

Quelle: <https://www.arbeitssicherheit.de//document/52a0a428-a687-3f27-a8ac-96a566ef25ee>

Bibliografie

Titel	Praxishandbuch Brandschutz
Herausgeber	Scheuermann
Auflage	2016
Abschnitt	8 Explosionsschutz → 8.6 Vermeiden oder Einschränken explosionsfähiger Atmosphäre
Autor	Dyrba
Verlag	Carl Heymanns Verlag

8.6.2 Verhindern oder Einschränken der Bildung explosionsfähiger Atmosphäre im Inneren von Anlagen und Anlagenteilen

Lässt sich der Umgang mit Stoffen, die explosionsfähige Atmosphäre zu bilden vermögen, nicht vermeiden, so kann ein sehr hohes Sicherheitsniveau dadurch erreicht werden, dass die Bildung explosionsfähiger Atmosphäre in gefährdender Menge innerhalb der Anlagen und Anlagenteile durch Begrenzung der Menge bzw. der Konzentration oder durch Inertisieren verhindert oder eingeschränkt wird.

Diese Maßnahmen sind in geeigneter Weise zu überwachen, sofern nicht die Einhaltung der unbedenklichen Konzentration durch die Verfahrensbedingungen sichergestellt ist.

Die Überwachung kann z.B. durch geeignete und hinreichend funktionssichere Vorrichtungen, wie Strömungswächter oder Gaswarneinrichtungen mit Alarmfunktion, manueller oder automatischer Auslösung von Schutzmaßnahmen oder Notfunktionen erfolgen.

Auch eine Druckabsenkung unter den atmosphärischen Druck kann die Explosionsgefahr oder -heftigkeit herabsetzen, da entweder keine Explosion mehr stattfindet oder der maximale Explosionsdruck erniedrigt wird.

Konzentrationsbegrenzung

Bei Anwendung dieser Maßnahmen muss die Konzentration der brennbaren Stoffe unterhalb der unteren oder oberhalb der oberen Explosionsgrenze gehalten werden. Es ist dabei zu beachten, dass beim Anfahren und Abfahren der Anlagen der Explosionsbereich durchfahren werden kann.

Inertisieren

Durch Zugabe von gasförmigen Inertstoffen (z.B. Stickstoff, Kohlendioxid, Edelgasen), Wasserdampf oder auch von pulverförmigen Inertstoffen kann die Bildung explosionsfähiger Gemische verhindert werden.

Als Methoden des Inertisierens haben sich in der Praxis beispielsweise verschiedene Druckwechselverfahren mit oder ohne Vakuumanwendung, die Durchflussspülung sowie die Inertgasbeatmung mit Druckhaltung zur Aufrechterhaltung der vorhandenen Inertisierung bewährt. Beim Inertisieren mit Wasserdampf ist die Auswirkung einer möglichen Kondensation zu berücksichtigen.

Es ist zu unterscheiden zwischen dem partiellen und totalen Inertisieren. Das partielle Inertisieren beruht auf der Verringerung der Sauerstoffkonzentration im Gemisch, sodass dieses nicht mehr explosionsfähig wird. Nach Zumischung ausreichender Mengen von Sauerstoff oder Luft (z.B. Austritt ins Freie) wird das Gemisch wieder explosionsfähig. Ausschlaggebender Wert für die Auslegung des partiellen Inertisierens ist die Sauerstoffgrenzkonzentration; hierunter wird die höchste Sauerstoffkonzentration verstanden, bei der eine selbstständige Flammenfortpflanzung (Explosion) gerade nicht mehr möglich ist. Dieser Wert ist vor allem vom brennbaren Stoff und vom Inertgas, aber auch von Temperatur und Druck abhängig.

Hiervon zu unterscheiden ist die höchstzulässige Sauerstoffkonzentration, die sich aus der experimentell bestimmten Sauerstoffgrenzkonzentration durch Abzug eines Sicherheitsabstandes ergibt.

Der Sicherheitsabstand zwischen der experimentell bestimmten Sauerstoffgrenzkonzentration und der höchstzulässigen Sauerstoffkonzentration ist unter Berücksichtigung der betriebs- und störungsbedingten örtlichen und zeitlichen Schwankungen der Sauerstoffkonzentration und der Zeitspanne für das Wirksamwerden ausgelöster Schutzmaßnahmen bzw. Notfunktionen festzulegen.

Beim totalen Inertisieren ist das Verhältnis des Anteiles von Inertgas zu dem des brennbaren Stoffes so hoch, dass auch nach Zumischung beliebiger Luftmengen das Gemisch nicht explosionsfähig ist. Das totale Inertisieren findet in der Praxis nur bei explosionsfähiger Atmosphäre mit brennbaren Gasen und Dämpfen Anwendung.

Wesentliche Voraussetzung für jede Methode des Inertisierens ist ihre Überwachung mit geeigneten Messgeräten, z.B. Überwachung der Sauerstoffkonzentration, der Inertgaskonzentration, des Gesamtdruckes oder der Mengenströme von Inertgas und brennbarem Stoff bzw. Sauerstoff.

Es ist weiterhin eine Alarmschwelle unterhalb der höchstzulässigen Sauerstoffkonzentration festzulegen. Hierbei sind die Eigenschaften der Überwachungsgeräte zu berücksichtigen.

Bei Erreichen der Alarmschwelle müssen – den Bedingungen des Einzelfalles entsprechend von Hand oder automatisch ausgelöst – Schutzmaßnahmen durchgeführt oder Notfunktionen ausgelöst werden.

In Abhängigkeit von der Zuverlässigkeit der Inertisierung ist eine Zonenreduzierung für das Innere von Anlagen und Anlagenteilen möglich.

Inertisierte nicht einatembare Apparaturen

Wird in einer Apparatur ohne Verbindung zur Atmosphäre, die zu einer Beatmung des Tanks führen kann, durch ausreichende Zugabe von Inertgas, z.B. Stickstoff oder Kohlendioxid, gewährleistet, dass sich keine explosionsfähige Atmosphäre im Apparatureninneren bilden kann, ist das Innere dieser Apparatur kein explosionsgefährdeter Bereich.

Inertisierte Apparatur mit Belüftungsarmaturen

Die Belüftungsarmatur einer Lüftungseinrichtung von inertisierten Apparaturen ist als Noteinrichtung vorzusehen, die nur in Grenzfällen (Ausfall der Inertgaszufuhr, extreme witterungsbedingte Abkühlung) anspricht.

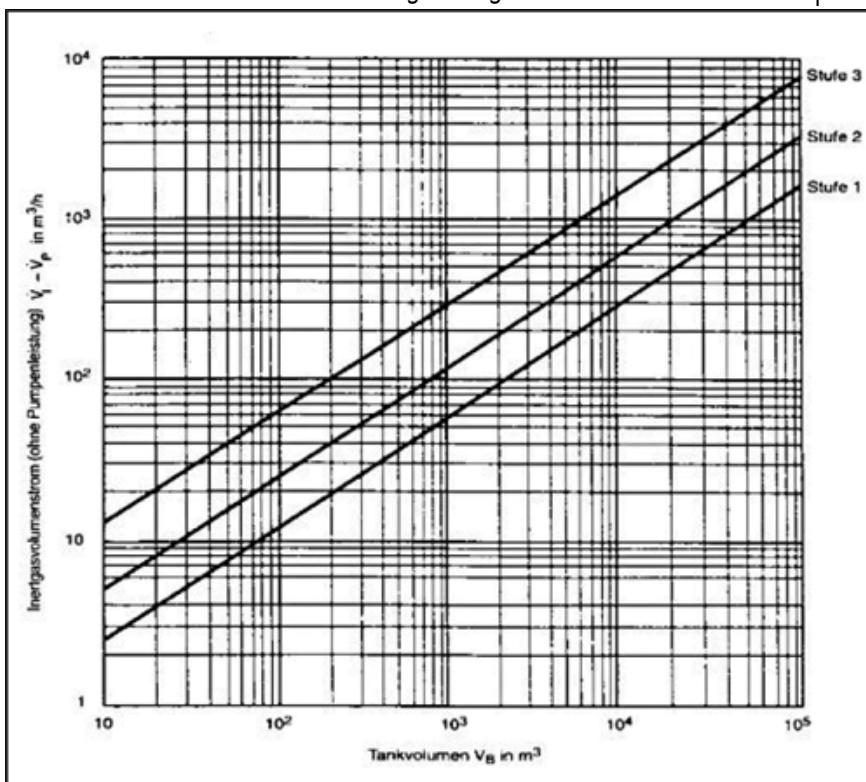
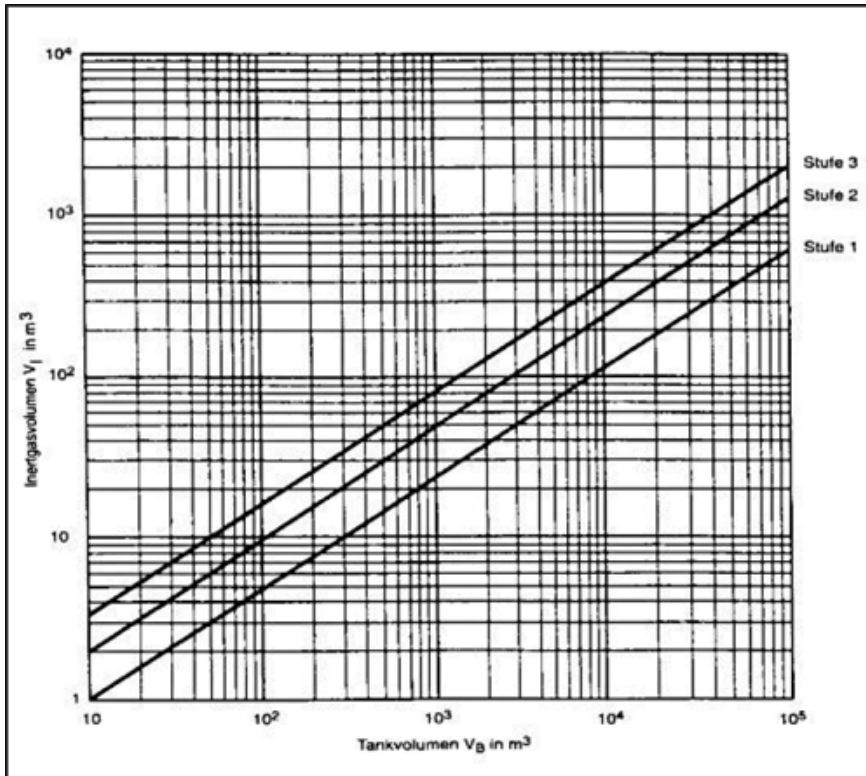
Bei Apparaturen dürfen durch Zugabe von Inertgas die Anforderungen wegen der geringeren Wahrscheinlichkeit für das Auftreten explosionsfähiger Atmosphäre verringert werden.

Vor der erstmaligen Befüllung der Apparatur (z.B. auch nach Wartungsarbeiten) ist durch Inertgaszugabe die Sauerstoffkonzentration der Atmosphäre auf unter 50 % der Sauerstoffgrenzkonzentration abgesenkt. Diese Erstinertisierung ist durch Messung der Sauerstoffkonzentration zu überprüfen.

8.6.2 Verhindern oder Einschränken der Bildung explosionsfähiger Atmosphäre im Inneren von Anlagen und Anlagenteilen –

Seite 3 – 01.09.2016

Die Beatmung bei dem Entleeren oder bei witterungsbedingter Abkühlung der Apparaturen erfolgt mit Inertgas. Bei der Inertgasversorgung sind Mindestwerte des verfügbaren Inertgasvolumenstroms $\dot{V}_1$ und des vorzuhaltenden Inertgasvolumens V_1 erforderlich. Diese Anforderungen sind auf der Grundlage der maximalen Belüftungs- und Pumpenvolumenströme $\dot{V}_A$ und $\dot{V}_p$ festzulegen, wobei in Verbindung mit Sicherheits- und Überwachungseinrichtungen eine dreifache Abstufung vorgesehen werden kann. Die Mindestwerte des in einer Inertgasanlage vorzuhaltenden Volumens $\dot{V}_1$ und des Inertgasvolumenstroms $\dot{V}_L$ können den Bildern 1 und 2 oder wie nach Ziffer 1 bis 3 berechnet werden. In das vorzuhaltende Volumen bei Umgebungsdruck darf auch das Normvolumen des Rohrleitungsnetzes der Inertgasversorgung (z.B. ab einer Luftzerlegungsanlage) mit einbezogen werden.



8.6.2 Verhindern oder Einschränken der Bildung explosionsfähiger Atmosphäre im Inneren von Anlagen und Anlagenteilen –
Seite 4 – 01.09.2016

[<<](#) [>>](#)

Inertisierungsstufe 1:

$$\dot{V}_1 = 0,1 \cdot \dot{V}_A + \dot{V}_P$$

$$\dot{V}_1 = 0,04 \cdot \dot{V}_A$$

$\dot{V}_1, \dot{V}_A, \dot{V}_P$ in m³/h

$\dot{V}_1$ in m³

Die Inertgasversorgung muss durch geeignete Messungen (z.B. des Tankdrucks oder der Sauerstoffkonzentration) überwacht werden. Bei Erreichen des Ansprechdruckes des Belüftungsventils muss Alarm ausgelöst werden. Bei dieser Inertisierungsstufe herrscht in der Regel eine Zone 1 im Innern der Apparatur.

Inertisierungsstufe 2:

$$\dot{V}_1 = 0,2 \cdot \dot{V}_A + \dot{V}_P$$

$$\dot{V}_1 = 0,08 \cdot \dot{V}_A$$

Der unter Inertisierungsstufe 1 festgelegte Alarm muss das Abschalten der Entleerungspumpen bewirken. In diesem Fall liegt eine Zone 2 vor.

Inertisierungsstufe 3:

$$\dot{V}_1 = 0,5 \cdot \dot{V}_A + \dot{V}_P$$

$$\dot{V}_1 = 0,12 \cdot \dot{V}_A$$

Der Tankdruck ist redundant zu überwachen. Die Inertgasversorgung muss im Überdruckbereich geregelt werden, insbesondere muss der geforderte Volumenstrom $\dot{V}_i$ bei einem Druck, der mindestens so groß ist wie der Atmosphärendruck, erreicht werden. Der Ansprechdruck des Notbelüftungsventils muss mindestens 5 mbar unter diesem Grenzdruck liegen. Bei Unterschreiten des Grenzdruckes sind Alarm sowie das Abschalten der Entleerungspumpen auszulösen. Auch in diesem Fall liegt eine Zone 2 vor.

Bei der gemeinsamen Versorgung mehrerer Apparaturen errechnet sich der Inertgasbedarf durch Aufsummieren der Einzelbeträge

$$\sum_i \dot{V}_{i, \text{und}}$$

$$\sum_i \dot{V}_{i, \text{und}}$$

Sind mehrere Tanks mit gemeinsamer Inertgasversorgung so aufgeteilt, dass keine Einzelapparatur mehr als 20 % des gesamten Rauminhalts der Apparatur umfasst, so dürfen die errechneten Werte um 50 % herabgesetzt werden.

Bei Beatmungssystemen, bei denen mindestens fünf Apparaturen untereinander atmen können, braucht $\dot{V}_P$ bei der Bemessung von $\dot{V}_i$ nicht berücksichtigt zu werden.

Die Notbelüftung soll an der Inertgaszuführung erfolgen.

8.6.2 Verhindern oder Einschränken der Bildung explosionsfähiger Atmosphäre im Inneren von Anlagen und Anlagenteilen –
Seite 5 – 01.12.2013

[<<](#) [>>](#)

Partielles Inertisieren

Inertisieren explosionsfähiger Atmosphäre brennbarer Gase und Dämpfe

In Tabelle 2 Kap. 8.5.1 sind beispielsweise einige Sauerstoffgrenzkonzentrationen aufgeführt.

Rechenbeispiel zum partiellen Inertisieren

Ein bestimmter Prozess mit Propan (als einzigem brennbarem Stoff) ist bei ca. 20 °C und 1 bar unter Inertisieren mit Stickstoff so zu führen, dass im Inneren der Anlage und Rohrleitungen keine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre entsteht. Die Sauerstoffkonzentration der Gasphase kann überwacht werden.

Die Sauerstoffgrenzkonzentration wird der Tabelle entnommen (Molgehalt $C_{\max O} = 9,8 \%$, alte $\max O = 9,8 \text{ Vol.}\%$). Im vorliegenden Fall sei bekannt, dass verfahrensbedingt die Sauerstoffkonzentration örtlich und zeitlich um $+1 \%$ (Molgehalt) schwanken kann. Ferner sollen eventuelle Schutzfunktionen so schnell wirksam werden, dass nach ihrer Auslösung die Sauerstoffkonzentration maximal noch um 1% ansteigen kann. Damit wird die höchstzulässige Sauerstoffkonzentration auf

$$((9,8 - 2) - 1) \% = 6,8 \%$$

festgelegt. Zur Berücksichtigung der Eigenschaften der Sauerstoffüberwachungseinrichtung (u.a. Messabweichungen, Alarmverzögerungen) wird weiterhin eine Alarmschwelle unterhalb der höchstzulässigen Sauerstoffkonzentration bestimmt. Der hierfür nötige Sicherheitsabstand betrage im vorliegenden Fall ca. 3% , sodass die Alarmschwelle bei

$$(6,8 - 3) \% = 3,8 \%$$

liegt. Überschreitet die im Prozess gemessene Sauerstoffkonzentration die Alarmschwelle von $3,8 \%$ (Molgehalt), so werden die Schutzfunktionen ausgelöst.

Totales Inertisieren

Beim totalen Inertisieren werden explosionsfähige Gemische dadurch vermieden, dass das Verhältnis des Partialdruckes des Inertgases zu demjenigen des brennbaren Gases oder Dampfes einen bestimmten Grenzwert (s. Tabelle 1) überschreitet. Es sind hinreichende Sicherheitsabstände zu den experimentell bestimmten Grenzwerten vorzusehen.

Die besondere technische Schwierigkeit besteht darin, dass der Partialdruck des brennbaren Gases oder Dampfes oft verfahrenstechnisch oder physikalisch (nämlich entsprechend der Dampfdruckkurve der Flüssigkeit) vorgegeben ist und damit zur Aufrechterhaltung des totalen Inertisierens ein erheblicher Gesamtüberdruck erforderlich sein kann.

8.6.2 Verhindern oder Einschränken der Bildung explosionsfähiger Atmosphäre im Inneren von Anlagen und Anlagenteilen –
Seite 6 – 01.12.2013

[<<](#) [>>](#)

Rechenbeispiel zum totalen Inertisieren

In einem Behälter soll Hexan bei 20°C mit Inertgas (ohne Luft) so unter Druck stehen, dass bei einer Undichtigkeit im Gasraum des Behälters explosionsfähige Atmosphäre im Freien nicht entstehen kann. Hexan hat bei 20°C einen Sattdampfdruck von ca. $0,16 \text{ bar}$.

Der Tabelle ist zu entnehmen, dass für das Inertisieren mit Stickstoff das Verhältnis der Molanteile und damit in guter Näherung der Partialdrücke von Stickstoff und Hexandampf mindestens 42 betragen muss, d.h., der Partialdruck des Stickstoffs muss mindestens bei

$$(42 \times 0,16) \text{ bar} = 6,7 \text{ bar}$$

liegen. Bei homogener Mischung des Stickstoffs mit dem Hexandampf im Behälter ist somit durch Aufdrücken von Stickstoff ein Gesamtdruck von

$$(6,7 + 0,16) \text{ bar} = 6,9 \text{ bar}$$

(entsprechend einem Überdruck von $5,9 \text{ bar}$)

im Behälter erforderlich.

Beim Inertisieren mit Kohlendioxid beträgt das Verhältnis der Molanteile von Kohlendioxid zu Hexandampf nach Tabelle mindestens 32. Die analoge Rechnung ergibt, dass zum Erreichen des Schutzzieles durch Zugabe von Kohlendioxid ein Gesamtdruck von

$$(32 \times 0,16 + 0,16) \text{ bar} = 5,3 \text{ bar}$$

(entsprechend einem Überdruck von $4,3 \text{ bar}$)

einzustellen ist.

Inertisieren brennbarer Stäube

In Tabelle 10 Kap. 8.5.2 sind für bekannte Staubarten die für ein Inertisieren von Staub-Luft-Gemischen mit Stickstoff maßgeblichen Sauerstoffgrenzkonzentrationen zusammengestellt.

Ebenso wie bei Gasen und Dämpfen ist die Sauerstoffgrenzkonzentration von der Art des Inertgases abhängig. Bei Einsatz von Kohlendioxid als Inertgas werden für die Sauerstoffgrenzkonzentration höhere Werte gemessen als beim Einsatz von Stickstoff. Die Sauerstoffgrenzkonzentration fällt mit zunehmender Temperatur und steigendem Druck ab.

Da viele Leichtmetallstäube mit Kohlendioxid und zum Teil auch mit Stickstoff reagieren können, müssen in diesen Sonderfällen Edelgase als Inertgas verwendet werden.

8.6.2 Verhindern oder Einschränken der Bildung explosionsfähiger Atmosphäre im Inneren von Anlagen und Anlagenteilen – Seite 7 – 01.12.2013

[<<](#) [>>](#)

Zum Vermeiden von Glimm- oder Schwelbränden bei Ablagerungen brennbarer Stäube müssen zum Teil noch wesentlich niedrigere Sauerstoffkonzentrationen eingehalten werden, als es zum Vermeiden von Staubexplosionen notwendig ist. Die dafür maßgebenden Sauerstoffkonzentrationen müssen gesondert ermittelt werden.

Bemerkung: Explosionsfähige Staub-Luft-Gemische können auch durch Zugabe von inerten Stäuben (z.B. Steinsalz, Natriumsulfat oder Phosphat) ausreichend inertisiert werden. Im Allgemeinen ist hierfür jedoch ein Inertstaubzusatz von mehr als 50 % (Massegehalt), zum Teil über 80 % erforderlich.

Es sind hinreichende Sicherheitsabstände zu den experimentell bestimmten Grenzwerten vorzusehen.

Ebenso wie bei Gasen und Dämpfen ist die Sauerstoffgrenzkonzentration von der Art des Inertgases abhängig. Beim Einsatz von Kohlendioxid als Inertgas werden für die Sauerstoffgrenzkonzentration höhere Werte gemessen als beim Einsatz von Stickstoff. Die Sauerstoffgrenzkonzentration fällt mit zunehmender Temperatur und steigendem Druck ab.

Da viele Leichtmetallstäube mit Kohlendioxid und zum Teil auch mit Stickstoff reagieren können, sind Kohlendioxid und Stickstoff in diesen Fällen nicht geeignet. In solchen Fällen können z.B. Edelgase eingesetzt werden.

Zum Vermeiden von Glimm- oder Schwelbränden bei Ablagerungen brennbarer Stäube müssen zum Teil noch wesentlich niedrigere Sauerstoffkonzentrationen eingehalten werden, als es zum Vermeiden von Staubexplosionen notwendig ist. Die dafür maßgeblichen Sauerstoffkonzentrationen müssen gesondert ermittelt werden.

Explosionsfähige Staub-Luft-Gemische können auch durch Zugabe von inerten Stäuben (z.B. Steinsalz, Natriumsulfat oder Phosphat) ausreichend inertisiert werden. Im Allgemeinen ist hierfür jedoch ein Inertstaubzusatz von mehr als 50 % (Massegehalt) erforderlich.

Inertisieren hybrider Gemische

Bei gleichzeitigem Vorhandensein gasförmiger, staubförmiger und/oder nebelförmiger Stoffe ist zur Ermittlung der höchstzulässigen Sauerstoffkonzentration die Komponente mit der niedrigsten Sauerstoffgrenzkonzentration zugrunde zu legen. Im Einzelfall sollten Experten hinzugezogen werden.

Vermeiden gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre durch Druckabsenkung

Der zu erwartende Explosionsdruck beträgt üblicherweise das Acht- bis Zehnfache des Ausgangsdruckes. Durch Herabsetzen des Betriebsdruckes unter den Atmosphärendruck kann der zu erwartende Explosionsdruck reduziert werden. Wird der Betriebsdruck unter 0,1 bar abgesenkt, liegt der zu erwartende Explosionsdruck unter dem Atmosphärendruck. In diesem Fall ist kein unzulässiger Überdruck zu erwarten. Wird der Betriebsdruck unter ca. 50 mbar abgesenkt, ist in der Regel nicht mehr mit einer gefährlichen Explosionsausbreitung zu rechnen. An- und

8.6.2 Verhindern oder Einschränken der Bildung explosionsfähiger Atmosphäre im Inneren von Anlagen und Anlagenteilen – Seite 8 – 01.12.2013

[<<](#)

Abfahrvorgänge sind hinsichtlich des Explosionsschutzes gesondert zu betrachten. Der abgesenkte Druck ist messtechnisch zu überwachen. Für Betriebsstörungen (z.B. bei Lufteinbruch) und An- und Abfahrvorgänge sind zusätzliche geeignete Maßnahmen (z.B. zeitweise Inertisierung oder zeitweise Vermeidung von Zündquellen) vorzusehen.

Bearbeitungsdatum: Dezember 2016

Fußnoten

¹ Für die Schwankung werden hier 2 % angesetzt.