

**Technische Regeln für Betriebssicherheit
TRBS 2152 Teil 1**

**Technische Regeln für Gefahrstoffe
TRGS 721**

**Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre
– Beurteilung der Explosionsgefährdung -**

(Bundesanzeiger Nr. 103a vom 2. Juni 2006)

Vorbemerkung

Bei der nachfolgenden Technischen Regel handelt es sich um eine Technische Regel für Betriebssicherheit (TRBS) und eine Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS).

Diese Technische Regel für Betriebssicherheit (TRBS 2152) gibt dem Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Hygiene entsprechende Regeln und sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse für die Bereitstellung und Benutzung von Arbeitsmitteln sowie für den Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen wieder. Sie wird vom Ausschuss für Betriebssicherheit ermittelt und vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales im Bundesarbeitsblatt bekannt gemacht. Die Technische Regel konkretisiert die Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) hinsichtlich der Ermittlung und Bewertung von Gefährdungen sowie der Ableitung von geeigneten Maßnahmen. Bei Anwendung der beispielhaft genannten Maßnahmen kann der Arbeitgeber insoweit die Vermutung der Einhaltung der Vorschriften der Betriebssicherheitsverordnung für sich geltend machen. Wählt der Arbeitgeber eine andere Lösung, hat er die gleichwertige Erfüllung der Verordnung schriftlich nachzuweisen.

Diese Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS 721) gibt dem Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Hygiene entsprechende Regeln und sonstige gesicherte wissenschaftliche Erkenntnisse für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen, einschließlich deren Einstufung und Kennzeichnung, wieder. Sie wird vom Ausschuss für Gefahrstoffe ermittelt und vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales im Bundesarbeitsblatt bekannt gemacht. Die Technische Regel konkretisiert die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) hinsichtlich der Ermittlung und Bewertung von Gefährdungen sowie der Ableitung von geeigneten Maßnahmen. Bei Anwendung der beispielhaft genannten Maßnahmen kann der Arbeitgeber insoweit die Vermutung der Einhaltung der Vorschriften der Gefahrstoffverordnung für sich geltend machen. Wählt der Arbeitgeber eine andere Lösung, hat er die gleichwertige Erfüllung der in der Gefahrstoffverordnung enthaltenen Anforderungen in der Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung zu begründen.

Inhalt

1 Anwendungsbereich

2 Grundlagen

2.1 Allgemeines

2.2 Explosionsfähige Atmosphäre

2.3 Explosionsgefährdung

3 Beurteilungsmaßstäbe

3.1 Allgemeines

3.2 Beurteilung des Auftretens explosionsfähiger Atmosphäre

3.3 Ermittlung der Menge explosionsfähiger Atmosphäre

3.4 Beurteilung der Gefährlichkeit explosionsfähiger Atmosphäre und der Explosionsauswirkungen

3.4.1 Beurteilung der Gefährlichkeit explosionsfähiger Atmosphäre

3.4.2 Beurteilung der Explosionsauswirkungen

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der TRBS 2152/die TRGS 721 konkretisiert die Anforderungen an die Beurteilung von Explosionsgefährdungen durch explosionsfähige Atmosphären.

2 Grundlagen

2.1 Allgemeines

Kann nach den Bestimmungen der §§ 7 und 12 der Gefahrstoffverordnung die Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphären nicht sicher verhindert werden, hat der Arbeitgeber nach § 3 Abs. 2 BetrSichV zu beurteilen:

1. die Wahrscheinlichkeit und Dauer des Auftretens gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre,

2. die Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins oder der Entstehung und des Wirksamwerdens von Zündquellen einschließlich elektrostatischer Entladungen und
3. das Ausmaß der zu erwartenden Auswirkungen von Explosionen.

Die Beurteilung muss sich auf die konkreten örtlichen und betrieblichen Verhältnisse beziehen.

2.2 Explosionsfähige Atmosphäre

(1) Explosionsfähige Atmosphäre liegt vor, wenn brennbare Stoffe in feiner Verteilung (hoher Dispersionsgrad) in Form von Gasen, Dämpfen, Nebeln (Flüssigkeitströpfchen bzw. Aerosole) oder Stäuben (Feststoffteilchen) vorhanden sind und ihre Konzentration im Gemisch mit Luft innerhalb der Explosionsgrenzen liegt.

Bemerkung: Bei Explosionen treten Flammen, hohe Temperaturen und vielfach auch hohe Drücke und Druckanstiegsgeschwindigkeiten auf. Hierbei können Personen verletzt, Gebäude oder Anlagenteile zerstört sowie weitere brennbare Stoffe entzündet werden (Folgebrände).

(2) Explosionsfähige Atmosphäre liegt dann in gefahrdrohender Menge vor (gefährliche explosionsfähige Atmosphäre), wenn im Falle ihrer Entzündung die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten oder Dritter beeinträchtigt werden kann und deshalb besondere Schutzmaßnahmen erforderlich werden.

2.3 Explosionsgefährdung

(1) Explosionen mit gefährlichen Auswirkungen können auftreten, wenn die folgenden vier Voraussetzungen gleichzeitig erfüllt sind:

1. hoher Dispersionsgrad der brennbaren Stoffe,
2. Konzentration der brennbaren Stoffe in Luft innerhalb ihrer Explosionsgrenzen,
3. gefahrdrohende Menge explosionsfähiger Atmosphäre,
4. wirksame Zündquelle.

Bemerkung 1: Der Dispersionsgrad von Nebeln oder Stäuben kann für das Zustandekommen einer Explosion bereits ausreichend sein, wenn die Tröpfchen- oder Teilchengröße bei 1 mm liegt. Zahlreiche

praktisch vorkommende Nebel, Aerosole und Stäube haben Teilchengrößen zwischen 0,1 und 0,001 mm. Bei Stoffen in gas- oder dampfförmigem Zustand ist ein ausreichender Dispersionsgrad naturgemäß gegeben.

Bemerkung 2: Wenn die Konzentration des ausreichend dispergierten brennbaren Stoffes in Luft einen Mindestwert (untere Explosionsgrenze) überschreitet, ist eine Explosion möglich. Eine Explosion ist nicht mehr möglich, wenn die Konzentration einen maximalen Wert (obere Explosionsgrenze) überschritten hat.

Bemerkung 3: Über einer brennbaren Flüssigkeit kann sich explosionsfähige Atmosphäre nur bilden, wenn die Temperatur der Flüssigkeitsoberfläche einen Mindestwert überschreitet (vgl. Nummer 3.2).

Bemerkung 4: Zur Einleitung einer Explosion muss eine wirksame Zündquelle vorhanden sein. Die Wirksamkeit von Zündquellen, d. h. die Fähigkeit, explosionsfähige Atmosphäre zu entzünden, hängt u. a. von der Energie der Zündquelle und von den Eigenschaften der explosionsfähigen Atmosphäre ab. Unter anderen als atmosphärischen Bedingungen ändern sich die für die Entzündung maßgebenden Eigenschaften der explosionsfähigen Gemische, z. B. wird die Mindestzündenergie von Gemischen mit erhohem Sauerstoffgehalt verringert.

(2) Für andere als atmosphärische Bedingungen ist zu beachten, dass sich die Explosionsgrenzen ändern. Der Konzentrationsbereich zwischen den Explosionsgrenzen erweitert sich in der Regel mit steigendem Druck und steigender Temperatur des Gemisches. Die oberen Explosionsgrenzen liegen bei Gemischen mit Sauerstoff wesentlich höher als bei Gemischen mit Luft, bei einigen chemisch instabilen Stoffen liegt unter bestimmten Bedingungen (z. B. Acetylen und Ethylenoxid) keine obere Explosionsgrenze vor. Solche Stoffe können durch Entzünden auch ohne Anwesenheit von Luft oder Sauerstoff zu exothermen Reaktionen angeregt werden.

(3) Für Stäube ist bei der Anwendung der Explosionsgrenzen zu beachten, dass sich die Staubkonzentration durch Aufwirbeln von Ablagerungen oder durch Absetzen von aufgewirbeltem Staub stark verändern kann. Es ist z. B. möglich, dass durch Aufwirbeln von Staub explosionsfähige Atmosphäre entsteht. Andererseits kann durch Absetzen eines Teiles

des aufgewirbelten Staubes, dessen Konzentration zunächst oberhalb der oberen Explosionsgrenze lag, ebenfalls explosionsfähige Atmosphäre entstehen.

3 Beurteilungsmaßstäbe

3.1 Allgemeines

(1) Bei der Beurteilung der Explosionsgefahr ist davon auszugehen, dass eine Entzündung eventuell vorhandener explosionsfähiger Atmosphäre stets möglich ist. Die Beurteilung ist also unabhängig von der Frage, ob Zündquellen vorhanden sind.

(2) Es ist zu beachten, dass sicherheitstechnische Kenngrößen des Explosionsschutzes in der Regel für atmosphärische Bedingungen beschrieben sind.

(3) Liegen die entsprechenden Kenngrößen nicht vor, so müssen sie ermittelt werden.

3.2 Beurteilung des Auftretens explosionsfähiger Atmosphäre

(1) Das Auftreten explosionsfähiger Atmosphäre muss für das Innere und für die Umgebung der zu beurteilenden Arbeitsmittel oder Anlagen beurteilt werden.

(2) Die Beurteilung des Auftretens explosionsfähiger Atmosphäre bezieht sich auf die Eigenschaften der Stoffe und auf deren mögliche Verarbeitungszustände, bei denen Gase, Dämpfe, Nebel oder Stäube, die explosionsfähige Atmosphäre bilden können, vorhanden sind oder entstehen können.

(3) Hierbei sind folgende Eigenschaften der Stoffe zu berücksichtigen:

1. **bei allen Stoffen:**

Untere und obere Explosionsgrenze,

2. **bei Flüssigkeiten:**

Flammpunkt bzw. unterer Explosionspunkt (UEP) und oberer Explosionspunkt (OEP), Satttdampfdruck bei den Verarbeitungs- bzw. Umgebungstemperaturen,

3. **bei Stäuben:**

Korngrößenverteilung und Dichte, Feuchte, Schwelppunkt.

(4) Darüber hinaus ist der Verarbeitungszustand der Stoffe zu berücksichtigen:

1. **bei allen Stoffen:**

Während des Umganges entstehende oder herrschende maximale (ggf. auch minimale) Konzentrationen der brennbaren Stoffe.

2. **bei Flüssigkeiten und bei Nebeln:**

a) Art der Verarbeitung einer Flüssigkeit (z.B. Versprühen, Verspritzen und Aufreißen eines Flüssigkeitsstrahles, Verdampfen und Kondensation). Werden die Flüssigkeiten in Tröpfchen verteilt, z. B. versprüht, ist auch bei Temperaturen unterhalb des unteren Explosionspunktes (UEP) mit der Bildung von explosionsfähiger Atmosphäre zu rechnen. Bei Nebeln können sich wegen des Dampfdruckes der Flüssigkeit bei höheren Temperaturen die gefährlichen Eigenschaften den Werten des Dampf/Luft-Gemisches annähern.

b) maximale (ggf. auch minimale) Verarbeitungs- bzw. Umgebungstemperaturen. Liegt z.B. die maximale Verarbeitungstemperatur über dem UEP der Flüssigkeit, so können explosionsfähige Dampf/Luft-Gemische vorhanden sein. Sofern der jeweilige UEP nicht bekannt ist, kann er in den folgenden beiden Fällen wie dargestellt abgeschätzt werden:

- bei reinen, nicht halogenierten Flüssigkeiten 5 K unter dem Flammpunkt,
- bei Lösemittel-Gemischen ohne halogenierte Komponente 15 K unter dem Flammpunkt.

3. **bei Stäuben:**

Vorhandensein oder Entstehen von Staub/Luft-Gemischen bzw. Staubablagerungen (vgl. auch Nummer 2.2), z. B. beim Mahlen, Sieben, Fördern, Füllen, Entleeren, Schleifen und Trocknen.

3.3 Ermittlung der Menge explosionsfähiger Atmosphäre

(1) Zusätzlich zu den in Nummer 3.2 Absatz 3 genannten Eigenschaften der Stoffe sind je nach Erfordernis zu berücksichtigen:

1. **bei Gasen und Dämpfen:**

Dichteverhältnis bezogen auf Luft und Diffusionskoeffizient,

2. bei Flüssigkeiten:

Verdunstungszahl.

Hinweise: Die Dichte der Dämpfe aller brennbaren Flüssigkeiten ist größer als die der Luft bei gleicher Temperatur.

Die Dichte von Gasen ist im Allgemeinen größer als die Dichte der Luft (ausgenommen z.B. Acetylen, Ammoniak, Cyanwasserstoff, Ethylen, Kohlenmonoxid, Methan und Wasserstoff). Je schwerer die Gase und Dämpfe sind, desto schneller fallen sie nach unten, wobei sie sich fortschreitend mit der zur Verfügung stehenden Luft vermischen.

Die Entmischung eines einmal gebildeten Gemisches in leichte und schwere Anteile allein durch die Schwerkraft ist nicht möglich. Schwere Schwaden fallen nach unten und breiten sich aus. Sie können auch über weite Strecken „kriechen“ und dort entzündet werden.

Hierbei ist zu beachten, dass die Dichte des sich über einer Flüssigkeit bildenden Dampf/Luft-Gemisches durch den temperaturabhängigen Sattdampfdruck der Flüssigkeit begrenzt wird. So beträgt z.B. die auf Luft bezogene Dichte (Dichteverhältnis) des Dampfes von Hexan 2,97. Da jedoch Hexan bei 20°C nur einen Sattdampfdruck von 0,16 bar hat, lässt sich die auf Luft bezogene Dichte des sich über der Flüssigkeit bildenden Dampf/Luft-Gemisches wie folgt berechnen: $2,97 \times 0,16 + (1 - 0,16) = 1,3$.

Gase, die leichter als Luft sind, steigen umso schneller nach oben, je geringer ihre Dichte ist; sie vermischen sich hierbei fortschreitend mit Luft.

Der Diffusionskoeffizient ist nur dann eine die Menge explosionsfähiger Atmosphäre bestimmende Größe, wenn im Raum keine wesentlichen Strömungen vorhanden sind (siehe hierzu auch Absatz 2).

(2) Über die nach Absatz 1 zu berücksichtigenden Eigenschaften der Stoffe hinaus sind die örtlichen und betrieblichen Verhältnisse zu berücksichtigen:

1. bei allen Stoffen:

a) Art des Umganges mit den Stoffen unter gasdichtem, flüssigkeitsdichtem oder staubdichtem Einschluss oder in offenen Apparaturen, z.B. Beschickung und Entleerung.

- b) Möglichkeit des Austretens von Stoffen an Ventilen, Schiebern, Rohrleitungsverbindungen, Pumpen usw.
- c) Be- und Entlüftungsverhältnisse und sonstige räumliche Verhältnisse.

Hinweis: Mit dem Vorhandensein von brennbaren Stoffen oder Gemischen ist insbesondere in Bereichen zu rechnen, die von der Lüftung nicht erfasst sind, z.B. unbelüftete tief liegende Bereiche wie Gruben, Kanäle und Schächte.

2. bei Gasen und Dämpfen:

Geringe Luftbewegungen (natürlicher Zug, Umhergehen von Personen, thermische Konvektion) können bereits die Vermischung mit Luft erheblich beschleunigen.

3. bei Flüssigkeiten:

Größe der Verdunstungsfläche, Verarbeitungstemperatur, Versprühen oder Verspritzen von Flüssigkeiten.

4. bei Stäuben:

Bildung von Staubablagerungen, bevorzugt auf waagerechten oder schwach geneigten Flächen (vgl. TRBS 2152 Teil 2 Nummer 2.6/TRGS 722 Nummer 2.6), Aufwirbeln von Stäuben.

3.4 Beurteilung der Gefährlichkeit explosionsfähiger Atmosphäre und der Explosionsauswirkungen

3.4.1 Beurteilung der Gefährlichkeit explosionsfähiger Atmosphäre

(1) Zusätzlich zu den in Nummer 3.2 Absatz 3 genannten Eigenschaften der Stoffe sind je nach Erfordernis zu berücksichtigen:

- Maximaler Explosionsdruck,
- maximaler zeitlicher Druckanstieg,
- Detonationsgrenzen oder Neigung zur Detonation.

(2) Darüber hinaus sind die örtlichen und betrieblichen Verhältnisse zu berücksichtigen, insbesondere die Mengen der explosionsfähigen Atmosphäre und die Art ihres Einschlusses, z. B. in Behältern, mehr oder weniger geschlossenen Räumen, Gruben, Kanälen und im Freien.

Hinweis 1: Mehr als 10 Liter zusammenhängende explosionsfähige Atmosphäre müssen in geschlossenen Räumen unabhängig von der Raumgröße grundsätzlich als gefährliche explosionsfähige Atmosphäre angesehen

werden (s. auch Nummer 3.3). Auch kleinere Mengen können bereits gefahrdrohend sein, wenn sie sich in unmittelbarer Nähe von Menschen befinden. Auch in Räumen von weniger als etwa 100 m³ kann bereits eine kleinere Menge als 10 Liter gefahrdrohend sein. Eine grobe Abschätzung ist mit Hilfe der Faustregel möglich, dass in solchen Räumen explosionsfähige Atmosphäre von mehr als einem Zehntausendstel des Raumvolumens gefahrdrohend sein kann, also z.B. in einem Raum von 80 m³ bereits 8 Liter. Hieraus darf aber nicht gefolgert werden, dass dann der gesamte Raum als explosionsgefährdeter Bereich gilt. Nur der Teilbereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre auftreten kann, gilt als explosionsgefährdeter Bereich. Die Auswirkungen einer Explosion können jedoch darüber hinaus gehen und sind zu betrachten.

- Hinweis 2: Bei vielen brennbaren Stäuben reicht bereits eine gleichmäßig über die gesamte Bodenfläche verteilte Staubablagerung von weniger als 1 mm Schichtdicke aus, um beim Aufwirbeln einen Raum normaler Höhe mit explosionsfähigem Staub/Luft-Gemisch vollständig auszufüllen. Infolge einer ersten Explosion kann abgelagerter Staub aufgewirbelt werden und zu Folgeexplosionen führen. In der Gefährdungsbeurteilung ist dies besonders zu beachten, weil in diesem Fall explosionsfähige Staub/Luft-Gemische und wirksame Zündquellen gleichzeitig auftreten.
- Hinweis 3: Welche Menge explosionsfähiger Atmosphäre im Freien als gefahrdrohend angesehen werden muss, lässt sich nur für den Einzelfall abschätzen.
- Hinweis 4: Befindet sich explosionsfähige Atmosphäre in Gefäßen, die dem möglicherweise auftretenden Explosionsdruck nicht standhalten, so sind wegen der Gefährdung, beispielsweise durch Splitter beim Bersten, weitaus geringere Mengen als die oben angegebenen als gefahrdrohend anzusehen. Eine untere Grenze kann hierfür nicht angegeben werden.

3.4.2 Beurteilung der Explosionsauswirkungen

(1) Die Vermeidung des Entstehens einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre und des Wirksamwerdens von Zündquellen hat Vorrang vor einer Verringerung des Ausmaßes der Auswirkungen einer Explosion. Im Fall einer Explosion von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre ist stets mit einem hohen Schadensausmaß und Personenschäden zu rechnen, die von Verletzten bis zu Toten reichen können.. Eine fallweise differenzierte Betrachtung der Auswirkungen ist im Beurteilungsprozess deshalb in der Regel nicht erforderlich. Unabhängig davon sind begrenzte physikalische Wirkungen einer Explosion (z.B. Flammenausbreitung und Wärmestrahlung, Druckwirkungen, Möglichkeiten zur Ausbildung von

Detonationen) zu betrachten. Besondere örtliche Verhältnisse sind zu berücksichtigen. Durch eine Explosion können auch in der Umgebung Auswirkungen entstehen, durch die andere gefährliche oder brennbare Stoffe freigesetzt bzw. entzündet werden können.

Hinweis 1: Die sich in explosionsfähiger Atmosphäre ausbreitenden Flammen können ein Volumen einnehmen, das etwa zehnmal so groß ist wie das der explosionsfähigen Atmosphäre vor ihrer Entzündung. Bei Ausbreitung in einer Richtung muss deshalb mit entsprechend langen Stichflammen gerechnet werden.

Hinweis 2: In lang gestreckten Behältern oder Rohrleitungen besteht die Gefahr der Ausbildung von Detonationen. Detonationswellen haben beim Aufprall auf Hindernisse eine besonders starke zerstörende Wirkung.

(2) Eine das übliche Maß über- oder unterschreitende Explosionsauswirkung oder -gefährdung muss bzw. kann bei den zu ergreifenden Maßnahmen in Umfang und Art berücksichtigt werden.

Bemerkung 1: Mit einer das übliche Maß überschreitenden Auswirkung ist z.B. zu rechnen, wenn Versammlungsstätten (Kantinen usw.), Wege mit dichtem Verkehr (Straßen, viel benutzte Treppen, Fluchtwege usw.), Wohnungen und größere Büroräume im gefährdeten Bereich liegen oder wenn durch Explosionen Folgeschäden größeren Ausmaßes zu erwarten sind. Diesen Sonderfällen kann in der Regel bereits bei der Planung der Anlage durch Wahl ausreichender Abstände des explosionsgefährdeten Bereiches von den als Beispiel genannten Anlagen bzw. Einrichtungen oder durch Einsatz einer höherwertigen Gerätekategorie Rechnung getragen werden.

Bemerkung 2: Mit einer das übliche Maß unterschreitenden Auswirkung ist z. B. zu rechnen, wenn eine explosionsgefährdete Anlage unter solchen Bedingungen betrieben wird, z. B. abseits gelegene ferngesteuerte Anlage mit automatisch arbeitenden Notfunktionen, dass mit einer Gefährdung von Beschäftigten und Dritten nicht zu rechnen ist.

Bemerkung 3: Eine das übliche Maß unterschreitende Explosionsgefährdung ist z. B. bei der Handhabung von Chlor-Kohlenwasserstoff-Verbindungen (CKW) gegeben. Für CKW, die einen Explosionsbereich, jedoch keinen Flammpunkt besitzen, gilt, dass Geräte verwendet werden dürfen, die für die jeweils um eine Stufe weniger gefährliche Zone geeignet sind. In Zone 2 müssen jedoch elektrische Arbeitsmittel mit der Schutzart mind. IP 5X, bei Motoren IP 4X, eingesetzt werden. In Zone 2 darf die Oberflächentemperatur aller Arbeitsmittel die jeweilige Zündtemperatur des CKW nicht überschreiten; offene Flammen sind nicht zulässig.