

Technische Regel zu Druckbehältern	Aufstellung von Druckbehältern zum Lagern von Gasen	TRB 610
------------------------------------	--	----------------

Vom 21. August 1995 (BArbBl. 11/1995 S. 56)
 zuletzt geändert am 28. Mai 2002 (BArbBl. 9/2002 S. 129)*)

Inhalt

- 1 Geltungsbereich
- 2 Begriffsbestimmungen
- 3 Allgemeine Anforderungen an die Aufstellung
 - 3.1 Allgemeines
 - 3.2 Vorbeugende und schadensbegrenzende Schutzmaßnahmen
 - 3.2.1 Allgemeine Schutzmaßnahmen
 - 3.2.2 Schutzmaßnahmen bei Aufstellung in Räumen
 - 3.2.3 Schutzmaßnahmen bei Aufstellung im Freien
- 4 Zusätzliche Anforderungen bei brennbaren Gasen
 - 4.1 Allgemeines
 - 4.2 Vorbeugende und schadensbegrenzende Schutzmaßnahmen
 - 4.2.1 Allgemeine Schutzmaßnahmen
 - 4.2.2 Schutzmaßnahmen bei Aufstellung in Räumen
 - 4.2.3 Schutzmaßnahmen bei Aufstellung im Freien
- 5 Zusätzliche Anforderungen bei sehr giftigen oder giftigen Gasen
 - 5.1 Allgemeines
 - 5.2 Vorbeugende und schadensbegrenzende Schutzmaßnahmen
 - 5.2.1 Allgemeine Schutzmaßnahmen
 - 5.2.2 Schutzmaßnahmen bei Aufstellung in Räumen
 - 5.2.3 Schutzmaßnahmen bei Aufstellung im Freien
- Anlage 1: Einstufung der Gase nach gefährlichen Eigenschaften
- Anlage 2: Physikalische Daten der Gase
- Anlage 3a: Kenndaten verflüssigter Gase mit einer kritischen Temperatur ≥ -10 °C
- Anlage 3b: Kenndaten verflüssigter Gase mit einer kritischen Temperatur ≥ -10 °C
- Anlage 4: Geometrische Darstellung der explosionsgefährdeten Bereiche nach Abschnitt 4.2.1.1.2
- Anlage 5: Festlegung der Schutzabstände nach Abschnitt 3.2.3.3.1 für Lagerbehälter bei vorhandenen Brandlasten
- Anlage 6: Bemessung der Abblaseleistung von Sicherheitsventilen bei Wärmeeintrag in einen Lagerbehälter infolge Wärmestrahlung
- Anlage 7: Geometrische Darstellung der Bereiche mit möglicher Gesundheitsgefährdung nach Abschnitten 5.2.3.2.1 und 5.2.3.2.4
- Anlage 8: Bestimmung der erforderlichen Wassermenge für eine Wasserberieselung oder Wasserflutung für ungestörte Oberflächen nach Abschnitt 3.2.3.3.5

*) Auf § 4 Abs. 3 Druckbehälterverordnung wird hingewiesen (EG-Gleichwertigkeitsklausel)

Druckb 5.2.610

1 Geltungsbereich

- 1.1** Diese TRB gilt für die Aufstellung von Druckbehältern zum Lagern von Gasen - im folgenden Lagerbehälter genannt - zusätzlich zur TRB 600.
Fragen von Herstellung, Ausrüstung und Betrieb sowie anderer Anlagenkomponenten, z.B. Füllanlagen, sind in den einschlägigen TRB geregelt. Einzelne Anforderungen, die nicht die Aufstellung betreffen, sind dann in dieser TRB genannt, solange entsprechende Anforderungen in den anderen TRB nicht enthalten sind.
- 1.2** Soweit für besondere Druckbehälter gemäß Anhang II zu § 12 DruckbehV andere Bestimmungen gelten, sind diese in der TRB 801 enthalten, insbesondere in den Nummern 25, 26, 27.
- 1.3** Nach Anhang I Abschnitt 1.2 Satz 3 DruckbehV bleiben die Vorschriften des Bauaufsichtsrechts für die Aufstellung von Lagerbehältern für Gase unberührt.

2 Begriffsbestimmungen

2.1 Gase

Gase sind Druckgase im Sinne des § 3 Abs. 4 DruckbehV. Dies sind Stoffe, deren kritische Temperatur unter 50 °C liegt oder deren Dampfdruck bei 50 °C mehr als 3 bar beträgt. Gasgemische sind in dieser TRB den Gasen gleich gestellt. Cyanwasserstoff (Blausäure) gilt als Gas im Sinne dieser TRB.

2.2 Gase mit gefährlichen Eigenschaften

Gase mit gefährlichen Eigenschaften im Sinne dieser TRB sind Gase, die brandfördernd, hochentzündlich, sehr giftig, giftig, gesundheitsschädlich, ätzend, reizend, sensibilisierend, krebserzeugend, fortpflanzungsgefährdend, erbgutverändernd sind oder sonstige chronisch schädigende Eigenschaften besitzen oder umweltgefährlich im Sinne von § 3a Abs. 1 Chemikaliengesetz sind - siehe Anlage 1.

Gefahren können auch von anderen Gasen, z. B. Stickstoff, Kohlendioxid, Edelgasen, ausgehen. Diese fallen nicht unter die Definition „Gase mit gefährlichen Eigenschaften“, können aber bei falscher Handhabung durch Verdrängen des Luftsauerstoffs erstickend wirken.

2.3 Brennbare Gase

Brennbare Gase sind Gase, die bei Normaldruck mit Luft einen Explosionsbereich haben, d. h. wenn sie hochentzündlich im Sinne von § 3a Abs. 1 Nr. 3 des Chemikaliengesetzes sind - siehe Anlage 1.

2.4 Sehr giftige oder giftige Gase

Sehr giftige oder giftige Gase im Sinne dieser TRB sind Gase, wenn sie sehr giftig oder giftig im Sinne von § 3a Abs. 1 Nr. 6 und 7 des Chemikaliengesetzes sind - siehe Anlage 1.

2.5 Tiefkalte flüssige Gase

Tiefkalte flüssige Gase sind Gase, deren flüssiger Zustand durch Kühlung, Verdampfung oder Wärmedämmung bei einer Temperatur aufrechterhalten wird, die unter der Temperatur der Umgebung liegt.

2.6 Lagern von Gasen

Ein Lagern von Gasen liegt dann vor, wenn Gase zu Vorratszwecken in ortsfesten Druckbehältern gespeichert werden.

Als Lagern gilt nicht, wenn Gase

- sich im Arbeitsgang befinden,
- in der für den Fortgang der Arbeiten erforderlichen Menge bereitgehalten werden oder
- in Laboratorien in der für den Handgebrauch erforderlichen Menge bereitgehalten werden.

2.7 Erdgedeckte Lagerbehälter

Erdgedeckte Lagerbehälter sind ergänzend zu TRB 600 Abschnitt 2.2 nur solche, die allseitig mit Erde oder Sand von mindestens 0,5 m Schichtdicke bedeckt sind. Zu diesen Lagerbehältern gehören auch solche, bei denen eine Stirnwand von Erde bedeckt bleibt.

2.8 Schutzabstände

Schutzabstände sind Abstände zwischen Lagerbehältern und benachbarten Anlagen, Einrichtungen, Gebäuden oder öffentlichen Verkehrswegen, deren Zweck es ist, den Lagerbehälter vor einem Schadensereignis wie

- Erwärmung infolge Brandbelastung oder
 - mechanische Beschädigung,
- zu schützen.

2.9 Explosionsgefährdete Bereiche

Explosionsgefährdete Bereiche sind Bereiche, in denen Explosionsgefahr aufgrund betriebsbedingter Gasaustritte herrschen kann, d. h. in denen aufgrund der örtlichen und betrieblichen Verhältnisse gefährliche explosionsfähige Atmosphäre auftreten kann - siehe „Regeln für die Vermeidung der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung - Explosionsschutzregeln“, (ZH 1/10).

2.10 Bereiche mit möglicher Gesundheitsgefährdung durch sehr giftige oder giftige Gase

Bereiche mit möglicher Gesundheitsgefährdung aufgrund betriebsbedingter Gasaustritte von sehr giftigen oder giftigen Gasen sind Bereiche, in denen aufgrund der örtlichen und betrieblichen Verhältnisse gesundheitsgefährliche Atmosphäre auftreten kann.

2.11 Feuerwiderstandsklassen

Bauteile werden entsprechend der Feuerwiderstandsdauer in Feuerwiderstandsklassen nach DIN 4102 Teil 1 - 5 und 7 eingestuft.

2.12 Gasaustritte

2.12.1 Gasaustritte können betriebsbedingt oder störungsbedingt sein.

Gasaustritte, die durch Störungen hervorgerufen werden, die vernünftigerweise auszuschließen sind, werden nicht berücksichtigt.

2.12.1.1 Betriebsbedingte Gasaustrittsstellen sind quantifizierbare Lecks und sind z.B.

- Abgasleitungen,
- Entspannungsleitungen,
- Ent- und Belüftungsleitungen,
- Kupplungen,
- Durchführungen von Antrieben und Wellen,
- Probenahmeöffnungen.

2.12.1.2 Störungsbedingte Gasaustritte können sich im Einzelfall ergeben z. B. bei

- Überfüllung,
- Versagen von Armaturen,
- Undichtheiten an lösbaren Verbindungen,

Druckb 5.2.610

- Fehlbedienungen,
- Schweißnahttrissen,
- Riss einer Rohrleitungs- /Flanschverbindung,
- Rohrabriss,
- Rohrleitungsleck.

Lässt sich bei störungsbedingten Gasaustrittsstellen eine Leckrate bestimmen, kann diese für die Festlegung eines Sicherheitsabstandes zugrunde gelegt werden.

Ist eine Leckrate nicht bestimmbar, ist im Rahmen einer Sicherheitsbetrachtung festzulegen, welche vorbeugenden Maßnahmen zur Vermeidung oder zur Begrenzung der Auswirkungen zu treffen sind. Solche vorbeugende Maßnahmen ergeben sich aus erhöhten Anforderungen an

- Auslegung,
- Herstellung,
- Ausrüstung,
- Prüfung

der Anlagenteile.

2.12.1.3 Gasaustritte aus Sicherheitseinrichtungen

- siehe TRB 600 Abschnitt 3.4.

2.13 Gasdichte Abtrennungen

Gasdichte Abtrennungen sind solche, die einen Gasdurchtritt in gefahrdrohender Menge verhindern, z.B.

- Stahlbetonwände,
- Ziegelsteinwände, die beidseitig verputzt oder verfugt sind.
- Faserzementwände,
- Blechwände

2.14 Brandlast und zulässige Werkstofftemperatur

Als Brandlast gilt ein brennbarer Stoff in der Umgebung des Lagerbehälters, der im Brandfall eine potentielle Gefährdung für den Lagerbehälter darstellt. Im Brandfall können infolge der Wärmeübertragung von der Brandlast Gefahren durch Flammenberührung oder Wärmestrahlung ausgehen.

Zulässige Werkstofftemperaturen bei vorhandenen Brandlasten - siehe Anlage 5.

2.15 Gase schwerer oder leichter als Luft

Gase schwerer als Luft sind solche, deren Dichte, bezogen auf den Zustand nach Austritt, d.h. bei der jeweiligen Temperatur des Gases und dem Druck der Umgebungsatmosphäre, mehr als 1,3 kg/m³ beträgt.

Gase leichter als Luft sind nach den o.g. Bedingungen Gase mit einer Dichte von weniger als 1,2 kg/m³.

2.16 Sicherheitsabstand

Der Sicherheitsabstand im Sinne dieser TRB ist der Abstand zwischen einer Anlage und einem Schutzobjekt außerhalb der Anlage, das vor den Auswirkungen eines bestimmaren störungsbedingten Gasaustritts bei Abweichung vom bestimmungsgemäßen Betrieb geschützt werden soll.

Der Sicherheitsabstand ist der Abstand, außerhalb dessen

- bei brennbaren Gasen eine Gefährdung durch Auftreten einer explosionsfähigen Atmosphäre ausgeschlossen werden kann, d.h. die untere Explosionsgrenze (UEG) wird nicht überschritten,

- bei sehr giftigen oder giftigen Gasen eine Gefährdung durch Auftreten einer gesundheitsgefährlichen Atmosphäre ausgeschlossen werden kann, d.h. der ERPG-2-Wert¹⁾ bzw. ein vergleichbarer gasspezifischer Grenzwert wird nicht überschritten.

2.16.1 Schutzobjekte sind

Wohngebäude,

betriebsfremde Anlagen, Gebäude und Einrichtungen außerhalb des Werkgeländes, in oder auf denen sich dauernd oder regelmäßig Menschen aufhalten, zu deren Schutz bei störungsbedingtem Gasaustritt nicht ebensolche Vorsorgemaßnahmen getroffen sind, wie für die eigenen Mitarbeiter (Alarm- und Gefahrenabwehrpläne),

betriebsfremde Anlagen, Gebäude und Einrichtungen innerhalb des Werkgeländes, in oder auf denen sich dauernd oder regelmäßig und gleichzeitig eine größere Anzahl von betriebsfremden Menschen aufhalten, zu deren Schutz bei störungsbedingtem Gasaustritt nicht ebensolche Vorsorgemaßnahmen getroffen sind, wie für die eigenen Mitarbeiter (Alarm- und Gefahrenabwehrpläne) und öffentliche Verkehrswege.

In Abstimmung mit der zuständigen Behörde kann festgestellt werden, dass z.B. Verkehrswege mit geringer Nutzungsintensität keine Schutzobjekte im Sinne dieser TRB sind.

2.16.2 aufgehoben

3 Allgemeine Anforderungen an die Aufstellung

Dieser Abschnitt nennt die Anforderungen für die Aufstellung von Lagerbehältern für alle Gase. Die Anforderungen sind abschließend für gesundheitsschädliche, ätzende oder brandfördernde Gase geregelt. Für Gase mit weniger gefährlichen Eigenschaften - z.B. reizende, Gase oder Gase ohne Gefährlichkeitsmerkmale, z.B. inerte Gase, Luft, gelten jedoch die gleichen Anforderungen.

Zusätzliche Anforderungen sind für

- brennbare Gase in Abschnitt 4,
- sehr giftige oder giftige Gase im Abschnitt 5,
- krebserzeugende Gase, gemäß den zusätzlichen gefährlichen Eigenschaften nach der Gefahrstoffverordnung, in Abschnitt 4 bzw. Abschnitt 5 aufgeführt.

3.1 Allgemeines

3.1.1 Gase mit mehreren gefährlichen Eigenschaften

Bei Lagerbehältern für Gase mit mehreren gefährlichen Eigenschaften sind für alle Eigenschaften die entsprechenden Maßnahmen zu ergreifen. Es ist jedoch im Einzelfall zu prüfen, welche Eigenschaft hinsichtlich einer möglichen Gefährdung überwiegt. So überwiegt z.B. bei Lagerbehältern für Ammoniak die Gefährdung durch Giftigkeit, bei Vinylfluorid die Gefährdung durch Brennbarkeit.

3.1.2 Gefahrenhinweise

Auf die gefährlichen Eigenschaften der Gase ist durch entsprechende Kennzeichnung z. B. der Räume, Bereiche, Lagerbehälter und in der Betriebsanweisung hinzuweisen.

3.1.3 Alarmplan- und Gefahrenabwehrplan

Für Lager muss ein Alarmplan und ein Gefahrenabwehrplan aufgestellt sein.

Der Umfang des Alarm- bzw. Gefahrenabwehrplanes richtet sich nach der Lagergröße und den Gefährlichkeitsmerkmalen der gelagerten Gase.

¹⁾ Über diesen Grenzwert wird in den zuständigen Ausschüssen noch diskutiert.

Druckb 5.2.610

3.2 Vorbeugende und schadensbegrenzende Schutzmaßnahmen

Vorbeugend, um Gasaustritte zu verhindern, sind Maßnahmen entsprechend der Gefährdung durch das freiwerdende Gas zu ergreifen. Darüber hinaus sind Maßnahmen zu treffen, um Auswirkungen von betriebsbedingten oder störungsbedingten Gasaustritten so gering wie möglich zu halten.

Nachfolgend werden diese Maßnahmen im einzelnen genannt und als „Schutzmassnahmen“ bezeichnet.

3.2.1 Allgemeine Schutzmassnahmen

3.2.1.1 Umlüftung

Lagerbehälter müssen so aufgestellt sein, dass sie ausreichend umlüftet sind, insbesondere wenn

- die Dichtheit von Anschlüssen und Ausrüstungsteilen durch konstruktive Maßnahmen nicht auf Dauer gewährleistet werden kann oder
- betriebsbedingte Gasaustritte nicht vermieden werden können und ein gefahrloser Austritt oder eine gefahrlose Ableitung nicht möglich ist.

Ausreichende Umlüftung nach Satz 1 liegt vor, wenn die Bildung gesundheitsgefährlicher Gas-/Luft-Gemische bzw. gefährlicher explosionsfähiger oder erstickender Atmosphäre vermieden ist.

3.2.1.2 Zugänglichkeit

Oberirdische oder erdgedeckte Lagerbehälter müssen so aufgestellt sein, dass für Instandhaltung und Reinigung, für Flucht- und Rettungswege sowie für die Maßnahmen zur Kühlung ausreichende Abstände vorhanden sind.

Die Forderung hinsichtlich eines ausreichenden Abstandes für Instandhaltung und Reinigung ist erfüllt, wenn der Abstand mindestens 1 m beträgt, bei Behälterwandungen ohne Öffnung mindestens 0,5 m.

Die Forderung hinsichtlich ausreichender Abstände für Flucht- und Rettungswege ist erfüllt, wenn die Anforderungen nach § 19 Arbeitsstättenverordnung und § 30 UVV - „Allgemeine Vorschriften“ (VBG 1) eingehalten sind.

3.2.1.3 Einschränkung der Aufstellung

Lagerbehälter dürfen nicht in Durchgängen, Durchfahrten, allgemein zugänglichen Fluren, Treppenträumen oder an Treppen von Freianlagen aufgestellt sein. Auch in der Nähe der oben genannten Bereiche dürfen Lagerbehälter nicht aufgestellt werden, wenn Verkehrswege, Fluchtwege oder

die Zugänglichkeit eingeschränkt werden.

3.2.1.4 Eingriff Unbefugter

Lagerbehälter sind vor Eingriffen Unbefugter zu schützen, z. B. durch

- Umfriedung,
- Einschluss der Armaturen.

3.2.1.5 Boden unter Anschlüssen

Der Boden unter lösbaren Anschlüssen und Armaturen an der flüssigen Phase von Lagerbehältern für tiefkalte flüssige Gase mit einer Siedetemperatur bei Atmosphärendruck $< 70\text{ K}$ (-203°C) oder – tiefkalte brandfördernde Gase muss aus nicht brennbaren Stoffen bestehen und frei von Öl, Fett und anderen brennbaren Verunreinigungen sein.

3.2.1.6 Lagerbehälter mit Beheizung

Lagerbehälter für Gase in flüssigem Zustand mit Beheizungseinrichtungen, durch die der zulässige Betriebsüberdruck überschritten werden kann, müssen zusätzlich zu einer Sicherheitseinrichtung gegen Drucküberschreitung mit einem für den Betriebszweck geeigneten Druck- oder Temperaturbegrenzer ausgerüstet sein.

Eine Beheizungseinrichtung an Lagerbehältern kommt nur in Betracht, wenn der Einsatz einer Verdampfungsanlage nicht möglich oder unverhältnismäßig ist, z.B. für sublimierende Gase, tiefkalt verflüssigte Gase, Lagerbehälter mit direkter Einbindung in eine verfahrenstechnische Anlage. Der in Absatz 1 genannte Druck- oder Temperaturbegrenzer muss bei einer unzulässigen Drucksteigerung selbsttätig die Heizungseinrichtung abschalten und verriegeln.

3.2.1.7 Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung

Nach TRB 403 Abschnitt 3.5 darf an Lagerbehältern ein System von automatisch gesteuerten Sicherheitsmassnahmen an Stelle von Sicherheitsventilen vorhanden sein. Bei Gefahr der Selbstbefeuerung (brennbares Gas) gilt Satz 1 nur, wenn Massnahmen nach Abschnitt 3.2.3.3.3, Satz 1 ausgeführt sind.

Wenn eine Brandlast in der Umgebung vorhanden ist, gilt Satz 1 nur, wenn Brandschutzmassnahmen nach Abschnitt 3.2.3.3.2 oder 3.2.3.3.3, ausgeführt sind.

Als Sicherheitsmassnahmen sind folgende Einrichtungen erforderlich:

- Gegen unzulässigen Druckanstieg durch Überfüllung: MSR – Sicherheitseinrichtungen entsprechend AD-Merkblatt A 6 oder
- gegen unzulässigen Druckanstieg durch andere Druckerzeuger, z.B. Pumpen, Heizung, Inertgasüberlagerung: Sicherheitsdruckbegrenzer nach TRB 403 Abschnitt 6 und MSR - Sicherheitseinrichtungen entsprechend AD-Merkblatt A 6

3.2.1.8 Entwässerungsanschlüsse

Entwässerungsanschlüsse müssen erforderlichenfalls gegen Einfrieren geschützt werden.

3.2.1.9 Dichtheitsprüfung

Die Anschlüsse am Lagerbehälter sind vor Inbetriebnahme auf Dichtheit zu prüfen.

3.2.10 Korrosionsschutz

Besonders gefährdete Stellen von Lagerbehältern, wie z.B. die Wandungen im Bereich von Auflagesätteln, Prätzen und unter Wärmedämmungen, müssen zusätzlich geschützt sein.

3.2.2 Schutzmassnahmen bei Aufstellung in Räumen**3.2.2.1 Kennzeichnung der Räume**

Räume mit Lagerbehältern müssen als Gaslagerräume gekennzeichnet sein. Auf die jeweilige Gefährdung durch das Gas ist hinzuweisen, ausgenommen bei Lagerbehältern für Luft.

3.2.2.2 Ausführung der Räume

Räume mit Lagerbehältern müssen

- selbstschliessende Türen haben, falls diese nicht unmittelbar ins Freie führen,
- aus Bauteilen bestehen, die schwer entflammbar oder nicht brennbar sind, ausgenommen Fenster und sonstige Verschlüsse von Öffnungen in Außenwänden,
- von anderen Räumen entsprechend Feuerwiderstandsklasse F 30 abgetrennt sein,
- von angrenzenden Räumen mit Brandlasten entsprechend Feuerwiderstandsklasse F 90 abgetrennt sein; bei Räumen mit Lagerbehältern mit einer Wärme- oder Kälte­dämmung genügt eine Abtrennung entsprechend Feuerwiderstandsklasse F 30 und
- von Räumen zum dauernden Aufenthalt von Menschen ausserdem gasdicht und öffnungslos abgetrennt sein, ausgenommen bei Lagerbehältern für Luft.

3.2.2.3 Nutzung der Räume

Räume mit Lagerbehältern dürfen anderweitig nicht so genutzt werden, dass hierdurch eine Gefährdung durch mechanische Einwirkung, Brand oder Explosion für die Lagerbehälter entstehen kann.

Brennbare Stoffe dürfen in diesen Räumen nur dann gelagert werden, wenn z. B.

- Behälter mit brennbaren Flüssigkeiten im geschlossenen System betrieben werden und
 - in ihrem Dampfraum die Bildung explosionsfähiger Atmosphäre sicher verhindert wird oder
 - wenn sie mindestens explosionsdruckstoßfest ausgelegt sind,
- sich andere brennbare Stoffe - ausser brennbaren Flüssigkeiten - in geschlossenen Behältnissen befinden, und damit von ihnen keine Brand- oder Explosionsgefahr ausgehen kann.

Zu den brennbaren Stoffen im Sinne dieser TRB gehören nicht brennbare Kleinteile, die aufgrund ihres Wärmeinhaltes oder ihrer Menge nach keine Brandgefahr darstellen, z.B. Kabelumhüllungen, Schutzkästen, Wärmedämmungen von Rohrleitungen

Druckb 5.2.610

3.2.2.4 Arbeitsräume/Aufenthaltsräume

Lagerbehälter dürfen nicht in Arbeitsräumen aufgestellt werden, es sei denn, es werden in diesen Arbeitsräumen nur vorübergehend Menschen beschäftigt. Satz 1 gilt nicht bei unbrennbaren und nicht gesundheitsgefährlichen Gasen, wenn entsprechend Abschnitt 3.2.2.5 die Räume so gelüftet sind, dass erstickende Atmosphäre (Sauerstoffmangel) oder gefährliche Sauerstoffanreicherung nicht auftreten kann.

Lagerbehälter dürfen in Aufenthaltsräumen nicht aufgestellt werden.

3.2.2.5 Lüftungsmaßnahmen

In Räumen mit Lagerbehältern ist die Forderung nach ausreichender Umlüftung in der Regel erfüllt, wenn

- bei natürlicher Belüftung die Lüftungsöffnungen unmittelbar ins Freie führen und einen Gesamtquerschnitt von mindestens 1/100 der Bodenfläche besitzen; bei der Anordnung der Lüftungsöffnungen muss die Dichte der Gase berücksichtigt werden,
- bei technischer Lüftung die Einrichtung mindestens einen zweifachen Luftwechsel in der Stunde gewährleistet; die Einrichtung muss entweder ständig wirksam sein oder durch eine Gaswarneinrichtung automatisch eingeschaltet werden, beim Ausfall der Einrichtung für die Lüftung muss ein Alarm ausgelöst werden.

3.2.2.6 Kanäle, Schächte, Öffnungen

In Räumen mit Lagerbehältern dürfen sich keine Luftansaugöffnungen für die Belüftung anderer Räume befinden. Satz 1 gilt nicht für Räume mit Lagerbehältern zur ausschließlichen Lagerung verdichteter Luft. In Räumen mit Lagerbehältern für Gase schwerer als Luft oder für tiefkalte Gase im flüssigen Zustand, die bei einem Betriebsüberdruck von weniger als 0,5 bar gelagert werden, dürfen sich keine

- offenen Kanäle,
- gegen Gaseintritt ungeschützte Kanaleinläufe,
- offene Schächte und
- Öffnungen zu tieferliegenden Räumen

befinden.

3.2.3 Schutzmaßnahmen bei Aufstellung im Freien

3.2.3.1 Beschaffenheit von Aufstellplätzen

3.2.3.1.1 Kanäle, Schächte, Öffnungen

Bei Lagerbehältern für Gase schwerer als Luft oder für tiefkalte Gase im flüssigen Zustand, die bei einem Betriebsüberdruck von weniger als 0,5 bar gelagert werden, dürfen 5 m um betriebsbedingte Austrittsstellen keine

- offenen Kanäle,
- gegen Gaseintritt ungeschützte Kanaleinläufe,
- offenen Schächte,
- Öffnungen zu tieferliegenden Räumen oder
- Luftansaugöffnungen

vorhanden sein.

Satz 1 gilt nicht bei unbrennbaren und nicht gesundheitsgefährlichen Gasen, wenn die tieferliegenden Räume so gelüftet sind, dass erstickende Atmosphäre (Sauerstoffmangel) nicht auftreten kann.

3.2.3.1.2 Gelände mit Gefälle

Bei Gelände mit Gefälle können Einrichtungen erforderlich sein, die verhindern, dass Gase schwerer als Luft über den Aufstellplatz hinaus in tieferliegende Räume, Kanäle, Schächte oder Luftansaugöffnungen eindringen können; dies kann z.B. ein Wall, eine Mauer sein.

3.2.3.2 Schutz vor mechanischer Beschädigung

Oberirdische Lagerbehälter und ihre Ausrüstungsteile sowie die Ausrüstungsteile von erdgedeckten Lagerbehältern müssen vor mechanischer Beschädigung geschützt sein. Der Schutz vor mechanischer Beschädigung kann durch die Art der Aufstellung gegeben sein - siehe auch TRB 600 Abschnitt 3.3.

Ist ein Anfahren durch Fahrzeuge möglich, so ist dieser Gefährdung

- bei oberirdischen Lagerbehältern und Ausrüstungsteilen z.B. durch Anfahrerschutz, Abschränkung, Schutzabstand,
- bei erdgedeckten Lagerbehältern z.B. durch Anordnung der ersten Absperrarmaturen im Domschacht oder durch Anfahrerschutz für die Absperrarmaturen zu begegnen.

3.2.3.3 Schutz vor Brandlasten

Lagerbehälter und ihre Stahlstützen oder Standzargen müssen, falls in der Umgebung eine Brandlast besteht, vor dieser geschützt sein. Dabei ist abhängig vom Gefahrenpotential abzuschätzen, welche Brandschutzmassnahmen erforderlich sind. Es muss verhindert sein, z.B. durch eine Mauer, dass flüssige oder geschmolzene brennbare Stoffe unter den Lagerbehälter oder in den Domschacht erdgedeckter Lagerbehälter fließen können.

Eine Brandlast kann bestehen, wenn in der Umgebung der Lagerbehälter

- brennbare Stoffe gelagert oder abgestellt werden oder
- brandgefährliche Objekte, z.B. frei belüftete Behälter mit brennbaren Flüssigkeiten, brandgefährliche Gebäude vorhanden sind.

Eine Brandlast besteht nicht, wenn z.B.

- benachbarte Behälter mit brennbaren Flüssigkeiten im geschlossenen System betrieben werden und
 - in ihrem Dampfraum die Bildung explosionsfähiger Atmosphäre sicher verhindert wird oder
 - wenn sie mindestens explosionsdruckstoßfest ausgelegt sind,
- sich andere brennbare Stoffe – außer brennbaren Flüssigkeiten - in Behältern befinden, und damit von ihnen keine Brand- oder Explosionsgefahr ausgehen kann,
- nur brennbare Kleinteile vorhanden sind, z.B. Kabelumhüllungen, Schutzkästen, Wärmedämmungen von Rohrleitungen, Holzzäune,
- luftdicht verschlossene Tanks mit brennbarer Ladung auf Fahrzeugen abgestellt werden.

Diese Forderung nach Brandschutzmaßnahmen ist erfüllt, wenn Lagerbehälter gegen Erwärmung durch Flammenberührung oder Wärmestrahlung während 90minütiger Brandeinwirkung geschützt sind.

Diese Forderung kann erfüllt werden z.B. durch

- einen Schutzabstand,
- eine Schutzwand,
- eine Erddeckung,
- eine Brandschutzdämmung oder Brandschutzisolierung,
- eine Wasserberieselung oder Wasserbeflutung.

Im Einzelfall ist zu klären, welcher Maßnahme der Vorrang zu geben ist.

Bei den Maßnahmen Schutzabstand, Brandschutzdämmung oder Brandschutzisolierung, Wasserberieselung oder bei anderen Einrichtungen zur Kühlung darf die zulässige Werkstofftemperatur des Lagerbehälters nach Abschnitt 2.14 nicht überschritten werden.

Bei den Maßnahmen Schutzwand oder Erddeckung wird die höchstmögliche Temperatur des Beschickungsgutes nicht überschritten - siehe TRB 801 Nr. 27 Abschnitt 3.5.

Wenn eine Erwärmung der Behälterwandung bei Gasen oder Gasgemischen im flüssigen Zustand durch Wärmestrahlung über die zulässige Betriebstemperatur - höchstmögliche Temperatur des Beschickungsgutes nach TRB 801 Nr. 27 Abschnitt 3.5 - hinaus bis zur zulässigen Werkstofftemperatur in Anspruch genommen wird, so ist die Leistung des Sicherheitsventils entsprechend dem Wärmeeintrag zu bemessen - siehe auch Anlage 6.

Für chemisch instabile Gase können zusätzliche Schutzmaßnahmen aufgrund von Einzelfallbetrachtungen erforderlich sein.

3.2.3.3.1 Schutzabstand

1. Der Schutzabstand wird bei oberirdischer Aufstellung ab der senkrechten Projektion des Lagerbehälters gemessen. Bei in Gruppen aufgestellten Lagerbehältern ist der Schutzabstand von den am Rand des Lagers stehenden Lagerbehältern aus zu messen.

Druckb 5.2.610

Bei erdgedeckten Lagerbehältern ist der Abstand zum Domschacht des Lagerbehälters maßgebend.

2. Der Schutzabstand bei Einwirkung von Wärmestrahlung auf den Lagerbehälter ist von der Brandlast, d.h. von dem gelagerten Stoff und der Breite bzw. dem Durchmesser der bei einem möglichen Brand entstehenden Flamme, abhängig. Die Berechnung des Schutzabstandes erfolgt nach Anlage 5.

Bei erdgedeckten Lagerbehältern ist die Berechnung des Schutzabstandes nach Anlage 5 nicht erforderlich. Ein Schutzabstand bei diesen Lagerbehältern mit einem Fassungsvermögen entsprechend

- < 3 t von 3 m,
- > 3 t von 5 m

zum Domschacht ist ausreichend.

3. Der Schutzabstand zu Behältern mit brennbaren Flüssigkeiten wird wie folgt bestimmt:

- Bei oberirdischen Lagerbehältern und oberirdischer Lagerung der brennbaren Flüssigkeiten
 - Breite des Schutzstreifens nach TRbF oder
 - bei Behältern ohne Schutzstreifen ein Abstand gemäß Brandlastberechnung nach Nr. 2,
- bei oberirdischen Lagerbehältern und unterirdischer Lagerung der brennbaren Flüssigkeiten
 - horizontal 1 m zwischen den Projektionen der Behälteraußenwandungen und
 - zwischen dem Lagerbehälter und dem Domschacht des Behälters mit brennbarer Flüssigkeit ein Abstand nach Brandlastberechnung nach Nr. 2,
- bei unterirdischen Lagerbehältern und oberirdischer Lagerung der brennbaren Flüssigkeiten
 - horizontal 1 m zwischen den Projektionen der Behälteraußenwandungen und
 - zum Domschacht des Lagerbehälters die Breite des Schutzstreifens nach TRbF oder bei Behältern ohne Schutzstreifen ein Schutzabstand von 5 m,
- bei unterirdischen Lagerbehältern und unterirdischer Lagerung brennbarer Flüssigkeiten
 - horizontal 0,4 m zwischen den Projektionen der Behälteraußenwandungen.

3.2.3.3.2 Schutzwand

Eine Schutzwand in Richtung Brandlast erfüllt die Forderung, wenn sie hinsichtlich der zu schützenden Lagerbehälter ausreichend bemessen ist und aus nichtbrennbaren Baustoffen besteht (Klasse A 1 nach DIN 4102 Teil 1). Eine Schutzwand kann auch eine entsprechend ausgeführte, öffnungslose Gebäudewand sein.

Die Schutzwand ist ausreichend bemessen, wenn sie im Brandfall gewährleistet, dass die zulässigen Betriebsbedingungen des Lagerbehälters nicht überschritten werden.

Beim Errichten von Schutzwänden ist darauf zu achten, dass die Zugänglichkeit zu den Lagerbehältern und deren natürliche Umlüftung nicht behindert ist - siehe Abschnitte 3.2.1.1 und 3.2.1.2.

3.2.3.3.3 Erdeckung

Eine Erdeckung als Schutz gegen eine Brandlast erfordert eine allseitige Deckung mit Erde oder Sand von mindestens 0,5 m Schichtdicke. Die allseitige Erdeckung gewährleistet im Brandfall, dass die zulässigen Betriebsbedingungen des Lagerbehälters nicht überschritten werden.

Ist aus betriebstechnischen oder anderen Gründen eine allseitige Deckung nicht möglich, ist die Forderung auch erfüllt, wenn an den freien Flächen die Erdeckung durch andere Maßnahmen nach Abschnitt 3.2.3.3, die die Lagerbehälter schützen, ersetzt wird.

3.2.3.3.4 Brandschutzdämmung oder Brandschutzisolierung

Eine Brandschutzdämmung erfüllt die Forderung, wenn

- die verwendeten Materialien nicht brennbar sind (Klasse A 1 nach DIN 4102 Teil 1),
- Der Wärmedurchgangswert (K-Wert) der Dämmung bei einer mittleren Temperatur von 350° C nicht mehr als $1,2 \text{ W} \times \text{m}^{-2} \times \text{K}^{-1}$ beträgt,
- die unter der Dämmung befindlichen Anschlüsse und Armaturen, insbesondere deren Dichtungen, den im Brandfall zu erwartenden Temperaturen standhalten.

Anstelle einer Brandschutzdämmung kann auch ein geeignetes Brandschutzbeschichtungssystem (z.B. Intumeszenz- oder Sublimationsbeschichtung) verwendet werden. In beiden Fällen muss die Dämmung so aufgebaut sein, dass die Schutzwirkung im Brandfall mindestens 90 min erhalten bleibt.

Eine Wärmeschutzisolierung/Kälte­dämmung ist einer Brandschutzdämmung gleichwertig, wenn sie die entsprechenden Anforderungen erfüllt.

3.2.3.3.5 Wasserberieselung oder Wasserbeflutung

Eine ortsfeste Wasserberieselung oder eine ortsfeste Wasserbeflutung erfüllt die Forderung, wenn

- ein Brandausbruch z.B. mit einem Branderkennungssystem alarmiert wird; die Wasserberieselung/Wasserbeflutung muss danach selbsttätig ausgelöst werden; hiervon kann abgewichen werden, wenn die Alar­mmeldung selbsttätig ausgelöst werden, wenn die Alar­mmeldung selbsttätig an eine ständig besetzte Stelle, z.B. Messwart/-stand, erfolgt und von dort aus die Wasserberieselung/Wasserbeflutung ausgelöst werden kann
- der Wassermassenstrom
 - für ungestörte Oberflächen in Abhängigkeit der Art der Wasserauftragung ermittelt nach Anlage 8,
 - für gestörte Oberflächen, z.B. im Bereich von Anschlüssen, Armaturen und sonstigen komplizierten Geometrien, mindestens $600 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$

gewährleistet ist,

- eine gleichmäßige Wasseraufbringung zur Bildung eines geschlossenen Wasserfilms auf der gesamten Oberfläche des zu schützenden Objektes gewährleistet ist, z.B. durch
 - Wasserbeflutung durch einen Kronenring,
 - Düsen, deren Sprühkegel sich überlappen und die jeden Abschnitt des Druckbehälters unmittelbar ansprühen,
- die Wasserbereitstellung sichergestellt ist, z.B. durch redundante Einrichtungen zur Erzeugung des erforderlichen Wasserdruckes und durch zwei Einspeisungen,
- die Wasserberieselung/Wasserbeflutung zu jeder Zeit, d.h. auch unter ungünstigen klimatischen Bedingungen und ohne Einschränkung der Löschwasserversorgung für die erforderliche Zeit von 90 min sichergestellt ist

und

- die Wasserberieselung/Wasserbeflutung regelmäßig auf Zustand und Funktion geprüft wird.

3.2.3.3.6 Armaturen an erdgedeckten Lagerbehältern

Ist ein Schutz gegen thermische Einwirkungen erforderlich, sollten die ersten Absperrarmaturen an erdgedeckten Lagerbehältern z.B. innerhalb des Domschachtes angeordnet sein. Der Domschacht muss mit einer Abdeckung aus unbrennbaren Materialien versehen sein.

4 Zusätzliche Anforderungen bei brennbaren Gasen

4.1 Allgemeines

4.1.1 Sicherheitskennzeichen

Räume und Bereiche im Freien mit Lagerbehältern für brennbare Gase müssen deutlich erkennbar und dauerhaft gekennzeichnet sein.

Die Forderung ist erfüllt, wenn

- die Lagerbehälter im Freien oder
- die Zugänge zu Räumen oder umgrenzten Bereichen im Freien mit dem Namen des Gases, mit dem Gefahrensymbol und mit der Gefahrenbezeichnung gekennzeichnet sind.

Für die Ausführung der Kennzeichen - siehe UVV „Sicherheitskennzeichen am Arbeitsplatz“ (VBG 125).

Soweit Lagerbehälter für brennbare Gase in einem Werkbereich oder Teilen davon aufgestellt sind, für die gleiche oder weitergehende Bestimmungen für die Vermeidung von Gefahren bestehen, genügt eine entsprechende Kennzeichnung dieser Bereiche.

4.2 Vorbeugende und schadensbegrenzende Schutzmaßnahmen

Vorbeugend, um Gasaustritte brennbarer Gase zu verhindern, sind Maßnahmen entsprechend der Brand- und Explosionsgefahr zu ergreifen. Darüber hinaus sind Maßnahmen zu treffen, um Auswirkungen von betriebsbedingten oder störungsbedingten Gasaustritten so gering wie möglich zu halten.

Nachfolgend werden diese Maßnahmen im einzelnen genannt und als „Schutzmassnahmen“ bezeichnet.

4.2.1 Allgemeine Schutzmaßnahmen

4.2.1.1 Brand- und Explosionsschutz

Die Forderung nach Maßnahmen des Brand- und Explosionsschutzes sind erfüllt, wenn

- die Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre verhindert oder eingeschränkt (primärer Explosionsschutz) ist oder
- die Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre verhindert ist und
- die Gefährdung durch Selbstbefeuerung verhindert ist.

4.2.1.1.1 Primärer Explosionsschutz

Die Forderung nach primärem Explosionsschutz ist erfüllt, wenn die Anforderungen des Abschnittes 3.2.1.1 bzw. 3.2.2.5 sowie z. B. die „Regeln für die Vermeidung der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung - Explosionsschutzregeln“ (BGR 104), Abschnitt E 1.3.4, eingehalten sind.

4.2.1.1.2 Explosionsgefährdete Bereiche

Die Forderung, die Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre zu verhindern, ist erfüllt, wenn um die möglichen betriebsbedingten Gasaustrittsstellen ausreichend bemessene explosionsgefährdete Bereiche festgelegt und in diesen Zündquellen vermieden sind.

Die Bemessung der explosionsgefährdeten Bereiche sowie Beispiele für die geometrische Gestaltung dieser Bereiche sind aus Anlage 4 zu entnehmen - siehe auch „Regeln für die Vermeidung der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung - Explosionsschutzregeln“ (BGR 104)“, Abschnitt E 2.

4.2.1.1.3 Kennzeichnung der explosionsgefährdeten Bereiche

Die explosionsgefährdeten Bereiche müssen mit dem Warnzeichen „Warnung vor explosionsfähiger Atmosphäre“ deutlich erkennbar und dauerhaft gekennzeichnet sein - siehe Abschnitt 4.1.1.

Die Forderung ist erfüllt, wenn die Zugänge zu explosionsgefährdeten Bereichen gekennzeichnet sind.

4.2.1.1.4 Nutzung der explosionsgefährdeten Bereiche

In den explosionsgefährdeten Bereichen dürfen sich nur Baulichkeiten und Einrichtungen befinden, die dem Betrieb der Lagerbehälter dienen.

Betriebs- und Werkstraßen sowie Werkgleise gehören zu diesen Einrichtungen. Auf diesen Verkehrswegen dürfen nur Fahrzeuge verkehren, die dem Betrieb der Lagerbehälter dienen.

Fahrzeuge mit Verbrennungs- oder Elektromotoren in nicht explosionsgeschützter Ausführung dürfen nur dann in explosionsgefährdeten Bereichen verkehren, wenn sichergestellt ist, dass keine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre vorhanden ist.

4.2.1.1.5 Einschränkung der explosionsgefährdeten Bereiche

Die Einschränkung des explosionsgefährdeten Bereiches ist durch bauliche Maßnahmen möglich. Bauliche Maßnahmen sind Abtrennungen, die in Räumen gasdicht sein müssen. Die Abtrennungen müssen nicht für Beanspruchungen aus Explosionen ausgelegt sein.

Um die natürliche Umlüftung zu erhalten, ist eine Einschränkung nur an ein oder zwei Seiten zulässig. Bei Einschränkung an mehr als zwei Seiten sind ergänzende Lüftungsmaßnahmen vorzusehen.

4.2.1.1.6 Schutz gegen Selbstbefeuerung

Wenn durch störungsbedingten Gasaustritt entzündetes Gas den Lagerbehälter, seine Stahlstützen oder seine Standzarge befeuern kann, ist ein ausreichender Schutz gegen Selbstbefeuerung erforderlich. Aus diesem Grund sind Lagerbehälter für brennbare Gase so

aufzustellen oder zu schützen, dass bei einem Brand die Lagerbehälter nicht in gefahrdrohender Weise erwärmt werden.

Diese Forderung ist insbesondere erfüllt, wenn

- die Entnahme aus der Gasphase des Lagerbehälters erfolgt,
- alle Armaturen der Füll- und Entnahmeleitungen mit Anschluss an die flüssige Phase außerhalb des Behälterbereiches angeordnet und die Leitungen zwischen Lagerbehälter und Armaturen ohne lösbare Verbindung ausgeführt sind und die Armaturen
 - mindestens einen Abstand von 5 m von der senkrechten Projektion des Lagerbehälters haben oder
 - durch eine Schutzwand nach Abschnitt 3.2.3.3.2 gegenüber dem Lagerbehälter abgeschildert sind; anstelle der Schutzwand kann auch ein Armaturenschrank eingesetzt werden, wenn er die gleiche Schutzwirkung wie eine Schutzwand erzielt; bezüglich der Beschaffenheit des Bodens unter den Armaturen bei tiefkalten, flüssigen Gasen mit einem Betriebsüberdruck von weniger als 0,5 bar - siehe Abschnitt 4.2.3.2,
- eine der Maßnahmen nach Abschnitt 3.2.3.3.3 - 3.2.3.3.5 getroffen ist,
- die Wasserberieselungsrate der stationären Einrichtungen nach Abschnitt 3.2.3.3.5 aufgebracht wird,
- durch Einpumpen von Wasser der Austritt von Gas aus Rohrleitungsanschlüssen an der flüssigen Phase verhindert wird oder
- an erdgedeckten Lagerbehältern, sofern in ihren Domschächten Armaturen mit Anschluss an der Flüssigphase angeordnet sind,
 - die Domschächte mit Wasser oder Schutzgas geflutet werden können oder
 - die Behälterwandung innerhalb des Domschachtes mit einer Brandschutzisolierung versehen ist.

4.2.1.2 Meldeeinrichtungen für Brand oder Explosionsgefahr

Im Bereich von Lägern für brennbare Gase müssen Einrichtungen zum Melden von Brand oder Explosionsgefahr vorhanden sein. Diese Forderung ist z.B. erfüllt, wenn ein Fernsprecher, Funksprechgerät, Feuermelder schnell erreichbar ist.

In Lägern mit einem Fassungsvermögen von mehr als 30 t, die während des Betriebes nicht mit Personal besetzt sind oder nicht regelmäßig kontrolliert werden, müssen selbsttätig wirkende Einrichtungen zum Erkennen und Melden von Brand oder Explosionsgefahr, z.B. Gaswarneinrichtungen mit Meldung an eine ständig besetzte Stelle, z.B. Messstand, vorhanden sein. Die Gaswarneinrichtungen müssen Vor- und Hauptalarm auslösen. Bei Ansprechen des Hauptalarms muss die Anlage automatisch in den sicheren Zustand gehen.

Geeignete ortsfeste Gaswarneinrichtungen sind entsprechend dem Merkblatt der gewerblichen Berufsgenossenschaften „Einsatz von ortsfesten Gaswarneinrichtungen für den Explosionsschutz“ (ZH 1/8.3) auszuwählen. Für nicht ortsfeste Gaswarneinrichtungen ist das Merkblatt analog anzuwenden.

Hinsichtlich Kalibrierung und Prüfung wird auf die Merkblätter der gewerblichen Berufsgenossenschaften „Instandhaltung von ortsfesten Gaswarneinrichtungen für den Explosionsschutz“ (ZH 1/8.2) und „Instandhaltung von nicht ortsfesten Gaswarneinrichtungen für den Explosionsschutz“ (ZH 1/108.2) verwiesen.

4.2.1.3 Not-Aus-System

Im Bereich von Lägern mit einem Fassungsvermögen von mehr als 30 t brennbarer Gase muss ein Not-Aus-System mit leicht erreichbarbarem Auslösesystem und Meldung an eine ständig besetzte Stelle vorhanden sein. Mit dem Not-Aus-System müssen die Verbindungsleitungen zwischen Lagerbehältern und anderen Anlagenteilen so abgesperrt werden können, dass keine zusätzlichen Gefährdungen auftreten. Das Not-Aus-System kann in mehrere Teilsysteme untergliedert sein und von Hand oder selbsttätig ausgelöst werden. Im Einzelfall ist zu entscheiden, ob die fernbetätigbaren Absperrarmaturen nach Abschnitt 4.2.1.5 in das Not-Aus-System einzubeziehen sind.

4.2.1.4 Überfüllsicherungen

Lagerbehälter für brennbare Gase in flüssigem Zustand müssen so ausgerüstet sein, dass ein Überfüllen sicher verhindert wird.

Diese Forderung ist insbesondere durch den Einbau einer geeigneten Überfüllsicherung erfüllt.

Druckb 5.2.610

An Lagerbehältern mit einem Fassungsvermögen von mehr als 30 t sind zwei voneinander unabhängige Überfüllsicherungen oder ein gleichwertiges System erforderlich. Die Füllstandsanzeige kann in die Überfüllsicherung integriert sein.

Diese Überfüllsicherungen müssen den Förderstrom automatisch unterbrechen und so eingestellt sein, dass unter Berücksichtigung evtl. Nachlaufmengen der zulässige Füllgrad des Lagerbehälters nicht überschritten wird. Beim Ansprechen der Überfüllsicherung muss ein optischer oder akustischer Alarm ausgelöst werden.

4.2.1.5 Rohrleitungsanschlüsse

Die Forderung nach Schutzmaßnahmen ist insbesondere erfüllt, wenn

- jede erste Absperrarmatur zu weiterführenden Rohrleitungen gefahrlos betätigt werden kann,
- an Lagerbehältern mit einem Fassungsvermögen von mehr als 3 t vor oder hinter der ersten mit der flüssigen Phase in Verbindung stehenden Handabsperrarmatur der Füll- und Entnahmeleitung eine fernbetätigbare Absperrarmatur vorhanden ist,
- an Lagerbehältern mit einem Fassungsvermögen von mehr als 30 t vor oder hinter der ersten mit der flüssigen Phase in Verbindung stehenden Handabsperrarmatur der Füll- und Entnahmeleitung sowie der Gaspendelleitung eine fernbetätigbare Absperrarmatur mit mechanischem, pneumatischem oder elektrischem Stellungsanzeiger vorhanden ist; die fernbetätigbare Absperrarmatur muss bei Ausfall der Antriebsenergie selbsttätig in die sichere Stellung gehen; die Armaturen müssen so beschaffen sein, dass sie bei den bei einer eventuellen Selbstbefeuerng zu erwartenden Temperaturen in erforderlichem Maße funktionsfähig bleiben, es sei denn, sie sind durch Maßnahmen nach 3.2.3.3.4 - 3.2.3.3.5 geschützt,
- an Lagerbehältern mit einem Fassungsvermögen von mehr als 30 t die erste unterhalb des Behälters liegende Absperrarmatur in der Füll- und Entnahmeleitung für die flüssige Phase als
 - eingeschweißte außenliegende Armatur in fire-safe-Qualität ausgeführt oder
 - außenliegende Armatur durch eine der Maßnahmen nach den Abschnitten 3.2.3.3.4 oder 3.2.3.3.5 geschützt
 - innenliegende Armaturausgeführt ist,
- in Füllleitungen \leq DN 50 anstelle der fernbetätigbaren Absperrarmatur eine Rückschlagarmatur eingebaut ist,
- Stutzen ohne angeschlossene Rohrleitung
 - auch bei eingebauten Armaturen blindgesetzt werden oder
 - als nicht lösbare Verbindungen ausgeführt sind,
- an Probenahmestellen durch Einrichtungen sichergestellt ist, dass betriebsbedingt nur geringe Mengen austreten können, z.B. Probenahmeöffnungen müssen mit zwei hintereinander geschalteten Absperrarmaturen ausgerüstet und im Durchmesser mit einem entsprechend dimensionierten Querschnitt ausgelegt sein,
- bei Mess- und Regelleitungen
 - sowohl an der Gas- als auch an der Flüssigphase eine Handabsperrarmatur vorhanden ist und
 - die Handabsperrarmaturen so beschaffen sind, dass sie bei den im Brandfall zu erwartenden Temperaturen in erforderlichem Maße funktionsfähig bleiben und
- die Entwässerungsanschlüsse auch bei eingebauten Armaturen blindgesetzt werden.

4.2.1.6 Schutz vor elektrostatischer Aufladung

Bei Lagerbehältern für brennbare Gase sind geeignete Maßnahmen gegen elektrostatische Aufladungen zu treffen, z.B. durch Anwendung der ZH1/200 „Richtlinien zur Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen“.

4.2.2 Schutzmaßnahmen bei Aufstellung in Räumen

4.2.2.1 Räume unter Erdgleiche

Lagerbehälter für brennbare Gase in flüssigem Zustand dürfen nicht in Räumen aufgestellt sein, deren Fußböden allseitig unter Erdgleiche liegen. Bei erdgedeckten Lagerbehältern, bei denen eine Stirnwand innerhalb einer Grube liegt, ist diese Grube kein Raum im Sinne von Satz 1.

4.2.2.2 Benachbarte Räume

Räume mit Lagerbehältern für brennbare Gase dürfen neben, unter oder über Räumen, die dem dauernden Aufenthalt von Menschen dienen, nur vorhanden sein, sofern die Trennwände zu diesen angrenzenden Räumen öffnungslos, sowie gasdicht und entsprechend Feuerwiderstandsklasse F 90 ausgeführt sind.

4.2.2.3 Kanaleinläufe

In Räumen mit Lagerbehältern für brennbare Gase, die schwerer als Luft sind oder tiefkalt in flüssigem Zustand mit einem Betriebsüberdruck von weniger als 0,5 bar vorliegen, dürfen sich abweichend von Abschnitt 3.2.2.6 auch keine gegen Gaseintritt geschützten Kanaleinläufe befinden.

4.2.3 Schutzmaßnahmen bei Aufstellung im Freien**4.2.3.1 Abstände zur Brandbekämpfung**

Oberirdisch aufgestellte Lagerbehälter für brennbare Gase in flüssigem Zustand müssen untereinander und zu anderen Lagerbehältern einen für die Brandbekämpfung ausreichenden Abstand haben.

Die Forderung nach einem ausreichenden Abstand ist insbesondere erfüllt, wenn dieser

- bei zylindrischen Behältern die Hälfte des Durchmessers des Behälters mit dem größeren Durchmesser - bei Doppelmantelbehältern bezogen auf den Durchmesser des Innenbehälters -, bei Behältern mit weniger als 2 m Durchmesser jedoch mindestens 1 m,
- bei Kugelbehältern mindestens $0,75 D$,
- bei Kugelbehältern, die in mehr als zwei Reihen aufgestellt sind, der Abstand zur dritten Reihe mindestens $0,75 D + 7 \text{ m}$ oder
- zwischen zylindrischen Behältern und Kugelbehältern mindestens $0,75 D$ des größeren Behälters gemessen zur Projektion der Behälter

beträgt.

4.2.3.2 Ausführung der Aufstellplätze

An Lagerbehältern für brennbare, tiefkalte Gase im flüssigen Zustand, die bei einem Betriebsüberdruck von weniger als 0,5 bar gelagert werden, muss der Boden im Bereich der Anschlüsse und Armaturen so ausgeführt sein, dass

- austretendes Gas nicht eindringen kann und
- der Boden eine Neigung von etwa 2 % in eine ungefährliche Richtung besitzt,

damit sich austretendes Gas nicht in gefährlicher Menge unter dem Lagerbehälter ansammeln kann. Bei in Gruppen aufgestellten Lagerbehältern muss die Neigung in ihrer Richtung so festgelegt sein, dass keine gegenseitige Gefährdung der Behälter entstehen kann.

Einer besonderen Ausführung des Bodens bedarf es nicht, wenn

- das Gas gasförmig entnommen wird,
- die Anschlüsse einschließlich Armaturen an der Flüssigphase - ausgenommen MSR-Leitungen - keine lösbaren Verbindungen besitzen oder
- die Armaturen entsprechend Abschnitt 4.2.1.1.6 Absatz 2 angeordnet sind.

4.2.3.3 Begrenzung der Ausbreitung

Die Schutzmassnahmen zur Begrenzung der Ausbreitung bei störungsbedingten Gausaustritten sind insbesondere erfüllt durch Einrichtungen zum

- Erzeugen von Wasserschleiern zum Niederschlagen einer Gaswolke bei Gasen, die wasserlöslich sind, z. B. Ammoniak, Ethylenoxid,
- Erzeugen von Wasserschleiern zur Begrenzung der Ausbreitung einer Gaswolke bei Gasen, die in Wasser nicht oder nur wenig löslich sind oder
- Begrenzen der flächigen Ausbreitung durch Verwirbeln des ausgetretenen Gases mittels Wasserdampf (Dampfsperre).

Diese Einrichtungen, z.B. Sprührohre, Sprühwände, können fahrbar oder ortsfest eingebaut sein oder durch die Werkfeuerwehr bereitgestellt werden.

Druckb 5.2.610

4.2.3.4 Windrichtungsanzeiger

Im Bereich von Lägern für brennbare Gase mit einem Fassungsvermögen von mehr als 30 t muss ein gut sichtbarer Windrichtungsanzeiger, z. B. Windsack, aufgestellt sein. Ist durch die Art der Aufstellung ein örtlicher Windrichtungsanzeiger nicht zweckdienlich, so kann die Windrichtung auch zentral an der für die Gefahrenabwehr zuständigen Stelle, z.B. Werkfeuerwehr, angezeigt werden.

4.2.3.5 Sicherheitsabstände

Es ist ein Sicherheitsabstand gemäß Abschnitt 2.16 erforderlich, außerhalb dessen bei störungsbedingtem Gasaustritt das Auftreten einer explosionsfähigen Atmosphäre ausgeschlossen werden kann, d.h. die untere Explosionsgrenze (UEG) wird nicht überschritten.

4.2.3.6 Blitzschutz

Bei Lagerbehältern für brennbare Gase sind geeignete Maßnahmen zum Blitzschutz zu treffen, z.B. durch Anwendung der VDE 0185 Teil 1 und Teil 2.

4.2.3.5.1 Für bestimmbare Leckraten ist unter Berücksichtigung

- der maximal möglichen Gasaustrittsmenge,
- der Grenzwertkonzentration des austretenden Gases,
- der Austritts- und Ausbreitungsbedingungen,

eine Ausbreitungsrechnung, z.B. nach VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1 für Gase gleichschwer oder leichter als Luft bzw. nach VDI-Richtlinie 3783 Blatt 2 für Gase schwerer als Luft durchzuführen.

4.2.3.5.1.1 Die maximal mögliche Gasaustrittsmenge ist die Menge, die maximal aus einem Leck austreten kann, sofern sichergestellt ist, dass durch eine Störung nicht mehrere Gasaustrittsstellen gleichzeitig auftreten können. Ist dies nicht sichergestellt, sind die gleichzeitig auftretenden Gasaustrittsmengen zu berücksichtigen.

4.2.3.5.1.2 Die Grenzwertkonzentration ist die Konzentration, unterhalb der für brennbare Gase das Auftreten einer explosionsfähigen Atmosphäre ausgeschlossen werden kann, d.h. die untere Explosionsgrenze (UEG).

4.2.3.5.1.3 Bei der Festlegung der Austritts- und Ausbreitungsbedingungen sind jeweils die besonderen Randbedingungen für den Standort zu betrachten.

5 Zusätzliche Anforderungen bei sehr giftigen oder giftigen Gasen

5.1 Allgemeines

5.1.1 Sicherheitskennzeichen

Räume und Bereiche im Freien mit Lagerbehältern für sehr giftige oder giftige Gase müssen deutlich erkennbar und dauerhaft gekennzeichnet sein.

Die Forderung ist erfüllt, wenn

- die Lagerbehälter im Freien oder
- die Zugänge zu Räumen oder umgrenzten Bereichen im Freien

mit dem Namen des Gases, mit dem Gefahrensymbol und mit der Gefahrenbezeichnung gekennzeichnet sind.

Für die Ausführung der Kennzeichen - siehe UVV „Sicherheitskennzeichen am Arbeitsplatz“ (VBG 125).

Soweit Lagerbehälter für sehr giftige oder giftige Gase in einem Werkbereich oder Teilen davon aufgestellt sind, für die gleiche oder weitergehende Bestimmungen für die Vermeidung von Gefahren bestehen, genügt eine entsprechende Kennzeichnung dieser Bereiche.

5.1.2 Sicherheitshinweis

Ergänzend zu Abschnitt 3.2.1.4 ist darauf hinzuweisen, dass nur sachkundige Personen zu Räumen und Bereichen nach Abschnitt 5.1.1 Zugang haben.

5.2 Vorbeugende und schadensbegrenzende Schutzmaßnahmen

Vorbeugend, um Gasaustritte sehr giftiger oder giftiger Gase zu verhindern, sind Maßnahmen entsprechend der Gesundheitsgefahr zu ergreifen. Darüber hinaus sind Maßnahmen zu treffen, um Auswirkungen von störungsbedingtem Gasaustritten so gering wie möglich zu halten. Betriebsbedingte Gasaustritte sind bei giftigen Gasen möglichst zu vermeiden, bei sehr giftigen Gasen zu verhindern.

Nachfolgend werden diese Maßnahmen im einzelnen genannt und als „Schutzmassnahmen“ bezeichnet.

5.2.1 Allgemeine Schutzmaßnahmen

5.2.1.1 Besondere Lagerung

Bei den Gasen Phosphorwasserstoff (Phosphin), Schwefelwasserstoff, Carbonylchlorid (Chlorkohlenoxid, Phosgen) und Fluor, sowie bei Cyanwasserstoff (Blausäure) sind die Lagermengen nach sicherheitstechnischen und verfahrenstechnischen Gesichtspunkten klein zu halten und die Lagerbehälter bevorzugt in besonderen Räumen aufzustellen.

5.2.1.2 Meldeeinrichtungen für Gasgefahr

Im Bereich von Lägern für sehr giftige oder giftige Gase müssen Einrichtungen zum Melden von Gasgefahr vorhanden sein. Diese Forderung ist z.B. erfüllt, wenn ein Fernsprecher, Funksprechgerät, Gefahrenmelder schnell erreichbar ist.

In Lägern mit Gasen nach Abschnitt 5.2.1.1 sowie in Lägern, die während des Betriebes nicht mit Personal besetzt sind oder nicht regelmäßig kontrolliert werden, müssen selbsttätig wirkende Einrichtungen zum Erkennen, Warnen und Melden von Gasgefahr, z.B. Gaswarneinrichtungen mit Meldung an eine ständig besetzte Stelle (z.B. Messstand), vorhanden sein. Die Gaswarneinrichtungen müssen Vor- und Hauptalarm auslösen. Beim Ansprechen des Hauptalarms muss die Anlage selbsttätig in den sicheren Zustand gehen.

Die Gaswarneinrichtungen müssen für die Messkomponente geeignet sein. Die Anzeige ist für die Messkomponente zu justieren.

5.2.1.3 Not-Aus-System

Im Bereich von Lägern sehr giftiger oder giftiger Gase muss ein Not-Aus-System mit leicht erreichbarem Auslösesystem und Meldung an eine ständig besetzte Stelle vorhanden sein.

Mit dem Not-Aus-System müssen die Verbindungsleitungen zwischen Lagerbehältern und anderen Anlagenteilen so abgesperrt werden können, dass keine zusätzlichen Gefährdungen auftreten. Das Not-Aus-System kann in mehrere Teilsysteme untergliedert sein und von Hand oder selbsttätig ausgelöst werden. Im Einzelfall ist zu entscheiden, ob die fernbetätigbaren Absperrarmaturen nach Abschnitt 5.2.1.5 in das Not-Aus-System einzubeziehen sind.

5.2.1.4 Überfüllsicherungen

Lagerbehälter für sehr giftige oder giftige Gase in flüssigem Zustand müssen so ausgerüstet sein, dass ein Überfüllen sicher verhindert wird. Diese Forderung ist insbesondere durch den Einbau einer geeigneten Überfüllsicherung erfüllt. An Lagerbehältern mit einem Fassungsvermögen von mehr als 30 t sind zwei voneinander unabhängige Überfüllsicherungen oder ein gleichwertiges System erforderlich.

Die Füllstandsanzeige kann in die Überfüllsicherung integriert sein.

Diese Überfüllsicherungen müssen den Förderstrom automatisch unterbrechen und so eingestellt sein, dass unter Berücksichtigung evtl. Nachlaufmengen der zulässige Füllgrad des Lagerbehälters nicht überschritten wird. Beim Ansprechen der Überfüllsicherung muss ein optischer oder akustischer Alarm ausgelöst werden.

5.2.1.5 Rohrleitungsanschlüsse

Die Forderung nach Schutzmassnahmen ist insbesondere erfüllt, wenn

- in allen Füll-, Entnahme- und Gaspendelleitungen je eine Handabsperrrarmatur und eine fernbetätigbare Absperrarmatur mit mechanischem, pneumatischem oder elektrischem Stellungsanzeiger vorhanden ist; die fernbetätigbare Absperrarmatur muss bei Ausfall der Antriebsenergie selbsttätig in die sichere Stellung gehen; zusätzlich sind bei sehr giftigen Gasen die fernbetätigbaren Absperrarmaturen in das Not-Aus-System einzubeziehen; abweichend davon sind für giftige Gase bei Betriebsüberdrücken kleiner oder gleich 0,5 bar Handabsperrrarmaturen in den Rohrleitungen, die mit der Gasphase in Verbindung stehen, ausreichend,

Druckb 5.2.610

- an Probenahmestellen durch Einrichtungen sichergestellt ist, dass betriebsbedingt keine oder nur geringe Mengen austreten können, z.B. Probenahmeöffnungen müssen mit zwei hintereinander geschalteten Absperrarmaturen ausgerüstet und im Durchmesser mit einem entsprechend dimensionierten Querschnitt ausgelegt sein,
- bei MSR-Leitungen sowohl an der Gas- als auch an der Flüssigphase eine Handabsperrraumatur vorhanden ist,
- nicht erforderliche Anschlussstutzen am Lagerbehälter vermieden sind,
- Stutzen ohne angeschlossene Rohrleitung
 - bei giftigen Gasen ohne Armatur blindgesetzt oder mit doppeltabgedichteter oder dichtungsloser Armatur versehen und blindgesetzt werden,
 - bei sehr giftigen Gasen ohne Flansch oder mit Flansch und Schweißlippendichtung dichtgeschweißt werden und
- an allen Stutzen des Lagerbehälters
 - die Wanddicke der Rohre mindestens 3,2 mm beträgt,
 - die Flansche eine Nenndruckstufe höher ausgeführt sind, als auf Grund des Dampfdruckes des Gases bei der höchstmöglichen Lagertemperatur erforderlich wäre; für DIN-Flansche mit Nennweiten größer DN 250 kann statt dessen der rechnerische Nachweis nach DIN 2505 mit mindestens zweifacher Sicherheit gegen die Streckgrenze geführt werden,
 - Flansche mit Nut und Feder oder Vor- und Rücksprung oder Schweißlippendichtung verwendet werden,
 - Flansche mit glatter Dichtleiste nur in Verbindung mit Metallweichstoffdichtungen oder Metalledichtungen eingesetzt werden; für DIN-Flansche mit Nennweiten größer DN 250 kann statt dessen der rechnerische Nachweis nach DIN 2505 mit mindestens zweifacher Sicherheit gegen die Streckgrenze geführt werden; bei sehr giftigen Gasen dürfen Flansche mit glatter Dichtleiste nicht verwendet werden, ausgenommen Spezialkonstruktionen, die mindestens die gleiche Sicherheit gewährleisten.

5.2.1.6 Persönliche Schutzausrüstung

Im Bereich von Lägern sind geeignete Atemschutzgeräte und gegebenenfalls Körperschutzmittel bereitzuhalten.

5.2.1.7 Schutzraum

Im Bereich von Lägern für sehr giftige Gase ist erforderlichenfalls ein Schutzraum einzurichten, in dem z. B. Körperschutzmittel und Atemschutzgeräte vorhanden sind. Der Schutzraum ist mit Notbeleuchtung, Telefon, Not-Aus-Schalter und - soweit durch die Gaseigenschaften erforderlich - mit einer Notdusche auszustatten. Der Schutzraum kann auch eine entsprechend ausgestattete Prozessleitwarte sein.

Der Schutzraum muss so belüftet sein, dass keine gefährlichen Konzentrationen sehr giftiger Gase auftreten können. Diese Forderung ist erfüllt, wenn z. B. ein leichter Überdruck von mindestens 0,2 mbar aufrechterhalten wird und die Zuluft aus sicheren Bereichen angesaugt wird.

5.2.2 Schutzmaßnahmen bei Aufstellung in Räumen

5.2.2.1 Türen

Türen von Räumen, in denen Lagerbehälter für sehr giftige oder giftige Gase aufgestellt sind, müssen selbstschliessend sein.

5.2.2.2 Benachbarte Räume

Räume mit Lagerbehältern für sehr giftige oder giftige Gase dürfen neben, unter oder über Räumen, die dem dauernden Aufenthalt von Menschen dienen, nur vorhanden sein, sofern die Trennwände zu diesen angrenzenden Räumen öffnungslos und gasdicht ausgeführt sind.

5.2.2.3 Einrichtung zum Ableiten oder Vernichten

Abweichend von Abschnitt 3.2.2.5 müssen Räume mit Lagerbehältern für sehr giftige oder giftige Gase mit einer Einrichtung versehen sein, mit der ausgetretenes Gas gefahrlos

- abgeleitet oder
- aufgefangen und beseitigt

werden kann.

Die Einrichtungen müssen von ungefährdeten Stellen aus betätigt werden können.

5.2.3 Schutzmaßnahmen bei Aufstellung im Freien**5.2.3.1 Ausführung der Aufstellplätze**

An Lagerbehältern für sehr giftige oder giftige, tiefkalte Gase in flüssigem Zustand, die bei einem Betriebsüberdruck von weniger als 0,5 bar gelagert werden, muss der Boden im Bereich der Anschlüsse und Armaturen so ausgeführt sein, dass austretendes Gas nicht eindringen kann.

Einer besonderen Ausführung des Bodens bedarf es nicht, wenn

- das Gas gasförmig entnommen wird,
- die Anschlüsse einschließlich Armaturen an der Flüssigphase - ausgenommen MSR-Leitungen - keine lösbaren Verbindungen besitzen oder
- die Armaturen entsprechend Abschnitt 5.2.1.5 angeordnet sind.

5.2.3.2 Bereiche mit möglicher Gesundheitsgefährdung**5.2.3.2.1 Bemessung der Bereiche**

Um mögliche betriebsbedingte Gasaustrittsstellen an Lagerbehältern mit sehr giftigen oder giftigen Gasen sind zum Schutz von Personen Bereiche festzulegen, in denen gesundheitsgefährliche Atmosphäre nicht ausgeschlossen werden kann.

Die Forderung ist erfüllt, wenn um die möglichen betriebsbedingten Gasaustrittsstellen

- ein kugelförmiger Bereich mit 5 m Radius zu anderen Anlagen auf dem Werkgelände,
- 10 m Abstand zur Grenze des Werkgeländes eingehalten ist - siehe Anlage 7.

5.2.3.2.2 Kennzeichnung der Bereiche

Die Bereiche mit möglicher Gesundheitsgefährdung müssen mit dem Warnzeichen „Warnung vor ...“ deutlich erkennbar und dauerhaft gekennzeichnet sein - siehe Abschnitt 5.1.1.

Die Forderung ist erfüllt, wenn die Zugänge zu den Bereichen gekennzeichnet sind.

5.2.3.2.3 Nutzung der Bereiche

In den Bereichen mit möglicher Gesundheitsgefährdung durch sehr giftige oder giftige Gase dürfen sich nur Baulichkeiten und Einrichtungen befinden, die dem Betrieb der Lagerbehälter dienen.

5.2.3.2.4 Einschränkung der Bereiche

Die Einschränkung der Bereiche ist durch bauliche Maßnahmen möglich. Um die natürliche Umlüftung zu erhalten, ist eine Einschränkung nur an ein oder zwei Seiten zulässig. Bei Einschränkungen an mehr als zwei Seiten sind ergänzende Lüftungsmaßnahmen vorzusehen.

5.2.3.3 Begrenzung der Ausbreitung

Die Schutzmaßnahmen zur Begrenzung der Ausbreitung bei störungsbedingten Gasaustritten sind insbesondere erfüllt durch Einrichtungen zum

- Erzeugen von Wasserschleiern zum Niederschlagen einer Gaswolke bei Gasen, die wasserlöslich sind, z.B. Ammoniak, Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Ethylenoxid, Chlorwasserstoff,
- Erzeugen von Wasserschleiern zur Begrenzung der Ausbreitung einer Gaswolke bei Gasen, die in Wasser nicht oder nur wenig löslich sind, z. B. Chlor,
- chemischen Umsetzen des ausgetretenen Gases durch Versprühen geeigneter Flüssigkeiten, z.B. Ammoniakwasser für Phosgen oder
- Begrenzen der flächigen Ausbreitung durch Verwirbeln des ausgetretenen Gases mittels Wasserdampf (Dampfsperre).

Diese Einrichtungen, z. B. Sprührohre, Sprühwände, können fahrbar oder ortsfest eingebaut sein oder durch die Werkfeuerwehr bereitgestellt werden.

5.2.3.4 Windrichtungsanzeiger

Im Bereich der Lagerbehälter für sehr giftige oder giftige Gase muss ein gut sichtbarer Windrichtungsanzeiger, z. B. Windsack, aufgestellt sein. Ist durch die Art der Aufstellung ein örtlicher Windrichtungsanzeiger nicht zweckdienlich, so kann die Windrichtung auch zentral an der für die Gefahrenabwehr zuständigen Stelle, z.B. Werkfeuerwehr, angezeigt werden.

5.2.3.5 Sicherheitsabstände

Es ist ein Sicherheitsabstand gemäß Abschnitt 2.16 erforderlich, außerhalb dessen bei störungsbedingten Gasaustritten das Auftreten einer gesundheitsgefährlichen Atmosphäre

Druckb 5.2.610

ausgeschlossen werden kann. Davon kann ausgegangen werden, wenn der ERPG-2- Wert¹⁾ bzw. ein vergleichbarer gasspezifischer Grenzwert nicht überschritten wird.

5.2.3.5.1 Für bestimmbare Leckraten ist unter Berücksichtigung

- der maximal möglichen Gasaustrittsmenge,
- der Grenzwertkonzentration des austretenden Gases,
- der Austritts- und Ausbreitungsbedingungen,

eine Ausbreitungsrechnung, z. B. nach VDI-Richtlinie 3783 Blatt 1 für Gase gleichschwer oder leichter als Luft bzw. nach VDI-Richtlinie 3783 Blatt 2 für Gase schwerer als Luft durchzuführen.

5.2.3.5.1.1 Die maximal mögliche Gasaustrittsmenge ist die Menge, die maximal aus einem Leck austreten kann, sofern sichergestellt ist, dass durch eine Störung nicht mehrere Gasaustrittsstellen gleichzeitig auftreten können. Ist dies nicht sichergestellt, sind die gleichzeitig auftretenden Gasaustrittsmengen zu berücksichtigen.

5.2.3.5.1.2 Die Grenzwertkonzentration ist die Konzentration, unterhalb der für sehr giftige und giftige Gase das Auftreten einer gesundheitsgefährlichen Atmosphäre ausgeschlossen werden kann. Davon kann ausgegangen werden, wenn der ERPG-2- Wert¹ oder ein vergleichbarer gasspezifischer Grenzwert nicht überschritten wird.

5.2.3.5.1.3 Bei der Festlegung der Austritts- und Ausbreitungsbedingungen sind jeweils die besonderen Randbedingungen für den Standort zu betrachten.

¹⁾ Über diesen Grenzwert wird in den zuständigen Ausschüssen noch diskutiert.

Einstufung der Gase nach gefährlichen Eigenschaften

Beim Umgang mit Gasen sind, hinsichtlich der zu treffenden sicherheitstechnischen Maßnahmen, die gefährlichen Eigenschaften der Gase zu berücksichtigen.

In den nachfolgenden Tabellen sind die Gase in alphabetischer Reihenfolge nach den Gefährlichkeitsmerkmalen nach Gefahrstoffverordnung eingestuft.

Die Gasbezeichnungen sind wegen teilweise vorhandener Unterschiede sowohl nach den IUPAC-Regeln (International Union Pure And Applied Chemistry) als auch nach den Technischen Regeln Druckgase TRG 100 „Druckgase; Allgemeine Bestimmungen für Druckgase“ aufgeführt, wobei die alphabetische Reihenfolge nach der IUPAC-Bezeichnung gewählt wurde.

Für die Einstufung der in den Tabellen aufgeführten Gase wurden folgende Kriterien herangezogen, die mit einem bestimmten Symbol in der Tabelle I bezeichnet sind:

Brandfördernde Gase (Symbol O)

Brandfördernd sind Gase, die mit brennbaren Stoffen so reagieren können, dass die brennbaren Stoffe erheblich schneller abbrennen als in der Luft.

Zusätzlich zu den nach Gefahrstoffverordnung als brandfördernd eingestuften Gasen sind einige Gase aufgrund praktischer Erfahrungen als brandfördernd unter gewissen Bedingungen eingestuft worden. Diese Gase sind in der O-Spalte mit der Nummer 1 versehen.

Die Gase Chlor, Chlortrifluorid, Fluor und Tetrafluorhydrazin können zwar unter bestimmten Bedingungen mit anderen Stoffen stark exotherm reagieren, werden in dieser technischen Regel jedoch nicht als brandfördernde Gase angesehen.

Luft in flüssigem Zustand wurde als brandförderndes Gas eingestuft, da die brandfördernde Eigenschaft im flüssigen Zustand zum Tragen kommt. Luft wurde deshalb in der O-Spalte mit der Nummer 7 versehen.

Brennbare Gase (Symbol F⁺)

Gase sind brennbar, wenn sie bei Normaldruck und Normaltemperatur im Gemisch mit Luft einen Explosionsbereich (Zündbereich) haben. Diese Eigenschaft wird bei Gasen als „hochentzündlich“ bezeichnet.

Abweichend von den Festlegungen der Gefahrstoffverordnung werden die Gase Ammoniak und Brommethan zusätzlich als brennbar eingestuft, da sie bei Normaldruck im Gemisch mit Luft einen Explosionsbereich haben. Sie wurden daher in der F⁺-Spalte mit der Nummer 8 versehen.

Gase mit gefährlichen Eigenschaften (ausgenommen brennbare Gase)

Gase mit gefährlichen Eigenschaften sind Gase, die bei Einwirkung auf den Menschen Gesundheitsschäden bewirken können.

Bei diesen Gasen wird hinsichtlich der Einstufung entsprechend der Gefahrstoffverordnung nach den unterschiedlichen Wirkungen auf den Menschen differenziert, da hinsichtlich dieser Wirkungen zum Teil unterschiedliche Schutzmassnahmen vorgesehen sind.

Die vorgenannten Gase sind deshalb eingestuft als

- sehr giftige Gase (Symbol T⁺)
- giftige Gase (Symbol T)
- gesundheitsschädliche Gase (Symbol X_n)

Druckb 5.2.610

- ätzend wirkende Gase (Symbol C)
- reizend wirkende Gase (Symbol Xi)
- krebserzeugende erbgutverändernde und fortpflanzungsgefährdende Gase (Spaltel K der Tabelle 1 aus Anlage 1).

Das Gas Vinylchlorid ist ein Stoff, der beim Menschen bekanntermaßen krebserzeugend wirkt (Kategorie 1 in TRGS 905). Die Gase Butadien-1,3, Ethylenoxid und Vinylbromid sind Stoffe, die als krebserzeugend für den Menschen angesehen werden sollten. Es bestehen hinreichende Anhaltspunkte zu der durch Langzeit-Tierversuche bzw. andere relevante Informationen begründeten Annahme, dass die Exposition eines Menschen gegenüber diesen Stoffen Krebs erzeugen kann (Kategorie 2 in TRGS 905). Die Gase Brommethan, Chlorethan, Chlormethan und 1,1-Difluorethen sind Stoffe, die wegen möglicher krebserregender Wirkung beim Menschen Anlass zur Besorgnis geben, über die jedoch nicht genügend Informationen für eine befriedigende Beurteilung vorliegen (Kategorie 3 in TRGS 905). Alle vorgenannten Gase werden in Tabelle 1 der Anlage 1 dieser TRB mit dem Buchstaben "c" in der K-Spalte versehen.

Das Gas Ethylenoxid ist ein Stoff, der als erbgutverändernd für den Menschen angesehen werden sollte. Es bestehen hinreichende Anhaltspunkte zu der durch geeignete Tierversuche bzw. sonstige relevante Informationen begründeten Annahme, dass die Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff zu vererbaren Schäden führen kann (Kategorie M 2 in TRGS 905). Ethylenoxid wird daher in Tabelle 1 der Anlage 1 dieser TRB der K-Spalte mit dem Buchstaben „m“ versehen.

Das Gas Kohlenmonoxid ist ein Stoff, der beim Menschen bekanntermaßen fruchtschädigend (entwicklungsschädigend) wirkt (Kategorie R_E 1 in TRGS 905). Es wurde daher in der Tabelle 1 der Anlage 1 dieser TRB in der K-Spalte mit dem Buchstaben "r" versehen."

Abweichend vom Gas-Atlas¹⁾ sind einige Gase aufgrund der Einstufung in anderen Vorschriften vorläufig als giftig anzusehen. Diese Gase wurden in der T-Spalte mit der Nummer 3 versehen.

Abweichend vom Gas-Atlas¹⁾ wird das Gas Distickstoffoxid in Übereinstimmung mit den Transportvorschriften als nicht giftig angesehen, da die in der Gefahrstoffverordnung für „giftig“ bzw. „mindergiftig“ genannten Kriterien für dieses Gas nicht zutreffen. Nach den verfügbaren Literaturangaben ist Distickstoffoxid für den Menschen nicht giftig, sondern wirkt nur narkotisch und erstickend. Aus umfangreichen Anwendung von Distickstoffoxid als Narkosegas und Treibgas für Lebensmittel (Schlagsahne) und Kosmetika sind keine Erkenntnisse über seine toxische Wirkung auf den Menschen bekannt. Das Gas wurde deshalb in der T-Spalte mit der Nummer 4 versehen.

Sonstige Gase (Symbol I)

Sonstige Gase sind Gase, die keinen der in diesen Erläuterungen genannten Kriterien zuzuordnen sind. Die Einstufung in diese Rubrik folgt hier dem Gas-Atlas¹⁾ Sonstige Gase sind zum Teil Gase, die als inert bezeichnet werden, die also unter den im jeweiligen System vorliegenden Betriebs- und Lagerbedingungen nicht reagieren.

Sonstige Gase sind auch keine Gefahrstoffe im Sinne der Gefahrstoffverordnung. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass auch diese Gase bei falscher Handhabung gefährlich sein können, da sie durch Verdrängung des Luftsauerstoffs erstickend wirken können (Sauerstoffmangel).

Chemisch instabile Gase (Symbol CI)

Chemisch instabil sind Gase, die unter den Lager- und Betriebsbedingungen durch Energieeinwirkung oder durch katalytische Einwirkung von Fremdstoffen - auch unter Ausschluss von Sauerstoff - zu einer exothermen Reaktion gebracht werden können.

¹⁾ Gas-Atlas Schriftenreihe

- Gefährliche Arbeitsstoffe
- GA 32, Dortmund 1989 (ISBN-Nr. 388314-928-4)

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz, zu beziehen: Wirtschaftsverlag NW, Postfach 101101, 27511 Bremerhaven

¹⁾ Gas-Atlas Schriftenreihe

- Gefährliche Arbeitsstoffe
- GA 32, Dortmund 1989 (ISBN-Nr. 388314-928-4)

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz, zu beziehen: Wirtschaftsverlag NW, Postfach 101101, 27511 Bremerhaven

Bestimmte Gase werden erst bei vom Normalzustand abweichenden Bedingungen (erhöhte Temperatur oder erhöhter Druck) instabil. Diese Gase sind in der CI-Spalte mit der Nummer 5 versehen.

Das Gas Distickstoffoxid kann im Normalzustand zum Zerfall angeregt werden. Die zur Einleitung der Zerfallsreaktion notwendige Aktivierungsenergie liegt jedoch höher als bei anderen chemisch instabilen Gasen. Distickstoffoxid gilt deshalb als ein schwer zum Zerfall anregbares instabiles Gas und ist in der CI-Spalte mit der Nummer 6 versehen.

Tabelle 1

Bezeichnung nach IUPAC-Regeln	Bezeichnung nach TRG 100	O	F+	T+	T	Xn	K	C	Xi	I	CI
Acetylen, gelöst	Acetylen		•								•
Ammoniak	Ammoniak		8		•						
Argon	Argon									•	
Arsin			•	•							
Bortrichlorid	Bortrichlorid			•							
Bortrifluorid	Bortrifluorid			•				•			
Bromchlordifluormethan	Bromchlordifluormethan (R 12B1)									•	
Bromchlorid					•						
Brommethan	Methylbromid (R 40B1)		8		•		c				
Bromtrifluorethen			•		3						5
Bromtrifluormethan	Bromtrifluormethan (R 13B1)										
Bromwasserstoff	Bromwasserstoff							•			
Butadien-1,2	Butadien-1,2		•								5
Butadien-1,3	Butadien-1,3		•				c				5
n-Butan	Normal-Butan		•								
Buten-1	Butylen-1		•								
cis-Buten-2	Cis-Butylen-2		•								
trans-Buten-2	Trans-Butylen-2		•								
Butin-1			•								5
Carbonylchlorid	Chlorkohlenoxid (Phosgen)			•							
Carbonylfluorid					3						
Carbonylsulfid			•		•						
Chlor	Chlor				•						
Chlorcyan	Chlorcyan			•							5
1-Chlor-1,1-difluorethan	Chlordifluoräthan (R 142 b)		•								
1-Chlor-1,2-difluorethan-			•								
Chlordifluormethan	Chlordifluormethan (R 22)									•	
Chlorethan	Äthylchlorid (R 160)		•			•	c				
Chlormethan	Methylchlorid (R 40)		•			•	c				
Chlorpentafluorethan	Chlorpentafluoräthan (R 115)									•	
Chlorpentafluorid		•		•							
1-Chlor-1,1,2,2-tetrafluorethan	Chlortetrafluoräthan (R 124a)									•	
1-Chlor-1,2,2,2-tetrafluorethan										•	
1-Chlor-2,2,2-trifluorethan	Chlortrifluoräthan (R 133a)									•	•
Chlortrifluorethen	Chlortrifluoräthylen (R1113)		•			•					5
Chlortrifluorid				•							

Druckb 5.2.610

Bezeichnung nach IUPAC-Regeln	Bezeichnung nach TRG 100	O	F+	T+	T	Xn	K	C	Xi	I	Cl
Chlortrifluormethan	Chlortrifluormethan (R 13)									•	
Chlorwasserstoff	Chlorwasserstoff				•			•			
Cyanwasserstoff	Cyanwasserstoff (Blausäure)		•	•							5
Cyclobutan			•								
Cyclopropan	Cyclopropan		•								
Deuterium	Deuterium (Schwerer Wasserstoff)		•								
Diboran			•	•							•
Dichlordifluormethan	Dichlordifluormethan (R 12)									•	
Dichlorfluormethan	Dichlorfluormethan (R 21)								•		
Dichlorsilan	Dichlorsilan		•					•			
1,2-Dichlor-1,1,2,2-tetrafluorethan	Dichlortetrafluoräthan (R 114)									•	
Dicyan	Dicyan		•		•						5
1,1-Difluorethan	1,1-Difluoräthan (R 152a)		•								
1,1-Difluorethen	1,1-Difluoräthylen (R 1132a)		•		3		c				•
Dimethylamin	Dimethylamin		•			•					
Dimethylether	Dimethyläther		•								
Dimethylsilan	Dimethylsilan		•		3						
Distickstoffoxid	Distickstoffoxid (Stickoxydul)	1			4						6
Ethan	Äthan		•								
Ethen	Äthylen		•								
Ethylamin	Äthylamin		•						•		
Ethylenoxid	Äthylenoxid		•		•		cm				•
Ethylmethylether			•								
Fluor	Fluor			•				•			
Fluorethan			•								
Fluormethan			•								
Fluorwasserstoff				•				•			
German			•	•							
Helium	Helium									•	
Heptafluorpropan	Heptafluorpropan (R 227)									•	
Hexafluoraceton					•						
Hexafluorethan										•	
Hexafluorisobuten	Hexafluorisobuten									•	
Hexafluorpropen	Hexafluorpropylen					•					
Hexafluorpropylenoxid	Hexafluorpropylenoxid									•	
Iodwasserstoff								•			5
Isobutan	Iso-Butan		•								
Isobuten	Iso-Butylen		•								
Kohlendioxid	Kohlendioxid (Kohlensäure)									•	
Kohlenmonoxid	Kohlenoxid		•		•		r				

Bezeichnung nach IUPAC-Regeln	Bezeichnung nach TRG 100	O	F+	T+	T	Xn	K	C	Xi	I	Cl
Krypton	Krypton									•	
Luft	Druckluft (Pressluft)	7								•	
Methan	Methan		•								
Methylamin	Methylamin		•			•					
Methylmercaptan	Methylmercaptan		•			•					
Methylnitrit			•		•						•
Methylsilan	Methylsilan		•		3						
Methylvinylether	Vinylmethyläther		•		3						5
Neon	Neon									•	
Neopentan			•								
Nitrosylchlorid								•			
Octafluorbuten-2										•	
Octafluorocyclobutan	Octafluorocyclobutan (R C318)									•	
Octafluorpropan										•	
Ozon		•		•				•			•
Perchlorylfluorid		•		•							
Phosphin	Phosphorwasserstoff (Posphin)		•	•							
Phosphorpentafluorid				•				•			
Phosphortrifluorid				•				•			
Propadien			•								5
Propan	Propan - rein		•								
Propen	Propylen - rein		•								
Propin			•								5
Sauerstoff	Sauerstoff	•									
Sauerstoffdifluorid		•		•							
Schwefeldioxid	Schwefeldioxid	•			•						
Schwefelhexafluorid	Schwefelhexafluorid									•	
Schwefeltetrafluorid				•							
Schwefelwasserstoff	Schwefelwasserstoff		•	•							
Selenhexafluorid					•						
Selenwasserstoff			•		•						
Silan	Siliziumwasserstoff (Monosilan)		•			•					
Siliciumtetrafluorid				•				•			
Stibin			•			•					•
Stickstoff	Stickstoff									•	
Stickstoffdioxid	Stickstofftetroxid	1		•							
Stickstoffmonoxid	Stickstoffoxid			•							5
Stickstofftrifluorid	Stickstofftrifluorid				3						
Sulfurylfluorid					•						
Tellurhexafluorid				•							
Tetrafluorethen			•		3						5

Druckb 5.2.610

Bezeichnung nach IUPAC-Regeln	Bezeichnung nach TRG 100	O	F+	T+	T	Xn	K	C	Xi	I	CI
Tetrafluorhydrazin					3						5
Tetrafluormethan	Tetrafluormethan (R 14)									•	
Trifluoracetylchlorid	Trifluoracetylchlorid							•			
1,1,1-Trifluorethan	1,1,1-Trifluoräthan (R 143a)		•								
Trifluormethan	Trifluormethan (R 23)									•	
Trimethylamin	Trimethylamin		•			•					
Trimethylsilan	Trimethylsilan		•		3						
Vinylbromid	Vinylbromid (R 1140B1)		•				c				5
Vinylchlorid	Vinylchlorid (R 1140)		•				c				5
Vinylfluorid	Vinylfluorid (R 1141)		•		3						5
Wasserstoff	Wasserstoff		•								
Wolframhexafluorid	Wolframhexafluorid			•							
Xenon	Xenon									•	
		0	F+	T+	T	Xn	K	C	Xi	I	CI

O = Brandfördernd

F+ = Hochentzündlich

T+ = Sehr giftig

T = Giftig

Xn = Gesundheitsschädlich

K = Krebs erzeugend

C = Ätzend

Xi = Reizend

I = Inert

CI = Chemisch instabil

Anlage 2 zu TRB 610

Tabelle 1: Physikalische Daten der Gase

Gasbezeichnung	Bezeichnung nach TRG 100	Siedetemperatur		Kritische Temperatur [°C]	Explosionsgrenze [Vol.-%]
		bei 1,013 bar [°C]	bei 0,5 bar ¹⁾ [°C]		
Acetylen, gelöst	Acetylen	-84,03		35,18	2,3 - 100
Ammoniak	Ammoniak	-33,41	-25,3	132,4	15,4 – 33,6
Argon	Argon	-185,85	-182,0	-122,29	keine
Arsin		-62,48		99,90	3,9 - 77,8
Bortrichlorid	Bortrichlorid	12,50		178,80	keine
Bortrifluorid	Bortrifluorid	-100,30	-93,6	-12,20	keine
Bromchlordifluormethan	Bromchlordifluormethan (R 12B1)	-3,30	7,2	153,73	keine
Bromchlorid					keine
Brommethan	Methylbromid (R 40B1)	3,56		194,00	8,6 - 20,0
Bromtrifluorethen		-2,50			
Bromtrifluormethan	Bromtrifluormethan (R 13B1)	-57,89	-49,1	66,80	keine
Bromwasserstoff	Bromwasserstoff	-66,72		89,90	keine
Butadien-1,2	Butadien-1,2	10,80	21,8	176,10	1,6 - 18,3
Butadien-1,3	Butadien-1,3	-4,50	6,1	152,00	1,4 - 16,3
n-Butan	Normal-Butan	-0,50	10,3	152,03	1,4 - 9,3
Buten-1	Butylen-1	-6,25	4,4	146,40	1,6 - 10,0
cis-Buten-2	Cis-Butylen-2	3,72		162,40	1,6 - 10,0
trans-Buten-2	Trans-Butylen-2	0,88		155,50	1,6 - 10,0
Butin-1		8,07		190,50	
Carbonylchlorid	Chlorkohlenoxid (Phosgen)	7,44	18,5	182,30	keine
Carbonylfluorid		-83,10		14,70	keine
Carbonylsulfid		-50,20		102,00	6,5 - 29,0
Chlor	Chlor	-34,10	-24,7	144,00	keine
Chlorcyan	Chlorcyan	12,90		215,00	keine
Chlordifluormethan	Chlordifluormethan (R 22)	-40,85	-32,1	96,18	keine
Chlorethan	Äthylchlorid (R 160)	12,28		187,20	3,6 - 14,8
Chlormethan	Methylchlorid (R 40)	-23,76	-14,7	143,00	7,6 - 19,0
Chlorpentafluorethan	Chlorpentafluoräthan (R115)	-39,10	-29,7	80,00	keine
Chlorpentafluorid		-13,10		142,60	keine
Chlortrifluorethen	Chlortrifluoräthylen (R 1113)	-28,36		105,80	4,6 - 64,3
Chlortrifluorid		11,75		153,70	keine
Chlortrifluormethan	Chlortrifluormethan (R 13)	-81,90	-73,9	28,78	keine

¹⁾ Betriebsüberdruck

Druckb 5.2.610

Gasbezeichnung	Bezeichnung nach TRG 100	Siedetemperatur		Kritische Temperatur[°C]	Explosionsgrenze [Vol.-%]
		bei 1,013 bar [°C]	bei 0,5 bar ^{*)} [°C]		
Chlorwasserstoff	Chlorwasserstoff	-85,03	-77,8	51,54	keine
1-Chlor-1,1-difluorethan	Chlordifluoräthan (R 142b)	-9,60		137,10	6,27- 17,9
1-Chlor-1,1,2,2-tetrafluorethan	Chlortetrafluoräthan (R 124a)	-10,80		125,00	keine
1-Chlor-1,2-difluorethan					8,5 - 14
1-Chlor-2,2,2-trifluorethan	Chlortrifluoräthan (R 133a)	6,93		150,00	keine
Cyanwasserstoff	Cyanwasserstoff (Blausäure)	25,70	36,8	183,50	5,4 - 46,6
Cyclobutan		12,51		186,80	1,8 -
Cyclopropan	Cyclopropan	-32,86		125,15	2,4 - 10,4
Deuterium	Deuterium (Schwerer Wasserstoff)	-249,50		-234,80	6,7 - 79,6
Diboran		-92,50		16,00	0,9 - 98
Dichlordifluormethan	Dichlordifluormethan (R 12)	-29,80	-20,2	112,00	keine
Dichlorfluormethan	Dichlorfluormethan (R 21)	8,92		178,50	keine
1,2-Dichlor-1,1,2,2-tetrafluorethan	Dichlortetrafluoräthan (R 114)	3,50	14,3	145,70	keine
Dicyan	Dicyan	-21,15		126,60	3,9 - 36,6
1,1-Difluorethan	1,1-Difluoräthan (R 152a)	-25,00		113,50	4,9 - 20,2
1,1-Difluorethen	1,1-Difluoräthylen (R 1132a)	-84,00		29,70	4,7 - 25,1
Dimethylamin	Dimethylamin	7,00	16,6	164,60	2,8 - 14,4
Dimethylether	Dimethyläther	-24,82	-15,6	126,90	2,7 - 32,0
Dimethylsilan	Dimethylsilan	-19,60		125,00	1,2 - 74,0
Distickstoffoxid	Distickstoffoxid (Stickoxydul)	-88,47	-81,6	36,43	keine
Ethan	Äthan	-88,60	-81,0	32,27	2,7 - 14,7
Ethen	Äthylen	-103,72	-96,8	9,22	2,3 - 32,4
Ethylamin	Äthylamin	16,60	26,6	183,40	3,5 - 14,0
Ethylenoxid	Äthylenoxid	10,45		195,78	2,6 - 100
Ethylmethylether		7,40		164,70	2,0 -10,1
Fluor	Fluor	-188,10		-129,00	keine
Fluorethan		-37,10		102,20	5 - 10
Fluormethan		-78,41		44,55	
German		-88,50		34,85	
Helium	Helium	-268,93		-267,95	keine
Heptafluorpropan	Heptafluorpropan (R 227)	-17,30	-8,9	100,00	keine
Hexafluoraceton		-27,50		84,10	keine
Hexafluorethan		-78,20		19,70	keine

Gasbezeichnung	Bezeichnung nach TRG 100	Siedetemperatur		Kritische Temperatur [°C]	Explosionsgrenze [Vol.-%]
		bei 1,013 bar [°C]	bei 0,5 bar ¹⁾ [°C]		
Hexafluorisobuten	Hexafluorisobuten	14,10	26,2	150,00	keine
Hexafluorpropen	Hexafluorpropylen	-29,60		86,20	keine
Hexafluorpropylenoxid	Hexafluorpropylenoxid	-27,00		85,00	keine
Iodwasserstoff		-35,40		150,80	keine
Isobutan	Iso-Butan	-11,70		134,98	1,3 - 9,8
Isobuten	Iso-Butylen	-7,12		144,70	1,6 - 10,0
Kohlendioxid	Kohlendioxid(Kohlensäure)	-78,48	-73,6	30,06	keine
Kohlenmonoxid	Kohlenoxid	-191,55		-140,20	11,3 - 75,6
Krypton	Krypton	-153,40	-148,1	-63,75	keine
Luft	Druckluft (Pressluft)	-194,49		-140,64	keine
Methan	Methan	-161,52	-156,5	-82,60	4,4 - 16,5
Methylamin	Methylamin	-6,33	2,7	156,90	4,9 - 20,7
Methylmercaptan	Methylmercaptan	5,96		196,80	4,1 - 21,0
Methylsilan	Methylsilan	-57,50		79,30	1,3 - 88,9
Methylvinylether	Vinylmethyläther	6,00	16,5	171,60	2,2 - 28,2
Neon	Neon	-246,05		-228,75	keine
Neopentan		9,50		160,60	1,3 - 7,54
Nitrosylchlorid		-5,60		167,50	keine
Octafluorbuten-2		1,20			keine
Octafluorcyclobutan	Octafluorcyclobutan (R C318)	-6,42		115,32	keine
Octafluorpropan		-36,70		71,90	keine
Perchlorylfluorid		-46,67		95,20	keine
Phosphin	Phosphorwasserstoff (Phosphin)	-87,77		51,90	keine
Phosphorpentafluorid		-84,60		19,00	keine
Phosphortrifluorid		-101,38		-2,05	keine
Propadien		-34,40		120,70	1,7 - 17,0
Propan	Propan - rein	-42,10	-32,8	96,80	1,7 - 10,9
Propen	Propylen - rein	-47,69	-38,7	92,42	2,0 - 11,1
Propin		-23,21		129,24	1,8 - 16,8
Sauerstoff	Sauerstoff	-182,96	-179,1	-118,38	keine
Sauerstoffdifluorid		-145,30		-58,00	keine
Schwefeldioxid	Schwefeldioxid	-10,02	-0,9	157,50	keine
Schwefelhexafluorid	Schwefelhexafluorid	-63,80		45,55	keine
Schwefeltetrafluorid		-40,40		91,00	keine
Schwefelwasserstoff	Schwefelwasserstoff	-60,20	-52,8	100,05	4,3 - 45,5
Selenhexafluorid		-46,60			keine
Selenwasserstoff		-41,40		138,00	
Silan	Siliziumwasserstoff (Monosilan)	-111,40		-3,50	
Siliciumtetrafluorid		-95,20		-14,15	keine

Druckb 5.2.610

Gasbezeichnung	Bezeichnung nach TRG 100	Siedetemperatur		Kritische Temperatur [°C]	Explosionsgrenze [Vol.-%]
		bei 1,013 bar [°C]	bei 0,5 bar ^{*)} [°C]		
Stibin		-17,00			
Stickstoff	Stickstoff	-195,81	-192,3	-146,95	keine
Stickstoffdioxid	Stickstofftetroxid	21,10		158,00	keine
Stickstoffmonoxid	Stickstoffoxid	-151,75		-92,90	keine
Stickstofftrifluorid	Stickstofftrifluorid	-129,00		-39,26	keine
Sulfurylfluorid		-55,40			keine
Tellurhexafluorid		-38,90		83,20	keine
1,1,1,2-Tetrafluorethan	Tetrafluorethan (R 134a)	-26,1	-17,2	100,00	keine
Tetrafluorethen		-75,63		33,30	10,5 - 59,0
Tetrafluorhydrazin		-73,00		36,20	keine
Tetrafluormethan	Tetrafluormethan (R 14)	-128,00	-122,2	-45,70	keine
Trifluoracetylchlorid	Trifluoracetylchlorid	-24,80		109,00	keine
1,1,1-Trifluorethan	1,1,1-Trifluoräthan (R 143a)	-47,60		73,10	9,5 - 19
Trifluormethan	Trifluormethan (R 23)	-82,18	-75,0	26,00	keine
Trimethylamin	Trimethylamin	2,87	13,6	160,15	2,0 - 11,6
Trimethylsilan	Trimethylsilan	6,70		155,00	1,3 - 44,0
Vinylbromid	Vinylbromid (R 1140B1)	15,70	27,1	198,00	5,6 - 13,5
Vinylchlorid	Vinylchlorid (R 1140)	-13,40	-8,2	156,50	3,8 - 31,0
Vinylfluorid	Vinylfluorid (R 1141)	-72,20	-64,4	54,73	2,9 - 28,9
Wasserstoff	Wasserstoff	-252,75	-251,4	-239,90	4,0 - 77,0
Wolframhexafluorid	Wolframhexafluorid	17,06		170,00	keine
Xenon	Xenon	-108,12		16,59	keine

*) Betriebsüberdruck

Anlage 3a zu TRB 610
 Kenndaten verflüssigter Gase mit einer kritischen Temperatur $\geq -10^\circ\text{C}$

Gasbezeichnung	Chemische Formel	Siedetemp. bei 1,013 bar [°C]	Krit. Temp. ratur [°C]	Krit. Druck [bar]	Krit. Dichte [kg/l]	Flüssigkeitsdichte im Sättigungszustand [kg/l]							Dampfdruck [bar]										
						-10°C	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	-10°C	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C
Ammoniak	NH ₃	-33,41	132,40	113,00	0,235	0,652	0,639	0,625	0,619	0,595	0,580	0,563	0,544	0,525	2,9	4,3	6,2	8,5	11,7	15,6	20,3	26,2	33,1
Arsin	H ₃ As	-62,48	99,90	66,00																			
Bortrichlorid	BCl ₃	12,50	178,80	38,70	0,790		1,43		1,38						0,4	0,6	0,9	1,3	1,9	2,5	3,2	4,2	5,5
Bromchlorfluormethan	CB ₂ ClF ₂	-3,30	153,73	42,54	0,673	1,917	1,884	1,850	1,814	1,777	1,739	1,700	1,659	1,616	0,9	1,3	1,9	2,5	3,3	4,3	5,6	7,2	9,0
Bromchlorid	BrCl																						
Brommethan	CH ₃ Br	3,56	194,00	52,30	0,577	1,757	1,731	1,704	1,677	1,649	1,620	1,591	1,561	1,530	0,8	0,9	1,3	1,9	2,6	3,6	4,9	6,2	7,6
Bromtrifluorethen	C ₂ BrF ₃	-2,50																					
Bromtrifluormethan	CF ₃ Br	-57,89	66,80	39,60	0,745	1,756	1,697	1,634	1,567	1,492	1,404	1,296	1,141		6,3	8,4	11,1	14,2	18,0	22,6	27,9	34,2	
Bromwasserstoff	HBr	-66,72	89,90	85,00	0,807	1,946	1,896	1,844	1,792	1,737	1,682	1,625	1,566	1,506	9,4	12,5	16,2	20,9	26,5	33,0	40,7	49,6	60,2
Butadien-1,2	C ₄ H ₆	10,80	176,10	43,00																			
Butadien-1,3	C ₄ H ₆	-4,50	152,00	43,23	0,245	0,657	0,645	0,633	0,621	0,608	0,595	0,582	0,567	0,552	0,8	1,2	1,8	2,4	3,2	4,3	5,7	7,3	9,2
n-Butan	C ₄ H ₁₀	-0,50	152,03	37,96	0,228	0,612	0,601	0,590	0,579	0,568	0,556	0,543	0,531	0,517	0,7	1,0	1,5	2,1	2,8	3,7	4,9	6,3	7,9
Buten-1	C ₄ H ₈	-6,25	146,40	39,26	0,233	0,631	0,619	0,608	0,596	0,584	0,571	0,558	0,544	0,530	0,9	1,3	1,9	2,5	3,4	4,6	6,0	7,6	9,6
cis-Buten-2	C ₄ H ₈	3,72	162,40	42,10	0,239	0,656	0,645	0,633	0,621	0,609	0,597	0,584	0,570	0,556	0,6	0,9	1,3	1,8	2,5	3,4	4,4	5,8	7,3
trans-Buten-2	C ₄ H ₈	0,88	155,50	41,00	0,238	0,638	0,627	0,616	0,604	0,592	0,580	0,567	0,553	0,539	0,7	1,0	1,4	2,0	2,7	3,6	4,8	6,2	7,9
Butin-1	C ₄ H ₆	8,07	190,50	47,10	0,245																		
Carbonylchlorid	CCl ₂ O	7,44	182,30	57,20	0,520	1,442	1,419	1,395	1,372	1,348	1,323	1,299	1,274	1,248	0,5	0,8	1,1	1,6	2,2	3,0	4,0	5,3	6,9
Carbonylfluorid	CF ₂ O																						
Carbonylsulfid	COS	-50,20	102,00	58,80	0,449																		
Chlor	Cl ₂	-34,10	144,00	77,00	0,567	1,497	1,468	1,439	1,409	1,377	1,345	1,311	1,276	1,239	2,6	3,7	5,0	6,8	8,8	11,3	14,3	17,8	21,9
Chlorcyan	CCLN	12,90	215,00	49,90	0,513	1,240	1,222	1,204	1,186	1,168	1,150												
Chlordifluormethan	CHClF ₂	-40,85	96,18	52,70	0,331	1,318	1,285	1,250	1,213	1,174	1,131	1,085	1,032	0,971	0,4	0,6	0,9	1,4	1,9	2,6	3,6	4,9	6,5
Chlorethan	C ₂ H ₅ Cl	12,28	187,20	66,70	0,353	0,933	0,920	0,906	0,893	0,879	0,863	0,847	0,831	0,813	0,4	0,6	1,0	1,4	1,9	2,5	3,4	4,5	5,9
Chlormethan	CH ₃ Cl	-23,76	143,00	31,23	0,596	0,979	0,960	0,944	0,921	0,901	0,881	0,859	0,837	0,815	1,8	2,5	3,6	4,9	6,6	8,5	10,9	13,7	17,2
Chlorpentafluorethan	C ₂ F ₅ Cl	-39,10	80,00	52,59	0,565	1,437	1,395	1,351	1,307	1,258	1,203	1,142	1,064	0,956	3,1	4,4	6,0	7,8	10,3	13,1	16,6	20,7	25,5
Chlorpernitriloxid	ClF ₃	-13,10	142,60	40,60	0,550	1,891	1,860	1,828	1,794	1,758	1,720	1,680	1,636	1,588	1,2	1,7	2,4	3,2	4,1	5,6	7,5	9,8	12,6
Chlortrifluorethen	C ₂ F ₃ Cl	-28,36	105,80	58,00	0,548	1,40	1,37	1,34	1,31	1,28	1,24	1,20	1,15	1,09	2,1	2,9	4,1	5,6	7,5	9,8	12,6	15,9	19,8
Chlortrifluorid	ClF ₃	11,75	153,70	38,60	0,581	1,914	1,885	1,856	1,825	1,794	1,762	1,729	1,695	1,661	0,4	0,6	1,0	1,5	2,1	2,9	4,1	5,6	7,4
Chlortetrafluormethan	CClF ₂	-81,90	28,78	83,40	0,420	0,966	0,927	0,884	0,836	0,779	0,704	0,560			20,1	26,2	33,6	42,6	53,2	65,8	80,6		
Chlorwasserstoff	HCl	-85,03	51,54																				

Gasbezeichnung	Chemische Formel	Siedetemp. bei 1,013 bar [°C]	Krit. Temperatur [°C]	Krit. Druck [bar]	Krit. Dichte [kg/l]	Flüssigkeitsdichte im Sättigungszustand [kg/l]							Dampfdruck [bar]										
						-10°C	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	-10°C	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C
1-Chlor-1,1-difluorethan	C ₂ H ₃ ClF ₂	-9,60	137,10	41,20	0,435	1,193	1,171	1,147	1,124	1,096	1,070	1,041	1,010	0,977	1,0	1,5	2,1	2,9	3,9	5,2	6,8	8,6	10,9
1-Chlor-1,1,2,2-tetrafluorethan	C ₂ HClF ₄	-10,80	125,00	34,00																			
1-Chlor-1,2-difluorethan	C ₂ H ₂ ClF ₂																						
1-Chlor-2,2,2-trifluorethan	C ₂ HClF ₃	6,93	150,00			1,406	1,382	1,357	1,330	1,303	1,275	1,246	1,215	1,184	0,6	0,9	1,3	1,9	2,5	3,5	4,7	6,2	7,9
Cyanwasserstoff	CHN	25,70	183,50	53,90	0,195																		
Cyclobutan	C ₄ H ₈	12,51	186,80	49,65	0,267																		
Cyclopropan	C ₃ H ₆	-32,86	125,15	55,79	0,259	0,650	0,637	0,624	0,610	0,596	0,581	0,565	0,548	0,530	2,5	3,5	4,7	6,4	8,3	10,6	13,4	16,7	20,6
Diboran	H ₂ B ₂	-92,50	16,00	40,40	0,160																		
Dichlordifluormethan	CCl ₂ F ₂	-29,80	112,00	41,15	0,557	1,425	1,394	1,362	1,329	1,293	1,255	1,213	1,167	1,119	2,2	3,1	4,2	5,7	7,5	9,6	12,2	15,2	18,7
Dichlorfluormethan	CHCl ₂ F	8,92	178,50	51,70	0,522	1,449	1,426	1,402	1,378	1,354	1,329	1,303	1,277	1,250	0,5	0,7	1,1	1,6	2,2	2,9	3,9	5,2	6,8
Dichtersilan	H ₂ Cl ₂ Si	8,40	176,30	43,78	0,479																		
1,2-Dichlor-1,1,2,2-tetrafluorethan	C ₂ Cl ₂ F ₄	3,50	145,70	32,60	0,582	1,560	1,531	1,502	1,473	1,442	1,410	1,376	1,337	1,294	0,6	0,9	1,3	1,9	2,5	3,4	4,5	5,9	7,6
Dicyan	C ₂ N ₂	-21,15	126,60	59,00																			
1,1-Difluorethan	C ₂ H ₄ F ₂	-25,00	113,50	44,90	0,365	0,982	0,960	0,937	0,913	0,888	0,861	0,832	0,801	0,766	1,9	2,7	3,7	5,1	6,8	8,9	11,6	14,7	18,4
1,1-Difluorethen	C ₂ H ₂ F ₂	-84,00	29,70	44,63	0,414	0,859	0,809	0,749	0,670						17,3	22,5	28,6	36,1					
Dimethylamin	C ₂ H ₇ N	7,00	164,60	53,10	0,256	0,690	0,678	0,667	0,655	0,643	0,631	0,618	0,605	0,592	0,5	0,8	1,2	1,7	2,5	3,3	4,6	6,1	8,0
Dimethylether	C ₂ H ₆ O	-24,82	126,90	53,70	0,271	0,713	0,698	0,682	0,666	0,649	0,631	0,612	0,593	0,573	1,8	2,5	3,7	5,1	6,9	8,9	11,4	14,5	18,1
Dimethylsilan	C ₂ H ₆ Si	-19,60	125,00			0,624	0,611	0,596	0,584	0,570	0,555	0,539	0,521	0,501	1,5	2,0	2,8	3,8	5,1	6,6	8,4	10,8	13,3
Distickstoffoxid	N ₂ O	-88,47	36,43	72,70	0,453	0,966	0,913	0,855	0,785	0,685					24,3	31,3	40,2	50,8	63,2				
Ethan	C ₂ H ₆	-88,60	32,27	48,80	0,203	0,434	0,412	0,386	0,351	0,267					18,5	23,8	30,1	37,8	46,9				
Ethen	C ₂ H ₄	-103,72	9,22	50,20	0,218	0,385	0,344								32,4	40,9							
Ethylamin	C ₂ H ₇ N	16,60	183,40	56,30	0,248	0,717	0,706	0,694	0,682	0,670	0,658	0,645	0,632	0,618	0,3	0,5	0,8	1,2	1,7	2,4	3,2	4,4	5,9
Ethylenoxid	C ₂ H ₄ O	10,45	195,78	71,90	0,314	0,915	0,905	0,893	0,882	0,870	0,857	0,843	0,827	0,809	0,4	0,7	1,0	1,5	2,1	2,9	4,0	5,4	7,1
Ethylmethylether	C ₄ H ₁₀ O	7,40	164,70	43,90	0,272										0,4	0,7	1,1	1,6	2,3				
Fluorethan	C ₂ H ₃ F	-37,10	102,20	50,30	0,300	0,781	0,768	0,754	0,740	0,726	0,712	0,697	0,681	0,664	3,1	4,3	5,9	8,0	10,5	13,6	17,3	21,7	26,8
Fluormethan	CH ₃ F	-78,41	44,55	58,70	0,300	0,701	0,674	0,635	0,592	0,537	0,454				15,4	16,9	21,9	35,2	43,9	54,3			
German	H ₃ Ge	-88,50	34,85	55,50	0,598																		
Heptafluorpropan	C ₃ HF ₇	-17,30	100,00		(0,59)																		
Hexafluoracetone	C ₂ F ₆ O	-27,50	84,10	28,41	0,567																		
Hexafluorethan	C ₂ F ₆	-78,20	19,70	33,00	0,601	1,241	1,151	1,017							14,2	18,6	23,9	30,6					

Kenndaten verflüssigter Gase mit einer kritischen Temperatur < -10 °C

Gasbezeichnung	Chem. Formel	Siedetemp. bei 1,013 bar [°C]	Krit. Temp. [°C]	Krit. Druck [bar]	Krit. Dichte [kg/L]	Flüssigkeitsdichte im Sättigungszustand [kg/L]								Dampfdruck [bar]							
						-183	-173	-163	-153	-143	-133	-123	-183	-173	-163	-153	-143	-133	-123		
Argon	Ar	-185,86	-122,29	48,98	0,536	1,38	1,31	1,24	1,16	1,07	0,94	0,69	1,34	3,25	6,68	12,16	20,27	31,7	47,43		
Bortrifluorid	BF3	-100,3	-12,2	49,65	0,591																
Deuterium	D2	-249,5	-234,8	16,65	0,067																
Fluor	F2	-188,1	-129	55,70	0,630	1,58	1,47	1,39	1,31	1,21	1,08	0,89	0,55	1,74	4,28	8,89	16,33	27,48	43,37		
Helium	He	-268,93	-267,95	2,27	0,070	-270,65	-270,15	-269,65	-260,15	-268,65	-268,15			0,1	0,24	0,47	0,81	1,3	1,95		
Kohlenmonoxid	CO	-191,55	-140,2	34,99	0,301	0,84	0,8	0,75	0,7	0,65	0,58	0,46	0,21	0,84	2,39	5,45	10,67	18,76	30,64		
Krypton	Kr	-153,4	-63,75	54,90	0,908	-153	-143	-133	-123	-113	-103	-93	-153	-143	-133	-123	-113	-103	-93		
Methan	CH4	-161,52	-82,6	45,95	0,162	2,41	2,34	2,25	2,17	2,07	1,97	1,85	1,03	2,11	3,88	6,55	10,37	15,55	22,39		
Neon	Ne	-246,05	-228,75	26,54	0,484	-163	-153	-143	-133	-123	-113	-103	-163	-153	-143	-133	-123	-113	-103		
Sauerstoff	O2	-182,96	-118,38	50,80	0,430	0,42	0,41	0,39	0,38	0,36	0,34	0,31	0,88	1,92	3,68	6,42	10,41	15,94	23,31		
Sauerstofftrifluorid	F2O	-145,3	-58	49,50	0,553	-248,15	-243,15	-238,15	-233,15					-248,15	-243,15	-238,15	-233,15				
Siliciumtetrafluorid	F4Si	-95,2	-14,15	37,15		1,24	1,15	1,04	0,9					0,51	2,23	6,45	14,59				
Stickstoff	N2	-195,81	-146,95	34,00	0,314	-183	-173	-163	-153	-143	-133	-123	-183	-173	-163	-153	-143	-133	-123		
Stickstoffmonoxid	NO	-151,75	-92,9	65,40	0,520	0,84	0,8	0,75	0,69	0,62	0,53		0,39	1,37	3,6	7,78	14,67	25,13			
Stickstofftrifluorid	NF3	-129	-39,26	44,09																	
Tetrafluormethan	CF4	-128	-45,7	37,50	0,626																
Wasserstoff	H2	-252,75	-239,9	12,96	0,030	-258,15	-253,15	-248,15	-243,15				-258,15	-253,15	-248,15	-243,15					
						0,076	0,071	0,064	0,64				0,127	0,901	3,213	8,116					

Geometrische Darstellungen der explosionsgefährdeten Bereiche nach Abschnitt 4.2.1.1.2
 (s. a. Beispielsammlung zu den EX-RL, Abschn. E 2)

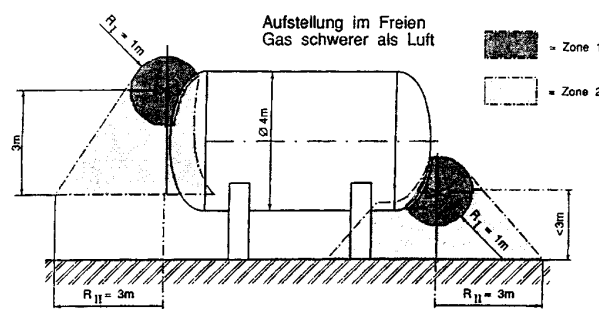
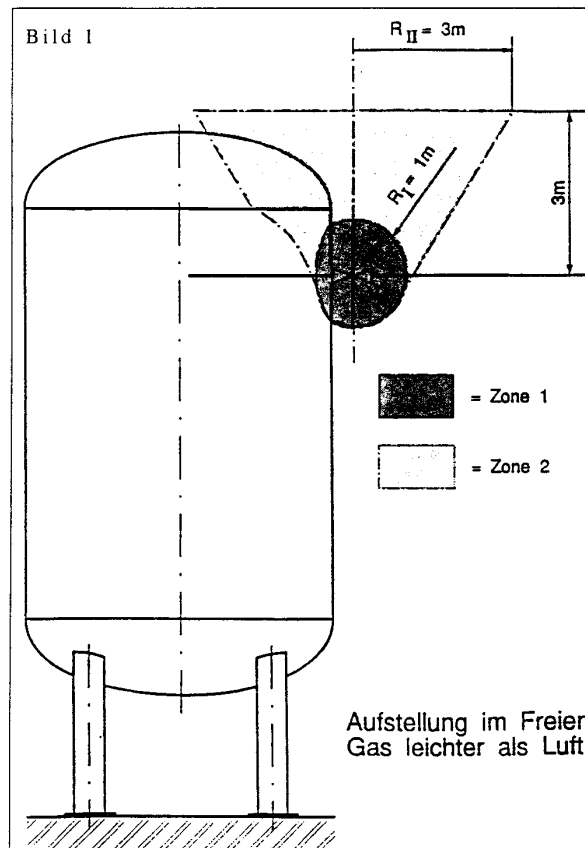


Bild 2

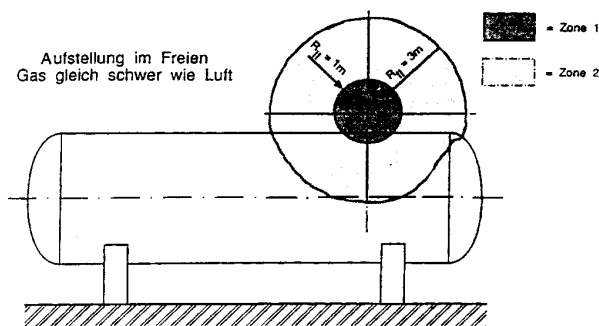
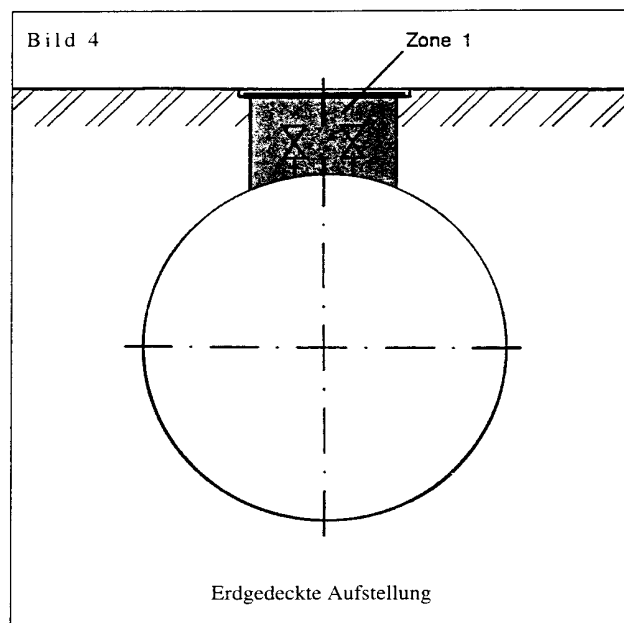


Bild 3



Festlegung der Schutzabstände nach Abschnitt 3.2.3.3.1 für Lagerbehälter bei vorhandenen Brandlasten

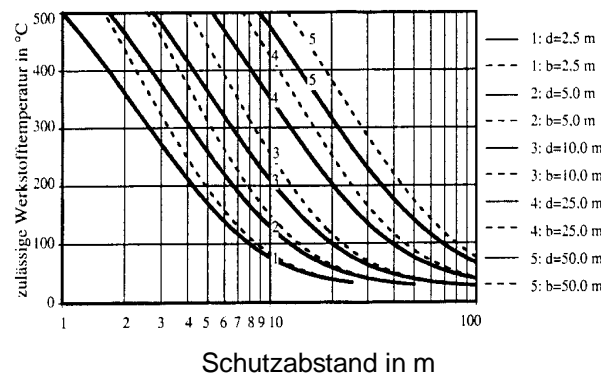
Der Schutzabstand zwischen Brandlast und Lagerbehälter ergibt sich aus dem Diagramm zu Anlage 5 in Abhängigkeit von der zulässigen Werkstofftemperatur.

Als zulässige Werkstofftemperatur wird die Temperatur eingesetzt, bei der die Sicherheit gegen die Streckgrenze gleich 1 wird. Man erhält sie, indem man die Streckgrenze bei der zulässigen Betriebstemperatur durch den Sicherheitsbeiwert (im allgemeinen 1,5) dividiert und mit diesem Streckgrenzenwert aus den Werkstofftabellen die zugehörige Temperatur bestimmt.

Beispielhaft sind in der folgenden Tabelle für 8 Werkstoffe die entsprechenden Werte aufgeführt.

Stahlsorte		Streckgren-ze bei Raumtemp K [N/mm ²]	K/S mit S=1,5 [N/mm ²]	Zul. Werkstoff-tempera-tur [°C]
Kurzname	Werkstoff-Nr.			
C 22.3	1.0427	220	147	258
C 22.8	1.0460	240	160	262
St 35.8	1.0305	235	157	266
RSt 37.2	1.0038	205	137	267
HI	1.0345	235	157	266
HII	1.0425	265	177	264
WStE 355	1.0565	355	237	245
15Mo3	1.5415	285	190	325

Schutzabstand als Funktion der zulässigen Werkstofftemperatur



Randbedingungen: Flammenintensität 10 W/cm²
(z.B. Dieselkraftstoff); Brandfläche $\pi \cdot (d/2)^2$ oder $b \cdot b$ in ²

Das Diagramm „Schutzabstand als Funktion der zulässigen Werkstofftemperatur“ wurde für das Brandmedium Dieselkraftstoff in Abhängigkeit von Brandlastdurchmesser d (runde Brandlasten) bzw. Brandlastbreite b (eckige Brandlasten) berechnet. Da nur wenige Stoffe, z.B. Pentan, eine grössere Flammenintensität (emittierte Wärmestrahlung > 10 W/cm²) als Dieselkraftstoff haben, sind Brände von z.B. Kunststoff, Holz, Stroh aufgrund ihrer geringeren Falmmenintensität bzw. der kurzen Branddauer bei der Abstandsbestimmung durch das Diagramm abgedeckt. Weiterhin wurden bei der Berechnung des Diagramms die Flammenläge (wirksame Flammenhöhe) sowie die Brandlasttiefe integriert und können bei der praktischen Anwendung unberücksichtigt bleiben.

Ist Flammenberührung vermieden, kann der Einfluss des Windes auf die Flammengeometrie vernachlässigt werden, da mit den Bemessungen für das Diagramm die maximale Einstrahlung berücksichtigt ist.

Brandlasten oberhalb der Scheitelhöhe des Behälters, z.B. Dachstuhlbrand, sind durch die vorliegen Werte

Druckb 5.2.610

abgedeckt, da die Einstrahlwerte in diesen Fällen geringer sind.

Hat die Brandlast eine größere Flammenintensität als Dieselkraftstoff oder sollen die Abstände zur Brandlast genau berechnet werden, so kann dies nach dem erstellten Rechnungsprogramm erfolgen.

Bei der Ermittlung des erforderlichen Schutzabstandes ist die Größe des Lagerbehälters und die Stellung/Aufstellung des Behälters vernachlässigbar. Entscheidend ist der Punkt des Behälters, der der Brandlast am nächsten liegt, da die Strahlungsintensität auf den Behälter mit dem Quadrat der Entfernung abnimmt. Aus diesem Grunde sind die erforderlichen Schutzabstände zu runden Brandlasten generell geringer als zu eckigen Brandlasten -siehe Bild 1 zu Anlage 5.

Bei außermittiger Anordnung der Lagerbehälter zu eckigen Brandlasten - siehe Bild 2 zu Anlage 5, Fall 2 und 3 - sind die erforderlichen Schutzabstände aus dem Diagramm über die Hilfsbreiten b , zu bestimmen."

Die Bemessung des Sicherheitsventils muss für den Wärmeeintrag bei der ermittelten zulässigen Werkstofftemperatur so erfolgen, dass ein Druck-anstieg über den Auslegungsdruck des Lager-behälters hinaus nicht möglich ist - siehe Anlage 6.

Basis für die genannten Bemessungen sind Brandlastversuche an Flüssiggaslagerbehältern, die in zusammengefasst und in und ausgewertet sind.

Beispiel:

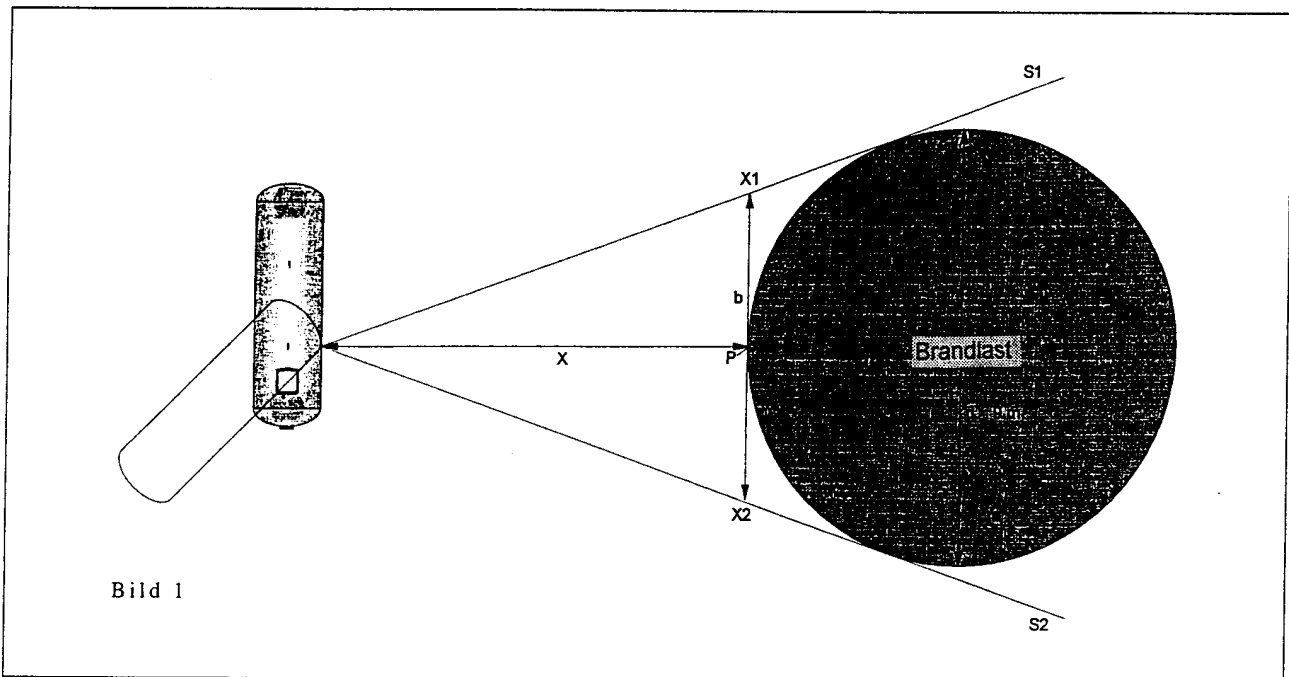
Werkstoff Lagerbehälter: H II

zulässige Werkstofftemperatur: 264 °C

Brandlast: Kunststoff

Brandlastbreite $b = 5 \text{ m}$

Schutzabstand = 6,1 m



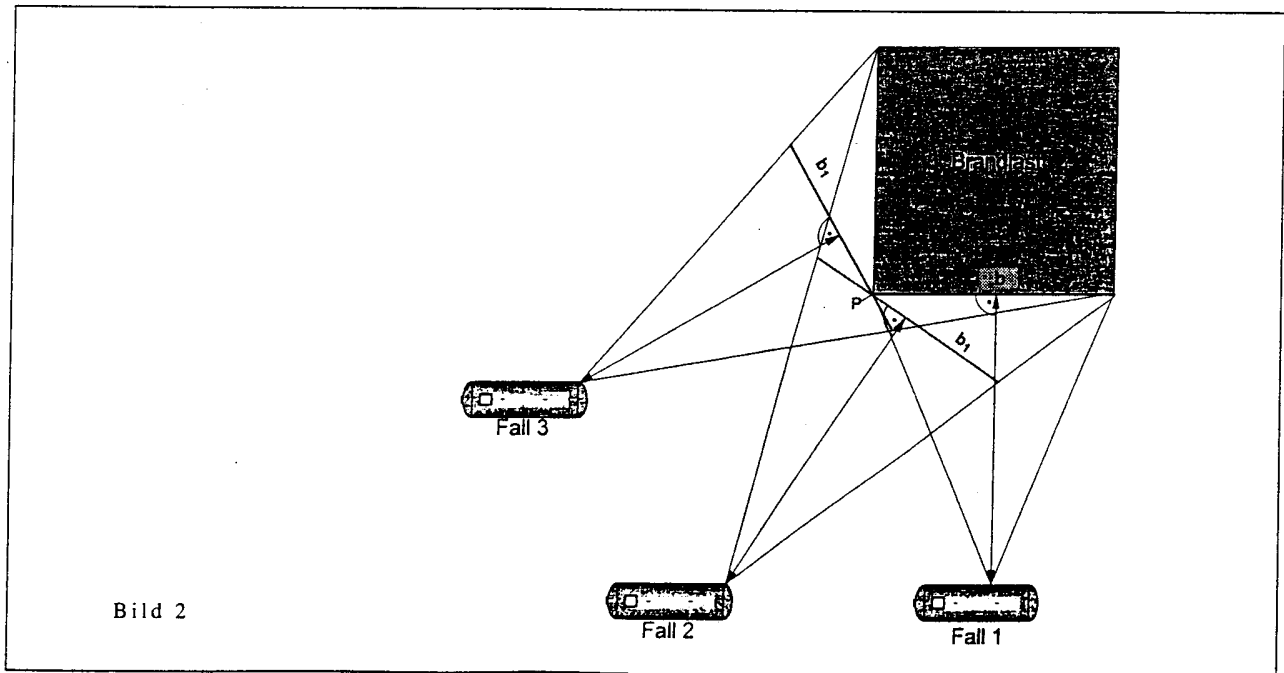


Bild 2

Druckb 5.2.610

Anlage 6 zu TRB 610

Bemessung der Ablaseleistung von Sicherheitsventilen bei Wärmeeintrag in einen Lagerbehälter infolge Wärmestrahlung

Wird bei Lagerbehältern die zul. Betriebstemperatur - höchstmögliche Temperatur des Beschickungsguts (siehe TRB 801, Nr. 27 Abschn. 3.5) z. B. durch Wärmestrahlung bei einem Brand, überschritten, so wird auf Grund des Anstieges des Dampfdruckes des Gases der Ansprechdruck des Sicherheitsventiles überschritten. Die höchsten Temperaturen stellen sich - abhängig vom Wärmeeintrag - an der nicht mit verflüssigtem Gas gekühlten Behälteroberfläche ein, da an diesen Stellen eine Wärmeabfuhr nur durch die Gasphase erfolgt. An diesem Teil der Behälterwandung darf höchstens die zulässige Werkstofftemperatur erreicht werden. Diese Temperatur ergibt sich aus der Berechnung mit dem Sicherheitsbeiwert $S = 1$ gegen die Streckgrenze (s. Anlage 5). Abgeleitet aus den geometrischen Verhältnissen bei der Bestrahlung eines Behälters mit einer Wärmequelle und der konservativen Annahme, dass

- auf den Lagerbehälter nur Wärme einstrahlt, keine Wärme durch Strahlung oder Konvektion abgegeben wird und
- der Behälter auf der Querschnittsfläche $A = d \cdot l$ gleichmäßig mit dem hohen Wert der senkrechten Einstrahlung am Äquator bestrahlt wird,

erhält man aus der Wärmebilanz den entsprechenden verdampfenden Massestrom des verflüssigten Gases. Diesen Massestrom muss das Sicherheitsventil in der Lage sein abzuführen. Mit weiteren Annahmen zur sicheren Seite hin erhält man folgende Gleichung:

$$\dot{m} = 1,063 \cdot t^{1,64} \cdot A/r \cdot 10^{-3}$$

mit

\dot{m} = abzuführender Massestrom [kg/sec]

t = zulässige Werkstofftemperatur [°C]

A = bestrahlte Behälterfläche = $d \cdot l$

d = Durchmesser des Behälters [m]

l = Länge des Behälters [m]

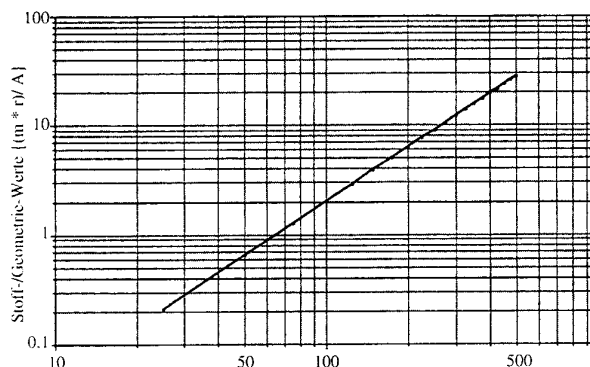
r = Verdampfungswärme des Gases [kJ/kg].

Stellt man die Gleichung um zu

$$\frac{\dot{m} \cdot r}{A} = 1,063 \cdot t^{1,64} \cdot 10^{-3}$$

erhält man das nachfolgende Diagramm.

Mengenbemessung für Ablaseleistung von Sicherheitsventilen bei durch Wärmestrahlung beaufschlagten Behältern



Oberflächentemperatur des bestrahlten Behälters (zulässige Werkstofftemperatur) (°C)

Ergeben sich danach zu große Sicherheitsventile, so ist eine genauere Berechnung mit den entsprechenden

Randbedingungen erforderlich (s. Literatur Anlage 5).

Beispiele:

Erforderliche Abblaseleistung eines Sicherheitsventiles an einem

1. Lagerbehälter für Propan

Die hypothetische Brandlast soll zu der zulässigen Werkstofftemperatur (Oberflächentemperatur im Bereich der Gasphase) von 250 °C am Lagerbehälter führen, was bei

- Bemessung des Abstandes zur Brandlast nach Anlage 5,
- Dauerbelastung durch die Wärmestrahlung und
- abblasendem Sicherheitsventil

eine Temperatur von 42 °C in der Flüssigphase des Gases ergibt (s. GWI-Bericht; die Kühlung durch Verdampfung des Gases hält die Flüssigphase auf der Temperatur von 42 °C; bei einer Bemessung des Sicherheitsventils mit den oben zugrunde gelegten Vorgaben ist immer eine dem Abblasdruck des Gases, d.h. dem Einstelldruck des Sicherheitsventils - entsprechende Temperatur gegeben).

Einstelldruck des Sicherheitsventils: $p = 15,6$ bar

Verdampfungsenthalpie von $r = 309$ kJ/kg

Propan bei 42 °C:

Länge des Behälters: $l = 4,8$ m

Durchmesser des Behälters: $d = 1,25$ m

Aus der Gleichung bzw. dem Diagramm ergibt sich bei 250° C

$$\frac{\dot{m} \cdot r}{A} = 9,1;$$

daraus folgt die über das Sicherheitsventil abzu-führende Menge mit

$$\dot{m} = 9,1 \cdot A/r = 9,1 \cdot 6/309$$

$$= 0,177 \text{ kg/sec}$$

$$= 636 \text{ kg/h}$$

2. Lagerbehälter für Ammoniak

Die hypothetische Brandlast soll zu der zulässigen Werkstofftemperatur von 260 °C am Lagerbehälter führen (s. a. Erläuterung in Beispiel 1).

Einstelldruck des Sicherheitsventiles: $p = 15,4$ bar

Verdampfungsenthalpie von Ammoniak bei 42 °C: $r = 1091$ kJ/kg

Länge des Behälters: $l = 6,0$ m

Durchmesser des Behälters: $d = 1,5$ m

Aus der Gleichung bzw. dem Diagramm ergibt sich bei 260 °C

$$\frac{\dot{m} \cdot r}{A} = 9,71;$$

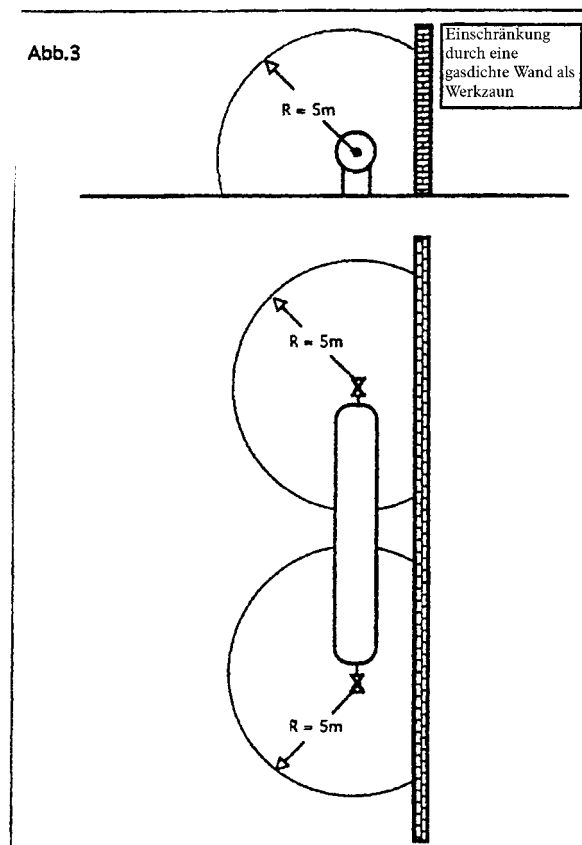
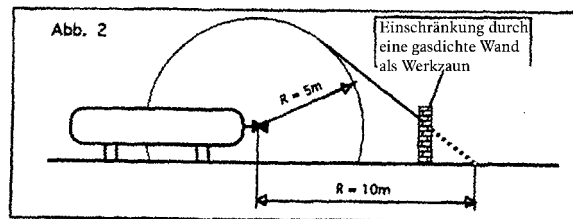
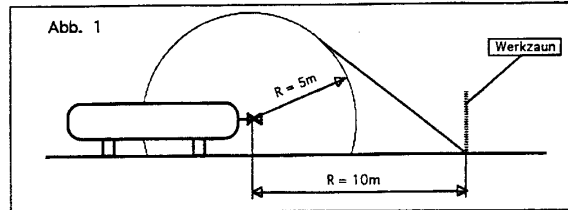
daraus folgt die über das Sicherheitsventil abzuführende Menge mit

$$\dot{m} = 9,71 \cdot A/r = 9,71 \cdot 9/1091$$

$$= 0,08 \text{ kg/sec}$$

$$= 288 \text{ kg/h}$$

Geometrische Darstellung der Bereiche mit möglicher Gesundheitsgefährdung nach Abschnitten 5.2.3.2.1 und 5.2.3.2.4



Anlage 8

Bestimmung der erforderlichen Wassermenge für eine Wasserberieselung oder Wasserbeflutung für ungestörte Oberflächen nach Abschnitt 3.2.3.3.5.

Die Diagramme wurden nach folgenden Beziehungen ermittelt:

A Unterfeuerung (Full engulfment)

Die erforderlichen Berieselungs-/Beflutungsstromdichten sind in Abhängigkeit vom Behältervolumen für Kugelbehälter und stehende bzw. liegende zylindrische Behälter in den Diagrammen 1a und 1b dargestellt; die dazugehörigen Berieselungs-/Beflutungsdichten ergeben sich aus den Diagrammen 2a und 2b.

Die Diagramme wurden nach folgenden Beziehungen ermittelt:

$$\dot{m} = K_1 \cdot \dot{q}_{\text{abs}} + K_2 \cdot F \cdot U/A \quad (1a)$$

mit

$$K_1 = 1/c_p \cdot (\theta_2 - \theta_1) + r$$

$$K_2 = \Gamma_{\text{min}} \cdot r \cdot K_1$$

$$\Gamma_{\text{min}} = 292 \text{ kg} / (\text{m} \cdot \text{h})$$

bzw.

$$\Gamma = \dot{m} \cdot A/U \quad (1b)$$

B Unterfeuerung

Bei der Unterfeuerung erfolgt die Erwärmung eines Behälters durch eine Flamme unterhalb des Behälters im Gegensatz zu dem full engulfment, bei dem der gesamte Behälter in Flammen eingehüllt ist.

Von dem von einer Flamme abgegebenen Wärmestrom \dot{Q}_F gelangt nur der Anteil \dot{Q}_{abs} auf die Behälteroberfläche und wird dort von dem Kühlwasser absorbiert. Es gilt:

$$\dot{Q}_{\text{abs}} = \varnothing_{\text{BF}} \cdot \dot{Q}_F \quad (2)$$

mit \varnothing_{BF} Einstrahlzeit (geometrische Größe).

Die Berechnung der erforderlichen Kühlwassermassenströme mit Hilfe der Einstrahlzahl und unter entsprechender Anwendung des Rechenganges für full engulfment ist sehr aufwendig, im Einzelfall jedoch möglich.

Im folgenden werden für zwei Sonderfälle vereinfachte Berechnungsmöglichkeiten vorgestellt:

1. Behälter befindet sich teilweise, d.h. bis zu einer bestimmten Höhe in Flammen:

Dann ist K_1 in den Gleichungen (1a) und (1b) zu ersetzen durch K_1' , wobei gilt:

$$K_1' = K_1 - A'/A$$

mit A' Anteil der Behälteroberfläche A , der in Flammen steht.

2. Behälter befindet sich oberhalb einer Flamme:

Der Lösungsweg ist analog dem für den Nachbarschaftsbrand anzuwenden: (Modell: Flamme = Kreisscheibe).

Druckb 5.2.610

C Nachbarschaftsbrand

Wie bei der Unterfeuerung gelangt auch beim Nachbarschaftsbrand nur ein Teil des von einer Flamme abgegebenen Wärmestromes auf die Behälteroberfläche, Gleichung (2) findet ebenso Anwendung.

Mit Hilfe folgenden Modells (Flamme = Kreisscheibe) kann die größte, auf der Behälteroberfläche absorbierte Wärmestromdichte \dot{q}_{abs} berechnet werden:

$$\dot{q}_{abs} = \dot{q}_F / (1 + \pi a^2 / A_F) \quad (3)$$

mit

a Abstand Flamme-Behälter

A_F Flammengröße.

Die auf der Behälteroberfläche auftreffende Wärmestromdichte ist im Diagramm 3 über der Entfernung aufgetragen; man erkennt beispielsweise bei einer Flammengröße von 10 m², dass sich \dot{q}_{abs} von 100 kW/m² (Abstand 0) schon in einer Entfernung von 5 m auf 11 kW/m² verringert.

Setzt man den so errechneten Wert in die Gleichungen (1a) und (1b) ein, so sind \dot{m} bzw. Γ bekannt.

Berieselung:

Kühlung eines Behälters mit Wasser. Das Wasser wird gleichmäßig mit Hilfe eines Düsensystems auf die zu kühlende Oberfläche aufgebracht.

Beflutung:

Kühlung eines Behälters mit Wasser. Das Wasser wird zentral über einen im oberen Behälterbereich angeordneten Zahnkranz aufgebracht. Das überlaufende Wasser läuft als gleichmäßiger Wasserfilm an der Behälteroberfläche ab.

Berieselungs- (Beflutungs-) stromdichte \dot{m}

Wassermassenstrom zur Berieselung (Beflutung), bezogen auf die zu kühlende Behälteroberfläche, in kg/(m² · h).

Berieselungs-(Beflutungs-)stromdichte Γ :

Wassermassenstrom zur Berieselung (Beflutung) bezogen auf den größten horizontalen Behälterumfang, in kg/(m · h).

Unterfeuerung

Brandereignis, bei dem in der Behältertasse angesammelte Flüssigkeit abbrennt.

Full engulfment:

Unterfeuerung, bei der der unterfeuerte Behälter vollständig in Flammen eingehüllt ist.

Nachbarschaftsbrand:

Brandereignis ausserhalb der Behältertasse.

Wärmestromdichte \dot{q}_F :

Von einer Flamme abgegebener Wärmestrom, bezogen auf die Flammenoberfläche, in kW/m².

Wärmestromdichte \dot{q}_{abs} :

Der Anteil des von der Flamme abgegebenen Wärmestromes, der von der Behälteroberfläche bzw. von dem Kühlwasser, das an seiner Oberfläche abläuft, absorbiert wird, bezogen auf die Behälteroberfläche, in kW/m^2

Es bedeuten:

A	=	Behälteroberfläche
A_F	=	Flammengröße
a	=	Abstand Flamme-Behälter
c_p	=	spezifische Wärmekapazität von Wasser
F	=	Faktor; (1 für Beflutung, 2 für Berieselung)
Γ	=	Berieselungs- /Beflutungsdichte [$\text{kg} \cdot (\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$]
r	=	Verdampfungsenthalpie von Wasser
\varnothing_{BF}	=	Einstrahlzahl (geometrische Größe)
θ_1	=	Kühlwassertemperatur = 20 °C
θ_2	=	Siedetemperatur von Wasser = 100 °C
\dot{m}	=	Berieselungs-/Beflutungsstromdichte [$\text{kg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1})$]
\dot{Q}_{abs}	=	absorbierter Wärmestrom
\dot{Q}_F	=	abgebener Wärmestrom der Flamme
\dot{q}_{abs}	=	absorbierte Wärmedichte
\dot{q}_F	=	Wärmestromdichte der Flamme; z.B. für Dieselmotorenstoff 100 $\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$
U	=	größter horizontaler Behälterumfang

Druckb 5.2.610

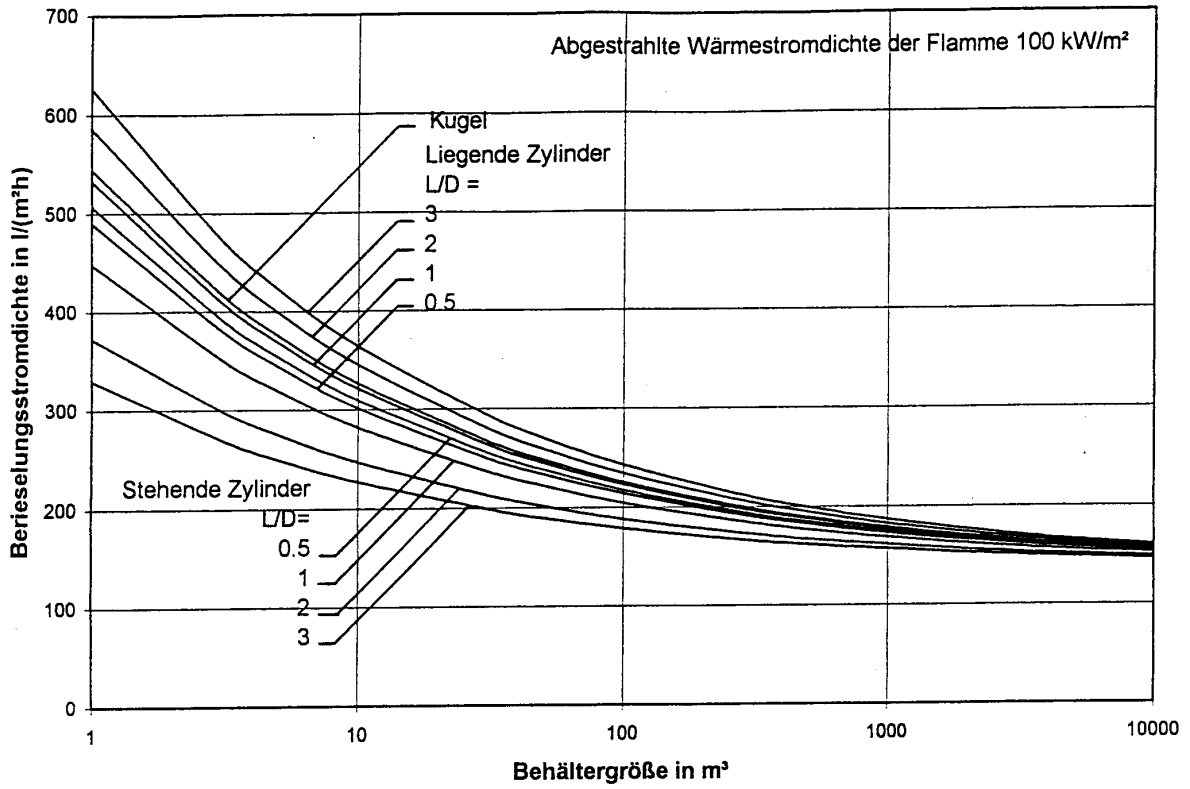


Diagramm 1a: Ermittlung der Berieselungsstromdichte \dot{m}

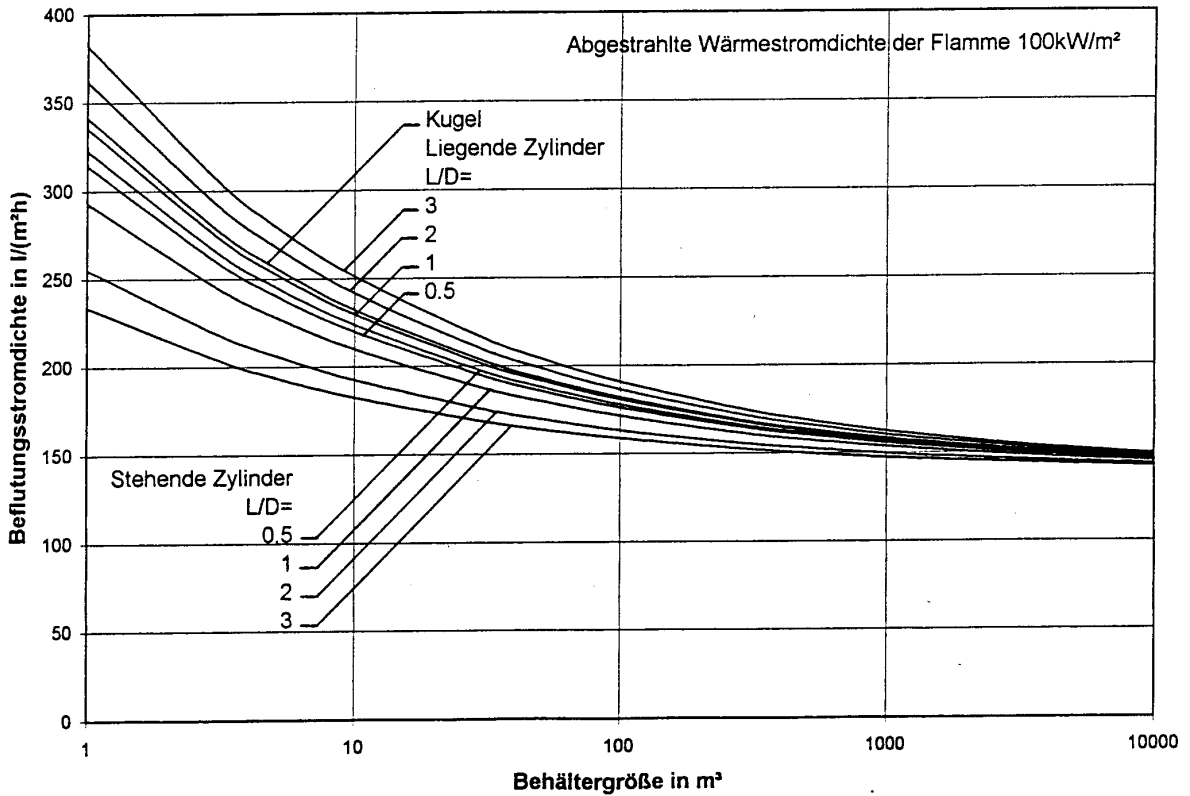


Diagramm 1b: Ermittlung der Beflutungsstromdichte \dot{m}

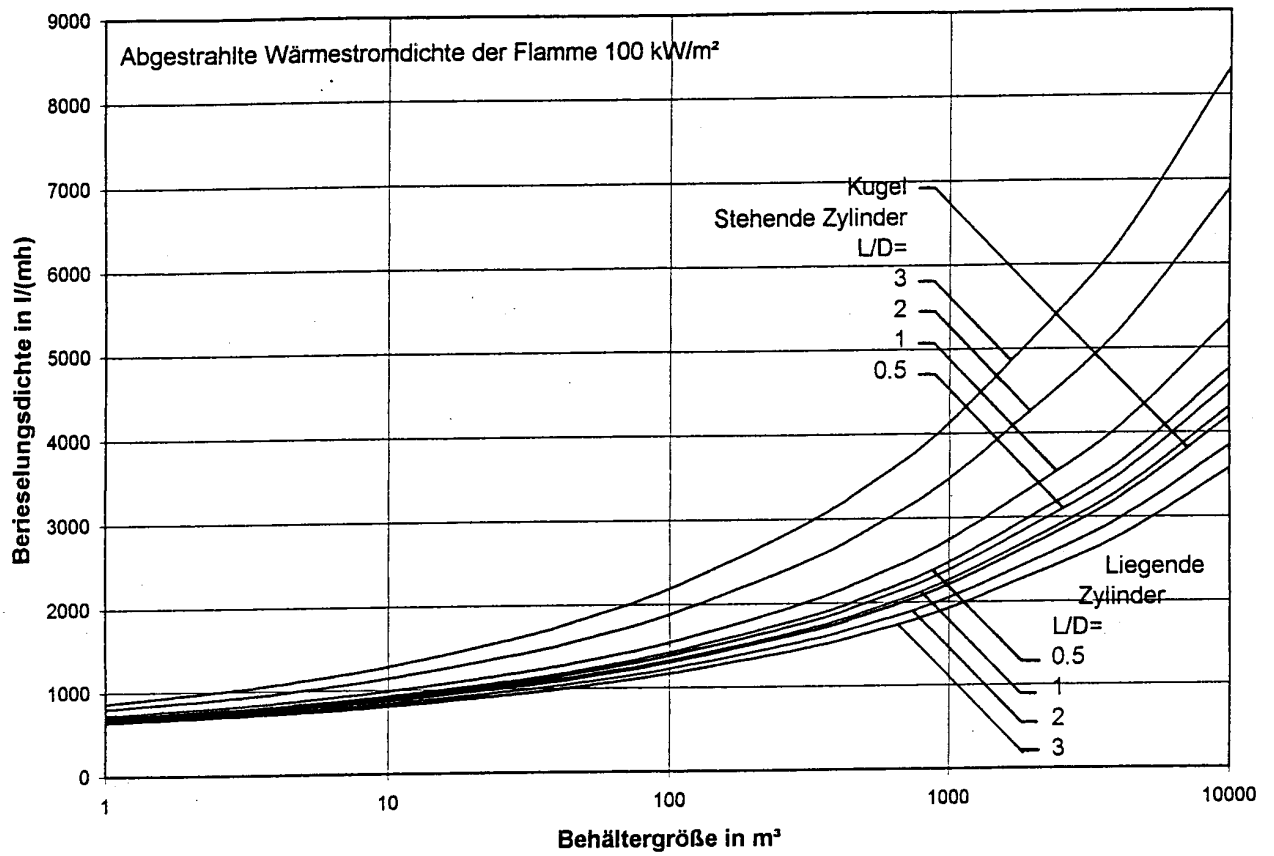


Diagramm 2a: Ermittlung der Berieselungsdichte □

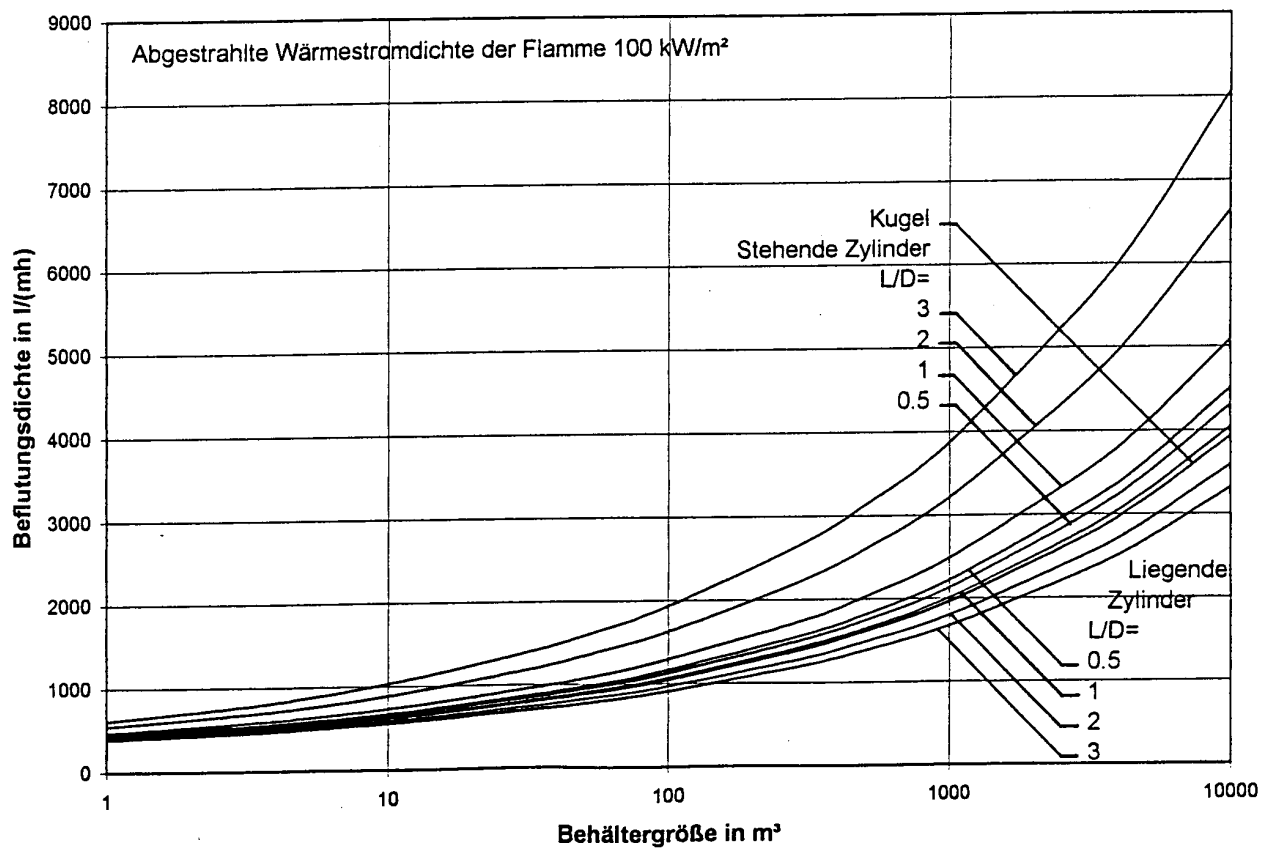


Diagramm 2b: Ermittlung der Beflutungsdichte □

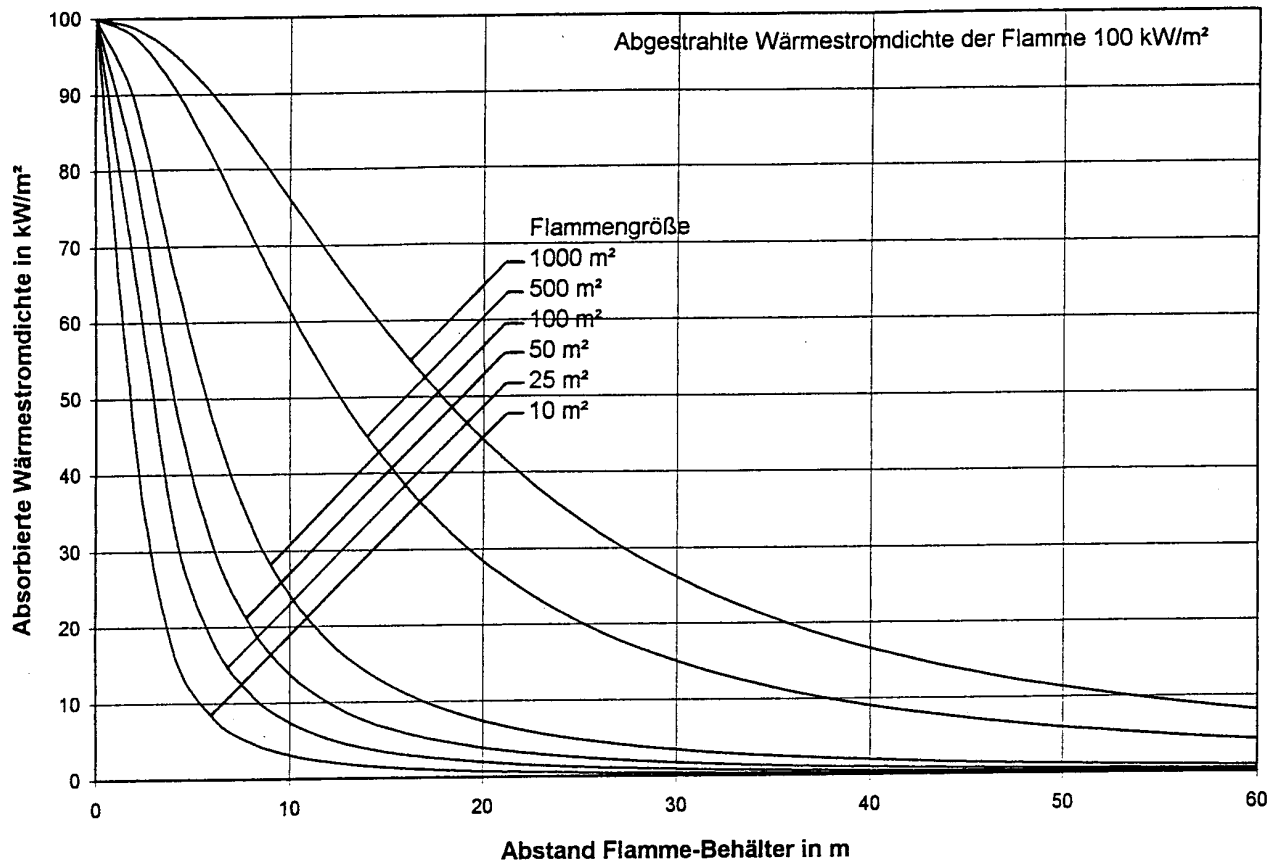


Diagramm 3: Ermittlung der absorbierten Wärmestromdichte \dot{q}_{abs}

Hinweis der ZSV:

Die letzte Änderung ist am 28. Mai 2002 in Kraft getreten.