

DIN EN 15967

ICS 13.230

Ersatz für
DIN EN 15967:2011-10**Verfahren zur Bestimmung des maximalen Explosionsdruckes und des maximalen zeitlichen Druckanstieges für Gase und Dämpfe;
Deutsche Fassung EN 15967:2022**

Determination of maximum explosion pressure and the maximum rate of pressure rise of
gases and vapours;
German version EN 15967:2022

Détermination de la pression maximale d'explosion et de la vitesse maximale de montée en
pression des gaz et des vapeurs;
Version allemande EN 15967:2022

Gesamtumfang 45 Seiten

DIN-Normenausschuss Sicherheitstechnische Grundsätze (NASG)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 15967:2022) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 305 „Explosionsfähige Atmosphären - Explosionsschutz“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 095-02-09 AA „Kenngrößen für Stäube, Gase und Dämpfe“ im DIN-Normenausschuss Sicherheitstechnische Grundsätze (NASG).

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 15967:2011-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die normativen Verweisungen wurden aktualisiert;
- b) in 4.4.2.1 wurden die Anforderungen für die Reduzierung der Prüfungen modifiziert;
- c) ein informativer Anhang H über die Abhängigkeit des Druckverhältnisses von der Temperatur wurde hinzugefügt.

Frühere Ausgaben

DIN EN 13673-1: 2003-09
DIN EN 13673-2: 2005-12
DIN EN 13673-2 Berichtigung 1: 2007-08
DIN EN 15967: 2011-10

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 12. Dezember 2021 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 CEN-CENELEC-Management-Zentrum 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, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Prüfverfahren	7
4.1 Kurzbeschreibung	7
4.2 Prüfeinrichtung	7
4.2.1 Allgemeines	7
4.2.2 Explosionsgefäß	8
4.2.3 Vorrichtung zur Herstellung des Prüfgemisches	8
4.2.4 Zündsystem	9
4.2.5 Druckmesseinrichtung	10
4.2.6 Ausgangstemperaturmessgerät	10
4.2.7 Sicherheitsaspekte	11
4.3 Probenvorbereitung und -lagerung	12
4.4 Durchführung	12
4.4.1 Herstellen des Prüfgemisches	12
4.4.2 Bestimmung des Explosionsdruckes p_{ex} , des maximalen Explosionsdruckes p_{max} , des zeitlichen Explosionsdruckanstieges $(dp/dt)_{ex}$ und des maximalen zeitlichen Explosionsdruckanstieges $(dp/dt)_{max}$	13
4.5 Auswertung	16
4.5.1 Allgemeine Aspekte	16
4.5.2 Explosionsdruck und maximaler Explosionsdruck	16
4.5.3 Zeitlicher Druckanstieg und maximaler zeitlicher Druckanstieg	18
4.6 Prüfbericht	19
Anhang A (normativ) Verifizierung der Werte für den maximalen Explosionsdruck	21
Anhang B (normativ) Verifizierung der Werte für den maximalen zeitlichen Druckanstieg	22
Anhang C (normativ) Glätten von Druck-Zeit-Kurven	25
Anhang D (informativ) Umrechnung der Werte für den Brennstoffanteil	29
D.1 Abkürzungen und Symbole	29
D.2 Stoffkenngrößen von Luft	29
D.3 Definitionen	30
D.4 Herstellen des Prüfgemisches	30
Anhang E (informativ) Beispiel einer Verdampfereinrichtung für flüssige brennbare Stoffe	33
Anhang F (informativ) Beispiel eines Prüfberichtformblattes	35
Anhang G (informativ) Wesentliche technische Änderungen zwischen dieser Europäischen Norm und den früheren Ausgaben	38
Anhang H (Informativ) Ungefähre Temperaturabhängigkeit des Explosionsdruckverhältnisses	39
H.1 Definition der Parameter	39
H.2 Ableitung einer Gleichung zur Näherung der Temperaturabhängigkeit des Explosionsdruckverhältnisses	39

Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den zu erfüllenden grundlegenden Anforderungen von Richtlinie 2014/34/EU.....	41
Anhang ZB (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den zu erfüllenden grundlegenden Anforderungen von Richtlinie 2006/42/EG.....	42
Literaturhinweise.....	43

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 15967:2022) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 305 „Explosionsfähige Atmosphären – Explosionsschutz“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juli 2022, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juli 2022 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN 15967:2011.

Signifikante technische Unterschiede zwischen den beiden Versionen enthält Anhang G.

Dieses Dokument wurde im Rahmen eines Mandats erarbeitet, den die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelsassoziation CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinien.

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

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

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

Einleitung

Dieses Dokument beschreibt Prüfverfahren zur Bestimmung:

- des Explosionsdruckes und des maximalen Explosionsdruckes;
- des zeitlichen Explosionsdruckanstieges und des maximalen zeitlichen Explosionsdruckanstieges eines ruhenden Gemischs aus brennbarem Gas, Luft und Inertgas bei Umgebungstemperatur und -druck.

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

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

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

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt ein Prüfverfahren zur Bestimmung des Explosionsdruckes und des maximalen Explosionsdruckes sowie des zeitlichen Explosionsdruckanstieges und des maximalen zeitlichen Explosionsdruckanstieges eines ruhenden Gemischs aus brennbarem Gas, Luft und Inertgas bei Umgebungstemperatur in geschlossenen Behältern fest. In diesem Dokument schließt der Begriff „Gas“ auch Dämpfe, jedoch keine Nebel, ein. Detonations- und Zersetzungsphänomene werden in diesem Dokument nicht betrachtet.

Die nach den in diesem Dokument 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 zeitlichen Druckanstiegen als den nach diesem Dokument gemessenen führen. Dieses Dokument ist nicht anzuwenden für die Konstruktion und Prüfung von druckfesten Kapselungen nach den Anforderungen von EN ISO 80079-37 (für nicht elektrische Betriebsmittel) und EN 60079-1 (für elektrische Betriebsmittel).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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 13237:2012, *Explosionsgefährdete Bereiche — Begriffe für Geräte und Schutzsysteme zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 13237:2012 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

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 1 zum Begriff: p_{ex} wird bei Gasen und Dämpfen in dieser Norm als absoluter Druck und bei Stäuben in EN 14034 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 1 zum Begriff: p_{max} wird bei Gasen und Dämpfen in dieser Norm als absoluter Druck und bei Stäuben in EN 14034 als Überdruck angegeben.

3.3

zeitlicher Explosionsdruckanstieg

$(dp/dt)_{ex}$

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 1 zum Begriff: Für die Anwendung dieses Dokuments werden alle Drücke in kPa und der zeitliche Explosionsdruckanstieg in MPa/s angegeben.

3.5

Schwankungsbreite

Modul der Differenz zwischen dem einzelnen Messwert und dem Mittelwert der drei gemessenen Werte

3.6

relative Schwankungsbreite

Schwankungsbreite dividiert durch den Mittelwert der drei gemessenen Werte

4 Prüfverfahren

4.1 Kurzbeschreibung

Ein explosionsfähiges Prüfgemisch wird durch eine festgelegte Zündquelle entzündet, die in der Mitte eines Explosionsgefäßes 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 $(dp/dt)_{ex}$ berechnet und der Höchstwert des Druckes p_{ex} bestimmt.

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

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

4.2 Prüfeinrichtung

4.2.1 Allgemeines

Die Prüfeinrichtung 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 $1 \pm 0,05$ sein.

Das Explosionsgefäß und sämtliche daran angebrachten technischen Einrichtungen (Armaturen, Zündquelle, Druckaufnehmer usw.) müssen für eine maximale Druckbeständigkeit von 2 000 kPa ausgelegt sein.

ANMERKUNG Anleitungen für die Auslegung des Explosionsgefäßes können EN 14460, EN 13445-3 und EN 13480-3 entnommen werden.

Das Gefäß muss aus nichtrostendem 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 das dafür verwendete Gefäß ausgestattet sein mit:

- a) einer Vakuumpumpe und einem Vakuummessgerät;
- b) Druckmesseinrichtungen;
- 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 zu einem Stoffmengenanteil von $x(S) = 5 \%$ oder $\pm 0,5 \%$ absolut, bei einem Anteil an brennbarem Gas über einem Stoffmengenanteil von $x(S) = 5 \%$ 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 Induktionsfunken

Als Zündquelle dient eine Folge von Induktionsfunken zwischen zwei Elektroden.

Ein geeigneter Elektrodenwerkstoff ist nichtrostender Stahl. Die Elektroden müssen in der Mitte des Gefäßes angeordnet werden. Sie müssen zugespitzt sein, und deren Durchmesser darf höchstens 4 mm betragen. Der Spitzenwinkel muss $(60 \pm 3)^\circ$ betragen. Der Abstand zwischen den Spitzen muss $(5 \pm 0,1)$ mm betragen. Die Elektroden müssen im Gefäß 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 $(0,2 \pm 0,02)$ s einzustellen. Falls eine Funkenentladungsdauer von 0,2 s nicht zur Entzündung des Prüfgemisches führt, darf der Versuch mit einer Funkenentladungsdauer bis zu $(0,5 \pm 0,02)$ 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 Lichtbogen, indem elektrischer Strom durch den zwischen zwei metallenen Haltestiften gespannten, geraden Schmelzdraht geleitet wird.

Die elektrische Leistung zum Schmelzen des Drahtes und damit zum Erzeugen des Lichtbogens 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 nichtrostender Stahl. Die Haltestifte müssen parallel angeordnet sein und einen Abstand von (5 ± 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 metallenen Haltestifte angelötet ist. Die Haltestifte müssen so im Explosionsgefäß positioniert sein, dass sich der Schmelzdraht in der Mitte des Gefäßes befindet. Die Elektroden müssen so im Gefäß 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, dürfen die Haltestifte in einen Adapter montiert werden, der in die Wandung des Explosionsgefäßes geschraubt wird.

Die Kabel/Leitungen, die den Trenntransformator mit den Haltestiften verbinden, müssen einen Querschnitt zwischen 2,5 mm² und 7 mm² haben. Die Kabel/Leitungen müssen kürzer 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 muss/müssen in das Explosionsgefäß eingebaut sein, wobei der Messkopf mit der Innenwand bündig sein muss.
 - 2) Der/die Druckaufnehmer muss/müssen in der Lage sein, Drücke bis 2 000 kPa zu messen. Wenn geringere Explosionsdrücke erwartet werden, dürfen Druckaufnehmer mit einem niedrigeren Druckbereich eingesetzt werden.
 - 3) Der/die Druckwandler muss/müssen eine Resonanzfrequenz von mindestens 20 kHz aufweisen.
- b) einem Verstärker;
- c) einem Datenaufzeichnungssystem:
 - 1) Das Datenaufzeichnungssystem muss eine Auflösung von mindestens 12 bit und eine Abtastfrequenz von mindestens 20 kHz oder eine Abtastfrequenz von mindestens 500/ t_{ex} Abtastungen je Sekunde haben.
 - 2) t_{ex} ist die Zeit von der Entzündung bis zum Erreichen des maximalen Explosionsdrucks. (siehe Bild C.1 und Bild C.2).

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 Messunsicherheit von ± 5 kPa oder besser ermöglichen.

Die Druckmesseinrichtung muss eine zeitliche Auflösung von mindestens 0,1 ms haben.

4.2.6 Ausgangstemperaturmessgerät

Zum Aufzeichnen dieses Wertes darf jedes passende Thermoelement mit entsprechendem Aufzeichnungsgerät angewendet werden. Die Aufzeichnung der Ausgangstemperatur 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 Gefäßes überprüft werden;
- b) um ein Bersten des Explosionsgefäßes zu verhindern, muss dieses so ausgelegt sein, dass es einem maximalen Druck von mindestens 2 000 kPa 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 Gefäß hergestellt wird, müssen dieses Gefäß und die Verbindungsleitung so ausgeführt sein, dass sie dem maximalen Explosionsdruck standhalten;
- d) wenn das Prüfgemisch durch das Vermischen von Gasströmen hergestellt wird, sind Maßnahmen zu ergreifen, um einen zerstörenden Rückschlag (der zu Deflagration oder Detonation führen kann) in die Rohrleitungen oder in die Mischvorrichtungen zu verhindern;
- e) um die Verletzung von Bedienpersonen durch herausgeschleuderte Bruchstücke zu verhindern, müssen alle Teile des Prüfgerätes im Fall einer Explosion in angemessener Weise abgeschirmt sein;
- f) muss eine ausreichende Be- und Entlüftung sichergestellt sein, um die Ansammlung brennbaren Materials zu verhindern, das im Labor zur Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre führt als Folge:
 - 1) des Spülens des Prüfgerätes;
 - 2) der Abluft der Vakuumpumpe; oder
 - 3) von Undichtigkeiten am Gerät.
- g) bei diesem Prüfverfahren gebildete Gemische haben sehr niedrige Zündenergien und sehr hohe Explosionsdrücke. Es sind geeignete Vorkehrungen zu treffen, um eine Entzündung zu vermeiden;
- h) muss bei der Analyse explosiver Gemische sichergestellt werden, dass das Analysegerät keine wirksame Zündquelle enthält, wenn eine Entzündung sich in das Gerät zurück ausbreiten kann;
- i) müssen alle elektrischen Anschlüsse ausreichend isoliert sein, um elektrische Schläge oder Elektroschocks für das Personal zu verhindern;
- j) müssen vor dem Herstellen des Gemisches entsprechende Sicherheitsmaßnahmen getroffen werden, damit sichergestellt ist, dass die Stoffe risikolos gemischt werden können;
- k) sind Sicherheitsmaßnahmen zu treffen, um Gefährdungen zu verhindern, die beim Umgang mit toxischen, brennbaren Gasen und deren Verbrennungsprodukten auftreten können;
- l) muss die Handhabung von brennbaren Flüssigkeiten so erfolgen, dass die Brandgefahr minimiert wird;
- m) muss die Handhabung Gasflaschen so erfolgen, dass die Explosionsgefahr minimiert wird;
- n) muss bei Versagen des Zündsystems das noch am Ende der Prüfung im Explosionsgefäß befindliche explosionsfähige Gemisch herausgespült und verdünnt werden, um es nicht-entzündbar zu machen.

4.3 Probenvorbereitung und -lagerung

Die Bestandteile des Prüfgemisches müssen die folgenden Anforderungen erfüllen:

- a) **Luft:** Die Luft muss öl- und wasserfrei sein (bzw. weniger als 100 ppmV^{N1}). Bei Verwendung von synthetischer Luft muss das im Prüfbericht angegeben werden.
- b) **Inertgas:** Die Reinheit des Inertgases oder des Inertgasgemisches muss mindestens $x(\text{inert}) = 99,8 \%$ betragen. Bei Verwendung eines Inertgasgemisches muss dessen Zusammensetzung im Prüfbericht angegeben werden.
- c) **Brennbares Gas:** Das brennbare Gas kann:
 - 1) ein reiner Stoff sein oder von einem Stoffgemisch stammen;
 - 2) eine technische Probe sein (von bekannter oder unbekannter Zusammensetzung).

Wenn ein einzelner Stoff oder ein bestimmtes Stoffgemisch eingesetzt wird, muss die Reinheit jedes Stoffes mindestens $x(\text{inert}) = 99,8 \%$ betragen. Bei Stoffgemischen oder technischen Proben mit bekannter Zusammensetzung müssen die Messunsicherheiten der Zusammensetzung im Prüfbericht angegeben werden. Bei technischen Proben unbekannter Zusammensetzung ist die Probe möglichst genau zu beschreiben (z. B. Prozessbedingungen, untere Explosionsgrenze).

Stammt das brennbare Gas aus einer Flüssigkeit mit mehr als einem Bestandteil, kann die Zusammensetzung der Gasphase von der der flüssigen Phase abweichen, und bei der Entnahme großer Gasmengen kann sich die Zusammensetzung sowohl der Flüssig- als auch der Gasphase mit der Zeit ändern. Daher muss die Prüfprobe ausschließlich aus der Flüssigphase entnommen werden.

4.4 Durchführung

4.4.1 Herstellen des Prüfgemisches

4.4.1.1 Allgemeines

Bei Verwendung von Flüssiggasen oder Flüssigkeiten muss sichergestellt sein, dass keine Kondensation auftritt.

ANMERKUNG Kondensation lässt sich vermeiden, indem die Dampfdrücke der Stoffe überprüft werden und indem partiell geheizt wird, um das Abkühlen bestimmter Teile des Prüfgerätes (z. B. Armaturen) zu verhindern.

Das Prüfgemisch darf nach dem Partialdruckverfahren oder durch das Vermischen von Gasströmen entweder innerhalb oder außerhalb des Explosionsgefäßes hergestellt werden.

4.4.1.2 Herstellen des Prüfgemisches nach dem Partialdruckverfahren

Wird das Gefäß beim Herstellen des Prüfgemisches evakuiert, muss der Anteil der im Gefäß verbleibenden Luft bei der Berechnung der entsprechenden Partialdrücke von Luft und brennbaren Stoffen berücksichtigt werden. Beim Herstellen des Prüfgemisches können Vorsichtsmaßnahmen notwendig sein, um Kondensation zu verhindern.

^{N1} Nationale Fußnote: ppm steht für „parts per million“. ppmV gibt den Volumenanteil je Million an.