

DIN EN 15967



ICS 13.230

Ersatz für
DIN EN 13673-1:2003-09,
DIN EN 13673-2:2005-12 und
DIN EN 13673-2
Berichtigung 1:2007-08

**Verfahren zur Bestimmung des maximalen Explosionsdruckes und des
maximalen zeitlichen Druckanstieges für Gase und Dämpfe;
Deutsche Fassung EN 15967:2011**

Determination of maximum explosion pressure and the maximum rate of pressure rise of
gases and vapours;
German version EN 15967:2011

Détermination de la pression maximale d'explosion et de la vitesse maximale de montée
en pression des gaz et des vapeurs;
Version allemande EN 15967:2011

Gesamtumfang 39 Seiten

Normenausschuss Sicherheitstechnische Grundsätze (NASG) im DIN

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist 2011-10-01.

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 15967:2011) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 305 „Explosionsfähige Atmosphären — Explosionsschutz“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der NA 095-02-09 AA „Kenngrößen für Stäube, Gase und Dämpfe“ im NASG.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 13673-1:2003-09, DIN EN 13673-2:2005-12 und DIN EN 13673-2 Berichtigung 1:2007-08 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) beide Dokumente EN 13673-1:2003 und EN 13673-2:2005 wurden zusammengeführt ohne technische Änderungen;
- b) DIN EN 13673-2 Berichtigung 1:2007-08 wurde übernommen.

Frühere Ausgaben

DIN EN 13673-1:2003-09

DIN EN 13673-2:2005-12

DIN EN 13673-2 Berichtigung 1:2007-08

Deutsche Fassung

Verfahren zur Bestimmung des maximalen Explosionsdruckes
und des maximalen zeitlichen Druckanstieges
für Gase und Dämpfe

Determination of maximum explosion pressure and the
maximum rate of pressure rise of gases and vapours

Détermination de la pression maximale d'explosion et de la
vitesse maximale de montée en pression des gaz et des
vapeurs

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 1. Juli 2011 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN-CENELEC oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

Seite

Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Prüfverfahren	7
4.1 Kurzbeschreibung	7
4.2 Prüfgerät	7
4.2.1 Allgemeines	7
4.2.2 Explosionsgefäß	7
4.2.3 Vorrichtung zur Herstellung des Prüfgemisches	8
4.2.4 Zündsystem	8
4.2.5 Druckmesseinrichtung	9
4.2.6 Temperaturmessgerät	10
4.2.7 Sicherheitsaspekte	10
4.3 Probenvorbereitung und -lagerung	11
4.4 Durchführung	11
4.4.1 Herstellen des Prüfgemisches	11
4.4.2 Bestimmung des Explosionsdruckes p_{ex} , des maximalen Explosionsdruckes p_{max} , des zeitlichen Druckanstieges $(dp/dt)_{ex}$ und des maximalen zeitlichen Druckanstieges $(dp/dt)_{max}$	12
4.5 Auswertung	15
4.5.1 Allgemeine Aspekte	15
4.5.2 Explosionsdruck und maximaler Explosionsdruck	15
4.5.3 Zeitlicher Druckanstieg und maximaler zeitlicher Druckanstieg	16
4.6 Prüfbericht	17
Anhang A (normativ) Verifizierung der Werte für den maximalen Explosionsdruck	18
Anhang B (normativ) Verifizierung der Werte für den maximalen zeitlichen Druckanstieg	19
Anhang C (normativ) Glätten von Druck-Zeit-Kurven	22
Anhang D (informativ) Umrechnung der Werte für den Brennstoffanteil	25
D.1 Abkürzungen und Symbole	25
D.2 Stoffkenngrößen von Luft	26
D.3 Definitionen	26
D.4 Herstellen des Prüfgemisches	26
Anhang E (informativ) Beispiel einer Verdampfereinrichtung für Flüssigbrennstoffe	29
Anhang F (informativ) Beispiel eines Prüfberichtformblattes	31
Anhang G (informativ) Wesentliche technische Änderungen zwischen dieser Europäischen Norm und den früheren Ausgaben	34
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 94/9/EG	35
Anhang ZB (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 2006/42/EG	36
Literaturhinweise	37

Bilder

Bild B.1 — Graphische Darstellung des zeitlichen Druckanstieges $(dp/dt)_{ex}$ als Funktion des Explosionsgefäßvolumens V für H_2 -Luft-Gemische ($x_{H_2} \cong 35$ Molprozent).....	20
Bild B.2 — Graphische Darstellung des zeitlichen Druckanstieges $(dp/dt)_{ex}$ als Funktion des Explosionsgefäßvolumens V für CH_4 -Luft-Gemische ($x_{CH_4} \cong 10$ Molprozent).....	21
Bild B.3 — Graphische Darstellung des zeitlichen Druckanstieges $(dp/dt)_{ex}$ als Funktion des Explosionsgefäßvolumens V für NH_3 -Luft-Gemische ($x_{NH_3} \cong 23$ Molprozent).....	21
Bild C.1 — Beispiel einer Rohdaten $p(t)$ Kurve, die Oszillationen aufweist	23
Bild C.2 — Beispiel einer Rohdaten $p(t)$ Kurve, die Oszillationen aufweist	23
Bild C.3 — Schematische Darstellung, die die Variation von $(dp/dt)_{ex}$ als Funktion des jeweiligen Glättparameters zeigt.....	24
Bild E.1 — Verdampferstrecke zur Herstellung der Prüfgemische bei Flüssigbrennstoffen	29

Tabellen

Tabelle 1 — Regeln zum Aufrunden von Werten für $(dp/dt)_{ex}$ und $(dp/dt)_{max}$	16
Tabelle A.1 — Werte ^a für die Verifizierung der Prüfeinrichtung	18
Tabelle B.1 — Werte ^a für die Verifizierung der Prüfeinrichtung ^b	19
Tabelle D.1 — Umrechnungsgleichungen	28
Tabelle G.1 — Die wesentlichen Änderungen in Bezug auf EN 13673-1:2003 und EN 13673-2:2005.....	34
Tabelle ZA.1 — Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und der Richtlinie 94/9/EG	35
Tabelle ZB.1 — Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und der Richtlinie 2006/42/EG	36

Vorwort

Dieses Dokument (EN 15967:2011) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 305 „Explosionsfähige Atmosphären - Explosionsschutz“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Februar 2012, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Februar 2012 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN 13673-1:2003, EN 13673-2:2005.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinien.

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinien siehe die informativen Anhänge ZA und ZB, die Bestandteil dieses Dokuments sind.

Die wesentlichen Änderungen zwischen dieser Europäischen Norm und EN 13673-1:2003 und EN 13673-2:2005 sind Tabelle G.1 zu entnehmen.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Einleitung

Diese Europäische Norm beschreibt Prüfverfahren zur Bestimmung:

- des Explosionsdruckes und des maximalen Explosionsdruckes; und
- des zeitlichen Explosionsdruckanstieges und des maximalen zeitlichen Explosionsdruckanstieges;

eines ruhenden Gemisches aus brennbarem Gas, Luft und Inertgas bei Umgebungstemperatur und -druck.

Der maximale Explosionsdruck und der maximale zeitliche Druckanstieg dienen als Grundlage für die Auslegung von Explosionsschutzmaßnahmen, wie explosionsdruckfeste oder explosionsdruckstoßfeste Bauweise, Explosionsdruckentlastung und Explosionsunterdrückung. Diese Eigenschaften werden besonders beeinflusst durch:

- die Größe und Form des Explosionsbehälters;
- die Art und Energie der Zündquelle;
- die Temperatur und den Druck;
- die Turbulenzen.

Daher ist es erforderlich, die Bedingungen bei der Bestimmung des maximalen Explosionsdruckes und des maximalen zeitlichen Druckanstieges in einer Norm festzulegen.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt ein Verfahren zur Bestimmung des Explosionsdrucks und des maximalen Explosionsdrucks sowie des zeitlichen Explosionsdruckanstieges und des maximalen zeitlichen Explosionsdruckanstieges eines ruhenden Gemischs aus brennbarem Gas (Brennstoff), Luft und Inertgas bei Umgebungsbedingungen in geschlossenen Behältern ohne Einbauten fest. In dieser Europäischen Norm schließt der Begriff „Gas“ auch Dämpfe, jedoch keine Nebel, ein. Diese Europäische Norm gilt nicht für Bedingungen, unter denen Detonations- und Zersetzungsphänomene auftreten können.

Die nach den in der vorliegenden Europäischen Norm festgelegten Verfahren gemessenen Drücke und zeitlichen Druckanstiege sind für die Auslegung von druckfesten Kapselungen, das sind Umschließungen, die konstruktiv so ausgelegt sind, dass sie einer im Innern stattfindenden Explosion standhalten und diese nicht in eine äußere explosionsfähige Atmosphäre übertragen, oder anderen geschlossenen Behältern, deren innere Geometrie zu einer Drucküberhöhung führen kann, nicht anwendbar. Selbst in einer Umschließung von relativ einfacher Geometrie können Einbauten zu wesentlich höheren Explosionsdrücken als den nach dieser Europäischen Norm gemessenen führen. Diese Europäische Norm gilt nicht für die Konstruktion und Prüfung von druckfesten Kapselungen nach den Anforderungen von EN 13463-6 (für nicht elektrische Betriebsmittel) und EN 60079-1 (für elektrische Betriebsmittel).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 13237, *Explosionsgefährdete Bereiche — Begriffe für Geräte und Schutzsysteme zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe in EN 13237 und die folgenden Begriffe.

3.1 Explosionsdruck

p_{ex}
höchster unter festgelegten Prüfbedingungen bestimmter Druck, der in einem geschlossenen Behälter bei der Explosion eines bestimmten Gemisches von brennbaren Stoffen mit Luft oder Luft und Inertgasen auftritt

ANMERKUNG p_{ex} wird bei Gasen und Dämpfen als absoluter Druck und bei Stäuben als Überdruck angegeben.

3.2 maximaler Explosionsdruck

p_{max}
Höchstwert des Explosionsdruckes, der bei den Prüfungen des Explosionsdruckes gemessen wird, wenn der Anteil an brennbaren Stoffen in dem Gemisch variiert wird

ANMERKUNG p_{max} wird bei Gasen und Dämpfen als absoluter Druck und bei Stäuben als Überdruck angegeben.

3.3 zeitlicher Explosionsdruckanstieg

$(dp/dt)_{\text{ex}}$
höchster unter festgelegten Prüfbedingungen bestimmter Wert der Steigung (erste Ableitung) der Druck-Zeit-Kurve (falls erforderlich geglättet), der in einem geschlossenen Behälter bei der Explosion eines bestimmten Gemisches von brennbaren Stoffen mit Luft oder Luft und Inertgasen auftritt

3.4

maximaler zeitlicher Explosionsdruckanstieg

$(dp/dt)_{\max}$

höchster Wert des bei den Prüfungen gemessenen zeitlichen Explosionsdruckanstieges, der sich durch Variieren des Anteils an brennbaren Stoffen im Gemisch ergibt

ANMERKUNG Für die Anwendung dieses Dokuments werden alle Drücke in bar absolut und der zeitliche Explosionsdruckanstieg in bar/s angegeben.

4 Prüfverfahren

4.1 Kurzbeschreibung

Ein explosionsfähiges Prüfgemisch wird durch eine festgelegte Zündquelle entzündet, die in der Mitte eines Gefäßes zur Prüfung der Explosion (Explosionsgefäß) positioniert ist. Die sich nach der Entzündung des Prüfgemisches entwickelnde Druck-Zeit-Kurve wird unter Verwendung einer Druckmesseinrichtung aufgezeichnet.

Aus der Druck-Zeit-Kurve wird der Höchstwert des zeitlichen Explosionsdruckanstieges $(dp/dt)_{\text{ex}}$ berechnet und der Höchstwert des Druckes p_{ex} bestimmt.

Wiederholungsmessungen werden mit stufenweisen Änderungen des Anteils an brennbarem Gas im Gemisch durchgeführt:

- a) Der maximale Explosionsdruck $p_{\max}$ wird als der höchste beobachtete Wert für p_{ex} bestimmt.
- b) Der maximale zeitliche Explosionsdruckanstieg $(dp/dt)_{\max}$ wird als der höchste beobachtete Wert für $(dp/dt)_{\text{ex}}$ bestimmt.

4.2 Prüfgerät

4.2.1 Allgemeines

Das Prüfgerät besteht aus:

- einem Explosionsgefäß;
- einer Vorrichtung zur Herstellung des Prüfgemisches;
- einem Zündsystem;
- einer Druckmesseinrichtung;
- einem Temperaturmessgerät;
- Sicherheitsvorrichtungen.

4.2.2 Explosionsgefäß

Das Explosionsgefäß muss eine Kugel- oder Zylinderform aufweisen. Das Innenvolumen des Explosionsgefäßes muss $\geq 0,005 \text{ m}^3$ sein. Bei Anwendung eines zylindrischen Gefäßes muss das Verhältnis von Länge zu Durchmesser 1 sein.

Das Explosionsgefäß und sämtliche daran angebrachten technischen Einrichtungen (Armaturen, Zündquelle, Druckaufnehmer usw.) müssen für eine maximale Druckbeständigkeit von 20 bar ausgelegt sein.

ANMERKUNG Anleitungen für die Auslegung des Explosionsgefäßes sind EN 14460 zu entnehmen.

Das Explosionsgefäß muss aus nicht rostendem Stahl oder einem anderen Werkstoff ohne jegliche katalytische Wirkung hergestellt sowie gegen die vom Ausgangsgasgemisch und den Verbrennungsprodukten ausgehende Korrosionswirkung beständig sein.

Das Explosionsgefäß muss mit genügend Ein- und Auslässen versehen sein, um das Füllen, Evakuieren und Spülen zu ermöglichen.

4.2.3 Vorrichtung zur Herstellung des Prüfgemisches

Das Prüfgemisch kann in einem Partialdruckverfahren oder durch Vermischen von Gasströmen hergestellt werden. Das kann innerhalb oder außerhalb des Explosionsgefäßes erfolgen.

Wird das Prüfgemisch im Partialdruckverfahren hergestellt, muss der dafür verwendete Behälter ausgestattet sein mit:

- a) einer Vakuumpumpe und einem Vakuummessgerät;
- b) Druckmessgeräten oder Manometern;
- c) einem Mittel zur Herstellung eines homogenen Prüfgemisches (z. B. Rührvorrichtung).

Wird das Prüfgemisch durch das Vermischen von Gasströmen hergestellt, sind die erforderlichen Bauteile:

- d) Durchflussmessgeräte (Massen- oder Volumenstrommessgerät);
- e) ein Mittel zur Herstellung eines homogenen Prüfgemisches (z. B. Mischkammer);
- f) ein Verdampfer, sofern flüssige Proben verwendet werden (ein Beispiel ist Anhang E zu entnehmen).

Die Vorrichtung für die Herstellung des Prüfgemisches muss so ausgelegt sein, dass der Anteil an brennbarem Gas mit einer maximalen Messunsicherheit von $\pm 10\%$, relativ, bei einem Anteil an brennbarem Gas bis 2% je Mol oder $\pm 0,2\%$, absolut, bei einem Anteil an brennbarem Gas bis 2% je Mol gemessen wird.

4.2.4 Zündsystem

4.2.4.1 Allgemeines

Die Zündquelle muss in der Mitte eines Explosionsgefäßes positioniert sein. Empfohlene Zündsysteme sind Induktionsfunke und Schmelzdraht. Der Prüfbericht muss die verwendete Zündquelle angeben.

Für die Entzündung einiger spezieller Gemische kann die Verwendung eines anderen Zündsystems erforderlich sein. Bei Verwendung einer alternativen Zündquelle muss diese umfassend im Prüfbericht beschrieben sein. Darüber hinaus wird empfohlen, für die Auswertung der Ergebnisse fachmännischen Rat einzuholen.

4.2.4.2 Induktionsfunke

Als Zündquelle dient eine Folge von Induktionsfunken zwischen zwei Elektroden.

Ein geeigneter Elektrodenwerkstoff ist nichtrostender Stahl. Die Elektroden müssen in der Mitte des Explosionsgefäßes angeordnet werden. Sie müssen zugespitzt sein, und deren Durchmesser darf höchstens 4 mm betragen. Der Spitzenwinkel muss 60° betragen. Der Abstand zwischen den Spitzen muss $(5 \pm 0,1)\text{ mm}$ betragen. Die Elektroden müssen im Explosionsgefäß so angebracht sein, dass sie auch bei den höchsten während der Prüfung auftretenden Explosionsdrücken gasdicht bleiben. Die Befestigung muss hitzebeständig und beständig gegen das Prüfgemisch sein und eine angemessene elektrische Isolierung gegenüber dem Körper des Explosionsgefäßes bieten.

Für die Erzeugung der Induktionsfunken ist ein Hochspannungstransformator mit einer Effektivspannung von 13 kV bis 16 kV (Wechselspannung) und einem Kurzschlussstrom von 20 mA bis 30 mA zu verwenden. Die Primärwicklung des Hochspannungstransformators muss über einen Zeitschalter an das Netz angeschlossen sein, der auf die erforderliche Funkenentladungsdauer eingestellt ist.

Die Funkenentladungsdauer ist auf $0,2\text{ s}$ einzustellen. Falls eine Funkenentladungsdauer von $0,2\text{ s}$ nicht zur Entzündung des Prüfgemisches führt, darf der Versuch mit einer Funkenentladungsdauer bis zu $0,5\text{ s}$ wiederholt werden.

ANMERKUNG Die vom Funken freigesetzte Energie hängt vom Gasgemisch und dessen Druck ab. In Luft ergibt nach kalorimetrischen und elektrischen Messungen unter atmosphärischen Bedingungen eine derartige Energiequelle einen Funken mit einer Leistung von etwa 10 W .

4.2.4.3 Schmelzdraht

Diese Zündquelle erzeugt einen elektrischen Bogen, indem elektrischer Strom durch den zwischen zwei Haltestifte aus Metall gespannten, geraden Schmelzdraht geleitet wird.

Die elektrische Leistung zum Schmelzen des Drahtes und damit zum Erzeugen des elektrischen Bogens wird über einen Trenntransformator geliefert. Die durch den Bogen freigesetzte Zündenergie hängt von der Funkenentladungsdauer und von der Leistungsabgabe des Trenntransformators ab. Die zugeführte Energie muss zwischen 10 J und 20 J liegen, da innerhalb dieses Bereiches die Zündenergie keinen nennenswerten Einfluss auf den Explosionsdruck hat. Das wird durch Begrenzen der Leistungsabgabe des Trenntransformators auf 0,7 kVA bis 3,5 kVA und durch Phasenanschnitttechniken erreicht. Letzteres ist eine Unterbrechertechnik, durch die nur ein Teil der sekundärseitig vom Trenntransformator abgegebenen Wechselstromhalbwellen dazu verwendet wird, um den Draht zu schmelzen.

Als Werkstoff für die Haltestifte eignen sich Messing und nicht rostender Stahl. Die Haltestifte müssen parallel angeordnet sein und einen Abstand von $(5 \pm 0,1)$ mm haben. Als Schmelzdraht dient ein Stück gerader Chrom-Nickel-Draht (Durchmesser 0,05 mm bis 0,2 mm), der an die Spitzen der Metallstifte hart angelötet ist. Die Stifte müssen so im Explosionsgefäß positioniert sein, dass sich der Schmelzdraht in der Mitte des Explosionsgefäßes befindet. Die Elektroden müssen so im Explosionsgefäß angebracht sein, dass sie auch bei den höchsten während der Prüfung auftretenden Explosionsdrücken gasdicht bleiben. Die Befestigung muss hitzebeständig und beständig gegen das Prüfgemisch sein und eine angemessene elektrische Isolierung gegenüber dem Körper des Explosionsgefäßes bieten.

Um den erforderlichen Zeitaufwand für das Auswechseln des Schmelzdrahtes nach einem Zündversuch zu verringern, wird empfohlen, die Haltestifte in einen Adapter zu montieren, der in die Wandung des Explosionsgefäßes geschraubt wird.

Die Kabel/Leitungen, die den Trenntransformator mit den Haltestiften verbinden, müssen einen Querschnitt zwischen $2,5 \text{ mm}^2$ und 7 mm^2 haben. Die Kabel/Leitungen dürfen nicht länger als 5 m sein. Die Haltestifte müssen einen Durchmesser von 1,5 mm bis 5 mm haben.

Wenn der Durchmesser der Haltestifte aus praktischen Gründen kleiner als 3 mm sein muss, kann eine zusätzliche mechanische Abstützung notwendig sein.

4.2.5 Druckmesseinrichtung

Die Druckmesseinrichtung besteht aus:

- a) einem Druckaufnehmer;
 - 1) Der/die Druckaufnehmer müssen in das Explosionsgefäß eingebaut sein, wobei der Messkopf mit der Innenwand bündig sein muss.
 - 2) Der/die Druckaufnehmer müssen in der Lage sein, Drücke bis 20 bar zu messen. Wenn geringere Explosionsdrücke erwartet werden, dürfen Druckaufnehmer des unteren Druckbereiches eingesetzt werden.
- b) einem Verstärker;
- c) einem Datenaufzeichnungssystem;
 - 1) Das Datenaufzeichnungssystem muss eine Auflösung von mindestens 12 bit und eine Abtastfrequenz von 20 kHz oder eine Abtastfrequenz von $\frac{500}{t_{\text{ex}}}$ Abtastungen je Sekunde haben.
 - 2) t_{ex} ist die Zeitdauer von der Zündung bis zur Erreichung des maximalen Explosionsdruckes (siehe Bild C.1 und Bild C.2).
- d) Die Druckmesseinrichtung muss eine Bandbreite von mindestens 10 kHz haben.

Um die Zuverlässigkeit sicherzustellen, dürfen zwei Druckmesseinrichtungen benutzt werden.

Die gesamte Druckmesseinrichtung muss das Messen der Ausgangs- und Explosionsdrücke mit einer Unsicherheit von $\pm 0,05$ bar oder besser ermöglichen.

Die Druckmesseinrichtung muss eine zeitliche Auflösung von mindestens 1 ms haben.

4.2.6 Temperaturmessgerät

Zum Aufzeichnen dieses Wertes darf jedes passende Thermoelement mit entsprechendem Aufzeichnungsgerät angewendet werden. Die Aufzeichnung der Temperatur ist notwendig, weil besonders p_{ex} und p_{max} temperaturabhängig sind.

4.2.7 Sicherheitsaspekte

Sicherzustellen ist, dass sämtliche Arbeiten im Rahmen der örtlichen und nationalen Bestimmungen durchgeführt werden. Damit die Gesundheit der Personen, die die Messungen durchführen, vor den unterschiedlichen Gefahren geschützt wird, die während der Prüfung auftreten können, müssen Vorkehrungen getroffen werden, z. B.:

- a) um ein Austreten des Gemisches oder von Verbrennungsgasen nach außen zu verhindern, muss die Gasdichtheit des Behälters überprüft werden;
- b) um ein Bersten des Explosionsgefäßes zu verhindern, muss dieses so ausgelegt sein, dass es einem maximalen Druck von 20 bar widersteht (siehe 4.2.2), wobei davon ausgegangen werden kann, dass dieser Wert größer ist als der maximale Explosionsdruck, der während einer Prüfung auftreten kann;
- c) wenn das Prüfgemisch in einem gesonderten Behälter hergestellt wird, müssen dieser Behälter und die Verbindungsleitung so ausgeführt sein, dass sie dem maximalen Explosionsdruck standhalten;
- d) um die Verletzung von Bedienpersonen durch herausgeschleuderte Bruchstücke zu verhindern, müssen alle Teile des Prüfgerätes, die ein explosionsfähiges Gemisch enthalten können, in angemessener Weise abgeschirmt sein;
- e) muss eine ausreichende Be- und Entlüftung sichergestellt sein, um in dem Labor die Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre als Folge:
 - 1) des Spülens des Prüfgerätes;
 - 2) der Abluft der Vakuumpumpe; oder
 - 3) von Undichtigkeiten am Gerät zu verhindern.
- f) müssen alle elektrischen Anschlüsse ausreichend isoliert sein, um tödliche elektrische Schläge oder Elektroschocks zu verhindern;
- g) müssen vor dem Herstellen des Gemisches entsprechende Sicherheitsmaßnahmen getroffen werden, damit sichergestellt ist, dass die Stoffe risikolos gemischt werden können;
- h) sind Sicherheitsmaßnahmen zu treffen, um Gefährdungen zu verhindern, die beim Umgang mit toxischen brennbaren Gasen und deren Verbrennungsprodukten auftreten können;
- i) müssen bei der Handhabung von brennbaren Flüssigkeiten Sicherheitsmaßnahmen eingeleitet werden, um die Brandgefahr zu minimieren;
- j) müssen bei der Handhabung von Gasflaschen Sicherheitsmaßnahmen eingeleitet werden, um die Explosionsgefahr zu minimieren;
- k) muss bei Versagen des Zündsystems das noch am Ende der Prüfung im Explosionsgefäß befindliche explosionsfähige Gemisch herausgespült und verdünnt werden, um es unentzündbar zu machen.