

<b>Technische Regeln für Betriebssicherheit</b>	<b>Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre - Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes, welche die Auswirkung einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken</b>	<b>TRBS 2152 Teil 4</b>
---	---	-----------------------------

Die Technischen Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) geben den Stand der Technik, Arbeitsmedizin und Arbeitshygiene sowie sonstige gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse für die Bereitstellung und Benutzung von Arbeitsmitteln sowie für den Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen wieder.

Sie werden vom **Ausschuss für Betriebssicherheit** ermittelt bzw. angepasst und vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales im Gemeinsamen Ministerialblatt bekannt gegeben.

Diese TRBS konkretisiert im Rahmen ihres Anwendungsbereichs die Anforderungen der Betriebssicherheitsverordnung. Bei Einhaltung der Technischen Regeln kann der Arbeitgeber insoweit davon ausgehen, dass die entsprechenden Anforderungen der Verordnung erfüllt sind. Wählt der Arbeitgeber eine andere Lösung, muss er damit mindestens die gleiche Sicherheit und den gleichen Gesundheitsschutz für die Beschäftigten erreichen.

## **Inhalt**

- 1 Anwendungsbereich
- 2 Begriffsbestimmungen
- 3 Allgemeine Anforderungen
- 4 Anforderung an explosionsfeste Bauweise
- 5 Anforderungen an eine Explosionsdruckentlastung
- 6 Anforderungen an die Explosionsunterdrückung
- 7 Explosionstechnische Entkopplung bei Gasen, Dämpfen und Nebeln
- 8 Entkopplungseinrichtungen für Stäube
- 9 Explosionstechnische Entkopplung bei hybriden Gemischen

---

\*) Neben redaktionellen Änderungen wurden in der TRBS die Anforderungen an Flammenrückschlagsicherungen angepasst. Darüber hinaus wurden die Schutzmaßnahmen zur Absicherung von Abluftleitungen konkretisiert und die Anforderungen zum Flammendurchschlag bei Dauerbrand ergänzt.

## 1 Anwendungsbereich

(1) Diese TRBS beschreibt folgende Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes, welche die Auswirkung einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken:

1. explosionsfeste Bauweise,
2. Explosionsdruckentlastung,
3. Explosionsunterdrückung,
4. explosionstechnische Entkopplung (von Flammen und Druck).

(2) Die in dieser Technischen Regel aufgeführten Maßnahmen gelten – soweit sie Anforderungen an die Beschaffenheit beinhalten – nur für Anlagen, Geräte und Ausrüstungen, die nicht Geräte und Schutzsysteme im Sinne der Explosionsschutzverordnung (11. ProdSV) sind.

Hinweis: Viele der in dieser technischen Regel beschriebenen Schutzsysteme werden als autonome Schutzsysteme im Sinne der Explosionsschutzverordnung (11. ProdSV) in Verkehr gebracht, z. B. Explosionsentlastungssysteme, Explosionsunterdrückungssysteme, Flammendurchschlagsicherungen, Schnellschlussschieber, -klappen und -ventile, Doppelschieber, Zellradschleusen und Löschmittelsperren. Solche Systeme werden überwiegend nach harmonisierten Normen ausgelegt und konformitätsbewertet. Diese Normen enthalten neben den für die Konformitätsbewertung notwendigen Angaben auch Informationen für die richtige Auswahl und den richtigen Einsatz sowie den Betrieb dieser Schutzsysteme.

## 2 Begriffsbestimmungen

Bemerkung: Explosionsdrücke werden als Explosionsüberdrücke bezogen auf atmosphärischen Druck (1 bar) angegeben.

### 2.1 Zu erwartender Explosionsdruck ( $p_{erw}$ )

Zu erwartender Explosionsdruck ( $p_{erw}$ ) ist der maximale Druck, der in einem Anlagenteil bei realisiertem Schutzkonzept unter Berücksichtigung sowohl der gegebenen Anlagen und Verfahren als auch aller möglichen Betriebsparameter und Betriebszustände auftreten kann.

Der zu erwartende Explosionsdruck kann sein:

1. der maximale Explosionsdruck ( $p_{max}$ ),
2. ein von dem maximalen Explosionsdruck ( $p_{max}$ ) nach oben oder unten abweichender anlagen- und verfahrensspezifischer Explosionsdruck oder
3. ein reduzierter Explosionsdruck ( $p_{red}$ ).

Bemerkung 1: Der zu erwartende Explosionsdruck kann geringer sein als der maximale Explosionsdruck, wenn z. B. der Behälter nur zum Teil mit gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre gefüllt ist, die Gemischzusammensetzung für die Explosionsabläufe ungünstig ist oder Abkühlungseffekte durch umfangreiche Einbauten auftreten.

Bemerkung 2: Der zu erwartende Explosionsdruck kann höher sein als der maximale Explosionsdruck, z. B. wenn ein Vordruck in der Anlage vorhanden ist oder erhöhte Turbulenz (im Vergleich zu den Laborbedingungen) auftritt.

Bemerkung 3: Der zu erwartende Explosionsdruck entspricht dem reduzierten Explosionsdruck, wenn die Anlage durch Explosionsunterdrückung oder Explosionsdruckentlastung geschützt wird.

## **2.2 Explosionsdruck ( $p_{ex}$ ) und maximaler Explosionsdruck ( $p_{max}$ )**

Explosionsdruck ( $p_{ex}$ ) ist der unter festgelegten Versuchsbedingungen ermittelte Druck, der in einem geschlossenen Behälter bei der Explosion einer explosionsfähigen Atmosphäre mit bestimmter Zusammensetzung auftritt. Maximaler Explosionsdruck ( $p_{max}$ ) ist der höchste ermittelte Explosionsdruck, der bei Änderung der Brennstoffanteile auftritt (siehe TRBS 2152 Nummer 2.3 Absatz 12).

## **2.3 Reduzierter Explosionsdruck ( $p_{red}$ )**

Reduzierter Explosionsdruck ( $p_{red}$ ) ist der in einem durch Explosionsdruckentlastung oder Explosionsunterdrückung geschützten Behälter auftretende Explosionsdruck.

## **2.4 Explosionsfeste Bauweise**

(1) Anlagenteile wie Behälter, Apparate, Rohrleitungen sind explosionsfest, wenn sie so gebaut sind, dass sie dem zu erwartenden Explosionsdruck im Innern standhalten, ohne aufzureißen.

Bemerkung: Explosionsfeste Bauweise schließt explosionsdruckfeste und explosionsdruckstoßfeste Bauweise ein.

(2) Anlagenteile sind explosionsdruckfest, wenn sie dem zu erwartenden Explosionsdruck standhalten, ohne sich bleibend zu verformen.

(3) Anlagenteile sind explosionsdruckstoßfest, wenn sie dem zu erwartenden Explosionsdruck standhalten ohne aufzureißen, wobei jedoch bleibende Verformungen zulässig sind.

## 2.5 Explosionsdruckentlastung

Bei einer Explosionsdruckentlastung werden bei einer Explosion in einem Anlagenteil definierte Öffnungen freigegeben, damit das Anlagenteil nicht über seine Explosionsfestigkeit hinaus beansprucht wird.

## 2.6 Explosionsdruckentlastungseinrichtungen

Einrichtungen zur Explosionsdruckentlastung können z. B. Berstscheiben oder Explosionsklappen oder ständige Öffnungen sein. Sicherheitsventile sind keine Explosionsdruckentlastungseinrichtungen.

## 2.7 Explosionsunterdrückung

(1) Die Explosionsunterdrückung ist eine Verfahrensweise, bei der die Verbrennung einer explosionsfähigen Atmosphäre in einem geschlossenen oder im Wesentlichen geschlossenen Volumen erkannt und in der Anfangsphase durch Zugabe eines geeigneten Löschmittels abgebrochen wird, so dass es nicht zu einem gefährlichen Druckaufbau kommt.

(2) Eine Explosion gilt dann als unterdrückt, wenn es möglich ist, den maximalen Explosionsdruck ( $p_{\max}$ ) auf einen reduzierten Explosionsdruck ( $p_{\text{red}}$ ) zu begrenzen, d. h. der zu erwartende Explosionsdruck wird verringert.

## 2.8 Explosionsunterdrückungssystem

Gesamtheit von Einrichtungen zur Realisierung einer Explosionsunterdrückung. Das Explosionsunterdrückungssystem besteht im Wesentlichen aus Detektoren, einer Steuerzentrale und unter Druck stehenden Löschmittelbehältern.

## 2.9 Explosionstechnische Entkopplung

Durch die explosionstechnische Entkopplung wird die Ausbreitung einer Explosion (Druck und/oder Flamme) in andere Anlagenteile und -bereiche, z. B. über Verbindungsrohre oder -kanäle, verhindert.

## 2.10 Entkopplungseinrichtungen

(1) Gesamtheit von Einrichtungen zur Realisierung einer explosionstechnischen Entkopplung sind z. B.:

- mechanisches Schnellabsperren,
- Löschen von Flammen in engen Spalten oder durch Löschmitteleintrag,
- Aufhalten von Flammen durch hohe Gegenströmung,
- Tauchung,
- Schleusen.

Hinweis: Bei Explosionen von Gasen, Dämpfen und Nebeln im Gemisch mit Luft sind wegen der unter Umständen sehr hohen Ausbreitungsgeschwindigkeiten (Detonationen) aktiven Absperr- oder Löschungssysteme oft zu langsam, so dass hier passive Elemente, z. B. Bandsicherungen oder Tauchungen oder Systeme mit hoher Gegenströmung, bevorzugt werden.

### **3 Allgemeine Anforderungen**

(1) Bei Auswahl und Bemessung sowie Installation, Betrieb, Wartung, Prüfung und Instandsetzung von Einrichtungen zum konstruktiven Explosionsschutz sind funktionsbeeinträchtigende Einflüsse, z. B. durch Korrosion, Alterung, Abrasion, Prozessführung oder Umwelteinflüsse, zu beachten.

Hinweis: Damit die sichere Funktion von Einrichtungen des konstruktiven Explosionsschutzes gewährleistet werden kann, sind die Informationen zu Installation, Betrieb, Wartung, Prüfung und Instandsetzung in den Betriebsanleitungen zu beachten.

(2) Zum Schutz vor den Auswirkungen einer Explosion können beim konstruktiven Explosionsschutz folgende Maßnahmen in unterschiedlichen Kombinationen angewendet werden:

- explosionsfeste Bauweise,
- Explosionsdruckentlastung,
- Explosionsunterdrückung,
- Explosionsentkopplung.

(3) Sofern im Falle einer Explosion mit deren Ausbreitung von einem Anlagenteil auf andere Anlagenbereiche zu rechnen ist, muss neben der explosionsfesten Bauweise auch die explosionstechnische Entkopplung grundsätzlich Bestandteil des konstruktiven Explosionsschutzes sein.

Hinweis 1: Bei der Ausbreitung von Explosionen von einem Anlagenteil auf andere Anlagenbereiche kann es zu Vorkompression, hohen Turbulenzen und extrem zündwirksamen Flammenstrahlen kommen. Diese Effekte können in verbundenen oder angrenzenden Anlagenteilen zu besonders heftigen Folgeexplosionen führen, die mit den Mitteln des konstruktiven Explosionsschutzes unter vertretbarem technischem Aufwand nicht sicher beherrschbar sind.

Hinweis 2: Bei Unterteilung des Innern von Apparaturen oder bei Verbindungen von Behältern, z. B. durch Rohrleitungen, kann während einer Explosion in dem einen Teilvolumen der Druck in dem anderen Teilvolumen erhöht werden (Vorkompression).

Hinweis 3: Eine Explosion, die bei erhöhtem Ausgangsdruck (z. B. durch Vorkompression) eingeleitet wird, führt zu einem höheren Explosionsdruck als dem bei atmosphärischen Bedingungen zu erwartenden Explosionsdruck (der Explosionsdruck ist direkt proportional zu dem Ausgangsdruck).

(4) Für die Ermittlung des zu erwartenden Explosionsdruckes müssen insbesondere folgende Randbedingungen/Einflussgrößen berücksichtigt werden:

- Brennstoffart und –konzentration/explosionstechnische Kenngrößen,
- Anlagengeometrie,
- Herstellungs- oder Bearbeitungsverfahren,
- Sauerstoffkonzentrationen,
- Teilbefüllung von Anlagenteilen mit explosionsfähigem Gemisch,
- Druckverhältnisse,
- Turbulenzen,
- Wirksamkeit vorgelagerter Maßnahmen (z. B. Mengen- oder Konzentrationsbegrenzung, Inertisierung),
- Wirksamkeit explosionsdruckmindernder Maßnahmen (z. B. Explosionsdruckentlastung, Explosionsunterdrückung, explosionstechnische Entkopplung).

Hinweis 1: Ist in einem Behälter immer nur ein Teilvolumen mit explosionsfähiger Atmosphäre ausgefüllt oder kann die Konzentration des brennbaren Stoffes so begrenzt werden, dass die optimale Brennstoffkonzentration nicht erreicht werden kann, können ggf. niedrigere Explosionsdrücke in der Anlage/Apparatur erwartet werden.

Hinweis 2: Bei Explosionen in Rohrleitungen oder langgestreckten Apparaturen können sich Druckstoßfronten ausbilden, die nach längeren Flammenlaufstrecken  $L$  unter Umständen in Detonationsfronten übergehen. Dabei treten lokal kurzzeitig Druckstöße auf, deren Spitzenwerte ein Mehrfaches des maximalen Explosionsdruckes erreichen können. Turbulenzerhöhende Einbauten, z. B. Messblenden, Ventile, Rohrbögen oder Querschnittsveränderungen können die Anlaufstrecke für Detonationen erheblich reduzieren. Bei Gasen und Dämpfen sind derartige Druckbelastungen durch Stoßfronten bei  $L/D < 5$  ( $D$  = Durchmesser) jedoch nicht zu erwarten.

## **4 Anforderungen an explosionsfeste Bauweise**

(1) Explosionsfeste Anlagenteile müssen so gebaut sein, dass sie einer im Inneren erfolgenden Explosion ohne aufzureißen standhalten können. Bei der explosionsfesten Bauweise wird unterschieden zwischen "explosionsdruckfester" und "explosionsdruckstoßfester" Bauweise. Explosionsdruckfeste und explosionsdruckstoßfeste Bauweise sind bezüglich der Schutzziele der Betriebssicherheitsverordnung gleichwertige Maßnahmen.

(2) Als Mindestauslegungsdruck für Anlagenteile und Apparate in explosionsfester Bauweise ist der zu erwartende Explosionsdruck (siehe Nummern 2.1 und 2.3) zugrunde zu legen.

Hinweis: Die Auslegung von Rohrleitungen und Krümmern für Nenndruck 10 bar (PN 10) ist bei Verwendung zäher Werkstoffe und bei atmosphärischen Bedingungen ausreichend dafür, dass nicht gekrümmte Rohrleitungen Detonationsbeanspruchun-

gen widerstehen. Insbesondere widerstehen Krümmer der Beanspruchung durch Detonationen von gesättigten Kohlenwasserstoffen im Gemisch mit Luft, wenn der Umlenkwinkel nicht mehr als 90 Grad beträgt. Bei anders geformten Anlagenteilen (z. B. Querschnittsveränderungen, Einschnürungen) und bei besonders reaktionsfähigen Gemischen können Ausführungen in einer höheren Druckstufe als Nenndruck 10 bar (PN 10) notwendig sein.

(3) Nach Explosions- oder Detonationsereignissen müssen die betroffenen Anlagenteile dahingehend überprüft werden, ob die Explosionsfestigkeit weiterhin gegeben ist.

## **5 Anforderungen an eine Explosionsdruckentlastung**

(1) Eine Explosionsdruckentlastung ist unzulässig, wenn durch die dabei freigesetzten Stoffe Beschäftigte oder Dritte gefährdet werden können.

(2) Eine Explosionsdruckentlastung ist so vorzunehmen, dass Gefährdungen für Beschäftigte und Dritte, z. B. durch Druck- und Flammenwirkung oder durch weggeschleuderte Teile, vermieden werden. Die bei der Explosionsdruckentlastung auftretenden Rückstoßkräfte sind zu berücksichtigen.

(3) Eine Explosionsdruckentlastung in den Arbeitsbereich ist grundsätzlich zu vermeiden.

(4) Eine Explosionsdruckentlastung soll auf möglichst kurzem und geradem Weg erfolgen.

Hinweis: Wird an die Explosionsdruckentlastungseinrichtung ein Ausblasrohr angeschlossen, ist insbesondere zu berücksichtigen, dass

1. sich der reduzierte Explosionsdruck im zu schützenden Anlagenteil erhöht und
2. erhöhte Rückstoßkräfte auftreten.

(5) Die Explosionsdruckentlastung ist so auszulegen, dass die durch die Explosionsdruckentlastung geschützten Anlagenteile dem reduzierten Explosionsdruck standhalten können.

(6) Explosionsdruckentlastungseinrichtungen und Ausblasrohre sind regelmäßig auf einwandfreien Zustand zu überprüfen. Dabei sind auch Beeinträchtigungen durch Umwelteinflüsse, z. B. Schneelast oder Vereisung, zu berücksichtigen.

(7) Die sichere Funktion einer Explosionsdruckentlastungseinrichtung muss nachweisbar sein. Der Nachweis gilt z. B. als erbracht, wenn die Explosionsdruckentlastungseinrichtung als autonomes Schutzsystem gemäß der Explosionsschutzverordnung (11. ProdSV) in Verkehr gebracht worden ist und bestimmungsgemäß verwendet wird.

## **6 Anforderungen an die Explosionsunterdrückung**

(1) Bei dem Einsatz eines Explosionsunterdrückungssystems sind auch Gefährdungen für Beschäftigte oder Dritte durch die Freisetzung des Explosionsunterdrückungsmittels, z. B. bei Instandhaltungsmaßnahmen, zu berücksichtigen.

(2) Das Explosionsunterdrückungssystem ist so auszulegen, dass die durch das Explosionsunterdrückungssystem geschützten Anlagenteile dem reduzierten Explosionsdruck standhalten können.

(3) Bei der Auslegung des Explosionsunterdrückungssystems ist zu berücksichtigen, dass dessen Wirksamkeit u. a. von der gegebenen Anlagen- und Verfahrenstechnik, den Betriebsparametern, wie Temperatur und Druck, den Eigenschaften der eingesetzten Stoffe und des Explosionsunterdrückungsmittels abhängt.

## **7 Explosionstechnische Entkopplung bei Gasen, Dämpfen und Nebeln**

### **7.1 Allgemeines**

(1) Bei Öffnungen von Anlagenteilen, in denen eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre vorhanden ist und die nicht hinreichend explosionsfest ausgeführt sind, ist die Notwendigkeit eines Schutzes der Anlagenteile gegen das Hineinlaufen von Explosionen zu prüfen.

Hinweis 1: Dies kann z. B. bei Be- und Entlüftungseinrichtungen, Füllstandsanzeigern, Füll- und Entleerungsleitungen, aber auch Verbindungsleitungen zu anderen Anlagenteilen erforderlich sein.

Hinweis 2: Bei verbundenen Anlagenteilen kann es bei einer Explosion in einem Anlagenteil zu einer Vorkompression von explosionsfähiger Atmosphäre im anderen Anlagenteil kommen, so dass der dann zu erwartende Explosionsdruck in diesem Anlagenteil wesentlich höher sein kann. Zur Reduzierung der Druckbelastung kann eine flammentechnische Entkopplung, z. B. durch eine geeignete Flammendurchschlagsicherung, erforderlich sein.

(2) Öffnungen von Anlagenteilen, durch die Explosionen herausschlagen können und dadurch zu einer Gefährdung der Beschäftigten oder Dritter führen können, müssen gegen einen Flammendurchschlag geschützt sein. Hierzu können Füll-, Entleerungs- und Gaspandelanschlüsse, aber auch Ansaugöffnung und Auspuff von Verbrennungsmotoren gehören. Mögliche weitere Gefährdungen durch z. B. heiße Gase, Druckeinwirkungen oder Verbrennungsprodukte sind zu berücksichtigen.



(3) Bei miteinander verbundenen Anlagenteilen ist die Notwendigkeit eines Schutzes gegen die Ausbreitung einer Explosion zu prüfen. Dies kann z. B. bei Gaspendelsystemen und bei nicht ständig mit Flüssigkeit gefüllten Rohrleitungen wie Füll- und Entleerungsleitungen erforderlich sein.

## 7.2 Flammendurchschlagsicherungen

(1) Flammendurchschlagsicherungen sind Einrichtungen, die an der Öffnung eines Anlagenteils oder in verbindenden Rohrleitungen von Anlagenteilen eingebaut sind und deren vorgesehene Funktion es ist, den Durchfluss von Gasen, Dämpfen, Nebeln und Flüssigkeiten zu ermöglichen, aber den Flammendurchschlag zu verhindern.

(2) Die Wirkungsweise einer Flammendurchschlagsicherung beruht im Wesentlichen auf einem oder mehreren der folgenden Mechanismen:

- Löschung von Flammen in engen Spalten und Kanälen (z. B. Bandsicherungen, Sintermetalle),
- Aufhalten einer Flammenfront durch entsprechend hohe Ausströmgeschwindigkeit der unverbrannten Gemische (Hochgeschwindigkeitsventil),
- Aufhalten einer Flammenfront durch Flüssigkeitsvorlagen (z. B. Sicherheitstauchungen oder Flüssigkeitsverschlüsse).

(3) Je nach Einbausituationen und Betriebsverhältnissen sind entweder Deflagrations- oder Detonationssicherungen als Flammendurchschlagsicherungen zu verwenden.

(4) Wenn es zum Nachströmen von explosionsfähiger Atmosphäre und damit zu einem stabilisierten Brennen in/an der Flammendurchschlagsicherung kommen kann, muss die Flammendurchschlagsicherung, sofern Nummer 7.4 nicht zutrifft, mit einer Überwachungseinrichtung zum Erkennen eines stabilisierten Brennens ausgerüstet und für die unter Berücksichtigung ggf. eingeleiteter Maßnahmen (z. B. Absperren der Gemischzufuhr, Einblasen von Inertgas oder Luft) zu erwartende Dauer des Brennens geeignet sein. Abweichend von Satz 1 brauchen Detonationssicherungen unmittelbar an Tanks oder Behältern im Zuge von Gaspendel- und Gassammelleitungen nicht mit Überwachungseinrichtungen zum Erkennen eines stabilisierten Brennens ausgerüstet werden.

Hinweis: Flammendurchschlagsicherungen widerstehen ggf. einem Abbrand nur über eine begrenzte Zeitspanne (Standzeit) und verlieren dann ihre Flammendurchschlagsicherheit. Die Standzeit kann der Betriebsanleitung des Herstellers entnommen werden.

(5) Flammendurchschlagsicherungen müssen für die möglichen explosionsfähigen Gemische (zünddurchschlagsichere Normspaltweiten) und die Betriebsbedingungen (Druck und Temperatur der Gemische) geeignet sein.

(6) Flammendurchschlagsicherungen dürfen nicht durch ihren Strömungswiderstand zu gefährlichen Druckerhöhungen in der Anlage führen.

(7) Die Gefahr des Zusetzens z. B. durch Schmutz, Polymerisation und Sublimation sowie durch Einfrieren muss ebenso beachtet werden wie der Verlust der sicheren Funktion der Flammendurchschlagsicherung z. B. durch Korrosion.

(8) Flammendurchschlagsicherungen müssen möglichst nahe am Tank oder Behälter angebracht und so angeordnet sein, dass sie leicht gewartet werden können. Ist aus statischen Gründen die Montage auf dem Tankdach nicht möglich, kann die Flammendurchschlagsicherung direkt neben den Tank angeordnet werden, sofern die Rohrleitung zwischen Tank und Flammendurchschlagsicherung direkt neben der Tankwandung angeordnet wird. Die Flammendurchschlagsicherung ist so anzuordnen, dass im Tank oder in der Rohrleitung vorhandene explosionsfähige Atmosphäre durch einen Dauerbrand an der Flammendurchschlagsicherung nicht entzündet werden kann.

### **7.3 Strömungsüberwachte rückzündsichere Einrichtungen**

(1) Strömungsüberwachte rückzündsichere Einrichtungen halten eine Strömungsgeschwindigkeit von Gasen oder Dämpfen an der Ausströmöffnung oberhalb der Flammenausbreitungsgeschwindigkeit aufrecht, um auf diese Weise einen Flammenrückschlag zu verhindern. Strömungsüberwachte rückzündsichere Einrichtungen sind geeignet, um explosionsfähige Atmosphäre in Anlagen mit erhöhten Temperaturen (Temperatur oberhalb der Zündtemperatur der brennbaren Gase und Dämpfe) einzuleiten.

(2) Die Strömungsgeschwindigkeit der Gase und Dämpfe ist auf geeignete Weise zu überwachen. Bei Unterschreiten der erforderlichen Mindestströmungsgeschwindigkeit ist die Zufuhr von explosionsfähiger Atmosphäre unverzüglich zu unterbrechen.

Hinweis: Eine strömungsüberwachte rückzündsichere Einrichtung ist als betriebliche explosionstechnische Entkoppelungsmaßnahme anzusehen. Sie ist in der Regel nicht als einzige Schutzmaßnahme anzuwenden und erfordert häufig eine in Strömungsrichtung vorgeschaltete Flammendurchschlagsicherung.

(3) Die erforderlichen Mindestströmungsgeschwindigkeiten für explosionsfähige Gemische mit Stoffen der Explosionsgruppen IIA und IIB können Tabelle 1 entnommen werden. Die Tabellenwerte gelten als sichere Grenzwerte für die explosionsfähigen Gemische dieser Stoffe bei Ausströmen aus Rohren ohne turbulenz erhöhende Bauweise. In Fällen erhöhter Turbulenz und für andere explosionsfähige Gemische sind die Mindestströmungsgeschwindigkeiten experimentell zu bestimmen.

Tabelle 1: Erforderliche Mindestströmungsgeschwindigkeiten

Nennweite in mm	Stoffe der Explosionsgruppe IIA		Stoffe der Explosionsgruppe IIB	
	≤ 20	≤ 200	≤ 20	≤ 200
Geschwindigkeit in m/s bei Umgebungstemperatur an der Einströmöffnung (z. B. bei einer Fackel)	≥ 4	≥ 8	≥ 6	≥ 12
Geschwindigkeit in m/s bei erhöhter Temperatur an der Einströmöffnung (z. B. an einem Feuerraum)	≥ 8	≥ 16	≥ 12	≥ 24

(4) Die erforderlichen Schutzmaßnahmen gegen Flammendurchschlag müssen unter Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens explosionsfähiger Atmosphäre (Zonen) und der in einer Rückgewinnungs- oder Abluftreinigungsanlage vorhandenen Zündmöglichkeiten abgestuft durchgeführt werden. Für die Zahl der gleichzeitig anzuwendenden und voneinander unabhängigen Maßnahmen zur Erzielung der Flammendurchschlagsicherheit gilt Tabelle 2.

Hinweis: Eine strömungsüberwachte rückzündsichere Einströmung gilt nicht als autonomes Schutzsystem im Sinne der Richtlinie 94/9/EG.

Tabelle 2: Anzahl der Schutzmaßnahmen bei der Absicherung von Abluftleitungen

Wahrscheinlichkeit des Auftretens wirksamer Zündquellen in der Rückgewinnungs- oder Abluftreinigungsanlage	Anzahl der Schutzmaßnahmen bei Vorliegen folgender Zonen im Abluftsystem		
	Zone 0	Zone 1	Zone 2
ständig oder häufig (z. B. Brennerflamme)	3	2	1
gelegentlich (z. B. bei vorhersehbaren Störungen)	2	1	0
selten (z. B. bei seltenen Störungen)	1	0	0

(5) Eine unabhängige Maßnahme nach Absatz 4 Satz 2 ist gegeben, wenn nach DIN EN 16852 bzw. der früheren DIN EN 12874 auf stabile Detonationen geprüfte Detonationssicherungen verwendet werden. Eine strömungsüberwachte rückzündsichere Einströmung gilt erst dann als unabhängige Schutzmaßnahme, wenn eine weitere unabhängige Schutzmaßnahme (z. B. eine Detonationssicherung nach Satz 1) vorhanden ist.

(6) Die Funktionssicherheit einer strömungsüberwachten rückzündsicheren Einströmung ist nachzuweisen.

## 7.4 Flammendurchschlag bei Dauerbrand

(1) Ins Freie mündende Öffnungen von Tanks und Anlagen, aus denen nicht nur kurzzeitig Dampf/Luft-Gemische ausströmen können, müssen mit einer Einrichtung versehen sein, die dem Abbrand ausströmender explosionsfähiger Gemische für alle Einsatzbedingungen ohne Flammendurchschlag standhält (Dauerbrandsicherungen). Für den Fall, dass geeignete Dauerbrandsicherungen nicht einsetzbar sind (z. B. für Dämpfe einer bestimmten brennbaren Flüssigkeit wie z. B. für Alkohole), dürfen alternativ zu Satz 1 Detonationssicherungen in Lüftungsleitungen eingesetzt werden, wenn zwischen Detonationssicherung und der Öffnung der ins Freie mündenden Lüftungsleitung mindestens die nachfolgend genannte Länge eingehalten wird. Satz 2 ist z. B. erfüllt, wenn auf stabile Detonationen geprüfte Detonationssicherungen verwendet werden.

Tabelle 3: Mindestlänge der Rohrleitungen

Nennweite der Rohrleitung in mm	Länge der Rohrleitung in m
15	0,5
20	1
25	1,5
32	2
40	3
50	4
65	6
80	8
100 bis 200	10

## 8 Entkopplungseinrichtungen für Stäube

### 8.1 Allgemeines

Die für Gase und Dämpfe genannten Einrichtungen zur explosionstechnischen Entkopplung sind bei Stäuben im Allgemeinen nicht einsetzbar (Verstopfungsgefahr etc.). Bei den für Stäube geeigneten Einrichtungen zur explosionstechnischen Entkopplung unterscheidet man zwei Systeme:

#### Vollständige Entkopplung und Teil-Entkopplung

1. Bei der vollständigen Entkopplung wird sowohl die Ausbreitung der Flamme als auch des Druckes verhindert. Hier sind hinter der Entkopplungseinrichtung im Allgemeinen keine explosionsfesten Bauteile mehr erforderlich.
2. Bei der Teil-Entkopplung wird im Allgemeinen nur die Flammen- oder die Druckausbreitung unterbunden. Ggf. sind für die hinter der Entkopplungs-

einrichtung angeordneter Anlagenteile weitere Maßnahmen erforderlich (z. B. ausreichende Explosionsfestigkeit).

Bemerkung: Die Unterscheidung zwischen vollständiger Entkopplung und Teil-Entkopplung ist für die praktische Anwendung wichtig, da die Notwendigkeit einer vollständigen Entkopplung hinsichtlich Flamme und Druck nicht in allen Fällen besteht, sondern in einigen Fällen lediglich das Erzielen einer Flammenisolation oder einer Druckbegrenzung ausreicht.

Hinweis: Geeignet für den Einbau in Rohrleitungssysteme oder zum Produktaustrag sind z. B. die unter den Nummern 8.2 bis 8.8 genannten Einrichtungen.

## **8.2 Schnellschlussschieber, Schnellschlussklappe**

(1) Die zu entkoppelnde Explosion wird durch geeignete Detektoren erkannt. Über eine Steuereinheit wird ein Auslösemechanismus aktiviert, der Schieber oder Klappe(n) innerhalb einer ausreichend kurzen Zeit schließt (bevor Druck und Flamme Schieber oder Klappe(n) erreicht haben).

(2) Der für die Wirksamkeit von Schnellschlussschiebern oder -klappen erforderliche Einbauabstand ist zu beachten.

Hinweis: Bei der explosionstechnischen Entkopplung mittels Schnellschlussschieber oder -klappe handelt es sich um eine vollständige Entkopplung.

## **8.3 Schnellschlussventil (Explosionsschutzventil)**

(1) Beim Überschreiten einer bestimmten Strömungsgeschwindigkeit in der Rohrleitung schließt das Ventil automatisch und verbleibt anschließend in geschlossener Stellung. Die für das Schließen notwendige Strömungsgeschwindigkeit wird durch die Druckwelle der Explosion erzeugt.

Hinweis 1: Bisher bekannte Schnellschlussventile dürfen nur in waagrecht verlegte Rohrleitungen eingebaut werden.

Hinweis 2: Schnellschlussventile eignen sich nur für relativ geringe Staubbelastungen (z. B. Reinluftseite von Filteranlagen).

(2) Reicht die zu erwartende Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit durch die Druckwelle der Explosion für ein rechtzeitiges Auslösen eines Schnellschlussventils nicht aus, kann ein fremderregtes Schnellschlussventil eingesetzt werden, bei dem die Explosion durch geeignete Detektoren erkannt wird und das Schnellschlussventil mittels einer Hilfsströmung (z. B. Einblasen von Stickstoff auf den Schließkörper) rechtzeitig geschlossen wird.

(3) Der für die Wirksamkeit von Schnellschlussventilen erforderliche Einbauabstand ist zu beachten.

Hinweis: Bei der explosionstechnischen Entkopplung mittels Schnellschlussventil handelt es sich um eine vollständige Entkopplung.

## **8.4 Zellenradschleusen**

(1) Zellenradschleusen zur explosionstechnischen Entkopplung müssen für den zu erwartenden Explosionsdruck explosionsfest und zünddurchschlagsicher ausgeführt sein.

(2) Im Explosionsfall muss die Zellenradschleuse automatisch, z. B. über einen Detektor, stillgesetzt werden, damit das Austragen von brennendem Produkt in nachfolgende Anlagenteile verhindert wird.

Hinweis: Bei der explosionstechnischen Entkopplung mittels Zellenradschleuse handelt es sich um eine vollständige Entkopplung.

## **8.5 Doppelschiebersysteme**

(1) Doppelschiebersysteme bestehen im Allgemeinen aus zwei jeweils für den zu erwartenden Explosionsdruck explosionsfest und zünddurchschlagsicher ausgeführten Schiebern, mit denen eine Schleuse gebildet wird. Durch eine entsprechende funktionsgeprüfte Steuerung ist gewährleistet, dass sich immer mindestens ein Schieber in geschlossener Stellung befindet.

(2) Im Explosionsfall muss ein Doppelschiebersystem automatisch, z. B. über einen Detektor, stillgesetzt werden, damit das Austragen von brennendem Produkt in nachfolgende Anlagenteile verhindert wird.

Hinweis: Bei der explosionstechnischen Entkopplung mittels Doppelschiebersystem handelt es sich um eine vollständige Entkopplung.

## **8.6 Löschmittelsperren**

(1) Löschmittelsperren bestehen im Wesentlichen aus einem oder mehreren Detektoren, einer Steuereinheit sowie einem oder mehreren Löschmittelbehälter(n). Eine anlaufende Explosion wird durch Detektoren erkannt, die das Eindüsen von Löschmittel in die Rohrleitung zwischen den zu entkoppelnden Anlagenteilen auslösen. Durch das Löschmittel wird die Explosionsflamme gelöscht. Ein Ausbreiten des Explosionsdrucks wird durch die Löschmittelsperre nicht verhindert.

(2) Der für die Wirksamkeit von Löschmittelsperren erforderliche Einbauabstand ist zu beachten.

(3) Bei der explosionstechnischen Entkopplung mittels Löschmittelsperre handelt es sich um eine Teil-Entkopplung. Die mögliche Druckerhöhung ist bei der Auslegung der hinter der Löschmittelsperre angeordneten Anlagenteile zu berücksichtigen.

Bemerkung: Es ist zu beachten, dass infolge der Druckausbreitung sowohl Löschmittel als auch unverbrannte Stäube und Verbrennungsprodukte durch die Rohrleitung gedrückt werden und in andere Anlagenteile oder in die Umgebung gelangen können.

## 8.7 Entlastungsschlot

(1) Ein Entlastungsschlot ist eine Entkopplungseinrichtung, mit der eine Explosionsübertragung durch Änderung der Strömungsrichtung um 180 Grad bei gleichzeitiger Druckentlastung am Umlenkpunkt verhindert werden soll. Dies wird durch eine besondere Rohrleitungsgestaltung und -anordnung (siehe Abb. 1) und üblicherweise durch den Einsatz einer Druckentlastungseinrichtung (z. B. Berstscheibe) am Umlenkpunkt erreicht.

(2) Für den Einsatz des Entlastungsschlotes gelten im Wesentlichen die gleichen Einsatzbeschränkungen hinsichtlich der freiwerdenden Stoffe und der Gefährdung Beschäftigter, Dritter oder der Umwelt wie für die Explosionsdruckentlastung (siehe Nummer 5 Absätze 1 bis 3).

(3) Da bei dem Einsatz von Entlastungseinrichtungen an einem Entlastungsschlot u. U. andere Belastungsfälle auftreten als bei dem Einsatz an Behältern, muss die Funktionsfähigkeit der Entlastungseinrichtung für diesen Anwendungsfall nachgewiesen sein.

(4) Bei der explosionstechnischen Entkopplung mittels Entlastungsschlot handelt es sich um eine Teil-Entkopplung. Die Einschränkungen gegenüber einer vollständigen Entkopplung können für die hinter dem Entlastungsschlot angeordneten Anlagenteile zusätzliche Maßnahmen erforderlich machen.

Hinweis 1: Durch den Entlastungsschlot kann die Explosionsübertragung nicht immer zuverlässig verhindert werden. Die Ausbreitung der Flammenfront wird jedoch so gestört, dass in dem nachgesetzten Leitungsteil zunächst nur mit einem langsamen Anlaufen der Explosion zu rechnen ist.

Hinweis 2: Wenn bei einer Objektabsaugung eine Entkopplung des Abscheiders zu den Ansaugstellen erforderlich ist und explosionsfähige Gemische in der Saugleitung sicher ausgeschlossen sind, kann trotz der oben genannten Einschränkungen mit dem Entlastungsschlot ein ausreichender Schutz der Beschäftigten und Dritter erreicht werden (siehe Absatz 3).

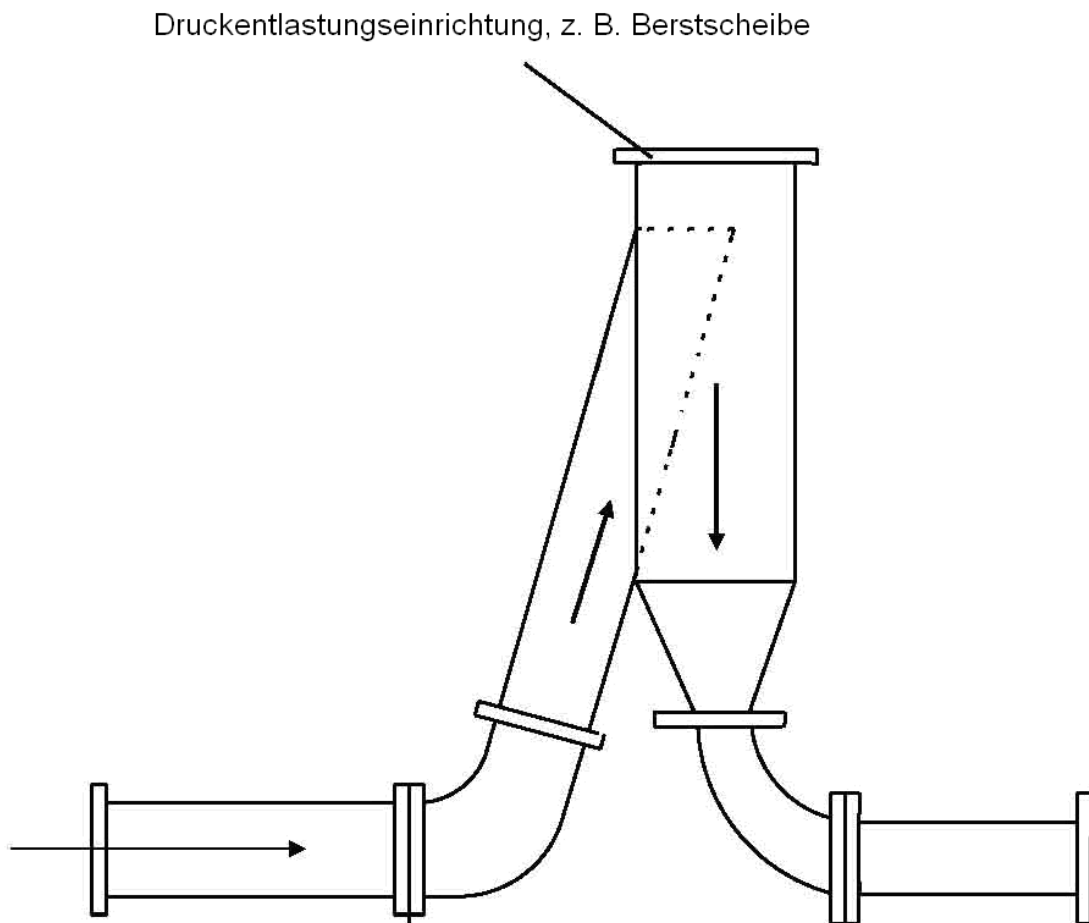


Abb. 1: Schematische Darstellung eines Entlastungsschlotes

## 8.8 Produktvorlage

(1) Im Zusammenhang mit den Schutzmaßnahmen „explosionsfeste Bauweise für einen reduzierten Explosionsdruck“ und „Explosionsdruckentlastung“ oder „Explosionsunterdrückung“ können Produktvorlagen mit ausreichender Füllhöhe eine geeignete Maßnahme zur explosionstechnischen Entkopplung sein. Dies setzt eine hinreichend feste Austrageinrichtung voraus, auf der die Produktvorlage „aufliegt“ (z. B. Zellenradschleuse, Förderschnecke oder Prozessventil). Die Austrageinrichtung selbst muss hierfür nicht flammendurchschlagsicher sein.

(2) Die Produktüberdeckung muss so hoch sein, dass unter Explosionsdruckbelastung ein Flammendurchschlag nicht erfolgen kann. Der erforderliche Mindestfüllstand muss auf geeignete Weise sichergestellt sein.



## **9 Explosionstechnische Entkopplung bei hybriden Gemischen**

Für eine explosionstechnische Entkopplung bei hybriden Gemischen kommen aufgrund des Staubanteils Maßnahmen aus Nummer 8 in Frage, wenn diese Einrichtungen auch die durch den Dampf- oder Gasanteil verursachten Explosionsauswirkungen ausreichend sicher begrenzen.

Bemerkung: Für das Vermeiden der Ausbreitung von Explosionen mit Staubanteilen über verbindende Rohrleitungen, Fördereinrichtungen o. ä. sowie eines Flammenaustritts aus Anlagenteilen sind in der Regel die in Nummer 7 genannten Flammendurchschlagsicherungen aufgrund der Verstopfungsgefahr nicht geeignet.