (38°C)	3,4 (38°C)
			10,5	7,5	0,714	2,655 (15°C)	27,9 (15°C)	1,7 (15°C)	5,7 (15°C)
			10,5	7,8	0,743	2,715 (15°C)	28,5 (15°C)	1,1 (15°C)	3,7 (15°C)
X 1	72	28,8	10,5	6,9	0,657	2,67 (38°C)	28,0 (38°C)	0,8 (38°C)	2,8 (38°C)
			10,5	7,2	0,686	2,725 (38°C)	28,6 (38°C)	0,2 (38°C)	0,7 (38°C)
			10,5	7,5	0,714	2,655 (15°C)	27,9 (15°C)	0,9 (15°C)	3,1 (15°C)
			10,5	7,8	0,743	2,715 (15°C)	28,5 (15°C)	0,3 (15°C)	1,0 (15°C)
X 4	90	36,0	12,1	7,8	0,645	2,64 (38°C)	31,9 (38°C)	4,1 (38°C)	11,4 (38°C)
			12,2	8,4	0,69	2,735 (38°C)	33,4 (38°C)	2,6 (38°C)	7,2 (38°C)
			12,3	8,7	0,707	2,64 (15°C)	32,5 (15°C)	4,0 (15°C)	11,1 (15°C)
			12,2	9,0	0,738	2,705 (15°C)	33,0 (15°C)	3,0 (15°C)	8,4 (15°C)

Zeichenerläuterungen

P = Porosität der Füllmasse in %  
 $V_W$  = Wasservolumen der Flasche in l  
 $V_B$  = Gesamtrauminhalt der Flasche in l  
 $V_F$  = Freies Volumen in einer Flasche in l  
 $g_A$  = Füllgewicht Acetylen in der Flasche in kg

$g_L$  = Füllgewicht Aceton in der Flasche in kg  
C = Füllverhältnis in kg Acetylen je kg Aceton  
F = Freies Volumen in Prozent des Wasservolumens der Flasche  
 $v_L$  = Volumen der Lösung in l Lösung je kg Aceton  
 $V_L$  = Volumen der Lösung in l Lösung je Gesamtmenge Aceton



Da eine Erwärmung von mit Acetylen gefüllten Behältern bei der praktischen Handhabung nicht auszuschließen ist und die porösen Massen auch unter diesen Bedingungen einen Acetylenzerfall aufhalten müssen, sind die Acetylenbehälter aufgrund der vergleichenden Untersuchungen vor dem Zündversuch unter anderem auch für drei Stunden in ein auf etwa 35 bis 38°C erwärmtes Wasserbad zu stellen. Diese Erfahrung ist auch im ISO-Entwurf "Grundlegende Anforderungen an Flaschen für gelöstes Acetylen" berücksichtigt worden.

Bild 14

Abhängigkeit des freien Volumens F (in Prozent des Wasservolumens) von der Porosität der Füllmasse im Bereich der Acetyलगrenzbeladungen

Die Ergebnisse der in den Abschnitten 4.3 bis 4.5 beschriebenen Versuche führten zu dem folgenden im ISO-Normentwurf vorgeschlagenen kombinierten Fall- und Zündversuch:

### a) Fallbehandlung

Die Flaschen werden mit dem vom Hersteller der Masse angegebenen Lösungsmittelgewicht gefüllt und mit Acetylen bei Atmosphärendruck gesättigt.

Jede Flasche wird zehnmal hintereinander aus einer Höhe von 70 cm auf eine Kunststoffplatte fallengelassen. Die Kunststoffplatte liegt auf einem Betonwürfel der Kantenlänge von 1 m.

Jedes Absacken oder andere während der Fallprüfung entstehende Schäden an der porösen Masse dürfen vor der Zündung nicht ausgebessert werden.

### b) Zündversuch:

Nach der Fallbehandlung werden die Flaschen mit dem ISO/CPI-Zündventil ausgerüstet und mit dem höchsten vom Hersteller der Masse vorgeschlagenen Acetylengewicht mit einer Überladung von 5 Gew.-% gefüllt.

Die Zündkammer im ISO/CPI-Zündventil sollte

einen Durchmesser von 30 mm haben; das Volumen sollte  $75 \text{ cm}^3$  betragen. Der Zündkanal, der die Zündkammer mit dem Inneren der Flasche verbindet, sollte einen Durchmesser von 4 mm haben und nicht länger als 70 mm sein.

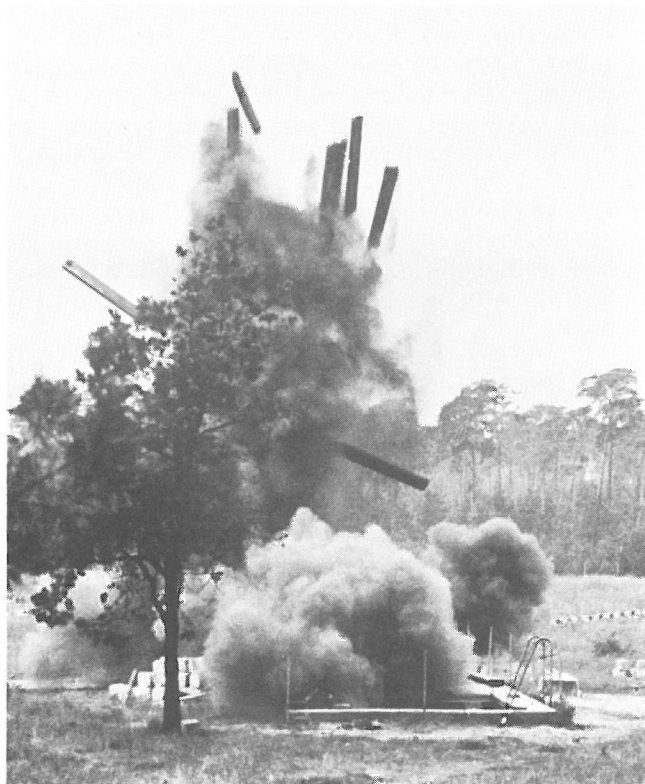
Das Explosionsrohr (Zündkammer) soll mit einer Zündeinrichtung versehen sein, die aus einem geeigneten Draht, zum Beispiel Wolfram, von 0,2 mm Durchmesser und 15 mm Länge besteht.

Die Prüfflasche wird, nachdem sie fünf Tage bei einer Temperatur zwischen 15 und  $20^\circ\text{C}$  waagrecht gelagert und 3 h senkrecht stehend in einem Wasserbad von  $35^\circ\text{C}$  erwärmt wurde, in die senkrechte Zündstellung gebracht. Zur Verhinderung der Abkühlung bis zur Zeit der Zündung soll sie mit einem wärmedämmenden Stoff bedeckt sein und innerhalb 1 h nach Herausnahme aus dem Wasserbad gezündet werden, indem der Zünddraht mit einer Spannung von 110 Volt geschmolzen wird.

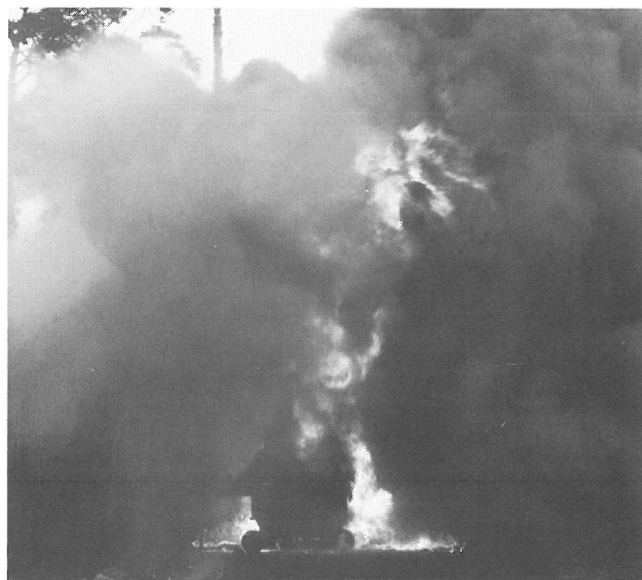
Die Flasche hat die Prüfung nicht bestanden, wenn sie innerhalb von 24 h aufreißt oder wenn die Sicherheitsvorrichtungen ansprechen. Alle ausgewählten Flaschen müssen die Zündprüfung bestehen. Der Zündprüfung müssen mindestens drei Flaschen unterworfen werden.

## 6. Versuchsanlage für Zündversuche mit Acetylenflaschen

In der Bundesanstalt für Materialprüfung werden die mit Aceton und Acetylen gefüllten Acetylenflaschen in einer besonderen Zündgrube gezündet. Diese besteht aus einem Rohr von etwa 2000 mm Länge und etwa 1185 mm lichter Weite bei einer Wanddicke von 14 mm. Unmittelbar benachbart befindet sich ein gleich weites Rohr, jedoch von kürzerer Länge, zur Aufnahme von Meß- oder Registrierinstrumenten und der elektrischen Anschlüsse der Leitungen zum 50 m entfernten Beobachtungsbunker. Sowohl das Rohr zur Aufnahme der Acetylenflasche als auch das Rohr zur Aufnahme der Meß- und Registriereinrichtungen sind einbetoniert. Als Abdeckung der Zündgrube wird ein auf Schienen verschiebbarer Wagen mit pyra-



**Bild 15**  
Auswirkung beim Bersten einer mit Acetylen überfüllten Acetylenflasche. Unterirdische Zündgrube war mit mehreren Lagen Eisenbahnschwellen abgedeckt

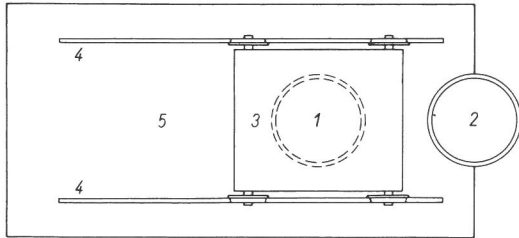


**Bild 16**  
Zündversuchsstand unmittelbar nach dem Bersten einer mit Acetylen überladenen Acetylenflasche. Die schwarzen Wolken stammen von dem bei der Zersetzung des Acetylens entstandenen Ruß



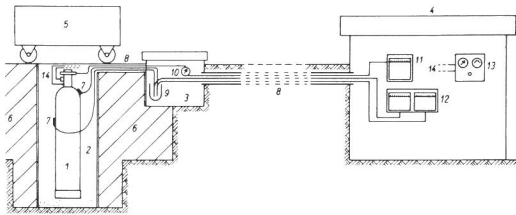
**Bild 17**  
Zündversuchsstand etwa 1 Minute nach dem Bersten einer mit Acetylen überladenen Acetylenflasche





1. Zündgrube, Stahlrohr 1185<sup>6</sup> x 2100 mm i. Betonfundament 5 eingelassen
2. Meßgerätekammer, Stahlrohr 1185<sup>6</sup> x 900 mm
3. Grubenabdeckung 5 t, Kastenwagen mit Sandfüllung und Flaschenkran
4. Fahrsschienen für Grubenabdeckung
5. Betonfundament 4900 L x 2500 B

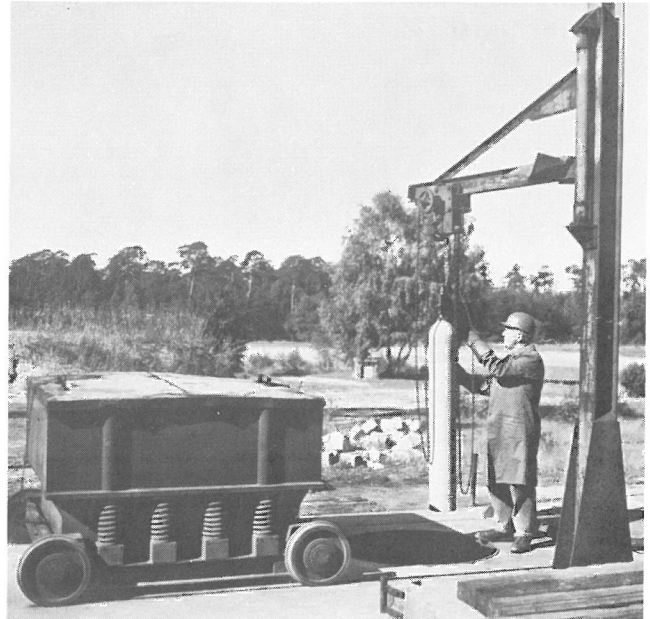
**Bild 18**  
Versuchsanlage für Zündversuche mit Acetylenflaschen (schematisch)



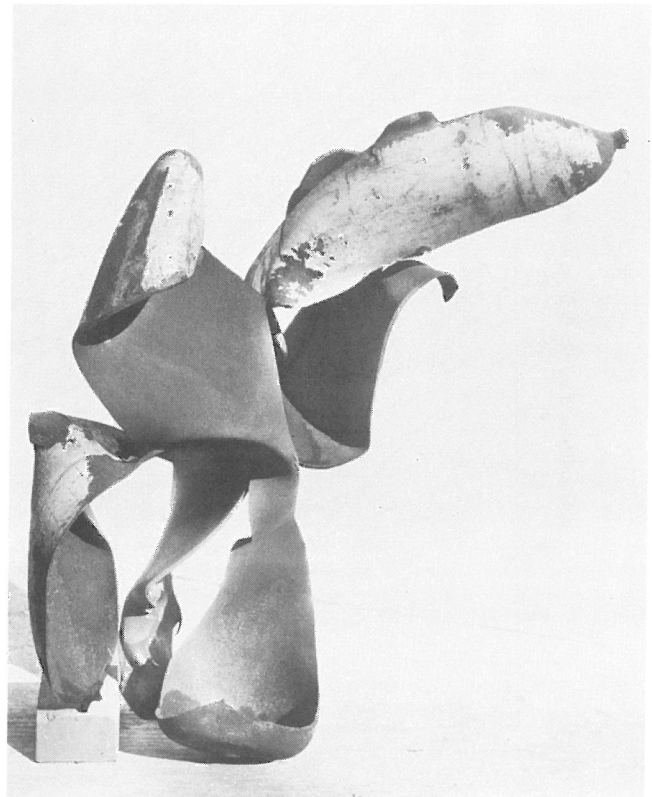
1. Acetylenflasche
2. Zündgrube
3. Meßgerätekammer
4. Beobachtungsstand
5. Grubenabdeckung 5 t
6. Betonfundament
7. Thermoelemente
8. Meßleitungen
9. Nullstelle für Thermoelemente
10. Druckferengeber
11. Druckschreiber
12. Temperaturschreiber
13. Zündgerät
14. Zündleitung

**Bild 19**  
Versuchsaufbau für Zündversuch (schematisch)

midenförmigem Boden verwendet. Der Wagen hat mit Sandfüllung ein Gesamtgewicht von 5 t. Er verhindert ein Herausschleudern von Flaschenteilen, wenn Versuchsflaschen bei den Zündungen bersten. Die Auswirkungen beim Bersten von Flaschen zeigen z. B. die Bilder 15 bis 17. Die Versuchsanlage für die Zündversuche wird durch die Bilder 18 bis 20 wiedergegeben. Bild 21 gibt beispielhaft eine beim Zündversuch geborstene Acetylenflasche wieder, in der die poröse Masse den eingeleiteten Acetylenzerfall nicht aufhalten konnte.

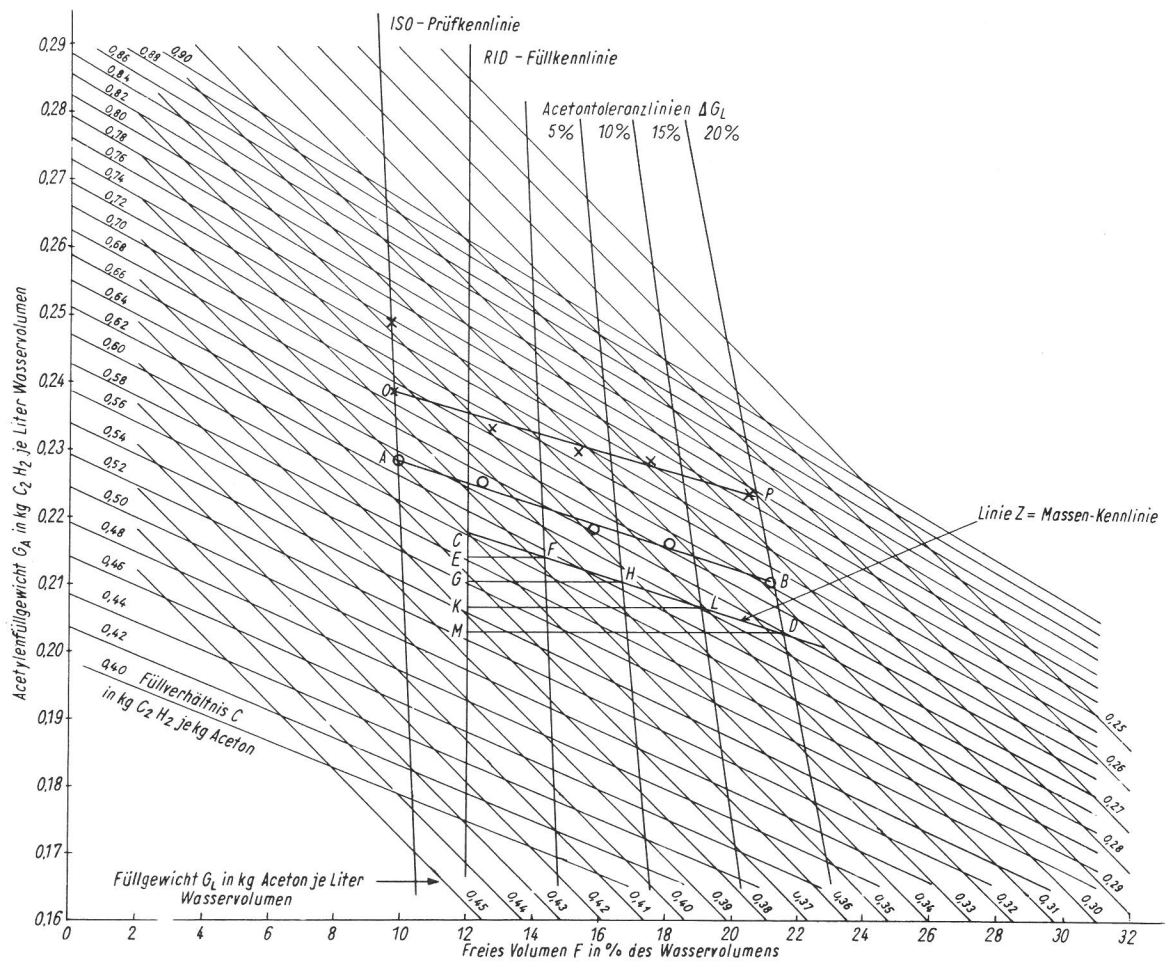


**Bild 20**  
Versuchsanlage für Zündversuche mit Acetylenflaschen. Absenken einer Acetylenflasche in unterirdische Zündgrube



**Bild 21**  
Beim Zündversuch geborstene Acetylenflasche

## 7. Bestimmung der maximal zulässigen Acetylenfüllung in Acetylenflaschen [ 30 ]



**Bild 22**  
 Abhängigkeit des Acetylenfüllgewichtes vom freien Volumen, Füllverhältnis und Acetonfüllgewicht

Im folgenden soll ein Verfahren beschrieben werden, nach dem in Verbindung mit den Zündversuchen nach ISO/CPI (vgl. Abschnitt 4) graphisch und durch Rechnung die zulässige höchste in Acetylenflaschen einfüllbare Acetylenmenge bestimmt werden kann.

Das Diagramm in Bild 22 gibt den Zusammenhang zwischen den Füllgewichten an Aceton und an Ace-

tylen in den Flaschen und dem in den Flaschen noch vorhandenem freien Volumen wieder. Im Diagramm (Bild 22) wurde als Abszisse das freie Volumen  $F$  (in Prozent des Wasservolumens der Flasche bei einer Bezugstemperatur von  $15^{\circ}\text{C}$ ) und als Ordinate das Füllgewicht an Acetylen  $G_A$  in den Flaschen (in kg Acetylen je Liter Wasservolumen) gewählt. Ferner sind in dem Diagramm enthalten die Linien gleicher Füllverhältnisse  $C$  (in kg Acetylen je kg Aceton) und die Linien gleicher Acetonfüllgewichte  $G_L$  (in kg Aceton je Liter Wasservolumen). Das Verfahren, die Füllgewichte an Lösungsmittel und Acetylen auf die Einheit

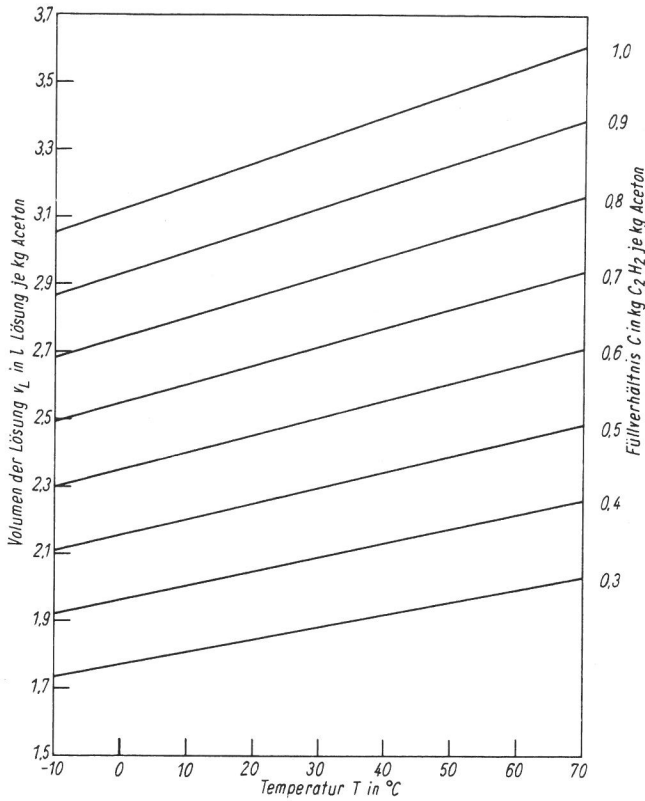


Bild 23  
Volumen der Acetylen/Aceton-Lösung in Abhängigkeit von der Temperatur  $T$  (unter Berücksichtigung der Werte von Hölemann und Hasselmann [29])

des Wasservolumens zu beziehen, bietet den Vorteil, daß das Diagramm in Bild 22 für alle porösen Massen und alle Flaschengrößen verwendet werden kann.

Das Wasservolumen  $V_W$  (in Liter) ist das in der Flasche für die Acetylen/Aceton-Lösung noch zur Verfügung stehende Volumen, wenn vom Rauminhalt der Flasche das von den Festteilen der porösen Masse eingenommene Volumen abgezogen wird. Es wird berechnet nach:

$$(1) V_W = P \cdot V_B \cdot 10^{-2} \quad (\text{in Liter}),$$

wo  $P$  die Porosität der Masse in Prozent und  $V_B$  der Rauminhalt der Flasche in Liter ist.

Nach den von Hölemann und Hasselmann [29] angegebenen Meßwerten über das Volumen der Acetylen/Aceton-Lösung bei 0, 15, 25, 40 und 50°C wurden in Abhängigkeit vom Füllverhältnis  $C$  Kurven aufgestellt für das Volumen der Acetylen/Aceton-Lösung  $v_L$  (in Liter Lösung je kg Aceton), aus denen durch Extrapolation Werte für das Lösungsvolumen erhalten wurden für Temperaturen, bei denen keine Messungen ausgeführt worden waren. Aus dieser graphischen Extrapolationsmethode resultierten die Diagramme in den Bildern 23 und 24. Im Diagramm in Bild 23 ist das Volumen der Acetylen/Aceton-Lösung  $v_L$  in Abhängigkeit von der Temperatur  $T$  für verschiedene Füllverhältnisse  $C$  und im Diagramm in Bild 24 ist das Volumen der Acetylen/Aceton-Lösung  $v_L$  in Abhängigkeit vom Füllverhältnis  $C$  für verschiedene

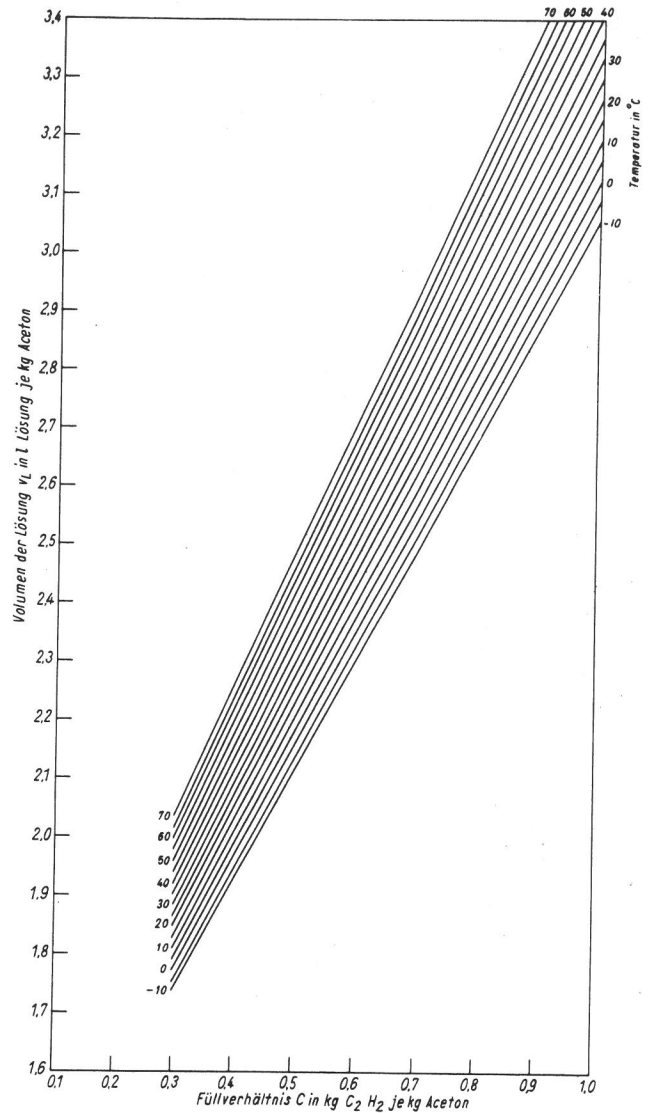


Bild 24  
Volumen der Acetylen/Aceton-Lösung in Abhängigkeit vom Füllverhältnis (unter Berücksichtigung der Werte von Hölemann und Hasselmann [29])

Temperaturen  $T$  eingetragen. Bei Füllverhältnissen zwischen 0,3 und 1,0 kg Acetylen je kg Aceton nimmt das Volumen der Lösung  $v_L$  linear mit steigendem Füllverhältnis zu. Für die Abhängigkeit des Volumens der Acetylen/Aceton-Lösung  $v_L$  von dem Füllverhältnis  $C$  zwischen 0,3 und 1,0 kg Acetylen je kg Aceton und der Temperatur  $T$  zwischen -10°C und 70°C gilt die Beziehung:

$$(2) v_L(C, T) = (1,933 \cdot C + 1,193) + (0,00453 \cdot C + 0,00246) T$$

(in Liter Lösung je kg Aceton)

Daraus ergeben sich für 15°C und 65°C:

$$(2a) v_L(C, 15^\circ\text{C}) = 2,001 \cdot C + 1,23$$

(in Liter Lösung je kg Aceton)

$$(2b) v_L(C, 65^\circ\text{C}) = 2,227 \cdot C + 1,353$$

(in Liter Lösung je kg Aceton)

Das Füllverhältnis  $C$  (in kg Acetylen je kg Aceton) ist gegeben durch:

$$(3) C = \frac{g_A}{g_L} \quad (\text{in kg Acetylen je kg Aceton}),$$

wo  $g_A$  das Acetylenfüllgewicht in der Flasche in kg und  $g_L$  das Acetonfüllgewicht in der Flasche in kg ist.

Das gesamte Volumen der Lösung in einer mit Aceton und Acetylen gefüllten Acetylenflasche ist

$$(4) V_L = v_L \cdot g_L \quad (\text{in Liter})$$

Das freie Volumen in der Flasche  $V_F$  (in Liter) ergibt sich aus der Differenz des Wasservolumens der Flasche  $V_W$  und des Volumens der Lösung in der Flasche  $V_L$  nach

$$(5) V_F = V_W - V_L \quad (\text{in Liter})$$

und das freie Volumen  $F$  (in Prozent des Wasservolumens der Flasche) ist dann

$$(6) F = \frac{V_F}{V_W} \cdot 100 = \frac{V_W - V_L}{V_W} \cdot 100 = 100 - \frac{V_L}{V_W} \cdot 100 \quad (\text{in Prozent}).$$

Von diesen Grundgleichungen (1) bis (6) ausgehend lassen sich bei einer Bezugstemperatur von 15°C folgende Größen berechnen:

1. Das freie Volumen  $F$  (in Prozent des Wasservolumens der Flasche) in Abhängigkeit von der Porosität der Masse  $P$  und den in den Flaschen vorhandenen Füllgewichten an Aceton  $g_L$  (in kg Aceton) und an Acetylen  $g_A$  (in kg Acetylen) nach

$$(7) F = 100 \cdot (1 - 2,004 \cdot G_A - 1,232 \cdot G_L) \quad (\text{in Prozent})$$

2. Das Füllgewicht an Acetylen  $G_A$  (in kg Acetylen je Liter Wasservolumen) für konstante Werte des Füllverhältnisses  $C$  (in kg Acetylen je kg Aceton) in Abhängigkeit vom freien Volumen  $F$  (in Prozent des Wasservolumens der Flasche) nach

$$(8) G_A = \frac{C}{2,001 \cdot C + 1,23} \cdot \left(1 - \frac{F}{100}\right)$$

(in kg Acetylen je Liter Wasservolumen).

Das sind nicht parallele Geraden, Diagramm in Bild 22.

3. Das Füllgewicht an Acetylen  $G_A$  (in kg Acetylen je Liter Wasservolumen) für konstante Werte der Acetonfüllung  $G_L$  (in kg Aceton je Liter Wasservolumen) in Abhängigkeit von dem freien Volumen  $F$  (in Prozent des Wasservolumens der Flasche) nach

$$(9) G_A = 0,499 \cdot \left(1 - \frac{F}{100}\right) - 0,615 \cdot G_L$$

(in kg Acetylen je Liter Wasservolumen).

Das sind parallele Geraden, Diagramm in Bild 22.

Nach der "Internationalen Ordnung für die Beförderung von gefährlichen Gütern im internationalen Eisenbahn-Frachtverkehr" - RID, Randnummer (Rn) 151 (2) - muß "die Menge des Lösungsmittels (Aceton), bezogen auf 15°C, so bemessen sein, daß die Vergrößerung, die sein Volumen durch die Aufnahme von Acetylen bis zum Fülldruck erfährt, im Inneren der porösen Masse einen Raum freiläßt, der mindestens 12% des Wasservolumens entspricht, das das Gefäß fassen kann". Bei Einhaltung eines freien Volumens von 12% des Wasservolumens der Flasche bei 15°C wird gewährleistet, daß in den Flaschen bei 5%iger Überfüllung mit Acetylen und Erwärmung auf 65°C noch kein Flüssigkeitsdruck auftritt, d. h. nach RID gilt

$$(10) V_L(C, 15^\circ\text{C}) \leq 0,88 \cdot V_W$$

und nach dem ISO-Erwärmungsversuch bei 65°C [31, 32]

$$(11) V_L(1,05 \cdot C, 65^\circ\text{C}) \leq V_W$$

Es muß also das Volumen der Acetylen/Aceton-Lösung bei 5%iger Acetylenüberfüllung und 65°C kleiner oder gleich sein dem Volumen der Acetylen/Aceton-Lösung bei 15°C unter Einhaltung eines freien Volumens von 12% des Wasservolumens der Flasche, d. h. es muß sein

$$(12) V_L(1,05 \cdot C, 65^\circ\text{C}) \leq \frac{1}{0,88} \cdot V_L(C, 15^\circ\text{C})$$

bzw. wegen Gleichung (4)

$$(12a) v_L(1,05 \cdot C, 65^\circ\text{C}) \leq \frac{1}{0,88} \cdot v_L(C, 15^\circ\text{C})$$

Unter Berücksichtigung der Gleichungen (2a) und (2b) ergibt sich

$$(12b) 2,227 \cdot (1,05 \cdot C) + 1,353 = (2,001 \cdot C + 1,23) \cdot \frac{1}{0,88}$$

Die Gleichung (12b) ist erfüllt für  $C = 0,694$  (in kg Acetylen je kg Aceton). Für das Füllverhältnis  $C = 0,8$  muß  $V_L/V_W = 0,878$  sein, also  $F = 12,2\%$  betragen, d. h. das freie Volumen  $F$  muß nur wenig mehr als 12% betragen. Für alle praktisch in Frage kommenden Füllverhältnisse  $C$  sind damit die Bedingungen nach ISO und RID im Diagramm in Bild 22 erfüllt.

Die Acetylen/Aceton-Füllkombinationen, die der 12%-Bedingung genügen, sind aus dem Diagramm in Bild 22 auf der RID-Füllkennlinie abzulesen. Für ein freies Volumen  $F = 12\%$  des Wasservolumens ist bei gegebenem Acetonfüllgewicht  $G_L$  (in kg Aceton je Liter Wasservolumen) das Acetylenfüllgewicht zu berechnen nach

$$(9a) G_A (\text{bei } 12\%) = 0,439 - 0,615 \cdot G_L$$

(in kg Acetylen je Liter Wasservolumen).

Welche Acetylen/Aceton-Füllkombination auf dieser RID-Füllkennlinie sicherheitstechnisch zulässig ist, kann nur durch Versuch ermittelt werden. Dazu werden von der Bundesanstalt für Materialprüfung Zündversuche an den mit Aceton und mit Acetylen gefüllten Flaschen vorgenommen, und zwar in Anlehnung an die Vorschläge im ISO-Normblatt-Entwurf (vgl. Abschnitt 5 und Literatur [31, 32]). Bei dem Zündversuch enthalten die Flaschen entsprechend dem ISO-Vorschlag 5 Gew.-% Acetylen mehr als die RID-Füllkennlinie angibt. Das für die Zündversuche nach ISO in die Flaschen zu füllende Acetylen wird berechnet nach

$$(9b) G_A(\text{bei } 5\% \text{ Überf.}) = 1,05 \cdot (0,439 - 0,615 \cdot G_L)$$

(in kg Acetylen je Liter Wasservolumen).

Im Diagramm in Bild 22 gibt die links der RID-Füllkennlinie verlaufende ISO-Prüfkennlinie bei gegebenem Acetonfüllgewicht  $G_L$  (in kg Aceton je Liter Wasservolumen) das für den Versuch einzufüllende Acetylengewicht  $G_A$  (in kg Acetylen je Liter Wasservolumen) wieder. Für die ISO-Prüfkennlinie gilt die Beziehung

$$(13) G_A = 1,2 - 0,0998 \cdot F$$

(in kg Acetylen je Liter Wasservolumen).

Die ISO-Prüfkennlinie stellt eine Gerade dar.

Die Zündversuche nach ISO (vgl. Abschnitt 5 und Literatur [31, 32]) mit den Füllgewichten an Aceton und an Acetylen nach den Bedingungen der ISO-Prüfkennlinie geben Aufschluß darüber, wieviel Acetylen maximal in die Acetylenflaschen gefüllt werden kann, wenn in der Flasche noch ein freies Volumen von 12 % des Wasservolumens der Flasche vorhanden sein soll (bei einer Bezugstemperatur von 15°C). Durch weitere systematische Zündversuche unter Füllbedingungen rechts von der RID-Füllkennlinie (Diagramm in Bild 22) werden unter Berücksichtigung der 5 %igen Acetylenüberfüllung die Füllgewichte an Acetylen und Aceton ermittelt, bei denen ein eingeleiteter Acetylenzerfall gerade noch aufgehalten wird, wenn das freie Volumen in den Flaschen mehr als 12 % des Wasservolumens der Flaschen beträgt.

Aus einer großen Zahl von Zündversuchen an Flaschen mit verschiedenen porösen Massen ist bekannt, daß bei freien Volumina von mehr als 12 % die porösen Massen den eingeleiteten Acetylenzerfall bei höheren Konzentrationen aufhalten können als auf der RID-Füllkennlinie, daß jedoch bei den bisher untersuchten porösen Massen das in die Flaschen einfüllbare Acetylengewicht  $G_A$  unter dem auf der RID-Füllkennlinie ermittelten liegt. Die Verbindungslinien der Punkte im Diagramm in Bild 22, wo die Massen den eingeleiteten Acetylenzerfall gerade noch aufhalten, stellen in dem Bereich des freien Volumens  $F$  von 12 bis 24 % in erster Näherung gerade Linien dar. Die sich aus diesen Linien ergebenden Linien  $Z$  grenzen alle zulässigen Füllungen an Acetylen und an Aceton ab, d.h. alle zulässigen Füllungen werden in dem Diagramm in Bild 22 durch die Fläche unter-

halb der Linie  $Z$  und rechts der RID-Füllkennlinie gekennzeichnet. Die Linie  $Z$  ist die charakteristische Kennlinie für jede poröse Masse einer bestimmten Flaschengruppe.

Einige der porösen Massen können auch dann einen eingeleiteten Acetylenzerfall aufhalten, wenn das freie Volumen kleiner ist als bei den Füllbedingungen nach der ISO-Prüfkennlinie. In diesem Falle kann unter Berücksichtigung der 5 %igen Acetylenüberfüllung das Acetylenfüllgewicht über dem maximal zulässigen auf der RID-Füllkennlinie liegenden Wert liegen. Die Ergebnisse solcher Versuche sind von theoretischem Interesse, in der Praxis jedoch würden in den so mit Acetylen und Aceton beladenen Flaschen bei Erwärmung auf 65°C Flüssigkeitsdrücke auftreten. Nach dem Ergebnis bisher ausgeführter Zündversuche mit verschiedenen porösen Massen liegt die in der Praxis maximal einfüllbare Menge Acetylen auf der RID-Füllkennlinie. Das zum maximalen Acetylengewicht zugehörige Acetongewicht darf dabei weder über- noch unterschritten werden.

Für den Fall, daß die Acetylenflaschen nicht bei jeder Acetylenfüllung nachacetoniert werden sollen, sondern nur dann, wenn das Acetongewicht einen bestimmten Wert unterschreitet, geben die Geraden für die Aceton-Toleranzlinien im Diagramm in Bild 22 im Schnittpunkt mit der Massenkennlinie  $Z$  die unterste Grenze für das Acetonfüllgewicht an, wenn bei gegebenem Acetylenfüllgewicht zwischen dem Höchst- und Mindest-Acetonfüllgewicht Toleranzen von 5, 10, 15 oder 20 Gew.-% erwünscht sind. Bei gegebenem Acetylenfüllgewicht lassen sich die Acetonfüllgewichte unter Berücksichtigung der Aceton-Toleranzen  $A_T$  berechnen nach:

$$(9c) G_L = [1,626 \cdot (0,439 - G_A)] \cdot A_T$$

(in kg Aceton je Liter Wasservolumen)

$$A_T = 0,95; 0,9; 0,85; 0,8.$$

Für die Aceton-Toleranzlinien gilt die Beziehung:

$$(14) G_A = \frac{1}{1 - A_T} \cdot (-0,00499 \cdot F - 0,439 \cdot A_T + 0,499)$$

(in kg Acetylen je Liter Wasservolumen)

Das sind Geraden mit unterschiedlichem Anstieg, Diagramm in Bild 22.

Im Diagramm in Bild 22 ist ein Beispiel eingetragen am Modell einer Füllmasse mit 80 % Porosität. Die Linie  $OP$  gibt den Bereich wieder, in dem die Masse den Zerfall nicht aufhalten konnte. Die Linie  $AB$  gibt den Bereich an, in dem die Masse den Zerfall noch aufhalten konnte. Von dieser Linie  $AB$  ausgehend ergibt sich unter Berücksichtigung des ISO-Vorschlages, wonach der Zündversuch mit 5 Gew.-% Acetylen mehr auszuführen ist, die Linie  $Z$  (Linie  $CD$ ), auf der alle zulässigen Füllkombinationen abzulesen sind, und zwar wie folgt:

a) Das höchste zulässige Acetylenfüllgewicht beträgt  $G_A = 0,2175$  kg Acetylen je Liter Wasservolumen bei einem einzuhaltenden Acetonfüllgewicht  $G_L = 0,36$  kg Aceton je Liter Wasservolumen. Das sind  $g_A = 6,96$  kg Acetylen und  $g_L = 11,52$  kg Aceton in der 40-l-Flasche (Punkt C im Diagramm in Bild 22).

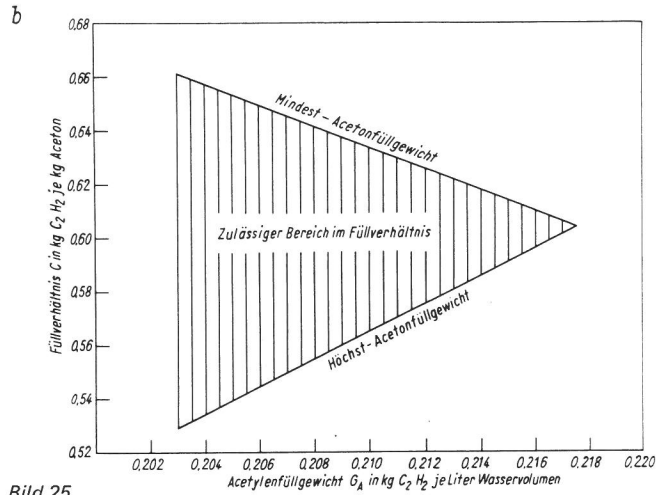
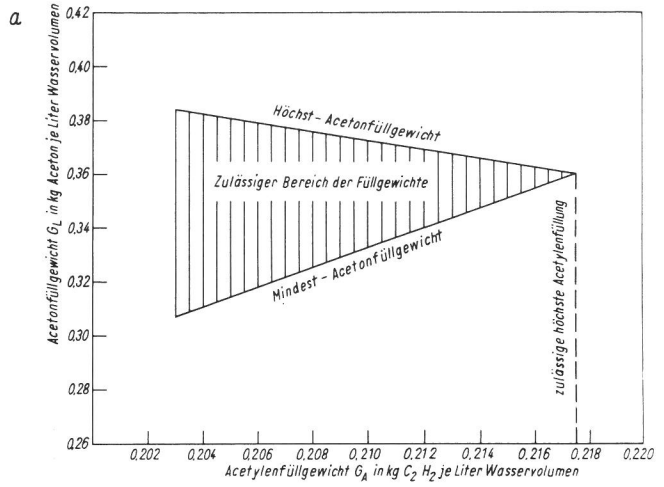
b) Ist zwischen dem Mindest- und dem Höchstfüllgewicht an Aceton in der Flasche eine Aceton-Toleranz von 5 Gew.-% erwünscht, so dürfen höchstens  $G_A = 0,2142$  kg Acetylen je Liter Wasservolumen ( $g_A = 6,85$  kg Acetylen in der 40-l-Flasche) eingefüllt werden. Das Acetonfüllgewicht  $G_L$  muß mindestens  $0,347$  kg je Liter Wasservolumen ( $g_L = 11,104$  kg Aceton in der 40-l-Flasche) und darf höchstens  $0,366$  kg je Liter Wasservolumen ( $g_L = 11,71$  kg Aceton in der 40-l-Flasche) betragen (Punkte E und F im Diagramm in Bild 22).

c) Ist eine Aceton-Toleranz von 10 Gew.-% erwünscht, so dürfen höchstens  $G_A = 0,2106$  kg Acetylen je Liter Wasservolumen ( $g_A = 6,74$  kg Acetylen in der 40-l-Flasche) eingefüllt werden. Das Acetonfüllgewicht  $G_L$  muß mindestens  $0,334$  kg je Liter Wasservolumen ( $g_L = 10,69$  kg Aceton in der 40-l-Flasche) und darf höchstens  $0,371$  kg je Liter Wasservolumen ( $g_L = 11,87$  kg Aceton in der 40-l-Flasche) betragen (Punkte G und H im Diagramm in Bild 22).

d) Soll die Aceton-Toleranz 15 Gew.-% betragen, so dürfen höchstens  $G_A = 0,2067$  kg Acetylen je Liter Wasservolumen ( $g_A = 6,61$  kg Acetylen in der 40-l-Flasche) eingefüllt werden. Das Acetonfüllgewicht  $G_L$  muß mindestens  $0,321$  kg je Liter Wasservolumen ( $g_L = 10,27$  kg Aceton in der 40-l-Flasche) und darf höchstens  $0,378$  kg je Liter Wasservolumen ( $g_L = 12,096$  kg Aceton in der 40-l-Flasche) betragen (Punkte K und L im Diagramm in Bild 22).

e) Bei einer Aceton-Toleranz von 20 Gew.-% darf das Acetylenfüllgewicht  $G_A$  höchstens  $0,203$  kg je Liter Wasservolumen ( $g_A = 6,5$  kg Acetylen in der 40-l-Flasche) betragen. Das Acetonfüllgewicht  $G_L$  muß mindestens  $0,307$  kg je Liter Wasservolumen ( $g_L = 12,29$  kg Aceton in der 40-l-Flasche) sein (Punkte M und D im Diagramm in Bild 22).

Die sich aus der Massen-Kennlinie (Linie Z im Diagramm in Bild 22) ergebenden zulässigen Acetylen/Aceton-Füllkombinationen einer porösen Masse in einer bestimmten Flaschengruppe lassen sich auch in Form des Diagrammes a in Bild 25 wiedergeben. Das schraffierte Dreieck



**Bild 25**  
 Graphische Darstellung über die zulässigen Füllungen an Aceton und Acetylen in Acetylenflaschen  
 a) zulässiger Bereich der Füllgewichte an Aceton und Acetylen  
 b) zulässiger Bereich der Füllverhältnisse

gibt den zulässigen Bereich der Acetylen/Aceton-Füllkombinationen bis zu 20 Gew.-% Aceton-Toleranz wieder. Die zugehörigen noch zulässigen Füllverhältnisse C sind durch das schraffierte Dreieck im Diagramm b in Bild 25 wiedergegeben.

Die Bundesanstalt für Materialprüfung wendet das hier vorgestellte Verfahren zur Ermittlung der zulässigen maximalen Acetylenfüllmenge in Acetylenflaschen bereits seit einiger Zeit bei den Untersuchungen über die sichernde Wirkung poröser Massen an. Das Verfahren, das sowohl die RID-Bedingung als auch die ISO Vorschläge berücksichtigt, bietet die Möglichkeit, für jede poröse Masse in einer bestimmten Flaschengruppe individuelle Füllungen an Acetylen und Aceton zur Zulassung zu empfehlen.

Ortsbewegliche Behälter dürfen nur dann unter Druck mit Acetylen gefüllt und in den Verkehr gebracht werden, wenn sie vollständig mit einer porösen Masse ausgefüllt sind und eine bestimmte Menge Lösungsmittel enthalten. Die porösen Massen in den Behältern sollen einmal das Lösungsmittel gleichmäßig über den ganzen Innenraum der Behälter verteilen und sie sollen zum anderen eventuell durch Flammenrückschläge in den Behältern eingeleitete Acetylenzersetzungen löschen. Die Eignung von porösen Massen als Füllmassen für Acetylen-Behälter wird von der Bundesanstalt für Materialprüfung im Rahmen des Bauartzulassungsverfahrens nach § 14 der DruckgasV untersucht. Hierbei werden unter anderem Fall- und Zündversuche an mit Lösungsmittel und Acetylen gefüllten Acetylenbehältern vorgenommen. Die Fall- und Zündversuche werden beschrieben.

Die ausgeführten vergleichenden Untersuchungen haben gezeigt, daß eine Zündung mit CTR-Zündkopf ohne Fallversuch oder eine Zündung nach ISO/CPI-Methode (kombinierte Fall- und Zünd-

prüfung) zu gleichen Ergebnissen führt. Eine waagerechte Lagerung der Acetylen-Behälter vor der Zündung kann in einigen Fällen die sichernde Wirkung der porösen Massen ungünstig beeinflussen. Eine Erwärmung der Acetylen-Behälter vor der Zündung beeinflusst auf jeden Fall die sichernde Wirkung der porösen Massen. Die Grenzbelastungen liegen in den vor Zündung erwärmten Behältern niedriger als in den bei 15°C gezündeten Behältern. Die Ergebnisse der vergleichenden Untersuchungen führten zu dem im ISO-Normentwurf (vgl. Abschnitt 5) vorgeschlagenen kombinierten Fall- und Zündversuch.

Es wird weiter ein Verfahren vorgestellt, nach dem in Verbindung mit dem Zündversuch nach ISO/CPI die zulässige maximale Acetylenfüllmenge in Acetylen-Behältern graphisch und durch Rechnung ermittelt werden kann.

Dem Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung sei an dieser Stelle für die Bereitstellung von Mitteln im Rahmen der Forschungsarbeit gedankt.

- [1] Verordnung über ortsbewegliche Behälter und über Füllanlagen für Druckgase; Druckgasverordnung - DruckgasV; Fassung vom 20. 6. 1968; Bundesgesetzblatt, 1968, Teil I., S. 730 - 739.
- [2] Sargent, H.B.;  
How to Design a Hazard-Free System to Handle Acetylene;  
Chem. Eng. 64 (1957), S. 250 - 254;
- [3] Hölemann, P. und R. Hasselmann;  
Über den Verlauf von Acetylen-Explosionen in Gefäßen mit größeren Durchmessern; Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 1310; Westdeutscher Verlag Köln und Opladen, 1964.
- [4] Reppe, W.;  
Chemie und Technik der Acetylen-Druck-Reaktionen; Verlag Chemie Weinheim/Bergstraße 1951.
- [5] Hölemann, P. und R. Hasselmann;  
Löslichkeit von Acetylen in Aceton in Abhängigkeit von Druck und Temperatur; Chemie-Ing. Techn. Nr. 8/9, 1953, S. 466 - 468.
- [6] Claude, G. und A. Hess;  
Sur un nouveau mode d'emmagasinement de l'Acétylène (Über eine neue Methode der Speicherung von Acetylen); Comptes-Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Academie des Sciences 124 (1897), S. 626 - 628.
- [7] DRP 97953 vom 28. 6. 1898
- [8] Berthelot und Vieille;  
Sur les dissolutions d'Acétylène et sur leurs propriétés explosives (Über die Löslichkeit des Acetylens und die explosiven Eigenschaften der Lösungen); Comptes-Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Academie des Sciences 124 (1897), S. 988 - 996.
- .-.:
- Remarques sur la décomposition explosive des dissolutions d'Acétylène (Bemerkungen zum explosiven Zerfall von Lösungen des Acetylens); Comptes-Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Academie des Sciences 124 (1897), S. 996 - 1000.
- .-.:
- Sur quelques conditions de propagation de la décomposition de l'Acétylène pur (Über einige Bedingungen der Ausbreitung des Zerfalls von reinem Acetylen); Comptes-Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Academie des Sciences 124 (1897), S. 1000 - 1004.
- [9] Hölemann, P., Hasselmann, R. und G. Dix;  
Untersuchungen über die Vorgänge bei der Zersetzung von in Aceton gelöstem Acetylen; Forschungsberichte des Wirtschafts- und Verkehrsmin. Nordrhein-Westfalen Nr. 206; Westdeutscher Verlag Köln/Opladen, 1955.



- [10] Möller, K.-H. ;  
 Untersuchungen über die Beständigkeit von Lösungen des Acetylens in Aceton bei -20°C (Untersuchungen in der Bundesanstalt für Materialprüfung); Kurzbericht in Tätigkeitsbericht BAM 1961, S. 127 - 128.
- [11] Technische Grundsätze für ortsbewegliche Druckgasbehälter; Bek. des BMA vom 12. 2. 1970 - III b 5 - 1337/70; Beilage zu Arbeitsschutz Heft 3/1970.
- [12] Reuter, H. ;  
 Zur Neufassung der Technischen Grundsätze für ortsbewegliche Druckgasbehälter; Arbeitsschutz Heft 3/1970, S. 59 - 61.
- [13] Möller, K.-H. ;  
 Untersuchungen in der Bundesanstalt für Materialprüfung an hochporösen Massen; BAM Jahresbericht 1969, S. 144.
- [14] Zulassung der porösen Masse "Linde M 1" unter dem Kennzeichen "02 D M 1" durch das Bayrische Staatsministerium für Arbeit und soziale Fürsorge - I B/463/23/69 vom 14.4.1969 - mit Erweiterung I B/463/32/69 vom 9. 6.1969; mit Änderung I B/463/58/69 vom 19.12.1969; mit Änderung I B/463/49/70 vom 6. 8.1970.
- [15] Zulassung der porösen Masse "AGA 2" unter dem Kennzeichen "05 S M 2" durch die Freie und Hansestadt Hamburg, Arbeits- und Sozialbehörde, Amt für Arbeitsschutz - AS-46-SA-71-3 vom 9. 6. 1970.
- [16] Rimarski, W. ;  
 I. Sicherheitsmaßnahmen beim gelösten Acetylen; Autogene Metallbearbeitung Heft 21/1927, S. 293 - 307.
- [17] Rimarski, W. ;  
 Die Entwicklung der Prüfmethode auf dem Gebiet des gelösten Acetylens;  
 Die Schmelzschweißung 7 (Heft 1/1928), S. 1 - 6.  
 Die Schmelzschweißung 7 (Heft 2/1928), S. 17 - 20.
- [18] Jahresberichte der Chemisch-Technischen Reichsanstalt (CTR)  
 II. (1921/22), S. 15 - 17,  
 III. (1922/23), S. 1 - 11,  
 IV. (1924/25), S. 1 - 4.
- [19] Kanschak, M. ;  
 Die Prüfung poröser Massen im Hinblick auf die Grenzen ihrer sichernden Wirkung; Arbeitsschutz Heft 4/1958, S. 72 - 74.
- [20] Möller, K.-H. ;  
 Über die Eignung geschweißter Flaschen mit Stumpfnah als Behälter für unter Druck in Aceton gelöstes Acetylen; Arbeitsschutz Heft 9/1970, S. 217 - 219.
- [21] Rimarski, W. ;  
 Untersuchungen in der Chemisch-Technischen Reichsanstalt; aus einem nicht veröffentlichten Vortragsmanuskript und Jahresbericht der CTR 1930.
- [22] Unfallverhütungsvorschrift Schweißen, Schneiden und verwandte Arbeitsverfahren (VBG 15), Fassung Januar 1952 -.-.: Fachausschuß-Entwurf 611. 32 - 15.
- [23] Kanschak, M. und W. Friemel;  
 Die Acetonverluste aus Dissousgasflaschen bei der Gasentnahme in verschiedenen Entnahmestellungen; Berufsgenossenschaft 1960, H. 8, S. 301 - 304.
- [24] Schön, G. ;  
 Maximale Temperaturen von Flüssigkeiten in liegenden zylindrischen Behältern bei starker Sonnenbestrahlung; Dissertation - Braunschweig 1957; Fachbuch-, Lehrmittel- und Dissertationsverlag H. W. Pöhlting, 1957.

- [25] Matzkuhn, G. ;  
 Untersuchungen in der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM);  
 Kurzfassung der Ergebnisse in BAM-Tätigkeitsbericht 1959,  
 S. 110 - 111.
- [26] Möller, K.-H. ;  
 Zur Frage der zulässigen maximalen Acetylenfüllmenge in  
 Acetylenbehältern unterschiedlicher Abmessungen; Arbeits-  
 schutz Heft 1/1971, S. 6 - 9.
- [27] Möller, K.-H. ;  
 Schutz gefüllter Acetylenflaschen bei der Lagerung und bei der  
 Beförderung vor direkter Sonneneinstrahlung; Arbeitsschutz  
 Heft 8/1970, S. 198 - 199.
- [28] Möller, K.-H. ;  
 Über den Einfluß einer waagerechten Lagerung von Acetylenbe-  
 hälttern auf die sichernde Wirkung poröser Füllmassen;  
 Arbeitsschutz Heft 6/1971, S. 172 - 173
- [29] Hölemann, P. und R. Hasselmann;  
 Die Abhängigkeit des Volumens gesättigter Acetylen/Aceton-  
 Lösungen von Temperatur und Konzentration; Forschungsbe-  
 richt des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 723; Westdeutscher  
 Verlag Köln/Opladen, 1959.
- [30] Möller, K.-H. ;  
 Verfahren zur Ermittlung der maximal zulässigen Acetylenfüllung  
 in Acetylenflaschen; Arbeitsschutz Heft 2/1971, S. 30 - 34.
- [31] Schulz, F. † und K.-H. Möller;  
 Prüfmethode für poröse Massen in Acetylenflaschen;  
 Schweißen und Schneiden 22 (1970), Heft 5, S. 215 - 216.  
 -.-.: Schriftenreihe Schweißen und Schneiden 1 (1970), Nr. 11.
- [32] ISO/TC 58/WG 1 - Secretariat - 72; 5. Entwurf;  
 Grundlegende Anforderungen an Flaschen für gelöstes Acetylen.