

**VERHINDERUNG UND REDUZIERUNG DER AUSWIRKUNGEN VON EXPLOSIONEN UND
BRÄNDEN BRENNBARER STÄUBE**

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1.0 ANWENDUNGSBEREICH	3
1.1 Änderungen	3
2.0 SCHADENVERHÜTUNGSEMPFEHLUNGEN	3
2.1 Allgemeines	3
2.2 Raum-/Gebäude-Explosionsrisiken	5
2.2.1 Bauweise und Standort.....	5
2.2.2 Belegung	7
2.2.3 Schutz.....	7
2.2.4 Betrieb und Instandhaltung	9
2.3 Anlagen-Explosionsrisiko	10
2.3.1 Allgemeines	10
2.3.2 Beseitigung von Explosionsgefahr.....	10
2.3.3 Minderung von Explosionsgefahr.....	11
2.3.4 Zündquellenkontrolle	17
2.4 Filter und Zyklone	19
2.4.1 Bauweise und Standort.....	19
2.4.2 Schutz (3.1.21)	19
2.4.3 Zündquellenkontrolle	20
2.4.4 Filter ohne Einhausung (3.1.24).....	20
2.5 Anschlusskanäle (3.1.25).....	21
2.5.1 Belegung	21
2.5.2 Schutz.....	21
2.6 Silos (3.1.26).....	22
2.6.1 Schutz.....	22
2.6.2 Anlagen und Prozesse	23
2.7 Becherförderer (3.1.27).....	23
2.7.1 Bauweise und Standort.....	23
2.7.2 Schutz.....	23
2.7.3 Zündquellenkontrolle.....	24
2.8 Sprühtrockner	25
2.8.1 Schutz.....	25
2.9 Handhabung großer Mengen von unbehandeltem Getreide	25
2.9.1 Anlagen und Prozesse	25
2.10 3D-Druck Herstellung (3.1.29)	25
2.11 Brandrisiko von Stäuben	26
3.0 GRUNDLAGEN DER EMPFEHLUNGEN	27
3.1 Kommentare und technischer Support	27
3.1.1 Gibt es ein Problem mit der Ordnung und Sauberkeit an den Anlagen? (2.2.4.2)	27
3.1.2 Verlagerung von Explosionsgefahren in den Außenbereich (2.3.1.1).....	27
3.1.3 Inertisierung (Phlegmatisierung) (2.3.2.3).....	28
3.1.4 Berechnung von Auswirkungen von Staubexplosionen von FM Global mit DustCalc (2.3.3.1) ...	28
3.1.5 Flammenlose Druckentlastungsvorrichtungen (2.3.3.1.2).....	29
3.1.6 Festigkeit von Behältern (2.3.3.1.3)	30
3.1.7 Auswirkungen der Trägheit der Explosionsdruckentlastungseinrichtung (2.3.3.1.6)	30
3.1.8 Auswirkung von Kanälen auf Explosionsdruckentlastungseinrichtungen (2.3.3.1.7).....	31
3.1.9 Wiederverschluss von Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen (2.2.3.4 und 2.3.3.1.9)	32

3.1.10	Druck- und Flammeneffekte durch Explosionen (2.3.3.1.11)	32
3.1.11	Feste Hindernisse nahe der Vorderseite von Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen (2.3.3.1.12)	33
3.1.12	Verteilung der Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen (2.3.3.1.15)	33
3.1.13	Betriebsdruck des Staubabscheiders (2.3.3.1.17)	33
3.1.14	Explosionsentkopplung (2.3.3.2)	33
3.1.15	Entkopplungssysteme (2.3.3.3)	34
3.1.16	Schnell wirkende Schwimmerventile (2.3.3.3.4)	34
3.1.17	Vakuumbetrieb (2.3.3.6)	34
3.1.18	Funkenlöschung oder Explosionsunterdrückung (2.3.4.1)	35
3.1.19	Minimale Zündenergie (MZE) (2.3.4.2)	35
3.1.20	Abscheider für Fremdkörper, magnetischer oder sonstiger Art (2.3.4.3)	36
3.1.21	Saubere gegen verschmutzte Seite von Staubsammlern (2.4.2)	36
3.1.22	Zyklon-Explosionsdruckentlastung (2.4.2.3)	36
3.1.23	„Leitfähige“ Staubabscheidermedien (2.4.3.1)	36
3.1.24	Staubabscheider ohne Einhausung (2.4.4)	37
3.1.25	Anschlusskanäle (2.5)	37
3.1.26	Silos (2.6)	38
3.1.27	Becherförderer (2.7)	39
3.1.28	Zerkleinerungsanlagen (Mühlen, Pulvermühlen, Hammermühlen usw.)	39
3.1.29	Additive Herstellung (3D-Druck) (2.10)	39
4.0	VERWEISE	43
4.1	FM Global	43
4.2	Sonstiges	43
ANHANG A – BEGRIFFSDEFINITIONEN		44
ANHANG B – ANGABEN ZUR ÜBERARBEITUNG DES DOKUMENTS		46
ANHANG C – FORSCHUNGSDATEN ZUR STAUBEXPLOSIONSGEFAHR		47
ANHANG D – BIBLIOGRAPHIE		47

Abbildungen

Abb. 1:	Bevorzugte Standorte für Prozesse oder Anlagen, an denen brennbare Stäube gehandhabt werden	6
Abb. 2:	Schematische Darstellung einer über die Dachlinie herausgeführte Explosionsdruckentlastung	8
Abb. 3:	Zellradschleuse	14
Abb. 4:	Schnellschlussarmatur (Ausführung als Absperrschieber)	15
Abb. 5:	Schnellschlussarmatur mit umströmtem Schließkörper (Ventix ESI ®)	15
Abb. 6:	Explosionsableitvorrichtung	16
Abb. 7:	Installation einer Explosionsableitvorrichtung im Innenbereich	16
Abb. 8:	Hochgeschwindigkeits-Umlenkeinrichtung	16
Abb. 9:	Beispiel für eine Kanal-Explosionsdruckentlastung an einem Rohrbogen	22
Abb. 10:	FM Approvals geprüfte flammenlose Druckentlastungsvorrichtung (Foto: Rembe GmbH)	30
Abb. 11:	Beispiel für einen Staubabscheider ohne Einhausung	37
Abb. 12:	Pulverbettprozesse	40
Abb. 13:	Materialablagerungsprozesse	40
Abb. 14:	3D-Druck und Flüssigkeitsprozesse	41
Abb. 15:	SLS-Designkonzept (Chemical Engineering Progress, Mai 2014)	41
Abb. 16:	Industrielle 3D-Systeme: Laserdrucker ProX300 und Concept M2	41

Tabellen

Tabelle 1:	Bauweise für Belegungen zur Handhabung von Stäuben	6
Tabelle 2:	Explosionsdruckentlastung für Becherförderer	24
Tabelle 3:	Typische Staubschüttdichte	27

1.0 ANWENDUNGSBEREICH

Im vorliegenden Datenblatt werden die empfohlenen vorbeugenden Maßnahmen zur Reduzierung der Häufigkeit von Staubexplosionen und die Schutzmaßnahmen zur Minimierung der Schäden durch eine Explosion von brennbaren Stäuben beschrieben. Die von Staubbränden ausgehenden Gefahren sind in anderen FM Global Datenblättern zur Schadenminimierung mit detaillierten belegungsspezifischen Empfehlungen aufgeführt. Im vorliegenden Dokument ist nichtsdestotrotz ein Überblick über die Schadenerfahrungen mit Staubbränden enthalten.

Das vorliegende Datenblatt enthält keine speziellen Entstaubungs- und Schutzkonzepte für die Handhabung, Lagerung und Verarbeitung von Getreide. Schadenverhütungsempfehlungen für diese Belegungsarten sind in FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 7-75, *Grain Storage and Milling*, aufgeführt. Die Empfehlungen im vorliegenden Datenblatt gelten jedoch auch für Gefahren in Getreideanlagen, die jedoch nicht nur speziell in derartigen Anlagen bestehen.

Die Technologie zur Untersuchung der Staubexplosionsgefahr wird in erster Linie in metrischen (SI) Einheiten besprochen. Diese sind die in diesem Datenblatt verwendeten Einheiten.

In diesem Datenblatt wird auf die Software DustCalc verwiesen. Die proprietäre Software DustCalc ist für den Einsatz durch FM Global Ingenieure zur Dimensionierung von Explosionsdruck-Entlastungsvorrichtungen für Gebäude und Anlagen mit brennbarer Staubexplosionsgefahr entwickelt worden. Es sind andere Methoden zur Dimensionierung von Druckentlastungsvorrichtungen verfügbar, die jedoch von FM Global nicht verwendet werden.

1.1 Änderungen

April 2017. Zwischenrevision. Empfehlung 2.7.2.3 zum Schutz von Becherförderern wurde zwecks Eindeutigkeit geändert.

2.0 SCHADENVERHÜTUNGSEMPFEHLUNGEN

2.1 Allgemeines

2.1.1 Sämtliche Anlagen, in denen brennbare Stäube gehandhabt werden, sowie Räume oder Gebäude, in denen brennbare Stäube vorhanden sein und aufgewirbelt werden können, sollten unter dem Gesichtspunkt einer Staubexplosionsgefahr behandelt werden.

2.1.2 In allen Werken, in denen brennbare Stäube gehandhabt werden, sollten Änderungsmanagementprozesse eingeführt werden, um sicherzustellen, dass keine Änderungen vorgenommen werden, die die Schwere oder die Folgen einer vorhandenen Staubexplosion erhöhen oder eine Staubexplosionsgefahr verursachen könnten, wo eine solche bisher nicht vorhanden war. Beispiele für solche Änderungen sind:

- Installation neuer Anlagen wie Mischer, Schleifmaschinen, Schneidwerkzeuge, Staubabscheider, Zyklone usw.
- Erhöhte Temperaturen im Prozess, die dazu führen können, dass das gehandhabte Material trockener wird.
- Hinzufügung neuer Materialien
- Änderung der Produktrezeptur durch Hinzufügung von brennbaren Materialien oder Reduzierung des Anteils an inerten Materialien
- Durchführung von Prozessänderungen, die die Partikelgröße von prozessinternen Materialien verringern

2.1.3 Wenn Prozess-, Anlagen-, Rohmaterial- oder Produktänderungen geplant sind, die die Eigenschaften von Stäuben erheblich verändern könnten, sollten diese Stäube erneut auf ihre Explosivität überprüft werden.

2.1.4. Es sollte sichergestellt werden, dass das Änderungsmanagementverfahren mindestens folgende Punkte umfasst:

- a) Eine Methode zur Festlegung, bei welchen Änderungen das Änderungsmanagementverfahren zur Anwendung kommen sollte
- b) Die Dokumentation des Änderungsvorhabens
- c) Eine formale Analyse der Schadenminimierungsaspekte des Änderungsvorhabens
- d) Eine Feststellung des Bedarfs an aktualisierten Mitarbeiterschulungen
- e) Mittel zur Information der zuständigen Mitarbeiter, z. B. Instandhaltungstechniker, Bediener, Sicherheits- und Notfalleinsatzkräfte, über die Veränderung und die Auswirkungen auf die Schadenminimierung
- f) Alle erforderlichen Verwaltungsvorgänge (Dokumentation, Gefahren-Checklisten, Schulungen usw.)
- g) Alle erforderlichen Befugnisse

2.1.5 Wenn eine Staubexplosionsgefahr besteht, ist es auf folgende Arten möglich, das Staubexplosionspotenzial zu eliminieren oder die Folgen zu minimieren:

- a) Begrenzung von Staubfreisetzungen durch Einhausungen, Sammelsysteme und besondere Anlagenkonstruktion.
- b) Verlegung der Produktion mit dem Anfall von Staub in Bereiche, die durch bauliche (staubdichte und explosionsfeste) Barrieren oder einen Abstand von verschiedenen Gefahrenbereichen abgetrennt sind.
- c) Minimierung der Gefahr von Staubansammlungen durch Anordnungen von Gebäudeelementen und Anlagen, die die Wahrscheinlichkeit von Staubansammlungen verringern. Verwendung glatter, leicht zu reinigender Wände, Verpackung oder Abdeckung horizontaler Flächen (Träger, Balken usw.) und Einsatz von um mindestens 60° geneigten Flächen.
- d) In Gebäuden mit Staubansammlungen: Auslegung der Struktur derart, dass die potenzielle Explosion durch eine schadenbegrenzende Konstruktion sicher abgeleitet wird.
- e) Aufstellung der Staubabscheider- und Förderanlagen im Außenbereich mit Abstand zu wichtigen Gebäuden und Versorgungseinrichtungen.
- f) Auslegung von Anlagen, die brennbare Partikel verarbeiten oder transportieren, um potenzielle Explosionen zu widerstehen oder sicher abzuleiten.
- g) Wenn eine Explosionsdruckentlastung oder -eindämmung in Anlagen nicht möglich ist, sollte der Sauerstoff aus der Anlage durch Inertisierung eliminiert werden oder ein Explosionsunterdrückungssystem installiert werden.

2.1.6 Produktions- und Schutzanlagen sollten auf angemessene Weise instand gehalten werden. Ein angemessenes Instandhaltungsprogramm sollte Folgendes beinhalten:

- a) Kontinuierliche Auffindung und Beseitigung von Ursachen der Staubfreisetzung.
- b) Inspektion, Prüfung und Instandhaltung (entsprechend den Herstellerrichtlinien oder mindestens monatlich) von Funkenmelde- und Löschanlagen, Explosionsentkopplungsvorrichtungen und Entlastungsvorrichtungen, um sicherzustellen, dass sie ordnungsgemäß funktionieren
- c) Prüfung und Instandhaltung von Metall- und Nichtmetall-Erkennungs- und Ausschleusungsgeräten (entsprechend den Herstellerrichtlinien oder mindestens vierteljährlich), um sicherzustellen, dass sie ordnungsgemäß funktionieren.
- d) Überprüfung von Bändern und rotierenden Ausrüstungsteilen (mindestens vierteljährlich), um zu verhindern, dass diese zu einer Quelle von Reibungswärme werden
- e) Schmierung (entsprechend den Herstellerrichtlinien oder mindestens vierteljährlich) von Lagern und rotierenden Ausrüstungsteilen (Lüfter, Gebläse, Zerkleinerer)
- f) Entfernung (mindestens vierteljährlich) von Staubablagerungen auf Lagern und Bauteilen von rotierenden Ausrüstungsteilen, um eine freie Bewegung sicherzustellen und Reibungserwärmung zu verhindern
- g) Festlegung von Verantwortlichkeiten und Führung von Protokollen

2.1.7 An allen Standorten, an denen – entweder in geschlossenen Verarbeitungsanlagen oder als freigesetzter Staub in den Gebäuden – brennbarer Staub vorhanden ist, sollte ein Programm zur Erkennung von Risiken von Staubexplosionen und -bränden eingeführt werden. Dieses Programm sollte Folgendes beinhalten:

- a) Grundlegende Schulungen zur Förderung des Bewusstseins und Verständnisses der Gefahren von brennbaren Stäuben
- b) Einweisung neuer Mitarbeiter in die besonderen Gefahren und Vorsichtsmaßnahmen, die für ihre Abteilungen relevant sind
- c) Mindestens jährliche Unterweisung, Einübung und Einweisung der örtlichen Feuerwehr und/oder interner Löschteams
- d) Regelmäßige Auffrischungsschulungen für alle Mitarbeiter im Werk

2.1.8 An Orten mit brennbaren Stäuben sollten potentielle Zündquellen strikt kontrolliert werden.

- a) Sicherstellung, dass alle elektrischen Betriebsmittel nach dem National Electric Code NFPA 70, Artikel 500, 502 und 506, der Klasse II, Division 1 oder 2 bzw. Zone 20, 21 oder 22 ausgelegt sind. (Weitere Informationen zur Bereichsklassifizierung und Geräteauswahl sind in FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 5-1, *Electrical Equipment in Hazardous Locations*, zu finden.)
- b) Anwendung eines Heißarbeiten-Genehmigungsverfahrens zur Planung und Durchführung aller Heißarbeiten. (Informationen dazu sind in FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 10-3, *Planung und Durchführung von Heißarbeiten (P9601)*, und dem *Hot Work Management Kit (P9601)* zu finden.)
- c) Verbot von Rauchen und offenem Feuer.

d) Erdung und Potenzialausgleich von metallischen Bauteilen mit einem Widerstand unter 1×10^6 Ohm. (Siehe FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 5-8, *Statische Elektrizität*.) Überprüfung der durchgehenden Verbindung Festigkeit der metallischen Bauteile und der Sicherheit aller Potenzialausgleichsanschlüsse mindestens einmal im Jahr.

2.1.9 Abluft von Luft-Material-Abscheidern sollte nicht in Gebäude oder Räume abgeleitet werden, außer dort, wo entweder Punkt a) oder alle Punkte b) bis h) zutreffen:

- a) Der Abluftkanal führt die Luft in einen Bereich, der keinen Schwebstaub und keine brennbaren Anlagen oder Lagergüter enthält, dessen Bauweise nicht brennbar ist und in dem sich keine hochwertigen oder produktionswichtigen Anlagen befinden.
- b) Dem Staubabscheider ist ein Filter nachgeschaltet, der die Rückkehr von Staub in die Einhausung mit einer Mindesteffizienz von 99,9 % bei 10 Mikrometer verhindert UND
- c) es ist ein Gerät installiert, das den Druckabfall im ganzen Filter misst und einen Alarm ausgibt, wenn der Filter gereinigt oder ausgetauscht werden muss UND
- d) der Filter wird durch ein Drahtgitter oder auf andere Weise gestützt, sodass er einem Druck von mindestens dem Vorhersagewert (P_{red}) für den Anlagenteil standhält, der ihm direkt vorgeschaltet ist UND
- e) zwischen dem Gebäude und dem letzten nachgeschalteten Staubabscheider in der Anlage sind Explosionsentkopplungen installiert UND
- f) bei Aktivierung der Explosionsentkopplungsanlage wird jeder mit ihr verbundene Staubabscheider ausgeschaltet UND
- g) brennbare Dampf-, Gas- oder Hybridgemische sind nicht beteiligt UND
- h) der Staubabscheider entspricht den Schutzanforderungen in anderen Abschnitten dieses Datenblatts.

Wenn diese Einrichtungen vorhanden sind, macht die Aufbereitung der Abluft aus Staubabscheidern keine Explosionsschutzmaßnahmen wie Druckentlastungen usw. für das Gebäude/den Raum erforderlich. (Andere im Gebäude/Raum vorhandene Faktoren könnten dies jedoch erfordern).

2.2 Raum-/Gebäude-Explosionsrisiko

2.2.1 Bauweise und Standort

Bereiche, in denen brennbare Stäube gehandhabt werden, sollten von anderen weniger gefährlichen Belegungen durch trennende Konstruktionen oder risikogerechte Abstände isoliert werden, um den Schaden durch eine potenzielle Explosion oder einen Brand zu minimieren. Bereiche, die isoliert werden müssen, sind solche, in denen Staubfreisetzung nicht ohne Weiteres kontrolliert werden kann, weil Arbeiten wie z. B. Schleifen, Aufrauen, Sägen, offene Förderung, Füllen oben offener Behälter usw. stattfinden. Ausgenommen wären beispielsweise Räume mit ordnungsgemäß druckentlastete Staubabscheider, Sprühtrocknern, Flüssigbettrocknern usw.

Bei Neubauten, in denen ein gewisser Staubfreisetzung wahrscheinlich ist, kann die Vergrößerung der Explosionsdruckentlastung über die Berechnung von DustCalc hinaus zukünftige Flexibilität für Prozess- oder Materialänderungen bieten und oft mit geringen zusätzlichen Kosten erfolgen.

2.2.1.1 Bereiche, in denen brennbare Stäube gehandhabt werden, sind mithilfe der unten in der Reihenfolge ihrer Präferenz aufgeführten Methoden zu isolieren (siehe auch Abbildung 1, Tabelle 1):

- a) Freistehender Außenstandort in einem Mindestabstand von 15 m zu einem wichtigen Gebäude oder Anlagenteil (Abb. 1, Position 1).
- b) Entlang der Außenwand eines wichtigen Gebäudes, vorzugsweise an einer Ecke, um die Gefährdung zu begrenzen (Abb. 1, Position 2).
- c) In einem wichtigen Gebäude im ersten Stock, entweder an einer äußeren Ecke oder an einer Außenwand. Standorte in den oberen Stockwerken von mehrgeschossigen Gebäuden sollten vermieden werden. Wo höhergelegene Standorte unvermeidbar sind, sollte sichergestellt sein, dass der Boden und die Decke des Raums die gleiche Druckfestigkeit aufweisen wie die Wände. (Abb. 1, Standorte 3 und 4)

Wenn dies durch die Software DustCalc bestätigt wird, kann ein geringerer Abstand gewählt werden als oben in "a" empfohlen oder als der Abstand X in Tabelle 1.

2.2.1.2 Unterirdische Standorte, die nicht mit einer geeigneten Explosionsdruckentlastung ausgestattet werden können, sind zu vermeiden.

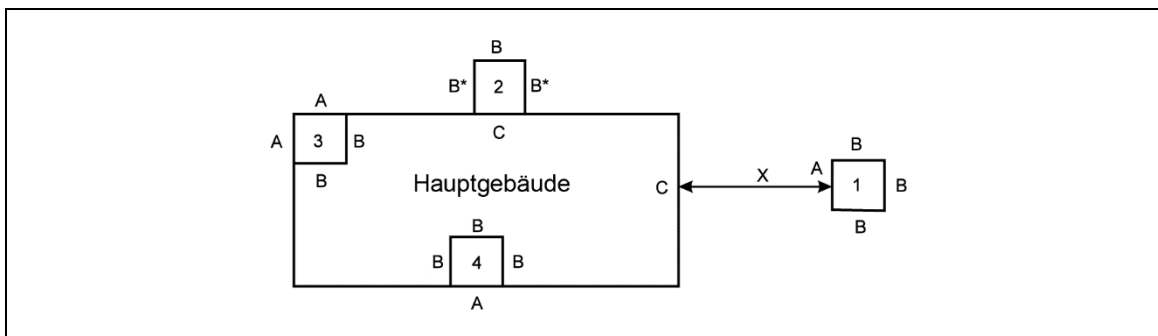


Abb. 1: Bevorzugte Standorte für Prozesse oder Anlagen, an denen brennbare Stäube gehandhabt werden

Tabelle 1: Bauweise von Belegungen zur Handhabung von Stäuben

Standort	Abstand X, m	Raum-/Gebäudekonstruktion			Bauweise der gefährdeten Wand C	
		A	B	Dach		
1 (Anmerkung 3)	> 50 (15)	DE	DE	DE oder LB	Alle	
	10 – 50 (3 – 15)	DF	DE	DE oder LB	Alle	
	< 10 (3)	DF	DE	DE oder LB	DF für 3 m horizontal und vertikal über die Struktur, von der die Gefahr ausgeht, hinaus	
2	Angrenzend	Unzutreffend	B	B*	DE oder LB	DF für 3 m horizontal und vertikal über die angrenzende Struktur hinaus
			DE	DE		
	Angrenzend	Unzutreffend	B	B*	DF	DF für 3 m, horizontal über die angrenzende Struktur hinaus
			DE	DE		
	Angrenzend	Unzutreffend	B	B*	DF	DF nur für angrenzende Wand
			DE	DF		
3 (Anmerkung 5)	Innen	DE	DF	DF	Unzutreffend	
4 (Anmerkung 5)	Innen	PV	DF	DF	Unzutreffend	

1. In dieser Tabelle wird nur der Schutz vor Explosionsgefahr beschrieben.

2. Die Bauarten sind wie folgt definiert:

DF = Druckfest

DE = Druckentlastung

LB = Leichtbau, nicht brennbar

3. Sofern dies durch Berechnungen der Software DustCalc bestätigt wird, kann der Abstand X von Position 1 geringer sein als oben aufgeführt.

4. Auch für Böden und Decken mit Räumen unterhalb oder oberhalb von weniger gefährdeten Belegungen ist eine druckfeste Bauweise erforderlich.

5. Wenn eine ausreichende Druckentlastung allein durch die Wände möglich ist, müssen Dächer (nicht Decken) nicht mit Druckentlastungsvorrichtungen ausgestattet werden.

2.2.1.3 Gebäude, in denen eine Gefahr durch brennbare Stäube besteht, sollten aus nichtbrennbaren oder FM Approvals geprüften Materialien der Klasse 1 errichtet werden.

2.2.1.4 Physische Barrieren zur Abtrennung staubgefährdeter Bereiche sollten mithilfe nichtbrennbarer Materialien staubdicht abgeschottet werden. Wenn die Barrieren feuerfest sind, sollte sichergestellt werden, dass für die Dichtungen dieselbe Einstufung gilt.

2.2.1.5 Empfohlen wird die Nutzung von Türdichtungen, Fensterdichtungen, Überdruckaufbau im Raum usw., um zu verhindern, dass Staub in angrenzende Bereiche, die nicht über eigene Schwebstaubquellen verfügen, eindringt und sich ansammelt.

2.2.1.6 Es sollte sichergestellt werden, dass physische Barrieren, die Staubgefahrenbereiche isolieren, über eine ausreichende Explosionsdruckfestigkeit verfügen, um ein Versagen zu verhindern, bevor der Druck sicher abgeleitet werden kann.

2.2.1.7 Es sollten keine Öffnungen in explosionsdruckfesten Wänden zugelassen werden. Wenn Öffnungen nicht vermieden werden können, sollten alle Türen in diesen Wänden im Normalfall geschlossen gehalten werden und die gleiche Explosionsdruckfestigkeit aufweisen wie die Wände selbst. (Informationen zur Auslegung und Installation von explosionsgeschützten Türen und Fenstern sind in FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 1-44, *Damage-Limiting Construction*, zu finden.)

2.2.1.8 Druckwiderstands- und Druckentlastungsbereiche sind entsprechend den mit der FM Global Software DustCalc durchgeführten Berechnungen zu installieren.

2.2.1.9 In Gebäuden, in denen trotz Prozessauslegung und Anlageninstandhaltung ein gewisser Anfall von Staub zu erwarten ist, sollten Gebäudeelemente und -anlagen so angeordnet werden, dass die Wahrscheinlichkeit und die Menge von Staubansammlungen durch einige oder alle der folgenden Elemente, sofern zutreffend, reduziert wird:

- a) Installation glatter Innenwände mit minimalen Vorsprüngen.
- b) Soweit praktikabel, Ausstattung von horizontalen Oberflächen wie Trägern, Balken, Vorsprüngen und Anlagenoberseiten mit geeigneten Abdeckungen mit glatter Oberfläche zur Verringerung der Staubablagerung aus der Luft.
- c) Neigung von Abdeckungen in einem Winkel von 60° von der Horizontalen, es sei denn, eine geringere Neigung reicht erwiesenermaßen aus.
- d) Verkleidung hoch gelegener Stahlkonstruktionen, die sich außerhalb der Reichweite normaler Absaug- oder Wischvorgänge befinden und horizontale Vorsprünge aufweisen (wie L-Balken oder U-geformte Kanäle in aufrechter oder seitlicher Position), mit einem nichtbrennbaren Material, um Aussparungen, in denen sich Stäube ansammeln können, zu vermeiden.

2.2.2 Belegung

2.2.2.1 Gebäude können als nicht staubexplosionsgefährdet eingestuft werden, wenn sie Entstaubungsanlagen für brennbaren Staub enthalten, die gemäß den entsprechenden Abschnitten dieses Datenblattes so ausgelegt und geschützt sind, dass sie eine interne Explosion kontrollieren oder sicher ableiten können.

2.2.2.2 Je nach Erfordernis sollten einer oder alle der folgenden Schritte unternommen werden, wenn freigesetzte Staubmengen in bestehenden Betriebsabläufen übermäßig auftreten:

- a) Untersuchung von Prozessanlagen, um die Stauffreisetzungquellen zu ermitteln.
- b) Umbau, Reparatur oder Austausch von Anlagen, um den Staubaustritt zu eliminieren oder zumindest zu reduzieren.
- c) An den Stellen, an denen häufig große Mengen Staub freigesetzt werden, z. B. durch Schleifen, Verputzen, Abkippen von Beuteln, offene Übergabepunkte in Förderanlagen und anderen Anlagen/Standorten, sollten permanente Ansaugstellen für die Aspiration vorgesehen werden. In einigen Fällen kann dies den Bau einer belüfteten Haube oder Einhausung für vorhandene Anlagen erfordern.
- d) Betrieb von geschlossenen staubführenden Anlagen unter leichtem Unterdruck, um den Staubaustritt zu verringern.
- e) Durchführung zusätzlicher Maßnahmen der allgemeinen Ordnung und Sauberkeit für bestehende Betriebsabläufe, solange Anlagen umgebaut werden (siehe Abschnitt 2.2.4).

2.2.2.3 Kleine, örtlich begrenzte Mengen (unter 5 % der Gebäudefläche und in keinem Fall über 93 m²) von freigesetztem Staub in vorhandenen Gebäuden können ohne schadenbegrenzende Konstruktion toleriert werden, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- a) Der Austritt und die Ansammlung von freigesetztem Staub werden äußerst niedrig gehalten, d. h. vierteljährlich unter 2 mm für einen Staub mit einer ungefähren Schüttdichte von ca. 580 kg/m³ UND
- b) das Reinigungsintervall reicht dafür aus, dass eine geplante Reinigung ausfallen kann, ohne dass Staubansammlungen die oben genannte nicht akzeptable Höhe von 2 mm überschreiten.

2.2.3 Schutz

2.2.3.1 Es sollten druckentlastende und -feste Wände gemäß FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 1-44, *Damage-Limiting Construction*, errichtet werden.

- a) Der Explosionsentlastungsdruck (P_{stat}) sollte so niedrig sein, wie es die Windwiderstandsauslegung zulässt. In einer Schwachwindzone kann der Wert P_{stat} bei 0,01 bar liegen, während in Starkwindzonen um die 0,015 bar erforderlich sind.
- b) Druckfestigkeit und Druckentlastungsbereiche sind entsprechend den mit der FM Global Software DustCalc durchgeführten Berechnungen auszulegen.

2.2.3.2 Es sollten keine Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen im Dach verwendet werden, um eine Explosionsentlastung zu erzielen.

2.2.3.3 Wenn eine gründliche technische Studie zeigt, dass Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen allein nicht den erforderlichen Explosionsdruck-Entlastungsbereich bereitstellen können, können Druckentlastungseinrichtungen im Dach verwendet werden, um einen Teil des erforderlichen Druckentlastungsbereichs zu gewährleisten, wenn sich an der Druckentlastungsvorrichtung kein Schnee und Eis bilden dürfen. Eine der folgenden Methoden ist akzeptabel:

- a) Die Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung sollten in einem Winkel von mindestens 60° positioniert werden, entweder auf einem Dach in diesem Winkel oder als Überstand über der Dachlinie (siehe Abbildung 2). Bei über die Dachlinie herausragenden Druckentlastungsflächen ist der effektive Druckentlastungsbereich, der bei der Berechnung der Dimensionierung der Druckentlastung verwendet werden soll, die kleinste Querschnittsfläche, durch die die Verbrennungsgase fließen müssten.
- b) Entlang des äußeren Randes und über die Oberfläche der Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung sollte eine Begleitheizung installiert werden.
1. Die Begleitheizung sollte dauerhaft eingeschaltet gelassen oder das System automatisch aktiviert werden, wenn die Außentemperatur auf 0 °C oder niedriger fällt.
 2. Es ist sicherzustellen, dass die Verkabelung für die Begleitheizung ausreichend Spielraum hat, damit die Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung wie vorgesehen auslöst.
 3. Es sollten FM Approvals geprüfte Begleitheizungen verwendet werden.
- c) Es sollten Explosionsdruckentlastungspaneele ohne Dämmung verwendet werden, damit die Gebäudewärme Schnee oder Eis wegschmelzen kann. Unterhalb der Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung ist Kondensation zu erwarten und es sollten Maßnahmen ergriffen werden, um sicherzustellen, dass diese Kondensation keine Probleme verursacht.

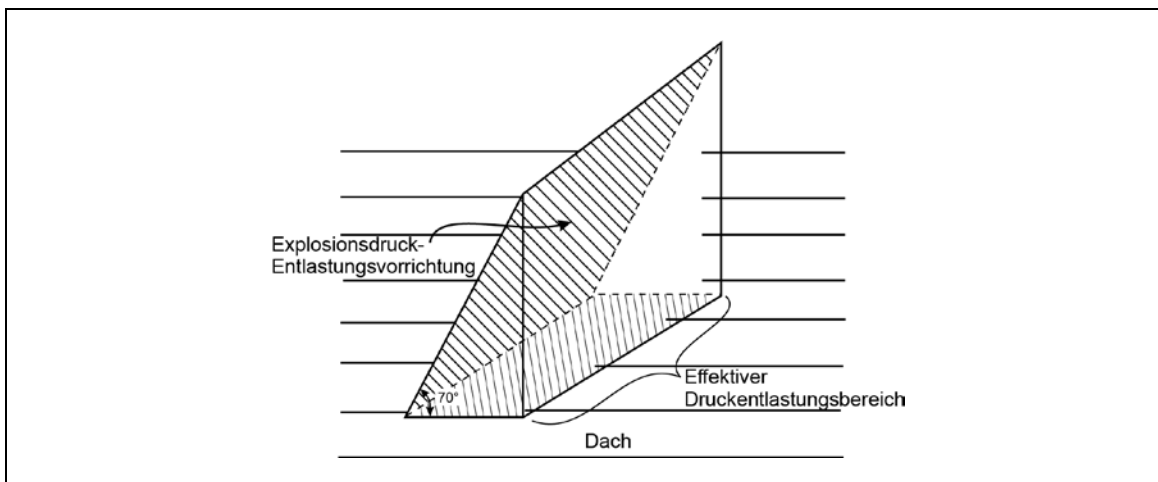


Abb. 2: Schematische Darstellung einer über die Dachlinie herausragenden Dach-Explosionsdruckentlastung

2.2.3.4 Wenn Explosionsdruck-Entlastungsvorrichtungen nicht bersten, sondern aus dem Weg schwingen, sollten schwerkraftgesteuerte oder mechanische Vorrichtungen verwendet werden, um sicherzustellen, dass sie nicht wieder zurückschwingen. (3.1.9)

2.2.3.5 Um zu verhindern, dass Explosionsdruckentlastungs-Paneele unkontrolliert austreten und zu gefährlichen Geschossen werden können, sollten die folgenden Maßnahmen ergriffen werden:

- a) Es sollten Sicherungskabel zur Begrenzung der Entlastungsbewegung angebracht werden.
- b) Die Sicherungskabel sollten an nicht mehr als zwei Ecken befestigt werden, wobei darauf zu achten ist, dass die gesicherten Ecken nebeneinander liegen.
- c) Um zu verhindern, dass die gesicherten Paneele nach der Explosion wieder in die Entlastungsöffnung zurückschwingen, sollten die Kabel an der Seite oder an der Unterseite – nicht an der Oberseite – der Abdeckung befestigt werden. Dadurch können die Paneele vollständig aus dem Weg der Entlastungsöffnung ausschlagen, sodass die Verbrennungsgase während der Explosion ungehindert strömen können und nach der Explosion Frischluft in die geschützte Einhausung gelangen kann.
- d) Die minimale Kabellänge ist entsprechend der folgenden Gleichung festzulegen:

$$l \geq \frac{a \times b}{2 \times (a+b)}$$

wobei

l = Länge der Sicherungskabel

a, b = Seitenabmessungen der Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung

e) Wenn die Länge des Sicherungskabels geringer ist als mit der Formel oben festgelegt, sollte die Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung bei der Berechnung des Druckentlastungsbereichs und des entlasteten Drucks (Pred) als mit Scharnieren verankertes Paneel betrachtet werden. Dadurch wird die Beeinträchtigung des Entlastungsprozesses durch die zu kurzen Sicherungskabel kompensiert.

f) Wenn sich an allen vier Ecken Sicherungskabel befinden, kann dies als tolerierbar angesehen werden, sofern die Kabellänge den oben unter d) festgelegten Mindestwert überschreitet. Bei einer Unterschreitung dieses Wertes ist der Entlastungsbereich auf den ringförmigen Raum beschränkt, der durch die Kabellänge und die Abmessungen des Paneels bestimmt wird, und erstreckt sich nicht auf die Größe des Paneels selbst.

2.2.3.6 Sprinklerrohrleitungen dürfen nicht an Wänden, Decken oder Dächern angebracht werden, die durch den Druck einer Raum- oder Gebäudeexplosion bewegt werden könnten.

2.2.4 Betrieb und Instandhaltung

2.2.4.1 In Gebäuden, in denen Staub trotz Prozessdesign und Anlageninstandhaltung freigesetzt wird, sollten die folgenden Maßnahmen in einem Staub-Kontrollprogramm berücksichtigt werden:

- a) Es sollten Verantwortlichkeiten festgelegt und Protokolle geführt werden.
- b) Zeitabschnitte und Hilfsmittel sollten regelmäßig zugeteilt werden.
- c) Ein Instandhaltungsplan sollte aufgestellt und regelmäßig auf seine Eignung geprüft werden.
- d) Insbesondere ist auf die Beseitigung von Staubansammlungen über Bodenhöhe, wie z. B. auf Anlagenoberseiten und tragenden Gebäudeteilen, zu achten, weil dort die Wahrscheinlichkeit größer ist, dass dieser Staub in einen Schwebzustand gerät und eine explosive Wolke entsteht, wenn er aufgewirbelt wird.
- e) Wo immer dies möglich ist, sollte der Staub abgesaugt werden, wobei je nach Bedarf ein zentrales System oder tragbare oder auf einem Fahrzeug montierte Geräte zum Einsatz kommen können.
- f) Wo das Absaugen nicht möglich ist, wären Kehren oder Abwaschen mit Wasser weitere akzeptable Alternativen.
- g) Wenn ein Abblasen mit Druckluft die einzige praktikable Reinigungsmethode ist, sollten die folgenden Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden:
 1. Das Abblasen sollte so häufig erfolgen, dass sich keine gefährlichen Staubansammlungen bilden können.
 2. Das Abblasen sollte jeweils auf eine kleine Fläche begrenzt und mit dem geringstmöglichen Luftvolumen und -druck durchgeführt werden.
 3. Elektrische Betriebsmittel, die nicht für Örtlichkeiten der Explosionsgefahrenklasse II, Division 2, ausgelegt sind, sollten abgeschaltet werden.
 4. Der Umgang mit offenen Flammen sowie Heißenarbeiten sollten untersagt werden und es sollte sichergestellt sein, dass keine heißen Oberflächen vorhanden sind.

2.2.4.2 Jede Ansammlung von Staub kann eine Sekundärexplosion verursachen und sollte daher in Gebäuden ohne schadenbegrenzende Konstruktion verhindert bzw. in Gebäuden mit einer solchen Konstruktion kontrolliert werden (3.1.1).

- a) Die Staubreinigung sollte so häufig erfolgen, dass Staubansammlungen von mehr als 2 mm auf mehr als 5 % der Raumbodenfläche vermieden werden.
- b) Die Reinigung sollte erfolgen, wenn die Ansammlung von Schwebstaub einen dieser beiden Werte (Höhe oder Fläche) überschreitet.
- c) Es sollte sichergestellt werden, dass die Fläche der Staubansammlungen insgesamt nicht größer ist als 93 m².
- d) Die Höhe von 2 mm basiert auf typischem Holz- oder landwirtschaftlichem Staub mit einer Schüttdichte von ca. 580 kg/m³. Für die Höhe von Staub mit einer anderen Dichte kann ein Verhältnis der Schüttdichten herangezogen werden.

2.2.4.3 Die Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen sollten regelmäßig überprüft werden, um zu verhindern, dass ihre Beweglichkeit beeinträchtigt wird bzw. sich ihr Zustand verschlechtert. Mögliche Gründe für solche Verschlechterungen sind:

- a) Korrosion
- b) Unzulässiges Lackieren der beweglichen Teile oder Berstmembranen
- c) Vereisung
- d) Schneeansammlung auf oder vor den Druckentlastungseinrichtungen

- e) Behinderung durch Leitungen, Drähte oder andere Einrichtungen
- f) Ständiges oder vorübergehendes Vorhandensein von Geräten in der Nähe einer Druckentlastungseinrichtung

Jeder dieser Faktoren kann den effektiven Entlastungsdruck (P_{stat}) erhöhen und dazu führen, dass die explosionssicheren Wände versagen und/oder die Gebäudestruktur bei einer Explosion beschädigt wird.

2.3 Anlagen-Explosionsrisiko

2.3.1 Allgemeines

2.3.1.1 Alle Geräte, die eine Explosionsgefahr darstellen, sollten möglichst im Freien aufgestellt werden (3.1.2).

2.3.1.2 Wenn eine Anlage explosionsgefährdet ist, sollte einer der folgenden Schritte ausgeführt werden:

- a) Beseitigung der Explosionsgefahr durch eines der in Abschnitt 2.3.2 beschriebenen Verfahren ODER
- b) Minderung der Auswirkungen einer Explosion der durch Explosionsdruckentlastung, -unterdrückung oder -eindämmung, Vakuumbetrieb oder eine geeignete Kombination dieser Maßnahmen wie in Abschnitt 2.3.3 beschrieben.

2.3.2 Beseitigung von Explosionsgefahr

2.3.2.1 Wenn in einer Anlage ein grobkörniges Material gehandhabt wird, sollte verhindert werden, dass dabei Staub erzeugt wird, indem geeignete Verfahren angewendet werden oder das grobe Material gereinigt wird, um alle Feinanteile aus dem größten Teil der Prozessanlagen zu entfernen.

2.3.2.2 Wenn mit grobkörnigem Material umgegangen wird, sollte die Staubentwicklung während der Materialhandhabung verhindert werden, indem in die Luft suspendierter Staub innerhalb der Verarbeitungsanlage durch einen Flüssigkeitsnebel (Wasser oder eine andere kompatible Flüssigkeit) wie folgt entfernt wird:

- a) Das flüssige Staubunterdrückungsmittel sollte an einem Punkt des Prozesses beaufschlagt werden, an dem erhebliche Turbulenzen auftreten, z. B. an einem Auslass, um sicherzustellen, dass das Staubunterdrückungsmittel gründlich mit dem Materialfluss vermischt wird.
- b) Es sollte eine Verriegelung installiert werden, die den Feststoffprozessstrom bei einer Fehlfunktion des Staubunterdrückungsmittel-Sprühsystems abschaltet, wenn dieses System als alleiniges Mittel zur Gefahrenkontrolle dient.
- c) Die Effektivität des Systems zur Staubbeseitigung in den Anlagen ist durch eine Sichtprüfung während des Betriebs zu bestätigen, z. B. durch Öffnen von Zugangs- oder Inspektionsöffnungen.
- d) Ein Instandhaltungs- und Inspektionsprogramm mit schriftlichen Verfahren und Protokollen sollte ausgearbeitet werden, um sicherzustellen, dass das Staubunterdrückungssystem bei jeder Handhabung des Feststoff-Prozessstroms einwandfrei funktioniert.

2.3.2.3 Brennbare Stäube sollten durch Mischen mit nichtbrennbaren Stäuben folgendermaßen (3.1.3) inertisiert werden („Phlegmatisierung“):

- a) Es sollte überprüft werden, ob das Gemisch gemäß ASTM E1226, EN 14034-1 und 2 oder einer gleichwertigen internationalen Norm nicht explosiv ist.
- b) Es sollte sichergestellt werden, dass sich der nichtbrennbare Staub bei der weiteren Handhabung nicht vom brennbaren Staub löst.

2.3.2.4 Der Sauerstoffanteil im Prozess sollte mithilfe von Inertgas entsprechend den Empfehlungen in FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 7-59, *Inerting and Purging of Equipment*, reduziert werden.

2.3.2.4.1 Wenn der Wert der Sauerstoffgrenzkonzentration für ein zu bearbeitendes Material nicht in FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 7-59 zu finden ist, sollten Labortests der Materialien durchgeführt werden, um diesen Wert zu bestimmen.

2.3.2.4.2 Wenn eine inerte Atmosphäre zum Schutz der pneumatischen Förderung frisch gemahlener oder frisch hergestellter Leichtmetallpulver (Aluminium, Magnesium, Titan, Zirkonium) verwendet werden soll,

- a) sollte eine Mindestsauerstoffkonzentration von 1 % eingehalten werden, um sicherzustellen, dass eine stabile Oxidschicht gebildet werden kann, um den Staub zu passivieren.
- b) Wenn das Metallpulver nicht Luft ausgesetzt werden soll oder aufgrund der Tests ein niedrigerer Sauerstoffgehalt hingenommen werden kann, sind Konzentrationen unter 1 % akzeptabel.

2.3.2.4.3 Die Metallpulver Titan, Magnesium, Zirkonium, Uran und Thorium entzünden sich in reinem Kohlendioxid. Für Inertierungsprozesse, bei denen mit diesen Materialien umgegangen wird, sollte Argon, Helium oder Stickstoff (außer wenn Titan beteiligt ist, das sich in reinem Stickstoff entzünden kann) verwendet werden.

2.3.2.5 Als Alternative zu einer inerten Atmosphäre für die Handhabung von frisch gefertigtem Leichtmetallpulver (Aluminium, Magnesium, Titan, Zirkonium) sollte wie folgt vorgegangen werden.

- a) Verwendung von Staubabscheidern Staubsammlern mit Nassfiltern (Wasserspülung) anstelle von Trockenfiltern.
- b) Entfernung und sichere Entsorgung von angesammelten Ablagerungen vor dem Abschalten des Sammelsystems.
- c) Der Abscheider sollte fortwährend belüftet werden, bis die Metall-/Wasserablagerungen daraus entfernt werden.

Aluminium weist eine sehr niedrige MZE-Konzentration (nur 0,1 mJ) auf, wodurch es leicht entzündlich ist. Metallpulver können im Allgemeinen eine hohe K_{st} aufweisen und es ist sehr schwierig, eine ausreichende Explosionsdruckentlastung zu gewährleisten. Wenn Aluminiumpulver mit Wasser angefeuchtet wird, können sich kleine Mengen Wasserstoff bilden, sodass es jederzeit feucht gehalten werden muss.

2.3.3 Minderung von Explosionsgefahr

2.3.3.1 Druckentlastung

2.3.3.1.1 Druckentlastungsflächen sollten gemäß den Berechnungen mit der FM Global Software DustCalc (3.1.4) ausgelegt werden.

2.3.3.1.2 Wenn Anlagen in Gebäuden mit Explosionsgefahr nicht ins Freie verlegt werden können, sollte eine Explosionsdruckentlastung auf eine der folgenden Arten installiert werden:

- a) Aufstellung des Behälters neben einer Außenwand und Ableitung der Explosion über einen kurzen Druckentlastungskanal ins Freie.
- b) Explosionsdruckentlastung in die Umgebung durch eine FM Approvals geprüfte flammenlose Druckentlastung in einen Bereich ohne Schwebstaub (3.1.5).
 1. Eine Vergrößerung des Druckentlastungsbereichs (im Vergleich zu einer offenen oder ungehinderten Druckentlastung) ist erforderlich, um die durch die flammenlose Druckentlastung verursachte verringerte Entlastungseffizienz auszugleichen.
 2. Die Druckentlastungseffizienz für FM Approvals geprüfte flammenlose Druckentlastungsvorrichtungen sollte wie in dem von FM Approvals herausgegebenen Approval Guide aufgeführt angewendet werden.

Wenn die oben genannten Maßnahmen nicht praktikabel sind, sollten andere in Absatz 2.3.1.2.b beschriebene Verfahren zur Minderung der Explosionsgefahr angewendet werden.

2.3.3.1.3 Bei Berechnungen der Druckentlastungsfläche, für die keine Daten zur Bemessungsstärke der Anlage verfügbar sind, sollten die folgenden Werte von P_{red} (maximal zulässiger Druck) für normal konstruierte Anlagen verwendet werden, wobei davon ausgegangen wird, dass bei einer Explosion mit sicherer Druckentlastung eine gewisse Verformung des Behälters auftreten kann:

- a) Schwache rechteckige Behälter (z. B. Staubabscheider mit Filter): 0,2 barg
- b) Zylindrische Behälter (z. B. Zyklone) oder starke (verstärkte) rechteckige Behälter: 0,3 barg (3.1.6)

2.3.3.1.3.1 Für Behälter, bei denen eine Verformung nicht akzeptabel ist, muss die Bemessungsfestigkeit der Anlage ermittelt oder von $1/2$ der oben angegebenen Werte für P_{red} ausgegangen werden.

2.3.3.1.4 Der Explosionsentlastungsdruck (P_{stat}) sollte gemäß den folgenden Kriterien so niedrig wie möglich eingestellt werden:

- a) Nicht über 0,05 barg, wenn der Behälter unter diesem Druck arbeitet ODER
- b) Mindestens 0,1 barg unter dem angenommenen P_{red} für einen höheren Betriebsdruck

2.3.3.1.5 Zur Berechnung der Druckentlastungsfläche, in dem die Daten zur Bemessungsstärke der Anlage verfügbar sind, sollte der Wert von P_{red} entsprechend den folgenden Kriterien eingestellt werden:

- a) Wenn eine Behälterverformung akzeptabel ist, sollte ein Wert verwendet werden, der der doppelten Konstruktionsfestigkeit entspricht.
- b) Wenn eine Behälterverformung verhindert werden soll, sollte ein Wert verwendet werden, der der einfachen Konstruktionsfestigkeit entspricht (3.1.6).

2.3.3.1.6 Die Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen sollten so leicht wie möglich sein (Masse pro Flächeneinheit), um die erforderliche Druckentlastungsfläche zu minimieren. Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen, bei denen es sich um Berstmembranen handelt (z. B. vorgefertigte Berstscheiben, Aluminiumfolie usw.), haben praktisch keine Trägheit und erfordern keine Anpassung des erforderlichen Explosionsdruckentlastungsfläche (3.1.7).

2.3.3.1.6.1 Wenn die Druckentlastungseinrichtungen schwerer sind als leichte Membranen, sollten die Auswirkungen auf die die Explosionsdruckentlastungsfläche mit der FM Global Software DustCalc berechnet werden.

2.3.3.1.7 Es sollten Druckentlastungskanäle installiert werden, über die die Verbrennungsprodukte entsprechend den folgenden Vorgaben in einen sicheren Bereich geleitet werden:

- a) Die Entlastung sollte in einen sicheren Außenbereich erfolgen.
- b) Die Kanäle dürfen keine Biegungen aufweisen.
- c) Das Verhältnis Länge/Durchmesser (L/D*) des Kanals sollte auf 1 begrenzt werden.
- d) Es sollte sichergestellt werden, dass der Druckentlastungskanal mindestens dem Auslegungsdruck (P_{red}) des Behälters standhält.
- e) Am Austritt des Kanals dürfen keine Verschlüsse angebracht werden, die die freie Ableitung des austretenden Materials behindern.
- f) Wenn die oben genannten Bedingungen nicht erfüllt werden können, sollten die Auswirkungen auf den Entlastungsbereich mit der FM Global DustCalc Software quantifiziert werden (3.1.8).

* Berechnung des äquivalenten Durchmessers (D_{eff}) eines nicht kreisförmigen Kanals wie folgt:

$$D_{eff} = \sqrt{\frac{4A_d}{\pi}}$$

wobei A_d : Querschnittsfläche des Kanals (m^2 oder ft^2)

2.3.3.1.8 Wenn zwischen einer Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung und der freien Atmosphäre ein Drahtgitter oder ein anderes Hindernis installiert werden soll, muss der Wirkungsbereich der Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung wie folgt angepasst werden, um die Effizienz der Druckentlastung zu verringern:

- a) Wenn das Gitter bzw. das Hindernis weniger als 15 % des Explosionsdruckentlastungs-Bereichs einnimmt, ist keine Anpassung erforderlich.
- b) Wenn das Gitter bzw. das Hindernis zwischen 15 % und 40 % der Explosionsdruckentlastungsfläche einnimmt, sollte die effektive Explosionsdruckentlastung wie folgt berechnet werden:

$$A_{v,eff} = A_{v,actual} \times \frac{115\% \text{ Blockierung}}{100}$$

- c) Wenn das Gitter oder das Hindernis 40 % der Explosionsdruckentlastungsfläche überschreitet, ist die Blockierung zu hoch. In diesem Fall sollte das Gitter oder das Hindernis durch ein Element, das eine kleinere Blockierung verursacht, ersetzt werden.

2.3.3.1.9 Wenn Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen nicht bersten, sondern aus dem Weg schwingen, sollten schwerkraftgesteuerte oder mechanische Vorrichtungen verwendet werden, um sicherzustellen, dass sie nicht wieder verschlossen werden und Vakuumbedingungen herstellen, unter denen die geschützten Anlagen einstürzen/implodieren können (3.1.9).

2.3.3.1.9.1 Wenn Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen wieder verschlossen werden können und keine anderen Öffnungen vorhanden sind, die Luft ansaugen könnten, sollten Unterdrucksicherungen installiert werden. (Informationen zu deren Dimensionierung sind in VDI 3673 zu finden.)

2.3.3.1.10 Um zu verhindern, dass Explosionsdruckentlastungs-Paneele unkontrolliert austreten und zu gefährlichen Geschossen werden, sollten Sicherungen gemäß 2.2.3.5 installiert werden.

2.3.3.1.11 In Richtung der Explosionsdruckentlastung (3.1.10.1 und 3.1.10.2) sollten sich keine Objekte befinden, die Brand- oder Druckschäden erleiden können.

2.3.3.1.12 Bei Neuinstallationen sollte ein Abstand von mindestens zwei Explosionsdruckentlastungs-Durchmessern zwischen einem Explosionsdruckentlastungs-Auslass (Fläche der Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung oder des Druckentlastungskanals) und einer großen, festen, flachen Sprühbehinderung (z. B. einer Wand) eingehalten werden. Bei Druckentlastungsauslässen mit anderen Querschnitten als kreisförmig muss der unten berechnete hydraulische Durchmesser verwendet werden (3.1.11).

Hydraulischer Durchmesser = $4A/p$, wobei

A = Querschnittsfläche der Druckentlastung

p = Umfang des Querschnitts

2.3.3.1.13 Wenn über dem Ende eines Explosionsdruck-Entlastungskanals eine Wetterschutzabdeckung (Regenschutz) vorhanden ist, werden die Auswirkungen auf die Druckentlastungseffizienz wie folgt eingeschätzt:

- a) Ein Abstand von mindestens einem Durchmesser der Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung zwischen dem Ende des Kanals und der Wetterabdeckung wirkt sich nicht auf den Wirkungsgrad aus.
- b) Wenn der Abstand zwischen $\frac{1}{4}$ des Durchmessers und dem einfachen Durchmesser der Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung liegt, sollte die Wetterabdeckung bei der Berechnung der Wirkung des Druckentlastungskanals als 90°-Biegung im Abluftstrom betrachtet werden.
- c) Ein Abstand von weniger als $\frac{1}{4}$ des Durchmessers der Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung zum Druckentlastungskanal ist nicht akzeptabel, es sei denn, die Wetterabdeckung ist dafür ausgelegt, im Explosionsfall wegzufiegen.

Bei nicht kreisförmigen Kanälen muss für diese Berechnungen der hydraulische Durchmesser verwendet werden (2.3.3.1.12).

2.3.3.1.14 Keine Explosionsdruckentlastung sollte installiert werden, wenn der Staub oder seine Verbrennungsprodukte giftig, radioaktiv, korrosiv für nahe gelegene Anlagen oder Strukturen sind oder aus einem anderen Grund nicht aus einem ansonsten geschlossenen System austreten dürfen. In diesem Fall sollten Alternativen zur Druckentlastung verwendet werden, z. B. Explosionsgefahreneliminierung, Explosionsunterdrückung, Explosionseindämmung oder Hochvakuumbetrieb.

2.3.3.1.15 Wenn ein Behälter, der eine Explosionsdruckentlastung erfordert, erhebliche Hindernisse für den freien Gasfluss aufweist, sollten mehrere verteilte Entlastungsöffnungen an verschiedenen Stellen des Behälters statt einer einzigen großen Entlastungsöffnung im selben Bereich installiert werden (3.1.12).

2.3.3.1.16 Wenn ein Behälter sowohl Staub als auch Dämpfe brennbarer Flüssigkeiten oder entzündlicher Gase (eine Hybridmischung) enthält, ist für die Reaktivität des Gemischs allein eine größere Druckentlastungsfläche erforderlich als für den brennbaren Staub allein.

- a) Brennbare Dämpfe oder Gase können ignoriert werden, wenn die Konzentration 5 % der unteren Explosionsgrenze (UEG) beträgt oder unterschreitet.
- b) Wenn die Gaskonzentration 5 % der UEG überschreitet, muss die Reaktivität des Gemischs durch Tests bestimmt werden.

2.3.3.1.17 Die erforderliche Explosionsdruckentlastungsfläche für einen Behälter mit Staubexplosionsgefahr, der bei Drücken von über 0,1 bar betrieben wird, muss besonders berücksichtigt und sorgfältig analysiert werden. Die FM Global Software DustCalc kann einen Anfangsdruck von bis zu 4 barg für Explosionen mit vollem Volumen bewältigen.

- a) Den Druckentlastungsdruck (P_{stat}) muss auf mindestens 0,1 barg (3.1.13) über dem normalen maximalen Betriebsdruck eingestellt werden.
- b) Die Bemessungskriterien für die Druckentlastungen sind bei Experten einzuholen, die mit der Druckentlastung bei hohem Anfangsdruck vertraut sind.

2.3.3.1.18 Rückstoßkräfte durch die Explosionsdruckentlastung können sogar große Behälter lösen, wenn diese nicht ordnungsgemäß verankert sind. Zur Steuerung der Rückstoßkräfte ist eine der folgenden Maßnahmen zu ergreifen:

- a) An den gegenüberliegenden Seiten des Behälters sollten gleich große Entlastungsöffnungen installiert werden.
- b) Die Größe und die Dauer der dynamischen Rückstoßkraft (oder einer gleichwertigen statischen Kraft) aus einer Druckentlastung sollten berechnet und Verankerungen installiert werden, die dieser Kraft standhalten (3.1.10.3).

2.3.3.2 Entkopplung

Mehrere miteinander verbundene Anlagen, die eine Staubexplosionsgefahr darstellen, müssen vermieden werden. Ordnungsgemäß geschützte Anlagen können versagen, wenn sich eine Explosion aus einer anderen Anlage ausbreitet. Entkopplungssysteme können diesen Zustand verhindern (3.1.14).

2.3.3.2.1 Explosionsentkopplungen sollten an allen Verbindungen von Behältern (oder Behältergruppen) installiert werden, die für den Explosionsdruck ausgelegt sind (explosionsgeschützte Konstruktion).

2.3.3.2.2 Explosionsentkopplungen sollten an allen Verbindungen zwischen Behältern (oder Behältergruppen) installiert werden, die einzeln durch Explosionsdruckentlastung (oder eine andere Risikominderungsmethode) geschützt sind, jedoch bei einem sich ausbreitenden Ereignis einem nicht akzeptablen Sachschaden oder einer Betriebsunterbrechung unterliegen.

2.3.3.2.3 Mechanische Entkopplungsvorrichtungen an Anlagen, die so ausgelegt sind, dass sie die Explosion aufnehmen können, sollten basierend auf dem Druck der Behälterkonstruktion ausgelegt werden. Entkopplungsvorrichtungen an Anlagen, die durch Explosionsdruckentlastung geschützt sind, sollten so ausgelegt werden, dass sie dem reduzierten Druck (P_{red}) standhalten. Dazu gehören Zelleradschleusen, Schnellschlussarmaturen, Flammenfront-/Explosionsumlenker, Hochgeschwindigkeits-Umlenklappen, Doppelabschlagarmaturen und Rückstoßdämpfer

2.3.3.2.4 Es ist sicherzustellen, dass aktive Entkopplungsvorrichtungen, für deren Erkennung eine mechanische Aktivierung erforderlich ist, ausreichend voneinander getrennt sind, damit das Gerät vor dem Eintreffen der Flamme schließt.

2.3.3.2.5 Rohrleitungen, die für die pneumatische Dichtstrom- Förderung brennbarer Stäube verwendet werden, stellen normalerweise keine Explosionsgefahr dar. Rohrleitungen können ohne Explosionsentkopplungen installiert werden, wenn das Fördermaterial kein Metallstaub oder ein Hybridgemisch ist.

2.3.3.3 Entkopplungssysteme

Dieser Abschnitt enthält akzeptable Formen der Explosionsentkopplung und die erforderlichen Funktionen, um sicherzustellen, dass die Systeme als effektive Flammensperren funktionieren (3.1.15).

2.3.3.3.1 Systeme zur Blockierung von Explosionen chemischer Stoffe

- a) Die Systeme sollten entsprechend FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 7-17, *Explosion Protection Systems*, installiert werden.
- b) Es sollten FM Approvals geprüfte Anlagen installiert werden.
- c) Diese Systeme sind unter den folgenden Bedingungen möglicherweise ungeeignet:
 1. Die Prozessflussraten sind hoch.
 2. Die Primärexplosion erfolgt in einem sehr großen Behälter.
 3. Die Primärexplosion erfolgt in einem durch eine Explosionseindämmung geschützten Behälter.

2.3.3.3.2 Zellradschleusen sollten wie folgt installiert werden:

- a) Der Winkel zwischen benachbarten Flügeln und die Gehäuseform sollten so ausgelegt sein, dass jederzeit zwei Flügel pro Seite mit der Gehäusewand abschließen.
- b) Die Flügel (einschließlich der Spitzen) sollten aus Metall bestehen und eine Stärke von mindestens 3 mm aufweisen.
- c) Der Abstand zwischen den Spitzen der Rotorblätter und dem Gehäuse sollte zwischen 0,2 und 0,25 mm (bei Aluminiumstaub höchstens 0,1 mm) betragen. Falls zusätzliche Informationen über den zulässigen Abstand erforderlich sind, siehe Verweis 17 in Anhang D.
- d) Die Zellradschleusen sollten so verriegelt werden, dass sie im Falle einer Explosion automatisch stoppen, um das Durchlaufen von brennenden Stoffen zu verhindern. Eine Verriegelung ist nicht erforderlich, wenn brennendes Material keinen zweiten Brand oder keine größere Explosion verursachen würde.

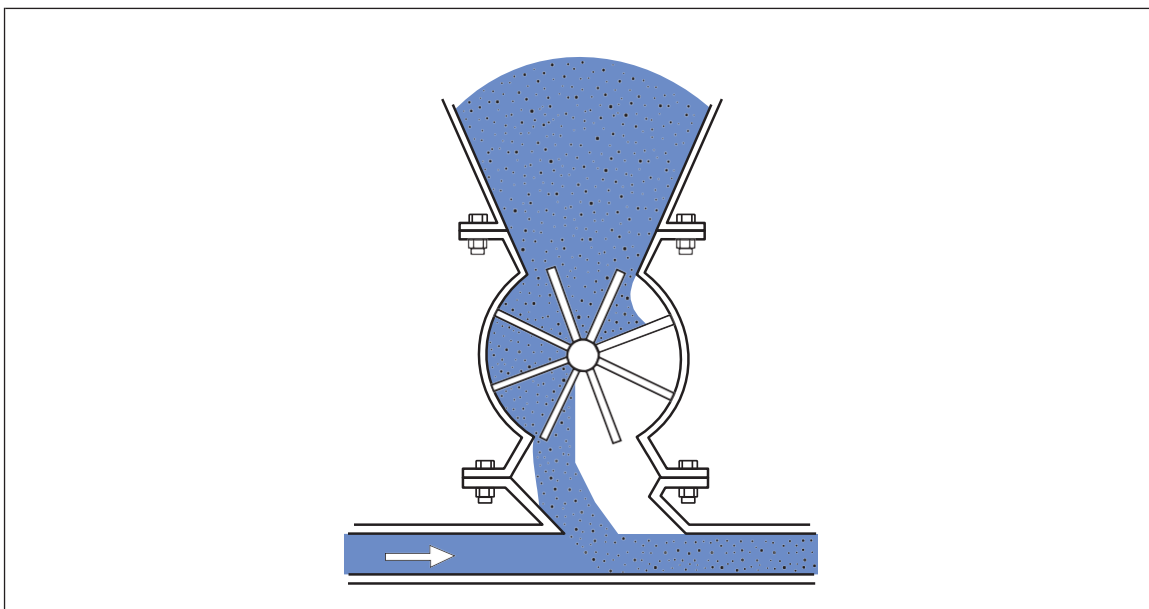


Abb. 3.: Zellradschleuse

2.3.3.3.3 Schnellschlussarmaturen (Schieber oder Absperrklappen)

Es sollte sichergestellt werden, dass der Abstand zwischen der Explosionsmeldevorrichtung und der Schnellschlussarmatur ausreichend groß ist, damit die Armatur vor dem Eintreffen der Flammenfront vollständig schließt.



Abb. 4: Schnellschlussarmatur (Ausführung mit Absperrschieber)

2.3.3.3.4 Schnellschlussarmatur (umströmter Schließkörper) (3.1.16)

Ein Beispiel für diese Armaturenart ist die Ventex ESI (Abbildung 5).

- Die Armatur sollte mindestens 5 m und nicht mehr als 12,5 m von den Anlagen entfernt sein, von denen die Explosion ausgeht.
- Es sollte sichergestellt werden, dass der Wert des P_{stat} (der Öffnungsdruck der Druckentlastung) für explosionsdruckentlastete Anlagen vor oder hinter den schnell wirkenden Schwimmerventilen den Differenzdruck überschreitet, der zum Schließen der Armatur erforderlich ist. In der Regel beträgt dieser ca. 0,1 bar.
- Wenn der Wert von P_{stat} unter dem erforderlichen Differenzdruck liegen muss, sollte ein alternativer Schließmechanismus eingerichtet werden, indem an der Explosionsquelle ein optisches Meldesystem installiert wird, das die schnelle Freisetzung von komprimiertem Gas in der Nähe der schnell wirkenden Schwimmerventilen auslöst, um das Schließen zu erzwingen.
- Ein schnell wirkendes Schwimmerventil sollte nicht in einem Luftstrom mit einer erheblichen Belastung durch abrasiven Staub platziert werden, der die Oberflächen des beweglichen Schließkörpers vorzeitig verschleifen würde.

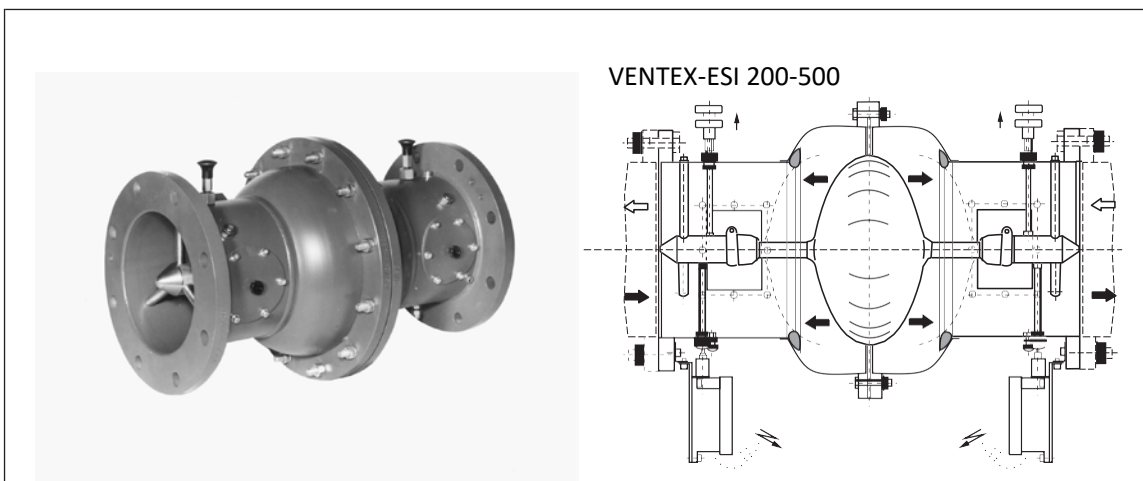


Abb. 5: Schnell wirkendes Schwimmerventil (Ventix ESI ®)

2.3.3.3.5 Flammenabweiser/Explosionsableitvorrichtung

- a) Dieses Gerät sollte nicht vor einer luftbewegenden Anlage installiert werden, da sich eine Explosion vor dem Flammenabweiser hinter dem Flammenabweiser fortsetzt.
- b) Explosionsableitvorrichtungen sollten nicht in Luftströmen installiert werden, die eine erhebliche Belastung mit abrasivem Staub aufweisen, der schließlich durch die druckentlastende Abdeckung der Ableitvorrichtung erodieren würde,
- c) Explosionsableitvorrichtungen sollten außerdem nicht bei Mischungen verwendet werden, deren brennbaren Dämpfe die UEG überschreiten.

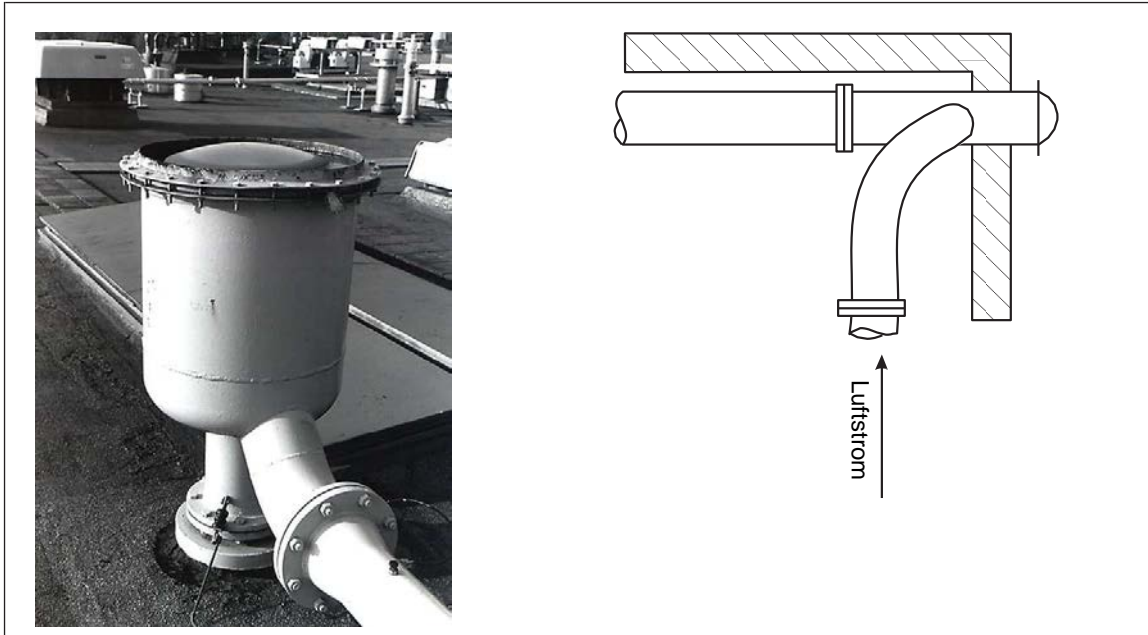


Abb. 6. Explosionsableitvorrichtung

Abb. 7. Installation einer Explosionsableitvorrichtung im Innenbereich

2.3.3.3.6 Hochgeschwindigkeits-Umlenkklappe

- a) Die Hochgeschwindigkeits-Umlenkklappe muss entweder durch einen Druck- oder einen Infrarot-Explosionsmelder im vorgeschalteten Behälter ausgelöst werden, von dem eine Explosion erwartet wird.
- b) Die Meldeanlage und die Ansprechgeschwindigkeit der Umlenkklappe müssen so schnell sein, dass die Umlenkklappe vollständig geschlossen wird, bevor die Staubflamme sie erreicht.
- c) Die Umlenkklappe sollte unbedingt manuell zurückgesetzt werden müssen. Ein automatisches Zurücksetzen ist nicht zulässig.

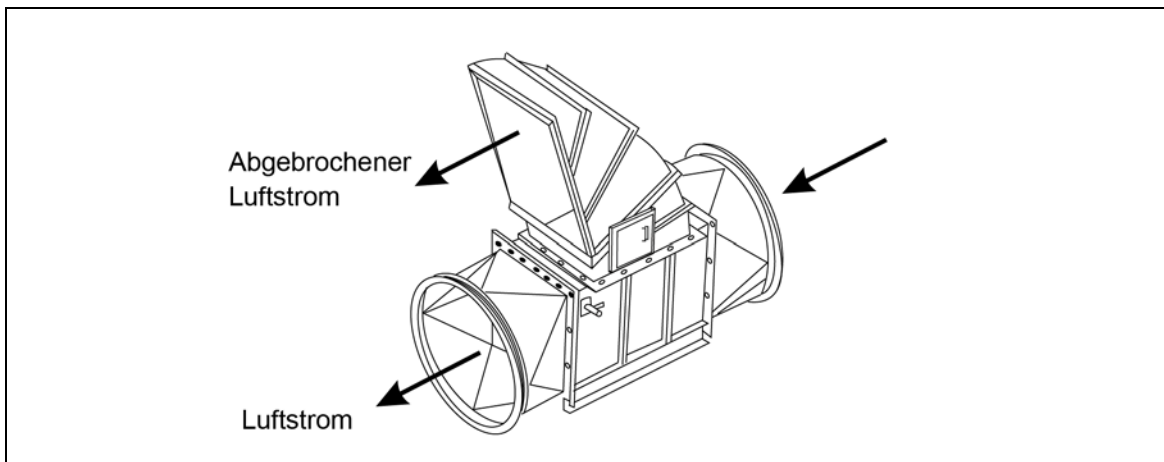


Abb. 8: Hochgeschwindigkeits-Umlenkklappe

2.3.3.3.7 Doppelpendelklappe

Es sollte eine Verriegelung installiert werden, um zu vermeiden, dass beide Klappen gleichzeitig öffnen.

2.3.3.3.8 Rückschlag-Entlastungsventil

Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um ein Rückschlagventil, das die Ausbreitung einer Explosion in entgegengesetzter Richtung zum normalen Durchfluss verhindert. Dieses Gerät sollte mit einer Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung ausgestattet sein, die dem normalen Durchfluss im System nachgeschaltet ist.

2.3.3.4 Explosionsunterdrückungsanlage

2.3.3.4.1 Wenn eine Explosions-Unterdrückungseinrichtung zur Explosionsgefahrenminderung bevorzugt wird, sollte Folgendes gewährleistet sein:

- a) Explosionsunterdrückungsanlagen sollten gemäß FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 7-17, *Explosion Protection Systems*, installiert werden.
- b) Es sollten FM Approvals geprüfte Anlagen innerhalb der angegebenen Anwendungsgrenzen installiert werden.

2.3.3.5 Explosionsdruckfeste Bauweise

2.3.3.5.1 Wenn eine Explosionsdruckfeste Bauweise die gewählte Methode zur Explosionsgefahrenminderung ist, sollte das Verfahren der explosionsssicheren Ausführung der Anlagen gewählt werden. Vorhandene stoßfeste Behälter sind für die Installation einer Explosions-Eindämmungseinrichtung tolerierbar.

- a) Explosionssicher ausgeführt ist jeder Behälter mit einem Auslegungsdruck von 6 barg oder mehr, der nicht durch eine Staubexplosion verformt würde, die bei einem anfänglichen Druck (vor der Explosion) von weniger als 0,1 barg aufträte.
- b) Eine stoßfeste Konstruktion stellt jeder Behälter mit einem Auslegungsdruck von 3 barg oder mehr dar, wenn er gemäß ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Abschnitt VIII, oder mit einer Fließgrenze von 6 barg oder mehr gemäß anderen Vorschriften ausgelegt ist. Bei dieser Konstruktion kann sich der Behälter verformen, aber nicht bersten, wenn eine Staubexplosion bei einem anfänglichen Druck (vor der Explosion) von weniger als 0,1 barg auftritt.
- c) Um Schäden an anderen Anlagen zu vermeiden, die vor und hinter den Behältern mit Explosionsschutz angeschlossen sind, sollte eine Explosionsentkopplung installiert werden.

2.3.3.6 Hochvakuum (3.1.17)

2.3.3.6.1 Wenn ein Hochvakuum die gewählte Methode zur Explosionsgefahrenminderung ist, sollten die folgenden Kriterien beachtet werden:

- a) Das Staubbördersystem sollte bei einem Druck unter 0,1 bar absolut betrieben werden.
- b) Eine Sicherheitsverriegelung sollte installiert werden, die den Prozess bei einem Vakuumausfall automatisch inertisiert oder abschaltet.

2.3.4 Zündquellenkontrolle

2.3.4.1 Für Prozesse oder Anlagen, bei denen häufig Staubexplosionen auftreten, sollten folgende Maßnahmen getroffen werden:

- a) Betrieb von Geräten, die Funken oder heiße/leuchtende Partikel verursachen, in einer inerten Atmosphäre ODER
- b) Installation einer Funkenmeldeanlage in Kombination mit einer Funkenlöschanlage oder einer Hochgeschwindigkeits-Umlenkklappe UND
- c) Installation der Funkenlöschanlage oder der Hochgeschwindigkeits-Umlenkklappe vor dem ersten Anlageteil, das ein Anlagen-Explosionsrisiko aufweist, UND
- d) Abschaltung jedes mit der Funkenmeldeanlage verbundenen Staubsammlers bei Aktivierung der Funkenlöschanlage

Durch die Installation einer Funkenkontrolle wie oben beschrieben entfällt die Notwendigkeit von Maßnahmen zur Minderung der Explosionsgefahr (3.1.18) nicht.

2.3.4.1.1 Es wird davon ausgegangen, dass Staubexplosionen bei folgenden Anlagen häufig auftreten:

- a) Holzbearbeitungsindustrie: Trommeltrockner, Schnelltrockner, Schleifaggregate, Spanplattenfräsanlage (für zusätzliche Brand- und Explosionsschutzanforderungen in dieser Branche siehe FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 7-10, *Wood Processing and Woodworking Facilities*),

- b) Alle mechanischen Fräsanlagen mit angeschlossenen Anlagen, wie z. B. einem nachgeschalteten Zyklon (Ausnahmen: Kohlezerkleinerer und die Verarbeitung von Lebensmitteln werden im Rahmen dieser Empfehlung nicht als durch häufige Explosionen gefährdet angesehen.)
- c) Prozesse, die (z. B. durch Schleifen oder Reibung) regelmäßig Funken oder glühende Glut erzeugen, die in eine Staubsammelanlage gelangen können
- d) Alle Prozesse oder Systeme, bei denen innerhalb von zehn Jahren mindestens zwei Explosionen aufgetreten sind

2.3.4.2 Um die Entzündung der Staubwolke durch statische Elektrizität und Entladung zu minimieren, sollten folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- a) Alle in FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 5-8, *Static Electricity*, aufgeführten Empfehlungen sollten angewendet werden, um die Wahrscheinlichkeit einer Entzündung zu minimieren.
- b) Wenn möglich, sollten für die Übertragung von brennbaren Stäuben ordnungsgemäß geerdete und mit Potenzialausgleich versehene Metallrohre und -kanäle verwendet werden.
- c) Wenn Kunststoffrohre oder -kanäle zur Materialübertragung verwendet werden, sind Potenzialausgleich und Erdung aufgrund der isolierenden Eigenschaften von Kunststoff nicht effektiv. Wenn jedoch in solchen Anlagen leitfähige oder metallische Komponenten vorhanden sind, z. B. Kunststoffrohre oder -schläuche, die mit Metallrohren verbunden sind, müssen diese leitfähigen Komponenten mit ordnungsgemäßigem Potenzialausgleich und Erdung versehen werden.
- d) Wenn Materialien sehr leicht entzündlich sind (Mindestzündenergie unter 10 mJ), sollten die folgenden Optionen in Betracht gezogen werden, um die Wahrscheinlichkeit einer statischen Entzündung zu verringern:
 1. Betrieb aller Geräte, die eine Explosionsgefahr darstellen, in einer inerten Umgebung (siehe 2.3.2.4) (3.1.19).
 2. Betrieb mit einem Druck von weniger als 0,1 bara.
 3. Entfernung der brennbaren Mischung durch Betrieb bei nicht mehr als 50 % der MEK.
 4. Reduzierung der Ladungserzeugung oder -akkumulation durch Prozessänderungen, wie z. B. die Reduzierung der Durchflussmenge des übertragenen Materials.
 5. Installation von Antistatikgeräten oder Statik-Neutralisatoren Diese sollten fest installiert, gut geerdet, ordnungsgemäß eingestellt und frei von Fremdkörperansammlungen sein.
 6. Eine Person mit besonderen Fachkenntnissen sollte die Situation bewerten und eine geeignete Vorgehensweise entwickeln.

2.3.4.3 Vor allen Zerkleinerungsanlagen, z. B. Schleifmaschinen, Pulverisierern, Hammermühlen oder anderen Anlagen, die mechanisch auf das Prozessmaterial einwirken (3.1.20), sollten Magnetabscheider installiert werden.

2.3.4.3.1 Nichtmagnetische Abscheider (z. B. Luftabscheider, Gitter, grobe Siebe) können verwendet werden, wenn NE-Metalle oder andere Gegenstände (z. B. Steine) in den Produktstrom eindringen und eine Entzündungsgefahr verursachen könnten.

2.3.4.4 Ventilatoren und Gebläse im Staubstrom können zu einer Zündquelle werden. Diese Geräte sollten wie folgt installiert werden:

2.3.4.4.1 In Unterdrucksystemen sind die Lüfter an der Druckseite (d. h. der sauberen Seite) des Staubabscheiders anzubringen.

2.3.4.4.2 In Überdrucksystemen sind die Gebläse oberhalb des Staubeintritts anzubringen.

2.3.4.4.3 Wenn der Lüfter auslegungstechnisch abluftseitig angebracht werden muss und die Staub-/Luftkonzentration höher ist als 25 % der MEK:

- a) Es sollten Lüfter und Gebläse des Typs A oder B in funkenbeständiger Bauweise installiert werden, siehe AMCA 99-0401-86, *Nicht funkenerzeugende Materialien*
- b) Normale Lüfter und Gebläse können in einem staubfreien Luftstrom mit unbegrenzter Konzentration verwendet werden, wenn der Staub durch den Test als schwer entzündlich eingestuft wurde.

2.3.4.4.4 Normale Lüfter und Gebläse können in einem staubfreien Luftstrom mit unbegrenzter Konzentration verwendet werden, wenn der Staub durch den Test als schwer entzündlich eingestuft wurde.

2.3.4.4.5 Systeme, die mit Holzstaub arbeiten, können herkömmliche Lüfter vor den Staubsammlern verwenden, wenn ein Zyklonabscheider (primärer Staubabscheider) vor dem Lüfter installiert ist.

2.3.4.4.6 Normale Lüfter und Gebläse können verwendet werden, wenn zwischen dem Gebläse und allen wichtigen oder wertvollen nachgeschalteten Anlagen eine Hochgeschwindigkeits-Umlenkklappe oder eine FM Approvals geprüfte Funkenlöschanlage installiert ist.

2.3.4.5 Damit Materialien, die einer spontanen Erwärmung ausgesetzt sind, nicht zu einer Explosionsauslösungsquelle werden, sollte wie folgt vorgegangen werden:

- a) Ansammlungen in Kanälen sollten durch Aufrechterhaltung einer ausreichenden Transportgeschwindigkeit verhindert werden.
- b) Staubablagerungen in Anlagen sollten durch häufige Reinigung vermieden werden.
- c) Feuchtigkeit darf nicht mit solchen Materialien in Berührung kommen. Automatische Sprinkler oder Funkenlöschanlagen können jedoch bei Bedarf in Kanälen eingesetzt werden.
- d) Abscheider, die täglich oder bei Bedarf spontan erhitzt werden, sollten gereinigt werden, um eine Erwärmung und gefährliche Ansammlungen zu verhindern.

2.3.4.6 Mechanische Antriebe mit hoher Drehzahl oder Leistung sollten möglichst nicht verwendet werden, da sie aufgrund von Reibung oder Funken zu einer Entzündung des Staubs führen können.

2.3.4.6.1 Anhand der folgenden Richtlinien kann das Potenzial für gefährliche Bedingungen auf Grundlage der tangentialen Geschwindigkeit (v) des rotierenden Bauteils ermittelt werden:

- a) Wenn $v < 1$ m/s: Es besteht keine Zündgefahr.
- b) Wenn $1 < v < 10$ m/s: Jeder Fall ist unter Berücksichtigung der produkt- und materialspezifischen Eigenschaften wie MZE und Partikelgröße zu beurteilen. (Der jeweils niedrigere Wert ist eher anfällig für Entzündung).
- c) Wenn $v > 10$ m/s: Es besteht immer ein Zündpotenzial.
Hinweis: Um U/min in Tangentialgeschwindigkeit umzuwandeln, ist $v = U/\text{min} \times 2\pi r \times 1/60$ zu verwenden, wobei
 - v = Länge (gleiche Einheiten wie r) pro Sekunde
 - r = Länge des rotierenden Teils, von Wellenmitte bis Außenspitze

2.3.4.6.2 Bei der Verwendung von Hochgeschwindigkeitsanlagen mit hoher Leistung, meist bei Schleifvorgängen bzw. Schneckenförderern und Mischern, muss das Potenzial für unkontrollierte Erwärmung aufgrund übermäßiger Verweilzeit, Ansammlung an Lagern, Fremdkörpern usw. berücksichtigt und die jeweilige Anlage durch den Einsatz von Scherstiften, Überlasterkennung und Alarmen sowie durch ordnungsgemäße Instandhaltung und Reinigung sowie Siebe und Abscheider gegen diese Faktoren geschützt werden.

2.4 Staubabscheider und Zyclone

Zusätzlich zu den oben und in FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 7-73, *Dust Collectors*, aufgeführten Anforderungen sind im Folgenden einige spezifische Erfordernisse für Staubabscheider und Zyclone aufgeführt.

2.4.1 Bauweise und Standort

2.4.1.1 Bei Neuinstallationen sollten separate Staubabscheider für jeden Prozessbereich verwendet werden, um die Wahrscheinlichkeit einer Staubexplosion, die viele Betriebsabläufe erfasst, zu minimieren. Beispielsweise könnten für einen Prozess, bei dem raues Bauholz in einem Bereich gesägt und das fertige Bauholz in einem anderen Bereich geschliffen wird und in beiden Vorgängen jeweils mehrere Sägen und Schleifstationen beteiligt sind, zwei separate Staubabscheider die Ausfallzeit bei einem einzigen Schadenereignis reduzieren. Dies ist zuverlässiger als die Verwendung von Explosionsentkopplungen in einem Verteilersystem.

2.4.2 Schutz (3.1.21)

2.4.2.1 Bei der Bestimmung der Explosionsdruck-Entlastungsfläche für einen mittelgroßen Staubabscheider (z. B. Stofftaschen, Papierfilterplatten oder Kartuschen) sind sowohl die Rein- als auch die Schmutzluftseite einzubeziehen, um das Volumen des Staubabscheiders zu berechnen.

2.4.2.2 Bei Staubabscheidern mit Filtermedien sollten die Explosionsdruck-Entlastungsvorrichtungen vollständig an der verschmutzten Seite des Abscheiders angebracht werden.

2.4.2.2.1 Wenn es erforderlich ist, eine Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung auf der sauberen Seite zu installieren, sollte die folgende Gleichung verwendet werden, um die gesamte Explosionsdruckentlastungsfläche zu berechnen, die auf der verschmutzten Seite mindestens vorhanden sein muss:

$$A_{v, \text{schm}, \text{min}} \geq (V_{\text{schm}}/V_{\text{total}})^{2/3} \times A_{v, \text{total}}$$

wobei:

$A_{v,total}$ = gesamte erforderliche Entlastungsfläche

$A_{v,schm,min}$ = minimale Explosionsdruck-Entlastungsfläche, die an der verschmutzten Seite des Staubabscheiders verfügbar sollte.

V_{schm} = Volumen der verschmutzten Seite des Staubabscheiders

V_{total} = Gesamtvolumen des Staubabscheiders

2.4.2.3 Zyklonabscheider können ohne zusätzliche Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen als risikogerecht eingestuft werden, wenn sie sämtliche folgenden Kriterien erfüllen:

- a) Der zu verarbeitende Staub hat einen K_{st} -Wert von 80 bar m/s oder weniger.
- b) Die Abgase werden direkt über den Gasauslass oben am Zyklon in die Atmosphäre geleitet.
- c) Der Durchmesser des Gasauslasses beträgt mindestens 45 % des Durchmessers des Zyklons selbst.
- d) Der freie Gasaustritt wird nicht durch ein Sieb/ein Gitter behindert.

1. Ein Regenschutz über der Gasaustrittsöffnung verletzt diese Kriterien nicht, solange der Abstand über dem Gasauslass nicht weniger als die Hälfte des Durchmessers des Gasauslasses beträgt (3.1.22).

2.4.2.3.1 Berechnung der Dimensionierung der Explosionsdruckentlastung für alle anderen Situationen (höherer K_{st} -Wert, kleinerer Gasauslass, Gasauslass mit einem Kanal, der größer als $L/D = 1$ ist, Kanal mit einer Biegung usw.) mit der FM Global Software DustCalc.

2.4.3 Zündquellenkontrolle

2.4.3.1 Bei Schlauchfiltern (oder ähnlichen Bauarten) ist kein spezielles „leitfähiges“ Filtermaterial erforderlich, um statische Elektrizität abzuleiten.

- a) Wenn mit solchen speziellen „leitfähigen“ Schlauchfiltern gearbeitet wird, sollte ein Inspektions- und Wartungsplan eingeführt werden, um sicherzustellen, dass die zur Erdung der Schlauchfilter verwendeten Bänder immer gut an der Entstaubungsanlage befestigt sind.
- b) Unabhängig von den verwendeten Schlauchfiltern sollte ein zuverlässiger Erdungsanschluss für die Beutelkäfige (Metalldrahträger) eingerichtet werden (3.1.23).

2.4.4 Staubabscheider ohne Einhausung (3.1.24)

Staubabscheider ohne Einhausung befinden sich in der Regel im selben Raum wie die Anlagen, zu deren Entstaubung sie dienen.

2.4.4.1 Staubabscheider ohne Einhausung können verwendet werden, wenn sie sämtliche folgenden Kriterien erfüllen:

- a) Sie werden nicht für Anlagen verwendet, die Funken, heiße oder glühende Partikel wie Metallschleifmaschinen, Schleifarbeiten, Schleifplaner oder Heißenarbeiten erzeugen.
- b) Sie werden nicht für Metallstäube verwendet.
- c) Der Raum, in dem sie genutzt werden, verfügt über automatischen Sprinklerschutz, der für die vorherrschende Belegung ausgelegt ist.
- d) Jedes Abscheidersystem hat eine maximale Luftförderleistung von 140 m³/min
- e) Das Abscheidersystem wird unregelmäßig oder gelegentlich in Anspruch genommen, nicht bei kontinuierlichen oder häufigen Produktionsprozessen.
- f) Das Filtermedium wird während des Betriebs nicht geschüttelt oder druckgepulst, um Staub zu entfernen.
- g) Die minimale Zündenergie (MZE) der gesammelten Materialien ist größer als 500 mJ.
- h) Der gesammelte Staub wird täglich oder in ausreichender Häufigkeit entfernt, um den aufgefangenen Staub auf weniger als 9 kg zu begrenzen.
- i) Der Staub wird gut kontrolliert und ist auf maximal 2 mm Tiefe und einen Bereich von maximal 3 m innerhalb des Systems begrenzt.
- j) Mehrere Abscheidersysteme im selben Raum sind mindestens 6 m voneinander entfernt.
- k) Die Abscheidersysteme sind von jeder Art von brennbarer Lagerung mindestens 6 m entfernt.
- l) Die Filtermedien befinden sich nicht in einem Abstand von weniger als 11 m zu offenen Flammen oder heißen Oberflächen, die eine Staubwolke des enthaltenen Materials entzünden können.

- m) Lüfter oder Gebläse im verschmutzten Luftstrom sind gemäß Abschnitt 2.3.4.4 installiert.
- n) Normale elektrische Anlagen sind nicht in einem Umkreis von 3 m um das Abscheidersystem vorhanden.
- o) Der Lüfter- oder Gebläsemotor, der sich nicht im verschmutzten Luftstrom befindet, eignet sich je nach Bedarf für Klasse II, Division 2 oder Klasse III (Zone 22).

2.5 Anschlusskanäle (3.1.25)

Kanäle, die Teile eines Prozess- oder Abscheidersystems miteinander verbinden, können einen Weg zur Ausbreitung einer Explosion darstellen und genug Staub enthalten, um eine eigene Explosion zu verbreiten. Dieser Abschnitt gilt nicht für saubere Luftkanäle hinter Luft-Material-Abscheidern oder pneumatischen Transfer von Prozessmaterialien mit Raten, die weit über der MEK (Dichtstromförderung) liegen.

2.5.1 Belegung

2.5.1.1 Die Staubkonzentration in einem Abscheidersystem sollte kontrolliert werden, um zu verhindern, dass sich eine durchgehende explosionsfähige Atmosphäre im Kanal entwickelt. Vorgehensweise:

- a) Wenn die Stauberzeugungsrate variabel ist, sollte der Staub unter einer durchschnittlichen Konzentration von 25 % der Mindestexplosionskonzentration (MEK) gehalten werden. Die Staubemissions-Spitzenwerte über 100 % des MEK sollten auf jeweils nur wenige Sekunden begrenzt werden.
- b) Wenn die Stauberzeugungsrate ohne nennenswerte Spitzen konstant ist, sollte die Staubkonzentration nicht mehr als 90 % der MEK betragen.

2.5.1.2 Wenn die Konzentration in einem Kanal regelmäßig die MEK übersteigt, sollte dieser gegen die Zusatzgefahr einer Explosion im Inneren (2.5.2.3) geschützt werden.

2.5.1.3 In Kanälen, die brennbare Stäube transportieren, ist eine Luftgeschwindigkeit einzuhalten, die die Absetzgeschwindigkeit des zu transportierenden Materials übersteigt.

Hinweis: Die Geschwindigkeit für typische Industriestäube (z. B. Sägemehl) kann zwischen 1070 und 1220 m/min betragen. Wenn die Absetzgeschwindigkeit eines Materials unbekannt ist, sind in FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 7-78, *Industrial Exhaust Systems*, allgemeine Empfehlungen zur Transportgeschwindigkeit zu finden.

2.5.2 Schutz

2.5.2.1 Bei Kanälen, die brennbaren Staub in Konzentrationen enthalten, die immer niedriger als der MEK sind, und mit Geschwindigkeiten fördern, bei denen eine Absetzung des Staubs unwahrscheinlich ist, sollten Explosionsentkopplungen an den folgende Stellen installiert werden:

- a) An Verbindungen zu wichtigen Anlagenteilen
- b) An Kanälen, die möglicherweise Staub enthalten und zurück in Gebäude verlaufen, die schadenanfällige teure Anlagen oder wichtige Prozesse enthalten.

Wenn der MEK-Wert nicht verfügbar ist, kann ein Schätzwert von 30 g/m³ verwendet werden.

2.5.2.2 Kanäle mit brennbarem Staub in Konzentrationen, die immer oder häufig die MEK überschreiten, oder in denen Staub in einer Geschwindigkeit transportiert wird, bei der eine Staubsammlung zu erwarten ist, sollten folgendermaßen ausgelegt werden:

- a) Verlegung nach außen
- b) Installation einer Explosionsentkopplung an jedem Verbindungspunkt zwischen dem Kanal und einem Anlagenteil
- c) Schutz des Kanals vor einer Explosion, die sich im explosiven Gemisch ausbreitet, durch eine der folgenden Maßnahmen:
 1. Installation einer Druckentlastung für den Kanal gemäß 2.5.2.3
 2. Auslegung des Kanals derart, dass er bei einem Druck, der so niedrig wie möglich ist, aber nicht mehr als 0,3 barg beträgt, ausfällt

2.5.2.2.1 Wenn sich ein Kanal, der Staub über der MEK enthält oder Staub mit einer geringeren als der Absetzgeschwindigkeit transportiert, in Innenräumen befindet, sind die folgenden Vorsichtsmaßnahmen zu treffen:

- a) Installation einer Explosionsentkopplung an jedem Verbindungspunkt zwischen dem Kanal und einem Anlagenteil UND
- b) Auslegung des Kanals derart, dass er die Explosion (stoßfest) aufnehmen kann, ODER

c) Installation einer Druckentlastung für den Kanal gemäß 2.5.2.3, aber Ableitung des Drucks aus den Druckentlastungseinrichtungen ins Freie

2.5.2.3 Entlang der Länge des Kanals sollten auf der folgenden Grundlage Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen installiert werden:

a) Der maximalen Abstand zwischen den Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen (L_{max}) sollte wie folgt berechnet werden:

$$L_{max} = 7.5 D^{1/3}, D \text{ und } L \text{ in Meter ODER}$$

$$L_{max} = 16.5 D^{1/3}, D \text{ und } L \text{ in Fuß}$$

Bei nicht kreisförmigen Kanälen sollte der effektive Durchmesser für die obige Gleichung wie folgt berechnet werden:

$$D_{eff} = \sqrt{\frac{4A_d}{\pi}}$$

wobei: A_d = Querschnittsfläche des Kanals (m^2 oder ft^2)

b) Die Druckentlastungsfläche sollte an jedem Standort mindestens der Querschnittsfläche des Kanals entsprechen.

c) Es sollte eine Druckentlastung in voller Größe installiert werden, die nicht mehr als 2 Durchmesser vom Rohrleitungspunkt zu einem Anlagenteil entfernt ist.

d) Der Explosionsentlastungsdruck (P_{stat}) ist so niedrig wie möglich einzustellen (Höchstwert: 0,1 barg).

e) Eine Explosionsdruckentlastung muss an allen Winkelstücken und Endflanschen installiert werden (siehe Abbildung 10).

f) Wenn sie sich im Inneren von Gebäuden befinden, sollten die explosionsgefährdeten Produkte über einen kurzen Kanal nach außen geleitet werden (L/D kleiner oder gleich 1).

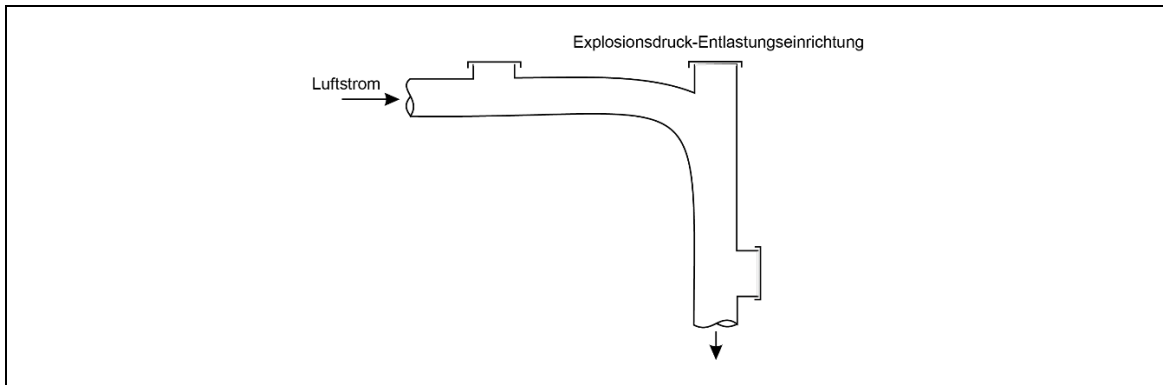


Abb. 9: Beispiel für eine Kanal-Explosionsdruckentlastung an einem Rohrbogen

2.6 Silos (3.1.26)

2.6.1 Schutz

2.6.1.1 Wenn ein Staublagersilo über einen Staubabscheider (statt nur eines einfachen Entlüftungstutzens) an der Entlüftungsklappe verfügt, sollte wie folgt Explosionsschutz installiert werden:

a) Die Kombination aus Staubabscheider und Silo muss als eine Einheit behandelt werden, wenn eine der folgenden Bedingungen vorliegt:

1. Der Kanal, der das Silo mit dem Staubabscheider verbindet, hat ein L/D -Verhältnis von weniger als 2. ODER

2. Die Querschnittsfläche des Verbindungskanals ist mindestens so groß wie die Explosionsdruck-Entlastungsfläche, die zum Schutz des Volumens des Staubabscheiders allein erforderlich ist.

b) Für die Silo-/Abscheiderkombination sollte eine Explosionsdruckentlastung basierend auf dem Gesamtvolumen der beiden Einheiten installiert werden.

c) Wenn möglich, sollte ein Teil der Explosionsdruckentlastung am Staubabscheider installiert werden, um die Querschnittsfläche der Verbindungsleitung nicht zu überschreiten, obwohl sich die gesamte Explosionsdruckentlastungseinrichtung auf dem Silo befinden kann.

2.6.1.2 Wenn die Kombination aus Staubabscheider und Silo nicht den Kriterien einer einzelnen Einheit entspricht:

- a) Installation von Explosionsdruckentlastung für jedes Bauteil auf Grundlage des jeweiligen Volumens.
- b) Installation von Explosionsdruckentlastung für den Verbindungskanal selbst gemäß Abschnitt 2.5.2.3

2.6.1.3 Es sollte sichergestellt werden, dass die Explosionsdruckentlastung für ein Silo die Querschnittsfläche (A_{X-sect}) nicht überschreitet. Jede Explosionsdruckentlastung, die diesen Wert überschreitet, trägt nicht zur Verringerung des Explosionsdrucks bei.

2.6.1.3.1 Sollte die erforderliche Explosionsdruck-Entlastungsfläche größer als die Querschnittsfläche sein, ist eine Explosionsunterdrückungsanlage zu verwenden oder das Silo zu verstärken, damit es dem Wert von P_{red} entsprechend $A_v = A_{X-sect}$ standhalten kann.

2.6.2 Anlagen und Prozesse

2.6.2.1 Es dürfen keine Luftkanonen verwendet werden, um Brückenbildung in Silos zu beseitigen, die brennbare Materialien enthalten, wenn im Material Partikel vorhanden sind, die kleiner als ca. 500 Mikrometer sind.

2.7 Becherförderer (3.1.27)

2.7.1 Bauweise und Standort

2.7.1.1 Geschlossene Becherförderer, die mit brennbaren Stäuben arbeiten, stellen eine Explosionsgefahr dar und müssen in Übereinstimmung mit einer der folgenden Bedingungen installiert werden:

- a) Becherförderer sollten im Freien aufgestellt werden.
- b) Becherförderer im Innenbereich sollten an einer Außenwand angebracht werden, damit die Explosionsdruckentlastung über kurze Kanäle nach außen geleitet werden kann.
- c) Becherförderer im Innenbereich sollten entweder mit Explosionsunterdrückungsanlagen oder Explosionsdruckentlastung durch FM Approvals geprüfte Q-Rohre ausgestattet werden.

2.7.1.2 Wenn Auskleidungen im Inneren eines Becherförderers angebracht werden, um örtlich begrenzte Erosionsprobleme zu beheben, sollten nichtbrennbare Materialien verwendet werden.

2.7.2 Schutz

2.7.2.1 Für geschlossene Becherförderer, die Stäube mit einer K_{st} von weniger als 200 handhaben, sollte eine Explosionsdruckentlastung auf Grundlage der folgenden Punkte installiert werden:

- A. Die Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen entlang der Höhe des Becherförderers sollten in einem Abstand von Mitte zu Mitte gemäß Tabelle 2 angeordnet werden, je nach Förderertyp sowie K_{st} und P_{red} der Einhausung.
- B. Die Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen für die Förderer im Innenbereich sollte durch kurze (weniger als 1 m) gerade Kanäle nach außen abgeleitet werden oder es sollten FM Approvals geprüfte flammenlose Druckentlastungen installiert werden.
- C. Explosionsdruck-Entlastungsvorrichtungen können an den Seiten oder der Vorderseite des Schlots installiert werden.
- D. Im Kopfteil (oben) sollten Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen installiert werden, die der Querschnittsfläche des Schlots entsprechen.
- E. Die erste Gehäuse-Druckentlastungseinrichtung sollte so nah wie möglich am Fuß (unten) des Becherförderers installiert werden, jedoch nicht über den in Tabelle 2 angegebenen Abstand hinaus.
- F. Die Größe der Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung sollte der Querschnittsfläche des Schlots entsprechen. Der Druckentlastungsfläche kann in zwei separate Bereiche mit jeweils halber Größe an gegenüberliegenden Seiten des Schlots aufgeteilt werden.
- G. Bei Doppelschlot-Ausführungen sollte Explosionsdruckentlastung für den aufwärts und den abwärts gehenden Strang installiert werden.
- H. Der Auslösedruck der Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen (P_{stat}) muss auf 0,1 barg oder weniger eingestellt werden. Die Vorrichtungen sollten aus einem leichten Material konstruiert sein.

Tabelle 2: Explosionsdruckentlastung für Becherförderer

Typ des	Kst, bar-m/s	Abstand, m		
		Pred ≤ 0,2 bar	0,2 < Pred ≤ 0,5 bar	<0,5 Pred ≤ 1,0 bar
Doppelschlot	<100	6	Nicht erforderlich	Nicht erforderlich
	100-150	3	10	19
	151-175	N. z.	4	8
	176-200	N. z.	3	4
Einfachschlot	<100	N. z.	Nicht erforderlich	Nicht erforderlich
	100-150	N. z.	7	14
	151-175	N. z.	4	5
	176-200	N. z.	3	4

Hinweis: N. z. = Nicht zulässig

Sofern keine spezielle Auslegung vorliegt, sollte von Pred = 0,2 bar ausgegangen werden.

2.7.2.2 Wenn Kopf oder Fuß des Förderers mit Einrichtungen oder Bereichen mit Explosionsgefahr verbunden sind, sollte eine Anlage zur Blockierung von Explosionen mit Explosionsunterdrückungsanlagen oder anderen physischen Barrieren, wie z. B. einer Zellradschleuse zwischen dem Kopf oder Fuß und angrenzenden Bereichen oder Anlagen, installiert werden.

2.7.2.3 **Becherförderer sollten wie folgt durch automatische Sprinkler geschützt werden:**

- An der oberen Station, **sofern die Einhausung nicht brennbar ist. Wenn die Einhausung aus brennbaren Materialien besteht, sollte entlang des Schlots alle 3 bis 3,7 m zusätzlicher automatischer Sprinklerschutz installiert werden (d. h. als vertikalen Schlot mit brennbaren Seiten behandeln).**
- Die automatischen Sprinkler sollten so ausgelegt sein, dass auch am hydraulisch ungünstigsten Sprinkler eine Mindestwasserleistung von 95 l/min vorhanden ist.
- Wenn sich Sprinkler in Bereichen befinden, in denen Frostgefahr besteht, muss sichergestellt werden, dass die Installation für die zu erwartenden Temperaturen geeignet ist.

2.7.3 Zündquellenkontrolle

2.7.3.1 Folgende Maßnahmen sollten zur Verhinderung von Explosionen im Becherförderer ergriffen werden:

- An bandgetriebenen Förderern sollten mechanische oder elektromechanische Vorrichtungen installiert werden, die die Stromversorgung des Antriebsmotors unterbrechen und einen Alarm auslösen, wenn das Band um mehr als 20 % langsamer wird.
- Die Lager sollten sich nicht innerhalb des Schlots befinden oder dort freiliegen.
- Es sollten Sicherheitsverriegelungen zur Bandausrichtung installiert werden, um den Förderer abzuschalten, wenn das Band falsch ausgerichtet ist.

2.7.3.2 Wenn dies praktikabel ist, sollten folgende vorbeugende Maßnahmen angewendet werden:

- Verwendung von Wälzlagern an allen Fördererschloten.
- Instandhaltung aller Lager gemäß Herstellerempfehlungen. Außerdem sollten die Lager staub- und produktfrei gehalten sowie nicht übermäßig geschmiert werden.
- Begrenzung der Verwendung von brennbaren Auskleidungen (z. B. Kunststoff, Gummi, Holz) auf Stoßstellen, Verschleißflächen und angeschlossenen Fülltrichtern.
- Installation von Antriebsriemen (z. B. Keilriemen, Steuerriemen und Flachgurte), die elektrisch mit 1 Megaohm oder weniger leitfähig und zudem feuer- und ölbeständig sind.
- Auslegung des Antriebsstrangs mit dem Überlastfaktor von 1,5, damit der Antrieb ohne Schlupf gestoppt wird.
- Installation von Bändern in Schloten, die einen Oberflächenwiderstand von weniger als 100 Megaohm pro Quadrat haben und feuer- und ölbeständig sind. (In Mehlmühlen ist keine Ölbeständigkeit erforderlich.)
- Bei Schloten in einem Gebäude, in dem die Bandgeschwindigkeiten über 2,6 m/s liegen: Überwachung der Lagertemperatur oder Schwingungsmessung.

2.8 Sprühtrockner

2.8.1 Schutz

2.8.1.1 Sprühtrockner arbeiten oft zu einem großen Teil unter der MEK. Explosionsschutz sollte in Übereinstimmung mit den folgenden Richtlinien installiert werden:

- a) Es sollten genaue Berechnungen durchgeführt werden, um zu bestätigen, dass die durchschnittliche Staubkonzentration im zylindrisch geformten Teil unter der MEK des zu verarbeitenden Materials liegt. Auf dieser Basis sind nur der konische Abschnitt am Boden des Trockners und alle nachgeschalteten Anlagen (z. B. Zyklone, Beutelsammler) explosiv.
- b) Mithilfe der FM Global Software DustCalc von FM Global ist die Explosionsdruck-Entlastungsfläche zu bestimmen, die erforderlich ist, wenn eine brennbare Wolke in nur einem Bruchteil des Gesamtbehältervolumens vorhanden ist.
- c) Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen sind gleichmäßig über die gesamte Oberfläche des Trockners zu verteilen, auch wenn ihre Installation nur in der Nähe des konischen Abschnitts empfohlen wird.

2.8.1.2 Zum Brandschutz siehe FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 6-9, *Industrial Ovens and Dryers*, Abschnitt „Spray Dryers Handling Dust“.

2.9 Handhabung großer Mengen von unbehandeltem Getreide

2.9.1 Anlagen und Prozesse

2.9.1.1 Die Handhabung von großen Mengen Getreide stellt eine Staubexplosionsgefahr dar, die kontrolliert oder beseitigt werden kann, wenn die folgenden Punkte umgesetzt werden:

- a) Zur Reduzierung der Staubexplosionsgefahr in Räumen oder Gebäuden und Anlagen, die für die Handhabung von großen Mengen von unbehandeltem Getreide verwendet werden, sollte eine Staubunterdrückung durch Ölnebel (oder eine andere Flüssigkeit) erfolgen.
 1. Die Explosionsgefahr kann in Räumen als beseitigt betrachtet werden, wenn der Ölnebel die Schwebstaub-Emissionen erfolgreich soweit reduzieren kann, dass bei normaler allgemeiner Ordnung und Sauberkeit Ablagerungen unterhalb gefährlicher Werte gehalten werden können. (Siehe 2.2.4.2, um festzustellen, ob sich Staubablagerungen in gefährlichen Bereichen befinden.)
 2. Die Explosionsgefahr kann als beseitigt betrachtet werden, wenn der Ölnebel erfolgreich verhindern kann, dass Staub in die Anlage gelangt. Dies muss durch Sichtprüfung der Anlage während des Betriebs bestätigt werden (z. B. durch Öffnen der Zugangs- oder Inspektionsöffnungen). Die vollständige Beseitigung von aufgewirbeltem Staub in der Verarbeitungsanlage kann nur durch sehr gründliche Anwendung des Nebels auf das gesamte zu behandelnde Material erfolgen.
- b) Das Öl (oder ein anderes flüssiges Staubunterdrückungsmittel) sollte an einem Punkt des Prozesses aufgetragen werden, an dem erhebliche Turbulenzen auftreten, z. B. an einem Auslass, um sicherzustellen, dass das Staubunterdrückungsmittel gründlich mit dem Materialfluss vermischt wird.
 1. Bei Becherförderern sollte kein Staubunterdrückungsmittel verwendet werden, da dies zu einem Verrutschen der Gummibänder und möglicher Reibungserwärmung führen kann.
- c) Ein Instandhaltungs- und Inspektionsprogramm sollte ausgearbeitet werden, um sicherzustellen, dass die Sprühanlage für das Staubunterdrückungsmittel bei der Handhabung von Getreide ordnungsgemäß funktioniert.
- d) Es sollte eine Verriegelung installiert werden, die die Handhabung des Getreides bei einer Fehlfunktion der die Sprühanlage für das Staubunterdrückungsmittel abschaltet, wenn diese Anlage als alleiniges Mittel zum Explosionsschutz verwendet wird.

2.10 Additive Manufacturing (3D-Druck) (3.1.29)

Bei den meisten Prozessen im Additive Manufacturing werden sehr feine Pulver aus Materialien wie Metall, Kunststoff, Keramik oder Glas verwendet. Feine Pulver können leicht in die Luft verteilt werden und brennbare Metallpulver können eine geringe Zündenergie haben. Die Ausrüstung ist oft teuer und erfordert spezielle Versorgungseinrichtungen, die sich in speziellen Bereichen, Räumen oder Gebäuden befinden können. Für Additive-Manufacturing-Prozesse mit brennbaren Stäuben sollte Folgendes beachtet werden:

2.10.1 Im Zusammenhang mit der Handhabung und Lagerung von brennbaren Stäuben sollten grundlegende Sicherheitsvorkehrungen eingeführt werden.

2.10.1.1 Insbesondere sollten sämtliche Anlagen, die feine brennbare Pulver verarbeiten, mit Potenzialausgleich und Erdung ausgestattet werden, da sie besonders anfällig für statische Elektrizität sein können.

2.10.2 Anlagen für das Additive Manufacturing sollten in Bereichen untergebracht werden, die entweder von anderen Produktions- oder Lagerbereichen durch einen freien Bereich bzw. Wände getrennt sind oder sich in einem separaten Gebäude befinden.

2.10.3 Lagerung, Handhabung und Transport von Pulvern sollten in geschlossenen, leitfähigen Behältern erfolgen.

2.10.4 Wenn Pulver mit einer MZE von weniger als 10 mJ in nichtleitenden Behältern gelagert oder gehandhabt werden, müssen elektrostatisch ableitende Behälter verwendet werden. Materialien, die als elektrostatisch ableitend gelten, haben einen Oberflächenwiderstand zwischen 10^5 und 10^9 Ohm/Quadrat (NFPA 77).

2.10.5 Bei der Handhabung oder Übertragung von Pulvern sind die unbeabsichtigte Freisetzung von Pulvern und die Bildung von Staubwolken zu vermeiden. Außerdem muss die Aufrechterhaltung eines hohen Niveaus der allgemeinen Ordnung und Sauberkeit kontrolliert werden.

2.10.6 Wo Rohrleitungssysteme zum Übertragen von Pulver verwendet werden, sollten statische Aufladungen durch Potenzialausgleich und Erdung mit einem maximalen Widerstand von 1 Megaohm kontrolliert werden.

2.10.7 Wenn Anlagen für das Additive Manufacturing in einer inerten Atmosphäre betrieben werden, ist wie folgt vorzugehen:

- A. Betrieb mit einer Sauerstoffkonzentration unter der Sauerstoffgrenzkonzentration des Pulvers, gemessen mit dem verwendeten Gas.
 - 1. Wenn die Sauerstoffgrenzkonzentration größer oder gleich 5 % ist, muss eine Sicherheitsmarge von mindestens 2 Volumenprozent unter der Sauerstoffgrenzkonzentration eingehalten werden.
 - 2. Bei einer Sauerstoffgrenzkonzentration von weniger als 5 % darf die Anlage mit nicht mehr als 60 % der Sauerstoffgrenzkonzentration betrieben werden.
- B. Überwachung der Inertgas- oder Sauerstoffkonzentration.
- C. Verriegelung mit einer Anlage zur Verhinderung des Starts bei nicht akzeptabler Inertisierung.
- D. Herunterfahren der Anlage, wenn die sichere Inertgas- oder Sauerstoffkonzentration überschritten ist.

2.10.8 Das fertige Produkt sollte so entnommen und gehandhabt werden, dass die Freisetzung der eingeschlossenen Pulver wie folgt minimiert oder kontrolliert wird:

- A. Vor dem Öffnen der Druckeinhausung ist sicherzustellen, dass die Bediener ordnungsgemäß geerdet sind.
- B. Überschüssiger Staub ist mithilfe einer ausreichend belüfteten Abzugshaube oder einer Einhausung mit einem entsprechend ausgelegten Staubsammelsystem vom Produkt zu entfernen.

2.10.9 Es sollte sichergestellt werden, dass tragbare Staubsauger, die zur Reinigung von überschüssigem Pulver verwendet werden, für den Einsatz in Bereichen der Klasse II, Division 2 oder Zone 22 ausgelegt sind, und Komponenten in Einhausungen, die brennbaren Staub enthalten, für Klasse II, Division 1 oder Zone 20 ausgelegt sind.

2.10.9.1 Es dürfen nur tragbare Staubsauger verwendet werden, die durch eine vertrauenswürdige externe Agentur zertifiziert sind.

2.10.10 In Produktions- und Lagerbereichen, die brennbare Konstruktionen oder Belegungen enthalten, sollte automatischer Sprinklerschutz installiert werden, der für eine Metallbelegung (HC2) ausgelegt ist.

2.10.11 Wenn brennbare Metallstäube gehandhabt oder gelagert werden, sollten Handfeuerlöcher der Klasse D installiert und die Mitarbeiter entsprechend geschult werden.

2.11 Staubbrandgefahren

Zusätzlich zur in diesem Dokument beschriebenen Explosionsgefahr können brennbare Stäube eine Brandgefahr darstellen, die kontrolliert werden muss. In den folgenden FM Global Datenblättern zur Schadenminimierung werden der Schutz und die Vermeidung von Staubbränden in verschiedenen Anlagen oder Prozessen behandelt:

- a) Sprühtrockner im Innenbereich: FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 6-9, *Industrial Ovens and Dryers*
- b) Holzverarbeitungs- und Holzbearbeitungsanlagen: FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 7-10, *Wood-Processing and Wood-Working Facilities*
- c) Staubabscheider: FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 7-73, *Dust Collectors and Collection Systems*
- d) Getreideförderanlagen: FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 7-75, *Grain Storage and Milling*

- e) Kanäle: FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 7-78, *Industrial Exhaust Systems*
- f) Holzstaublagerung: FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 8-27, *Storage of Wood Chips*

3.0 GRUNDLAGEN DER EMPFEHLUNGEN

3.1 Kommentare und technischer Support

3.1.1 Gibt es ein Problem mit der Ordnung und Sauberkeit? (2.2.4.2)

Grundsätzlich ist zu beachten, dass Staubablagerungen außerhalb von Anlagen eine Sekundärexplosion verursachen können und entfernt werden sollten, die Quelle der Freisetzung sollte eliminiert werden. In Bereichen, in denen eine unkontrollierte Staubbefreiung nicht verhindert werden kann, sollte eine schadenbegrenzende Bauweise zum Einsatz kommen.

Als Faustregel gilt, dass bei einer Staubschicht von 2 mm Höhe Reinigungsarbeiten durchgeführt werden sollten. (Dabei wird von Holzstaub mit einer ungefähren Schüttdichte von ca. 580 kg/m³ ausgegangen.) Dies entspricht etwa der Höhe einer 25-Cent-Münze in den USA.

Wenn Stäube mit anderen Schüttdichten verwendet werden, ist die Höhe der entsprechenden Masse von 2 mm Holzstaub umgekehrt proportional zur Schüttdichte. So wäre z. B. für eine Schüttdichte von ca. 950 kg/m³ eine Höhe von ca. 1 mm als Äquivalenzwert anzusetzen.

Äquivalente Dicke = 2 mm x (580 kg/m³/950 kg/m³) oder 1 mm

Alle Staubansammlungen in einem kleinen Raum (20 m²) würden eine schwere Sekundärexplosionsgefahr darstellen. In einem größeren Raum, z. B. 2000 m², wäre Staub, der eine Fläche von 20 m² abdeckt, ein weniger schwerwiegendes Ereignis.

Aus praktischen Gründen können einige Staubablagerungen in kleinen Teilen von großen Bereichen ohne schadenbegrenzende Bauweise toleriert werden, wobei eine häufige Reinigung und Maßnahmen zur Entfernung der Staubquelle erforderlich sind. Als tolerabel sollten 2 mm Staub, der aufgewirbelt werden kann, in 5 % des Bereichs betrachtet werden. In jedem Gebäude mit normaler Bauweise wird jeder Bereich mit Staubablagerungen über 93 m² als nicht akzeptabel angesehen.

Jeder Staub, der auf Balken, Trägern, Geräteoberteilen usw. über Bodenhöhe aufliegt, sollte als potenziell aufwirbelbar betrachtet werden. Staub, der sich im Lauf der Zeit oder durch Hitze, Feuchtigkeit usw. zusammengeballt hat, sollte nicht als potenziell aufwirbelbar betrachtet werden, kann aber auf ein andauerndes Problem mit der allgemeinen Ordnung und Sauberkeit oder eine unkontrollierte Freisetzungquelle hindeuten. Staub auf dem Boden könnte aufgewirbelt werden, ist aber weniger gefährlich als erhöhte Ansammlungen.

Es sollte besonders auf Staub geachtet werden, der an Wänden haftet, da sich dieser leicht lösen kann. Auch andere Elemente, wie z. B. Beleuchtungskörper, die Oberflächen für Staubablagerungen bilden können, sind zu berücksichtigen.

Die verfügbare Oberfläche für Staubablagerungen auf Balken oder Stahlträgern kann etwa auf 5 % der Bodenfläche geschätzt werden. Einige Stahlträger können jedoch eine größere Oberfläche aufweisen, die bis zu 10 % der Bodenfläche entspricht, z. B. wenn die Abstände zwischen den Säulen über dem Durchschnitt für eine bestimmte geografische Region liegen oder wenn ein großer Höhenunterschied aufgrund der zu erwartenden Schneeverwehungen eine stärkere Dachstruktur erfordert.

Die folgende Abbildung zeigt typische Daten für die Schüttdichte.

Tabelle 3: Typische Staubschüttdichte

Material	lb/ft ³	kg/m ³
Kohle, bituminös, kleiner als 420 Mikrometer	50	800
Mehl, Weizen	35-40	560-640
Stärke	25-50	400-800
Schwefel, pulverisiert	50-60	800-960
Holzmehl	16-36	260-580

Quelle: Anhang D, Verweise 15

3.1.2 Verlagerung von Explosionsgefahren in den Außenbereich (2.3.1.1)

Ein häufiges Argument gegen den Einsatz von Entstaubungsanlagen im Außenbereich besteht darin, dass sich bei kaltem Wetter Kondenswasser an den Innenwänden des Behälters bildet und Feuchtigkeit in den Staubstrom eindringt. Feuchtigkeit kann zu einem Problem im Prozess werden, wenn sie zu Partikelbildung oder nicht den Vorgaben entsprechenden Produkten führt. Sie kann eine Gefahr darstellen, da bestimmte Materialien eine spontane Erhitzung zeigen können. Feuchtigkeit kann durch Dämmung der Entstaubungsanlage beseitigt werden. Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen müssen jedoch ordnungsgemäß auslösen, ohne von der dämmenden Abdeckung daran gehindert zu werden. Es sind vorgefertigte Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen erhältlich, die nach dem Berstprinzip arbeiten und mit einem schaumstoffisolierten Kern ausgestattet sind, um eine Kondensation an der Innenseite der Entlastungseinrichtung zu verhindern. Über einer solchen Druckentlastungseinrichtung muss keine zusätzliche Dämmung angebracht werden, sodass sichergestellt ist, dass die Dämmung nicht das Auslösen der Druckentlastung behindert.

3.1.3 Inertisierung (Phlegmatisierung) (2.3.2.3)

Brennbare und nicht brennbare Stäube müssen so gemischt werden, dass ein wirklich sicheres, nicht explosives Produkt entsteht. In der Regel ist inerter Staub in einer Menge von 50 % bis 75 % des Gesamtgewichts erforderlich.

Manchmal werden Karbonate, Phosphate und Salze zur Inertisierung verwendet. In der Kohlebergbauindustrie wird Gesteinsstaub eingesetzt, da er sich in einer Vielzahl von Vorräten befindet. Leider können keine mathematischen Korrelationen die erforderliche Begrenzung der inerten Pulverkonzentration vorhersagen. Alle Mischungen müssen auf ihre Inertheit getestet werden.

3.1.4 FM Global Explosionseffektberechnungen mit DustCalc (2.3.3.1)

Viele Empfehlungen legen nahe, bei Berechnungen, bei denen Explosionsdrücke auf Grundlage der jeweiligen Situation vorhergesagt werden, die FM Global Software DustCalc zu verwenden. Hierbei handelt es sich um ein von FM Global Experten entwickeltes proprietäres System, das die unten aufgeführten Variablen berücksichtigt, um verschiedene Explosionseffekte zu berechnen. Die mathematischen Modelle basieren auf jahrelanger Erforschung von Staubexplosionen durch FM Global und andere Organisationen. Einige der Ergebnisse wurden der NFPA mitgeteilt und teilweise in NFPA 68 übernommen (beginnend mit der Ausgabe 2002). Um alle Vorteile der FM Global Methoden nutzen zu können, sollte unbedingt die Software DustCalc verwendet werden.

Die folgenden Behältervariablen wirken sich auf die Explosionsgefahr aus:

- Behältervolumen (V)
- Staubexplosionskonstante (K_{st}) und maximaler unentlasteter Druck (P_{max})
- Explosionsdruck-Entlastungsfläche (A_v)
- Auslösedruck der Explosionsdruck-Entlastungsvorrichtungen (P_{stat})
- Gewicht und Ausrichtung der Ex-Klappen
- Länge (L_d) und Fläche (A_d) des Explosionsdruck-Entlastungskanals, falls vorhanden
- Anteil des Behältervolumens, das eine explosionsfähige Mischung enthält
- Anlagendruck vor der Explosion (P_o)

Dieses Datenblatt enthält keine Gleichungen zur Dimensionierung von Explosionsdruck-Entlastungsvorrichtungen und keine Ergebnisse von Staubtests zur Charakterisierung zuvor getesteter Materialien. Erstens sind die von FM Global entwickelten mathematischen Korrelationen zur Vorhersage des Ergebnisses von Explosionen komplex und lassen sich mit einem Taschenrechner allein schwer anwenden. Dies kann zu Fehlern bei der Berechnung führen. Allgemeine Daten könnten für die vorläufige Auswertung der vorhandenen Druckentlastungsanlagen nützlich sein, aber die Daten zum jeweils verarbeiteten Staub können unterschiedlich sein und es sollten nur spezifisch erhobene Testdaten verwendet werden.

Die Software DustCalc ist in allen zuständigen FM Global Büros weltweit verfügbar, darf jedoch nur von Mitarbeitern verwendet werden, die in ihren grundlegenden Funktionen und ihrer Verwendung geschult wurden. Dadurch wird sichergestellt, dass die Ergebnisse unter Berücksichtigung aller Faktoren entwickelt werden, die für die Konzeption wichtig sind.

Eine detaillierte Beschreibung der Analysen und Experimente, die zur von FM Global angewandten Methodik geführt haben, wurde in einem Artikel über Staubexplosion in einer Sonderausgabe des *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* (Frühjahr 1996) veröffentlicht. Ein detaillierter Verweis auf diesen Artikel ist in Anhang C zu finden.

FM Global hat die Berechnungsmethoden des VDI (Verein Deutscher Ingenieure) für die VDI-Richtlinie 3673 nicht übernommen. Da jedoch bei der Entwicklung der FM Global Richtlinien ein Großteil der Daten aus dieser VDI-Richtlinie verwendet wurden, sind die Ergebnisse von DustCalc und VDI in vielen Fällen ähnlich. Aufgrund der von FM Global vorgenommenen Verbesserungen an den VDI-Methoden und weiteren von FM Global entwickelten oder verbesserten Berechnungstools erweitert die Software DustCalc die Verwendung der VDI-Richtlinie.

Für die Version 2002 der NFPA 68 reichte FM Global eigene Beiträge ein und der NFPA-Ausschuss akzeptierte viele, aber nicht alle der von FM Global vorgeschlagenen Gleichungen und Methoden. Die Implementierung weist zahlreiche Gleichungen und Nomogramme auf. In der Ausgabe 2007 wurde ein Großteil der Methoden beibehalten, jedoch mit einigen zusätzlichen Anpassungen.

Außerdem wurde nun die Richtlinie NFPA 68 zu einer Norm (NFPA 68-2007). Somit ist diese nun in einer Sprache verfügbar, die es den zuständigen Behörden erlaubt, die Anforderungen als rechtlich bindend festzulegen. Dies war nicht möglich, solange die NFPA 68 nur eine Richtlinie war.

Das Software-Programm DustCalc kann auch Lösungen auf Grundlage der NFPA- oder VDI-Methoden bereitstellen und zeigt an, wo und warum es Unterschiede zur FM Global Methode gibt.

3.1.5 *Flammenlose Druckentlastungsvorrichtungen (2.3.3.1.2)*

Eine flammenlose Druckentlastungsvorrichtung (Q-Schlauch, Q-Rohr) (Abb. 10) arbeitet wie eine Flammensperre, die auf einer Berstscheibe befestigt ist. Sie wird auch als „flammenlose Explosionsdruckentlastung“ oder als „Vorrichtung zur Flammendurchschlagsicherung und Partikelrückhaltung“ (NFPA) bezeichnet. Aufgrund der Flammensperre ist die effektive Druckentlastungsfläche im Vergleich zu einer offenen Druckentlastung geringer.

Bei der Verwendung flammenloser Druckentlastungsvorrichtungen ist eine Reihe von Faktoren zu berücksichtigen: K_{st} des Staubs, P_{max} und die Staubkonzentration (c_{st}), in der sie gemessen werden, Art des Staubs, Effizienzfaktor (η_{total}) und maximales geschütztes Volumen (MPV, Maximum Protected Volume).

K_{st} und P_{max} (ST-1, 2) sind die einzigen Faktoren, die zur Bestimmung des Entlastungsbereichs für den geschützten Behälter verwendet werden.

Die Art des Staubs (nicht schmelzend, schmelzend oder fibrös) hat einen Einfluss auf den Wirkungsgrad der flammenlosen Druckentlastungseinrichtung. Derzeit gibt es keine FM Approvals geprüften Anlagen für die Handhabung von Metallstäuben.

Der Effizienzfaktor (η_{total}) ist der numerische Anteil (0,99 oder weniger), der den Istwert der Entlastungsfläche darstellt, nachdem die Auswirkungen der Flammensperren-Komponente der Anlage berücksichtigt wurden. In den Listen des *Approval Guide* wird er hauptsächlich durch den „effektiven Druckentlastungsbereich“ dargestellt. In den EN-Normen wird er als „Effizienz (E_i)“ bezeichnet. Die Methoden zur Berechnung der Effizienz unterscheiden sich von denen, die bei Tests durch FM Approvals angewendet werden.

Die effektive Druckentlastungsfläche (EVA, effective vent area) ist die nutzbare Druckentlastungsfläche nach Berücksichtigung des Effizienzfaktors. Der EVA kann nur durch Tests bestimmt werden.

Das maximale geschützte Volumen (MPV, maximum protected volume) wird durch die Staubbelastung auf dem Gerät, $m''_{st,max}$ und die Staubbelastung pro nominaler Druckentlastungsfläche (g/cm^2) begrenzt. Diese Belastung steht in direktem Zusammenhang mit der nominalen Staubkonzentration, die beim Test durch FM Approvals verwendet wird (g/m^3). Dies sind nur zwei verschiedene Möglichkeiten, um die Staubmenge darzustellen, die in die flammenlose Druckentlastungseinrichtung gelangt.

Die Masse des zur flammenlosen Druckentlastungseinrichtung geförderten Staubs hängt von der Staubkonzentration und dem Volumen des Testbehälters (bzw. des geschützten Behälters) ab.

Wenn sich mehr Staub im Behälter befindet, würde dies die Löschmatrix beeinträchtigen und die Effizienz verringern. Wenn die Last hoch genug ist, kann dies zu einem Ausfall der flammenlosen Druckentlastungseinrichtung führen. Das MPV basiert auf der Staubbelastung, die beim Test durch FM Approvals verwendet wurde.

Bei tatsächlichen Anwendungen basiert die Bemessungslast auf der Konzentration c_{st} des bei der Dimensionierung der Druckentlastung verwendeten Staubs. Der Wert für c_{st} ist die durch Tests bestimmte Konzentration, bei der K_{st} und P_{max} auftreten. In der Praxis muss das MPV möglicherweise angepasst werden, wenn sich der Wert für c_{st} von der für die Prüfung verwendeten Staubbelastung unterscheidet. Der Anpassungsfaktor ist:

$$V_{max2} = V_{max1} (c_{st1} / c_{st2}) \text{ Wobei:}$$

$$V_{max1} = \text{aufgeführtes MPV}$$

$$V_{max2} = \text{für } C_{st} \text{ korrigiertes Volumen}$$

C_{st1} = Konzentration, die beim Test durch FM Approvals verwendet wird

C_{st2} = Konzentration des durch Prüfung ermittelten Auslegungsstaubs

Bei der Auswahl der geeigneten flammenlosen Druckentlastungseinrichtung muss die erforderliche Entlastungsfläche für die Anwendung berechnet und anschließend die „effektive Entlastungsfläche“ in der Liste im *Approval Guide* verwendet werden, um die Anlage auszuwählen, die mindestens die erforderliche Entlastungsfläche bereitstellen würde. Hierfür sind möglicherweise ein oder mehrere Geräte erforderlich.

Darüber hinaus sollten die ausgewählten Geräte das MPV nicht überschreiten. Wenn mehrere Geräte zur Bereitstellung der erforderlichen Druckentlastung verwendet werden, kann das MPV jedes Geräts addiert werden, um das Gesamt-MPV zu bestimmen. Wenn beispielsweise zwei Geräte mit jeweils einem MPV von 3,1 m³ verwendet werden, wäre das zu schützende Behältervolumen auf 6,2 m³ begrenzt.

Bei der Entlastung durch die flammenlose Druckentlastungseinrichtung werden verbrannte und unverbrannte Staubpartikel zurückgehalten, Brandgase gekühlt und Flammen unterdrückt. Außerdem werden die Nahfeld-Detonationseffekte (Druck) außerhalb der Entlastungseinrichtung stark reduziert. Somit kann die flammenlose Druckentlastungseinrichtung eine sichere

Druckentlastung für eine Explosion in einem Innenraum schaffen, ohne dass die Gefahr einer Entzündung von umliegenden Brandlasten oder des Aufbaus eines schädlichen Drucks im Raum besteht. Allerdings sind die austretenden Gase heiß (ca. 100 °C).

Der tatsächliche Druckeffekt der austretenden Gase kann konservativ geschätzt werden, basierend auf einer ungefähren Gasaustrittstemperatur von 100 °C und der folgenden Gleichung:

$$\Delta p = 1.74 p_0 \frac{V_1}{V_0}$$

wobei:

V_0 = Gebäudevolumen (m³ oder ft³)

V_1 = Volumen der druckentlasteten Anlage (m³ oder ft³)

p_0 = absoluter Umgebungsdruck (1,01 bara)

Δp = Druckanstieg, der durch die abgeleiteten Gase erzeugt wird (bar)

Beispiel: Wenn das Anlagenvolumen 1/100 des Gebäudevolumens beträgt, ist V_1/V_0 gleich 1/100 und der Druckanstieg beträgt ca. 18 mbar (1,8 kPa). Dies würde keinen erheblichen Gebäudeschaden verursachen.

In der Liste aller FM Approvals geprüften Geräte ist auch deren Effizienz bei der Druckentlastung aufgeführt. Dies ist der Faktor, um den die effektive Druckentlastungsfläche des Geräts reduziert wird. Dies unterscheidet sich von der oben aufgeführten Berechnung der Druckwirkung.

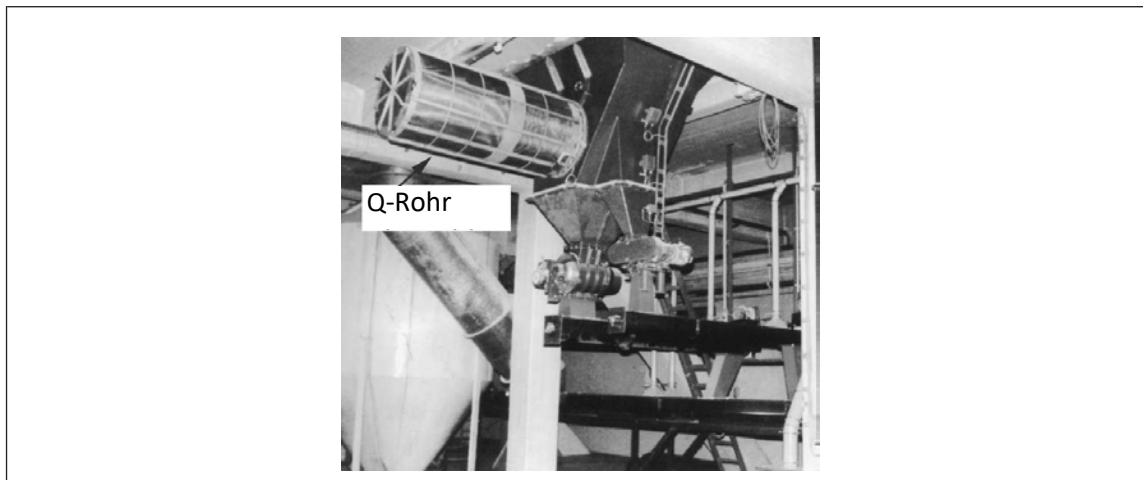


Abb. 10. FM Approvals geprüfte flammenlose Druckentlastungseinrichtung (Foto: Rembe GmbH)

3.1.6 Festigkeit von Behältern (2.3.3.1.3)

Wenn die Auslegung der Explosionsdruckentlastung auf P_{red} -Werten basiert, die eine Verformung des Behälters ermöglichen, verhindert dies einen katastrophalen Ausfall des Behälters und ermöglicht es den Kräften und Produkten einer Explosion, sich sicher durch die Explosionsdruckentlastung zu bewegen. Dies könnte jedoch dazu führen, dass der Behälter für eine zukünftige Verwendung ungeeignet ist.

Wenn keine Daten zur Behälterfestigkeit zur Verfügung stehen und die angenommenen Werte 0,2 bis 0,3 barg von P_{red} für die Dimensionierung der Explosionsdruckentlastung verwendet werden, werden die Behälter bei einer Explosion wahrscheinlich nicht verformt, wenn sie eine typische Auslegung aufweisen. Es besteht jedoch die Möglichkeit einer Verformung. Die unzähligen Variationen in der Anlagenkonstruktion können dazu führen, dass ein Behälter schwächer wird als andere scheinbar vergleichbare Behälter. In den meisten Fällen sind die angenommenen Werte konservativ genug, um einen Behälterbruch zu verhindern. Schätzungen des Drucks, dem ein exemplarischer Behältertyp standhalten kann, beinhalten Unsicherheiten. Es ist immer am besten, die tatsächlichen Auslegungsdaten für alle Behälter zu ermitteln, deren Schutz geprüft oder geplant wird.

3.1.7 Auswirkungen der Explosionsdruckentlastung (Trägheit) (2.3.3.1.6)

Ein schweres Druckentlastungspaneel braucht länger, um sich aus dem Entlastungsweg herauszubewegen, als ein ähnlich großes leichtgewichtiges Paneel und kann im Inneren der entlasteten Einhausung höhere Drücke erzeugen. Da die Verzögerung immer vom Gewicht der Platte ist abhängig, muss ihre Wirkung immer dann bewertet werden, wenn die Trägheit einer Platte größer als null ist.

Berstmembranen, bei denen es sich in der Regel um sehr dünne Bleche aus Metall oder Kunststoffolie handelt, arbeiten trägheitslos. Die Wirkung der Trägheit bei anderen Arten von Druckentlastungseinrichtungen kann jedoch nicht vernachlässigt werden und sollte berechnet werden.

Durch eine umfassende Überprüfung der von zahlreichen Organisationen weltweit erzeugten experimentellen Daten und die Korrelierung dieser Daten in einem theoretischen Rahmen konnte FM Global ein effektives Prognose-Tool zu entwickeln.

3.1.7.1 Masse (Trägheit) herkömmlicher Druckentlastungspaneele

Im Folgenden sind Beispiele für Materialien, die als Druckentlastungskappen oder für die Wandkonstruktion verwendet werden können, und ihre Masse zu finden.

- Einschichtige Metallpaneele: 10 kg/m²
- Isolierte Sandwich-Metallpaneele: 15 bis 20 kg/m²
- FM Approvals geprüfte Explovent-Druckentlastungsklappe: 12 kg/m²
- FM Approvals geprüftes Kalwall-Paneel: 12 kg/m²

Hinweis: Die folgenden Materialien haben eine zusätzliche Stärke in cm.

- Gipskartonplatte: 8 kg/m²
- Stahl: 77 kg/m²
- Aluminium: 27 kg/m²
- Glas: 29 kg/m²
- Beton: 23 kg/m²

3.1.8 Auswirkung der Explosionsdruckentlastungs-Kanäle (2.3.3.1.7)

Bei der Dimensionierung der Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen muss auch die Auswirkung des Druckentlastungskanals berücksichtigt werden. Ein Kanal am Auslass einer Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung kann sich erheblich auf den Druck im Inneren der Einhausung auswirken. Je nach Länge und Durchmesser des Druckentlastungskanals kann sich der Wert von P_{red} um ein Vielfaches (bis hin zum 10-Fachen) erhöhen, was in der Regel ausreicht, um den geschützten Behälter vollständig zu zerstören.

Für die Berücksichtigung der Auswirkungen von Druckentlastungskanälen auf den Druckentlastungsprozess sind zwei Faktoren am wichtigsten: (a) die Verbrennung von Staub im Kanal während der Explosion und (b) die Trägheit der Luftmasse im Kanal vor der Explosion.

In einer frühen Phase des Druckentlastungsvorgangs wird unverbrannter Staub vor der Flammenfront aus dem Behälter in den Kanal geschleudert. Wenn die Flammenfront in den Kanal eindringt, beginnt Staub im Kanal zu brennen und erzeugt zusätzliche Verbrennungsprodukte. Diese Verbrennungsprodukte expandieren in ALLE Richtungen, wodurch der Fluss aus dem Behälter verlangsamt oder sogar umgekehrt wird und sich der Druck im Behälter aufbaut.

Die Trägheit der Luft im Kanal erhöht auch den Explosionsdruck im geschützten Behälter. Wenn sich die Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung öffnet und die Verbrennungsgase zum ersten Mal in den Kanal strömen, müssen diese Gase die gesamte Luft aus dem Kanal drücken. Während der zum Ausblasen der Luft erforderlichen Zeit steigt der Druck im Behälter weiter an, da die Verbrennungsgase daran gehindert werden, die offene Atmosphäre zu erreichen. In einem langen Kanal kann diese Luftmasse die Ableitung der Verbrennungsgase so verzögern, dass der Druck im Behälter deutlich erhöht wird.

Reibungseffekte von Gas, das durch den Kanal strömt, wirken sich, verglichen mit den zuvor erwähnten Auswirkungen der Verbrennung im Kanal und der Luftträgheit, im Allgemeinen nur wenig auf die Explosion aus, es sei denn, sie sind durch Biegungen oder andere geometrische Unstetigkeiten bedingt.

Da P_{red} mit zunehmender Länge des Entlastungskanals stark ansteigt, können Behälter mit geringer Stärke generell nicht durch Druckentlastung geschützt werden, wenn der L/D-Wert des Entlastungskanals einen Wert von 1 bis 2 überschreitet, es sei denn, die Größe der Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung wird proportional erhöht.

Obwohl die Installation eines Explosionsdruck-Entlastungskanals mit einem Querschnitt, der kleiner als die Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung ist, den Wert von P_{red} erhöht (also zu einer schlechteren Situation führt), sinkt P_{red} bei Verwendung eines Explosionsdruck-Entlastungskanals mit einem Querschnitt, der größer ist als die Explosionsdruck-Entlastungsfläche, nicht.

Mit der FM Global Software DustCalc können die Auswirkungen von Druckentlastungskanälen bereits berechnet werden.

3.1.9 Wiederverschluss von Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen (2.2.3.4 und 2.3.3.1.9)

Nachdem die Verbrennung von Staub in einem Raum oder Behälter beendet ist und keine Gase mehr produziert werden, die Druck erzeugen können, schließen sich Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen, bei denen dies durch Schwerkraft möglich ist, wieder. Die sehr heißen Verbrennungsgase, die sich im Raum oder im Behälter befinden, beginnen abzukühlen und erzeugen, sofern nicht schnell genug Frischluft in die Einhausung gelangt (z. B. über eine entsprechend dimensionierte Unterdrucksicherung), ein Vakuum. Dieses Vakuum kann zu Schäden am Behälter oder zur Implosion der Anlage führen. In Räumen oder Gebäuden ist der Vakuumschaden geringer, aber immer noch möglich.

3.1.10 Druck- und Feuerballeffekte durch Explosionen (2.3.3.1.11)

Eine Staubexplosion führt zu kurzzeitigen Druck- und Feuerballeffekten außerhalb der Einhausung. Es gibt nur wenige Studien, auf deren Grundlage diese Effekte abgeschätzt werden können. Die vorgeschlagenen Gleichungen sind nachstehend aufgeführt:

Die Druckeffekte in der Nähe der Druckentlastungseinrichtung und senkrecht dazu werden mithilfe der folgenden Gleichungen berechnet:

Schritt 1: Berechnung des maximalen Überdrucks ($P_{\text{blast,max}}$), der durch die Explosion außerhalb der entlasteten Einhausung erzeugt wird, mit der folgenden Gleichung:

$$P_{\text{blast,max}}(\text{barg}) = 0,2 A_v^{0,1} V^{0,18} P_{\text{red}}$$

Wobei

A_v = Explosionsdruckentlastungs-Bereich, m^2

V = Volumen der entlasteten Einhausung, m^3

P_{red} = reduzierter Druck in der Einhausung während der Druckentlastung, barg

Schritt 2: Berechnung des senkrechten Abstands (R_{max}) von der Entlastungsöffnung zum $P_{\text{blast,max}}$ mit der folgenden Gleichung:

$$R_{\text{max}}(\text{Meter}) = 0,25 L_{f,\text{max}}$$

Wobei

$L_{f,\text{max}}$ = maximale Flammenstrahllänge in Meter

Schritt 3: Bei Entfernungen R größer als R_{max} Berechnung des distanzspezifischen Detonationsdrucks mit der folgenden Gleichung:

$$P_{\text{blast}}(\text{barg}) = (R_{\text{max}}/R)^{1,5} P_{\text{blast,max}}$$

Anmerkung 1: Diese berechneten Drücke treten in der Nähe des Feuerballs auf, der von einer entlasteten Explosion ausgestoßen wird. Dies entspricht nicht dem gesamten Explosionsdruck (P_{red}), der im umschließenden Raum oder Gebäude erzeugt wird. In einem großen Gebäude könnte dieser Stoßdruck der größte Druck sein, der auf die Wände in der Nähe explodierender Anlagen einwirkt. In der Regel hängt der Druck an den Wänden eines Raums, der die entlasteten Anlagen umgibt, jedoch von der Menge der Verbrennungsgase ab, die durch die Explosion erzeugt und in den Raum abgeleitet werden. Dieser Druck ist im Wesentlichen im gesamten Raum gleichmäßig, unabhängig vom Abstand der Wände zum druckentlasteten Behälter.

Anmerkung 2: Die Gleichungen zur Vorhersage von Druckauswirkungen gelten nur für eine einzelne Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung. Wenn mehrere Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen in derselben Richtung öffnen, muss $P_{\text{blast,max}}$ für jede Entlastungseinrichtung berechnet werden. Anschließend sind die Werte zu addieren, um die kombinierte konservative Druckauswirkung zu schätzen.

3.1.10.2 Die maximale Länge des Flammenstrahls in einer Richtung, die senkrecht zur Drucklüftung ist, wird mit der folgenden Gleichung berechnet:

$$L_{f,\text{max}} = 8 V^{1/3}$$

wobei

$L_{f,\text{max}}$ = maximale Flammenstrahllänge, m

V = Volumen der entlasteten Einhausung, m^3

Diese Gleichung gilt nur für ST1-Stäube (d. h. $K_{\text{st}} \leq 200$) mit $P_{\text{red}} \leq 1$ barg und $P_{\text{stat}} \leq 0,1$ barg. Es gibt keine veröffentlichten Korrelationen für Situationen außerhalb der angegebenen Grenzen. Es wird davon ausgegangen, dass sich durch Änderungen von P_{stat} auch die Größe der prognostizierten Stichflamme ändert. Aktuelle Berechnungsmethoden konnten diese Wirkung jedoch nicht quantifizieren.

3.1.10.3 Die Rückstoßkraft einer Explosion wird anhand der folgenden Gleichungen berechnet (2.3.3.1.18):

a) Für eine dynamische Rückstoßkraft ist die folgende Formel zu verwenden:

$$F_R = 119 A_v P_{red}$$

Einheiten: F_R (kN), A_v (m²), P_{red} (barg)

$$F_R = 1,2 A_v P_{red}$$

Einheiten: F_R (lb), A_v (in²), P_{red} (psig)

b) Für die Dauer dieser Rückstoßkraft ist die folgende Formel anzuwenden (gilt nur für Einhausungen ohne Druckentlastungskanäle):

$$t_f = 10^{-4} K_{st} V / (P_{red} A_v)$$

Einheiten: K_{st} (bar m/s), V (m³), P_{red} (barg), A_v (m²), 10^{-4} (s⁻² m² c) eine Konstante

c) Als Alternative zur dynamischen Kraftverankerung sollte eine gleichwertige statische Kraft (F_s) verwendet werden, die mit der folgenden Formel berechnet wird:

$$F_s = 0,52 F_R$$

Einheiten: kN oder lb wie in der ursprünglichen Gleichung

Mit der FM Global Software DustCalc können die Auswirkungen von Druck und Feuerbällen schnell berechnet werden.

3.1.11 Feste Hindernisse nahe der Vorderseite von Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen (2.3.3.1.12)

Ein festes Hindernis, das sich zu nahe an der Öffnung einer Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung befindet, stellt einen erheblichen Widerstand gegen den freien Austritt von Verbrennungsprodukten aus den entlasteten Anlagen dar. Man geht davon aus, dass dies hauptsächlich auf die Verbrennung von Staub zurückzuführen ist, nachdem dieser aus den geschützten Anlagen ausgestoßen wurde. Da die Verbrennung im halb verengten Bereich zwischen dem Behälter und dem Hindernis stattfindet, tritt eine ähnliche Situation wie bei einer Sekundärexpllosion ein. Dies hat erhebliche Rückdruckauswirkungen auf die Anlagenexplosion. Der Wissensstand über dieses Phänomen ist begrenzt und es ist unmöglich, die Wirkung zu quantifizieren. Aufgrund der Komplexität der Auswirkungen verschiedener Geometrien, die zu teilweiser Verengung führen, ist es auch nicht möglich, einen Sicherheitsabstand zu nicht flachen Hindernissen einzuhalten. Die einzige sichere Vorgehensweise besteht darin, Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung so zu positionieren und auszurichten, dass sie nicht auf benachbarte Oberflächen zeigen.

3.1.12 Verteilung der Explosionsdruck-Entlastungsvorrichtungen (2.3.3.1.15)

Wenn innerhalb eines geschützten Behälters erhebliche Hindernisse vorkommen, sind zwei Eigenschaften von Explosionen zu beachten, aufgrund derer es wichtig ist, eine gut verteilte Explosionsdruckentlastung zu installieren.

Erstens: Wenn die Gase in Richtung einer Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung an einem Ende des Behälters durch Bereiche mit Hindernissen strömen müssen, treten die Gase nicht so schnell aus dem Behälter aus, wie dies bei ungehindertem Volumen der Fall wäre. Aus diesem Grund kann der abgeleitete Explosionsdruck P_{red} über den erwarteten Wert ansteigen.

Zweitens werden die Turbulenzen im Behälter deutlich erhöht, wenn die Gase über größere Hindernisse in Richtung der Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung strömen. Da der Druckanstieg einer Explosion mit zunehmenden Turbulenzen zunimmt, können die Hindernisse die Explosion verschlimmern.

Durch Druckentlastungsöffnungen, die sich über das gesamte Gehäuse verteilen, wird sichergestellt, dass die bei der Explosion abgeleiteten Gase den kürzesten Weg aus dem Gehäuse nehmen.

3.1.13 Betriebsdruck des Staubabscheiders (2.3.3.1.17)

Der normale Betriebsdruckbereich für Staubabscheidersysteme und Entstaubungsanlagen beträgt +40 bis 40 mbar. In diesem Druckbereich sind keine Anpassungen der Standard-Richtlinien zur Explosionsdruckentlastung erforderlich.

3.1.14 Explosionsentkopplung (2.3.3.2)

Bei einer Explosion in einer druckfest ausgelegten Einhausung breiten sich Druck und Flammen (d. h. brennender Staub) über alle offenen damit verbundenen Kanäle in eine andere Einhausung aus. Ist der zweite Behälter ebenfalls druckfest ausgelegt, reicht die Druckfestigkeit wahrscheinlich aufgrund eines Effekts, der häufig als „Druckstoß“ bezeichnet wird, nicht aus. Der Druck im zweiten Behälter steigt, bevor die Zündquelle (d. h. brennendes Material) eintrifft, da die Druckerhöhung vom ersten Behälter zum zweiten mit Schallgeschwindigkeit fortschreitet, die

im Allgemeinen größer als die Geschwindigkeit der Flammenfront ist. Daher liegt der Anfangsdruck im Moment, in dem eine Staubexplosion innerhalb des zweiten Behälters entzündet wird, weit über dem normalen (Umgebungs-)Druck.

Bei einem bestimmten Kraftstoff/Luft-Verhältnis ist der endgültige, nicht abgeleitete Explosionsdruck direkt proportional zum Anfangsdruck. Beispiel: Wenn die erste Explosion den zweiten Behälter mit einem Druck von 3 bar beaufschlagt, erhöht sich der endgültige Explosionsdruck im zweiten Behälter um den Faktor 3. Bei einem Staub mit einem P_{\max} -Wert von 9 bara würde der endgültige, nicht abgeleitete Druck in diesem Beispiel 27 bara betragen und somit weit über der Stärke selbst des stabilsten Behälters liegen, der für die Staubexplosions-Druckbegrenzung ausgelegt ist. Daher ist es bei Verwendung der Explosionsdruckfestigkeit als Schutzmethode wichtig, eine Explosionsentkopplung zu installieren, um zu verhindern, dass ein Behälter durch eine andere Explosion unter Vordruck gesetzt wird.

Wenn ein durch eine Explosions-Eindämmungseinrichtung geschützter Behälter mit einem zweiten durch eine Explosionsdruckentlastung geschützten Behälter verbunden wird, liegt ein Schutzproblem vor, das nicht auf die Vordruckbeaufschlagung, sondern auf die Turbulenzen, die durch die Druckfront verursacht werden, und eine sehr starke von der Flammenfront ausgehende Zündquelle zurückzuführen ist. Das Ergebnis ist eine schnellere Explosion im zweiten Behälter, die bei der Auslegung der Druckentlastung nicht berücksichtigt wird, wodurch mit einem Ausfall des zweiten Behälters zu rechnen wäre.

Diese Effekte treten in geringerem Umfang auf, wenn die verbundenen Behälter beide durch eine Explosionsdruckentlastung geschützt sind.

Daher ist es bei Verwendung von Explosionsdruckentlastung als Schutzmethode wichtig, eine Explosionsentkopplung zu installieren, um den entlasteten Behälter von allen angeschlossenen Behältern zu trennen, die bei der Verwendung der Explosionsdruckfestigkeit als Schutzmethode geschützt sind.

Pneumatische Dichtstromfördersysteme arbeiten mit vergleichsweise geringer Transportgeschwindigkeit (1 bis 5 m/s), hoher Feststoffbeladung und hohem Druck (bis zu 8,6 barg). Aufgrund der hohen Staubbelastung (weit über der MEK) ist es unwahrscheinlich, dass sie die Flammenfront durch eine Explosion fortführen können.

Pneumatische Dünnstromfördersysteme arbeiten mit hoher Geschwindigkeit (25 bis 40 m/s), niedriger Feststoffbeladung und niedrigem Druck (unter 1 barg).

3.1.15 Entkopplungssysteme (2.3.3.3)

Bei der Verwendung von aktiven (im Gegensatz zu passiven) Anlagen zur Explosionsentkopplung ist die maximale Geschwindigkeit, mit der sich die Explosionsflammenfront vom Erkennungspunkt zur Entkopplungsvorrichtung fortbewegt, ein wichtiger Aspekt. Die wissenschaftliche Berechnung der Flammenausbreitung bei Staubexplosionen hat zu vielen Artikeln geführt, aber zu keiner einfachen Lösung. Der Hersteller der Entkopplungsvorrichtung muss die entsprechende Entkopplung für die jeweilige Anlage bereitstellen.

3.1.16 Schnellschlussarmaturen mit umströmtem Schließkörper (2.3.3.3.4)

Diese Geräte werden über einen Differenzdruck aktiviert, der durch die sich nähernde Flammenfront oder die Gasgeschwindigkeit im Kanal verursacht wird. Daher muss der Auslösedruck der Explosionsdruck-Entlastungsvorrichtungen (P_{stat}) der explodierenden Anlage hoch genug sein (ca. 0,2 barg), um sicherzustellen, dass die Armatur geschlossen wird. Wenn zum Schutz der Anlage ein niedrigerer P_{stat} erforderlich ist, sind ein zusätzlicher Explosions-Sensor und Hilfgas erforderlich, um die Armatur zu betätigen.

Die Daten auf dem Ventex-Gerät zeigen an, dass bestimmte Mindest- und Höchstabstände erforderlich sind, um sicherzustellen, dass das Gerät ordnungsgemäß schließt und kein Übergang zur Detonation stattgefunden hat. Diese Abstände werden durch Tests bestimmt, sind jedoch für eine Vielzahl von Betriebsbedingungen in ähnlicher Form gültig. Wenn Hybridmischungen beteiligt sind, werden beide Abstände verringert und die genaue Zahl hängt von der Größe der Armatur/des Rohrs ab. Die Daten des Herstellers ersetzen ggf. diese allgemeine Richtlinie.

Ventex-Armaturen sind entweder unidirektional oder bidirektional, d. h. sie werden von einem Druckereignis aus einer Richtung oder aus beiden Richtungen angesteuert. Nach dem Schließen werden sie in dieser Position verriegelt und müssen manuell zurückgesetzt werden.

3.1.17 Vakuumbetrieb (2.3.3.6)

Da der Enddruck nach einer Explosion proportional zum anfänglichen Druck (vor der Explosion) ist, erzeugt eine Staubexplosion in einer Umgebung mit weniger als 0,1 bara einen absoluten Explosionsdruck von weniger als 1 bara. Somit besteht kein Schadenpotenzial durch diese Explosion.

Wenn ein Prozess mit einem Druck von weniger als 50 mbar (absolut) arbeitet, könnte in der Regel keine Explosion entzündet werden.

3.1.18 Funkenlöschung und Explosionsunterdrückung (2.3.4.1)

Bisher aufgetretene Schäden haben gezeigt, dass eine Fehleinschätzung hinsichtlich der Möglichkeiten einer Funkenlöschanlage bestehen könnte. Funkenlöschanlagen sind sehr effektiv, um die Häufigkeit von Explosionen von brennbarem Staub zu reduzieren. Sie haben jedoch keinen Einfluss auf die Schwere einer Explosion und stellen auch keine Alternative zu einer Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung, Explosionsschutz oder einer Explosionsunterdrückungsanlage dar.

Eine Funkenlöschanlage, auch Funkenunterdrückungsanlage genannt, erkennt und löscht Funken oder glühende Glut vor der Staubsammelanlage, um zu verhindern, dass diese Zündquellen in den bzw. die Staubabscheider gelangen und eine Explosion auslösen. Die Meldeanlage verwendet einen Infrarotsensor, um nach Partikeln zu suchen, die bei erhöhten Temperaturen durchströmen. Der Feuerlöscher ist eine Wassersprüheinrichtung, der sich hinter dem Melder befindet.

Es wird erwartet, dass der Melder unabhängig von der Größe der durchströmenden heißen Partikel funktioniert. Er erkennt heiße Partikel, die so klein wie Funken oder so groß wie ein gebrochenes Schleifband sind. Der Feuerlöscher funktioniert jedoch möglicherweise nicht, wenn die Partikel groß sind. Funken sollten alle gelöscht werden, aber brennendes oder schwelendes Material mit größeren Abmessungen könnte eventuell nicht gelöscht werden. In diesem Fall könnte es bei einer brennbaren Staubwolke in den nachgeschalteten Staubsammelanlagen zu einer Explosion kommen.

Die Funkenlöschanlage verringert nicht die Schwere der sich daraus ergebenden Explosion, sodass für die Anlagen mit Staubexplosionsgefahr der gleiche Explosionsschutz oder eine entsprechende Minderung installiert werden muss.

Eine Funkenlöschanlage löscht eine Zündquelle, kann aber eine Explosion nicht unterdrücken, nachdem sie begonnen hat. Sie verhindert Explosionen, indem sie verhindert, dass sich eine explosionsfähige Wolke überhaupt entzünden kann.

Eine Explosionsunterdrückungsanlage erkennt die frühen Phasen einer Explosion und dämpft die Explosion, um zu verhindern, dass der Druck auf ein Niveau ansteigt, bei dem Anlagen beschädigt oder zerstört werden können.

Die Explosionsunterdrückungsanlage reduziert die Schwere einer Explosion, während die Funkenlöschanlage nur die Häufigkeit reduziert.

Eine Funkenlöschanlage ist nur dazu gedacht, ein einziges Zündszenario zu eliminieren: Kleine, heiße Partikel werden zu einem Staubabscheider befördert, wo eine brennbare Staubwolke entzündet werden kann. Es gibt weitere Zündszenarien, die eine Funkenlöschanlage nicht beeinflussen kann. Zum Beispiel:

- In der Staubabscheideranlage angesaugtes vagabundierendes Metall (z. B. eine Schraube oder ein Nagel). Das Metall erzeugt Funken, wenn es auf Kanäle oder Metallanlagen hinter der Funkenlöschanlage trifft.
- Zündquellen, die hinter der Funkenlöschanlage entstehen, z. B. heiße Oberflächen, Trennschneiden und Schweißen an/um Staubsammelanlagen.

Bei den meisten Prozessen ist die Förderung kleiner, heißer Partikel aus dem staubproduzierenden Prozess in die Staubsammelanlage bei weitem die häufigste potenzielle Zündquelle einer Staubexplosion. Installierte Funkenlöschanlagen können wöchentlich oder häufiger ohne Zwischenfall auslösen. Dies bestätigt die Fähigkeit des Systems, selbst die kleinsten heißen Partikel beständig zu erkennen und zu löschen.

Es gab schon Schäden, bei denen brennendes Material durch die Funkenlöschzone in die Staubabscheideranlage gelangt ist und eine Explosion ausgelöst hat. Das brennende Material wurde möglicherweise aufgrund seiner Größe oder Form oder aufgrund eines Defekts in der Funkenlöschanlage oder ihrer Installation nicht berücksichtigt. Da andere schadenbegrenzende Vorrichtungen, wie z. B. Explosionsdruckentlastung oder -blockierung, fehlen oder nicht vollständig ausreichen, wurde die Staubabscheideranlage durch die daraus resultierenden Explosionen beschädigt. Darüber hinaus wurde brennendes Material durch eine warme Luftrückführung nach vorne oder zurück zu den Staubaufnahmepunkten in den Arbeitsbereich gedrückt (ausgestoßen). Eine ausreichende Explosionsdruckentlastung in Verbindung mit Schutzvorrichtungen an der Warmluftrückführung (empfohlen hier und in FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 7-73, *Dust Collectors and Collection Systems*) hätte verhindern können, dass brennendes Material in die Anlage gelangt.

3.1.19 Minimale Zündenergie (MZE) (2.3.4.2)

Die überwiegende Mehrheit der Stäube hat MZE-Werte über 10 mJ, daher ist es nicht erforderlich, Stäube routinemäßig auf die MZE zu testen. Solche Tests werden normalerweise nur dann durchgeführt, wenn der Verdacht besteht, dass ein Staub besonders anfällig für statische Entladungen ist. Die Normen für die Prüfung auf MZE sind ASTM E2019 und EN 13821 sowie andere gleichwertige Normen. Jeder Test, der einen MZE-Wert von 10 mJ oder weniger ergibt, sollte als Nachweis der statischen Entzündbarkeit interpretiert werden.

Zündfähige elektrische Ladungen können entstehen, wenn isolierende Pulver in Silos oder Behältern transportiert werden oder wenn isolierende Auskleidungen (z. B. Kunststoff) Metalloberflächen bedecken (bei ausgekleideten Metallkanälen). Durch Aufladungen auf der Oberfläche eines isolierenden Pulvers können Koronaentladungen entstehen, die normalerweise auf 20 mJ begrenzt sind. Dadurch ist die Wahrscheinlichkeit, dass brennbare Stäube durch sie entzündet werden, gering. Ladungen, die auf ausgekleideten Oberflächen entstehen, können zur Ausbreitung von Koronaentladungen führen, die ausreichend Energie (Hunderte von mJ) freisetzen können, um brennbare Stäube zu entzünden. Wenn diese Bedingungen vorliegen, sollte eine Bewertung durch einen Elektrostatikexperten durchgeführt werden.

3.1.20 Abscheider für Fremdkörper, magnetischer oder sonstiger Art (2.3.4.3)

Die Verwendung von Abscheidern vor allen Anlagen, die mechanisch mit dem Prozessmaterial in Berührung kommen, verhindert, dass Metall und andere Fremdkörper in das Gerät gelangen. Ohne die Abscheider könnten vagabundierende Metallteile oder andere Materialien, die in die Anlage eindringen, Stoß- oder Reibungsfunken erzeugen, die eine Staubwolke entzünden könnten.

3.1.21 Saubere und verschmutzte Seite von Staubabscheidern (2.4.2)

Die Unterscheidung zwischen der Seite mit sauberer und der mit schmutziger Luft ist bei der Betrachtung von Explosionsszenarien nicht wichtig. Durch die bei einer Explosion entstehenden Drücke bersten häufig die Filtermedien, da sich die Explosion sowohl auf der sauberen als auch auf der schmutzigen Seite ausbreitet. Darüber hinaus kann es zu einem Defekt des Filtermediums noch vor einer Explosion kommen (z. B. zu einem Beutelbruch), sodass Staub auf die saubere Seite gelangen kann.

Das Problem, wo die Entlastungsvorrichtungen in Bezug auf die saubere und schmutzige Seite angebracht werden, ist sowohl theoretisch als auch praktisch von Bedeutung. Die meisten Tests basieren auf einer Einhausung ohne interne Behinderungen und mit einer Druckentlastung in einiger Entfernung von der Zündung. Filter oder andere Hindernisse können den Explosions- und Druckentlastungsprozess verändern. Filtermedien versagen im Allgemeinen früh in der Explosion und haben eine geringfügige Auswirkung auf den Druckentlastungsprozess, aber das Rohrblech, das die sauberen und schmutzigen Seiten trennt, kann ein größeres Hindernis darstellen. Die Gleichung, die die Mindestgröße der Explosionsdruckentlastung angibt, die auf der verschmutzten Seite vorhanden sein muss, basiert auf der Bereitstellung einer ausreichend dimensionierten Explosionsdruckentlastung für eine Explosion an der schmutzigen Seite, wenn die Filtermedien nicht beschädigt werden und keine Gase durch die saubere Seite des Sammlers austreten können.

3.1.22 Explosionsdruckentlastung von Zyklonen (2.4.2.3)

Berechnungen zur Explosionsdruckentlastung eines Zyklons auf Grundlage normaler Auslegungskriterien zeigen, dass der typische Gasauslass, dessen Durchmesser die Hälfte des Durchmessers eines Zyklons beträgt, einen ausreichenden Explosionsdruckentlastungs-Bereich für Stäube mit K_{st} -Werten bis 80 bietet, basierend auf der Annahme einer Druckfestigkeit von etwa 0,3 barg. Stäube mit K_{st} -Werten von bis zu 80 sind in der Regel ziemlich grob (z. B. Sägemehl, Maismehl), weisen einen sehr geringen Anteil leicht aufzuwirbelnden Substanzen (z. B. Aktivkohle) auf oder haben eine sehr geringe Verbrennungsenergie (z. B. Eisenstaub, FRP mit hohem Gehalt an inerten Fasern).

Die Eignung von Explosionsdruckentlastung kann nicht vorausgesetzt werden, wenn der Zyklon über einen Kanal mit $L/D > 1$ über den Gasauslass hinaus verfügt. Wie bei jedem Behälter mit einem Kanal an der Explosionsdruck-Entlastungseinrichtung sind Explosionsdruckberechnungen erforderlich, um die Wirkung zu quantifizieren.

Aufgrund der erheblichen Gegendruckeinflüsse, die durch Biegungen in Abluftkanälen entstehen, ist es unwahrscheinlich, dass jeder Gasauslass mit einem 180°-Kanal (Schwanenhals) über eine ausreichende Explosionsdruckentlastung verfügt. Falls möglich, sollte der Schwanenhals durch einen Regenschutz über einem offenen Gasauslass ersetzt werden.

Zu den typischen Zyklon-Proportionen gehören der Durchmesser D, die Zylinderhöhe und die Kegelhöhe je 2 D und der Gasaustrittsdurchmesser $1/2 D$.

3.1.23 „Leitfähige“ Staubabscheidermaterialien (2.4.3.1)

Bei „leitfähigen“ Filtermaterialien sind normalerweise feine Drähte mit eingewebt oder am Gewebe befestigt. Das Netz von leitfähigen Drähten ist mit einem oder mehreren Erdungsbändern/-drähten verbunden, die am Staubabscheider oder dessen Struktur befestigt werden müssen. Da es keinen zuverlässigen Mechanismus gibt, mit dem Ladungen von der Oberfläche des nichtleitenden Filtermaterials zum nächsten geerdeten Draht übertragen werden können, können messbare (und manchmal erhebliche) Potenzialunterschiede zwischen der Filteroberfläche und den Drähten bestehen.

Es wurde noch nie sicher nachgewiesen, dass spezielle Filter zur Vermeidung von Staubexplosionen aufgrund von statischer Aufladung erforderlich sind. Bei normalen, nicht leitfähigen Filtern kann sich statische Elektrizität auf der gesamten Oberfläche eines Filters ansammeln, aber eine statische Entladung kann nur die über einen sehr kleinen Bereich angesammelte Energie freisetzen. Diese Energiefreisetzung reicht wahrscheinlich nicht aus, um selbst die empfindlichsten Stäube zu entzünden.

Es gibt ein weiteres Problem im Zusammenhang mit „leitfähigen“ Filtern. Es besteht die Möglichkeit, dass sich die Erdungsbänder lösen und ein Filter dadurch in einen riesigen Kondensator verwandelt wird. Alle eingebetteten Drähte, die Ladungen von der Filteroberfläche aufnehmen, könnten plötzlich genug statische Elektrizität freisetzen, um eine Staubwolke zu entzünden. Durch wiederholtes Schütteln oder Luftstöße zum Reinigen der Filter können ein oder mehrere Erdungsbänder brechen oder sich lösen. Wartungs- und Inspektionsmaßnahmen sind erforderlich, um dies zu verhindern.

3.1.24 Staubabscheider ohne Einhausung (2.4.4)

Staubabscheider ohne Einhausung leiten die verschmutzte Luft auf die Innenseite der Filtermedien ab, in denen der flüchtige Staub aufgefangen wird und die „saubere“ Luft in die Umgebung entweicht, was die Möglichkeit einer Ansammlung von Staub in der Umgebung erhöht. Diese Option sollte somit nur für unregelmäßig oder gelegentlich verwendete Systeme verwendet werden. (siehe Abb. 11).

Staubabscheider ohne Einhausung sind für die Verwendung mit den meisten Stäuben, die von Prozessanlagen oder anderen belüfteten Staubquellen aufgenommen werden, nicht vorgesehen. Der Filter wird schnell von Feinstaub bedeckt, was zu einer verminderten Leistung führt. Außerdem kann es zur Freisetzung von Staub in die Umgebung kommen.

Da im Normalfall nur der Filter die Freisetzung von brennbarem Staub verhindert, könnte alles, was sich in einem Umkreis von 3 m befindet, als Bereich der Klasse II, Division 2 (Zone 22) betrachtet werden, der ex-geschützte elektrische Betriebsmittel erfordert. Eine bessere Lösung ist die Begrenzung der Verwendung von normalen elektrischen Betriebsmitteln im eingeschränkten Bereich [siehe NFPA 499-2013 Abbildung 6.10(c)].

Viele Staubabscheider ohne Einhausung sind wie in Abbildung 11 in mehrere Filter mit Behältern unterteilt. Die Begrenzung von 140 m³/min bezieht sich auf den Gesamtluftstrom durch die Baugruppe und nicht nur auf ein einzelnes Filtermedium mit einem Behälter für aufgenommene Materialien.

Das Innere des Filters könnte als potenzielle Staubexplosionsgefahr angesehen werden. Die Filter würden jedoch schnell versagen, wenn die darin enthaltene Staubwolke entzündet würde und es in der Regel zu einer Stichflamme mit einem begrenzten Feuerball käme. Eine Explosionsdruckentlastung wäre nicht erforderlich oder nicht praktikabel. In ähnlicher Weise würde die offene Bauweise es den Deckensprinklern ermöglichen, einen Brand, der sich entwickeln könnte, unter Kontrolle zu bringen.



Abb. 11: Beispiel für einen Staubabscheider ohne Einhausung

3.1.25 Anschlusskanäle (2.5)

Stäube werden in Kanälen entweder als Teil einer Staubabscheideranlage oder zur Verlagerung des Produkts von einem Teil des Prozesses auf einen anderen übertragen. Die Konzentration bei der Staubbeförderung ist fast immer viel geringer als die MEK, während die Konzentration bei der Prozessförderung weit über der MEK liegen kann. Die Prozessförderung kann als Dichtstromförderung bezeichnet werden.

Um die Gefahr richtig zu verstehen, müssen die Förderbedingungen bekannt sein. Dies kann durch Kenntnis der über einen bestimmten Zeitraum verarbeiteten/gesammelten Menge bestimmt oder durch Probenahme oder Überwachung des tatsächlichen Durchflusses im Kanal gemessen werden. Manchmal können diese Daten von Mitarbeitern aus den Bereichen Arbeitssicherheit und Gesundheit abgerufen werden.

Die Gefahr im Kanal kann durch die tatsächlichen Förderraten oder durch Staub, der sich absetzt und sich durch eine unzureichende Strömungsgeschwindigkeit im Kanal ansammelt, beeinflusst werden. Es ist wichtig, dass dies nicht auftritt. Ansammlungen können durch Aufrechterhaltung

eines ausreichenden Luftstroms (Größenordnung in der Regel 1070-1220 m/min) kontrolliert werden. Staub, der sich angesammelt hat, kann durch die Druckwelle einer Explosion wieder freigesetzt werden und örtlich begrenzte brennbare Konzentrationen erzeugen, die sich mit der Druckwelle bewegen und von der Flammenfront entzündet werden. Nach einer erheblichen Ausbreitung würde diese turbulente Stichflamme zu einer sehr starken Zündquelle, die scheinbar ordnungsgemäß geschützte Anlagen zerstören würde.

Eine bemerkenswert kleine Menge an Staubablagerungen kann eine Explosion auslösen. Für einen kreisförmigen Kanal mit Durchmesser „D“ und einer Staubschicht von Dicke „h“, die sich auf $\frac{1}{4}$ seines Innumfangs (d. h. unten) abgelagert hat, wäre die Konzentration von homogenem Staub im gesamten Kanalquerschnitt $C = \rho_{\text{bulk}} h/D$. Beispiel: Durch einen Staub mit einer Schüttdichte von 500 kg/m^3 und einer Schichtdicke von nur 0,2 mm könnte in einem Kanal von 0,2 m Durchmesser eine Staubkonzentration von 500 g/m^3 erzeugt werden. Diese Konzentration liegt weit über der MEK von praktisch jedem Staub und kann daher zu einer Explosion führen.

Der abgesetzte Staub wird wahrscheinlich nicht gleichmäßig im gesamten Kanal verteilt, aber Untersuchungen des US Bureau of Mines haben gezeigt, dass sich Explosionen durch Kanäle auch bei durchschnittlichen Staubkonzentrationen von nur der Hälfte der MEK ausbreiten können. Alles, was für die Weiterleitung erforderlich ist, ist eine durchgängige Strecke, auf der die Konzentration der Mischung über der MEK liegt. Diese Bedingung kann auch dann erfüllt sein, wenn nicht genügend Staub vorhanden ist, um das gesamte Kanalvolumen mit einer Mischung mit Konzentration über der MEK zu füllen. Daher können selbst sehr kleine Staubmengen ausreichen, um eine sich ausbreitende Explosion zu erzeugen. Also sollte die Geschwindigkeit, mit der die Luft durch den Kanal strömt, hoch genug sein, um eine Ablagerung des übertragenen Staubs zu verhindern.

Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen im Innern der Kanäle werden nicht zum Schutz der Kanäle installiert (diese sind im Normalfall von geringem Wert und leicht auszutauschen), sondern um potenzielle Explosionen abzuschwächen, die über die gesamte Kanallänge weitergeleitet werden können. Dadurch würde die Ausbreitung der Explosion nicht gestoppt, aber verbundene Anlagen, die Staub enthalten, wären einer weniger energiereichen Zündquelle ausgesetzt. Die Auslegung des Kanals auf Versagen bei niedrigem Druck anstelle der Installation von Explosionsdruck-Entlastungsvorrichtungen könnte eine akzeptable Alternative darstellen, wenn keine Anlagengefährdung besteht.

Explosionsentkopplungssysteme können für die Verbindung von Kanälen erforderlich sein, wenn die Folgen eines ungeschützten Ereignisses in Anlagen oder eines Rückschlags in ein Gebäude nicht akzeptabel sind. Eine große Paneelschleifmaschine kann beispielsweise sechs Staubaufnahmestellen haben, drei oben und drei unten, die alle in einen gemeinsamen Kanal münden. Nicht für jedes Ansaugrohr wäre eine Entkopplungsvorrichtung erforderlich. Eine Explosionsentkopplung sollte am besten hinter dem Austritt des Hauptkanals aus dem Gebäude installiert werden, um zu verhindern, dass sich eine Explosion im Staubabscheider zurück in Richtung Schleifmaschine ausbreitet.

3.1.26 Silos (2.6)

In Silos besteht die Gefahr von Staubexplosionen, auch wenn nur Granulate mit sehr geringen Mengen an explosiven Feinanteilen transportiert werden. Das ständig in den Silo transportierte grobe Material fällt auf den Boden des Silos. Die feinen Partikel mit der größten Explosionsgefahr bleiben jedoch in der Luft. Wenn der Fördervorgang lange genug dauert, überschreitet die Konzentration brennbarer Stäube in der Luft die MEK und stellt eine Explosionsgefahr dar.

Wenn ein Staubabscheider direkt auf einem Silo montiert wird (d. h. mit einem kurzen Verbindungsrohr mit ausreichend großem Durchmesser), erzeugt jede Explosion, die im Staubabscheider ausbricht, die gleiche Siloexplosion wie eine Explosion im Silo. Daher kann der Staubabscheider als Teil des Silos betrachtet werden. Solange die Explosionsdruckentlastung am Silo und an der Staubabscheideranlage auf Grundlage der Summe beider Volumen dimensioniert ist, sollte die Explosionsdruckentlastung ausreichen, unabhängig davon, ob die Explosion dem Silo oder dem angeschlossenen Staubabscheider entstammt.

Wenn der Staubabscheider über ein kleines oder verlängertes Rohr vom Silo getrennt wird, wirken Silo und Staubabscheider bei einer Explosion nicht mehr als ein einziges Volumen. Wenn eine Explosion in einem Staubabscheider ohne eigene Explosionsdruckentlastung entsteht, breitet sich die Stichflamme durch das Verbindungsrohr aus und entzündet alle brennbaren Staubwolken im Silo. Dies würde zu einer weitaus heftigeren Explosion im Silo führen, als wenn die Siloexplosion von einer herkömmlichen (schwächeren) Zündquelle verursacht würde.

Luftkanonen, die zum Aufbrechen von Brückenbildung im Material verwendet werden, können Feinanteile im Schüttgut in den Silo-Kopfteil zerstreuen. Selbst wenn der Prozentsatz der Feinanteile sehr gering ist (z. B. 1–2 %), werden durch wiederholte Luftstöße die Feinstoffe am oberen Rand des Materialbetts konzentriert. Wiederholter Luftkanonenbetrieb erzeugt bei jeder Kanonenabfeuerung mehr Feinanteile am oberen Rand des Materialbetts und eine höhere Staubkonzentration im Kopfteil. Für eine potenziell schwere Staubexplosion ist nur eine Zündquelle erforderlich.

Darüber hinaus sind bestimmte brennbare Materialien wie Kohle, Getreide und Holz anfällig für eine spontane Erwärmung, deren Wahrscheinlichkeit durch Luftzufuhr über einen längeren Zeitraum erhöht werden kann. Luft, die in eine glühende Zündquelle gelangt, kann zu einer offenen Flamme führen oder eine Staubexplosion entzünden.

Alternativen zu Luftkanonen sind die Verwendung von Rüttelarmen, die vorübergehend oder dauerhaft in den unteren Teil des Silos eingesetzt werden, oder die Verwendung von Schallhörnern und -lanzen.

3.1.27 Becherförderer (2.7)

Es gibt zwei Konfigurationen von Becherförderern, mit einfachem oder doppeltem Fördergehäuse (Einfach- oder Doppelschlot): (1) Bei einem Einfachschlot bewegen sich die Becher im selben Schlot (Einhausung) mit einem gemeinsamen Kopf (oben) und Fuß (unten) nach oben und unten. (2) Bei einem Doppelschlot gibt es separate Gehäuse für die aufwärts und abwärts gehenden Stränge, aber dennoch einen gemeinsamen Kopf und einen gemeinsamen Fuß.

Die Handhabung von großen Mengen von grobem brennbarem Material gemischt mit einem sehr kleinen Feinanteil, das zusammen eigentlich kein Staubexplosionsrisiko darstellt, kann durch die Handhabung in einem Becherförderer ein Staubexplosionsrisiko entstehen lassen. Aufgrund der hohen Turbulenzen in der Einhausung des Becherförderers können Feinanteile leicht aufgewirbelt werden. Da der Luftraum im Förderer ständig mit mehr Feinstaub gefüllt wird und nur sehr wenig davon herausfällt, kann die Konzentration die MEK überschreiten und eine Staubexplosionsgefahr darstellen.

Ein Beispiel hierfür ist ungemahlene Sojabohnen-Extraktionsmasse, die nicht explosiv ist. Der Großteil dieses Produkts besteht aus sehr grobem Material (mittlere Partikelgröße ca. 1000 Mikrometer), aber etwa 3 % der Feinanteile sind kleiner als 75 Mikrometer. In einem Fall wurden die Feinanteile freigesetzt und es kam zu einer Entzündung und Explosion, nachdem dieses Produkt mehrere Minuten lang in einem Becherförderer transportiert wurde.

3.1.28 Zerkleinerungsanlagen (Mühlen, Pulverisierer, Hammermühlen usw.)

Zerkleinerungsanlagen bergen eine inhärente Gefahr mechanischer Einwirkungen bei brennbaren Stäuben. Die mechanischen Stöße können zu einer Reibungs- und Stoßerwärmung führen. Funken können entstehen, wenn unbeabsichtigterweise Metall in die Maschine gelangt. Das Ergebnis können entweder glühende Partikel, die die Anlage verlassen und zu einer Zündquelle in nachgeschaltete Anlagen werden, oder die tatsächliche Entzündung der Staubwolke in der Anlage selbst sein. Diese Maschinen sind sehr häufig in fester Bauweise ausgeführt und können einer internen Explosion ohne Beschädigung standhalten.

In der Regel ist keine Explosionsdruckentlastung erforderlich, aber die mögliche Ausbreitung der Explosion auf andere Teile der Installation sollte berücksichtigt werden und es können Verfahren zur Explosionsentkopplung erforderlich sein.

Diese Vorrichtungen sollten regelmäßig instand gehalten werden, um für eine angemessene Schmierung zu sorgen, ausreichende Abstände einzuhalten, die Ansammlung und Entzündung von Staub und Schmutz zu vermeiden und den ordnungsgemäßen Betrieb sicherzustellen.

3.1.29 Additive Manufacturing (3D-Druck) (2.10)

Das Additive Manufacturing (AM), auch als 3D-Druck bekannt, gewinnt bei der Produktion komplexer Teile zunehmend an Bedeutung. Einzelteile für verschiedenste Branchen von der Spielzeugherstellung bis hin zur Luft- und Raumfahrt werden auf diese Weise gefertigt.

Die Abbildungen 12, 13 und 14 zeigen schematische Darstellungen der wichtigsten Technologiekategorien und ihrer Eigenschaften. Der in Abbildung 14 dargestellte 3D-Druck erfolgt eher auf PCs als im industriellen Maßstab.

Das Pulverbett-Schmelzkleben scheint die häufigste Methode bei Metallpulvern zu sein. Dabei werden digitale Konstruktionsdaten verwendet, um eine Komponente schichtweise aufzubauen, wobei zunächst eine Materialschicht von 20 bis 100 Mikrometer Dicke (0,02 bis 0,1 mm) abgelagert wird. Anschließend wird das Komponentenmuster in der Schicht fixiert und die Sequenz wiederholt, bis die Herstellung des Teils abgeschlossen ist. Bei Metallpulvern erfolgt die Fixierung mit einem Laser oder Elektronenstrahl, während Polymere/Kunststoffe mit einem Laser oder einer auf die Pulverschicht aufgespritzten Bindeflüssigkeit fusioniert werden können.

Abbildung 15 zeigt eine schematische Darstellung der SLS-Fusionsbett-Technologie (Selective Laser Sintering), mit der das eigentliche Produkt produziert wird. Die Pulverschichtverteilung erfolgt über eine Traverse, die knapp über der Oberfläche der Bauplattform oder der vorherigen Schicht liegt.

Bei der Materialablagerung werden Pulver oder Extrusionsverfahren angewendet, um die Konstruktion Schicht für Schicht aufzubauen. Es gibt ein Verfahren, bei dem Pulver selektiv durch einen Aerosolstrahl dispergiert wird, gefolgt von einer Fixierung mit Wärme oder einem Elektronenstrahl (Material-Jetting). Bei diesen Prozessen werden kleine einzelne „Schüsse“ des Materials abgegeben, die normalerweise keine Staubwolken in der Ausrüstung erzeugen.

Schließlich gibt es noch die Methode, flüssige Kunststoffharze in einer Lache zu verwenden, in welcher der Formmechanismus das Polymer mittels Lichtstrahlen (Laser, UV) in der erforderlichen Form fixiert (Stereolithografie). In einem bestimmten Verfahren werden flüssige Harze mit hohem Flammpunkt (über 100 °C) und Reinigungsflüssigkeiten mit mittlerem Flammpunkt (85 °C) verwendet.

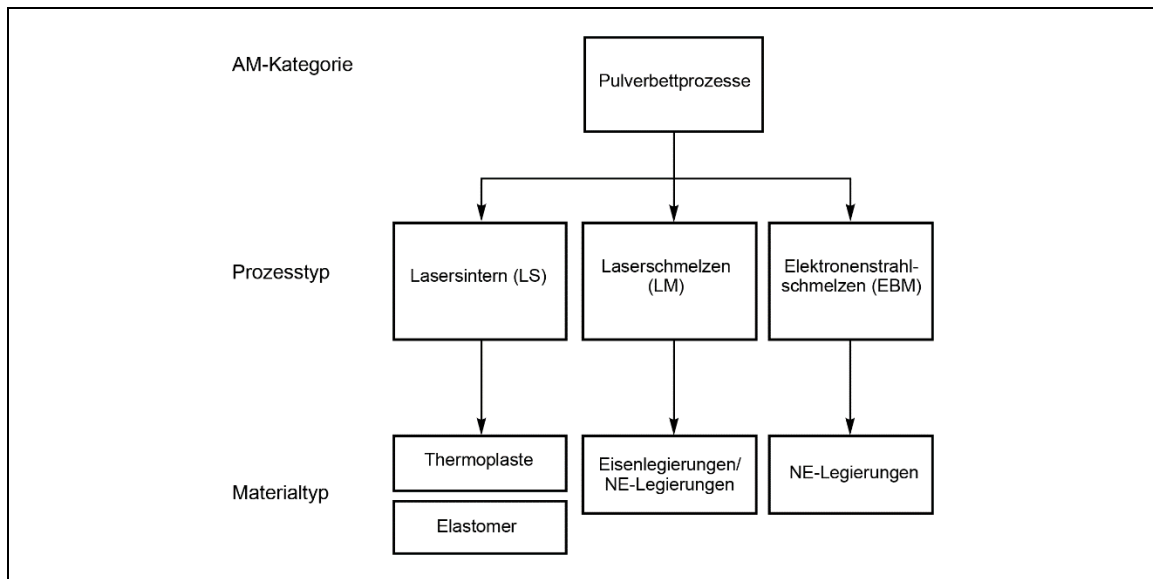


Abb. 12: Pulverbettprozesse

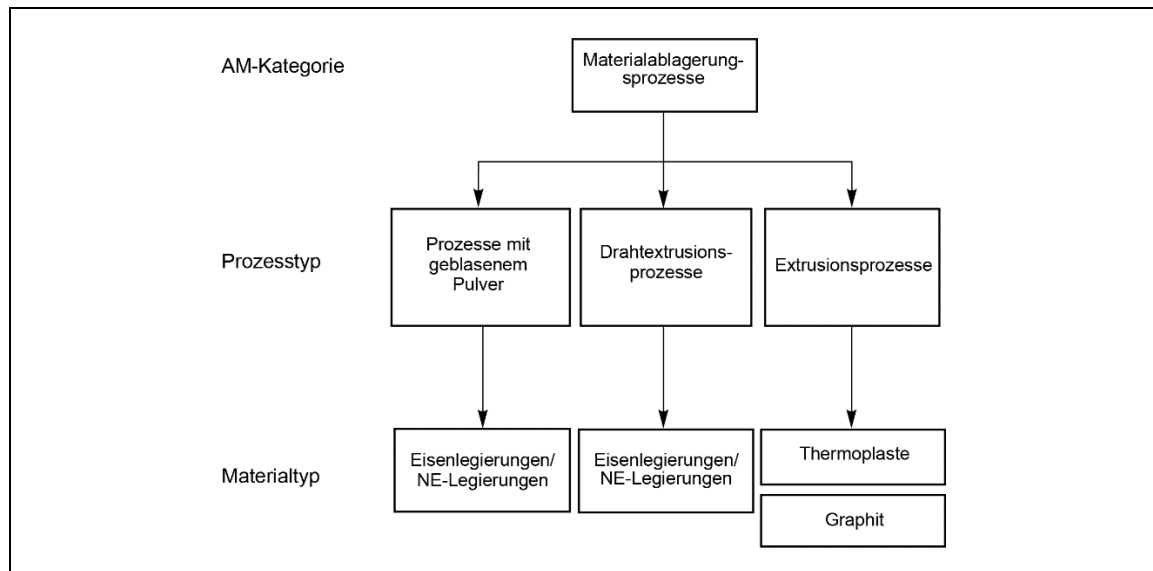


Abb. 13: Materialablagerungsprozesse

Das Baumaterial kann feines Metallpulver, Kunststoff, Keramik oder Glas sein. Die in der Regel verwendeten Metalllegierungspulver sind Kobalt-Chrom, Aluminium-Titan, Magnesium, Edelstahl (Eisen und Chrom sowie andere, weniger wichtige Zusatzstoffe) und Inconel (Nickel und Chrom mit Eisen und anderen Metallen als weniger wichtige Zusatzstoffe). Die Explosibilität des Materials (K_{st}) variiert je nach Metall/Legierung. Die Stäube sollten generell als brennbar angesehen werden, bis das Gegenteil durch Tests nachgewiesen wird.

Abbildung 16 zeigt Beispiele für typische Industriedrucker. Der ProX 300 und der Concept M2 haben einen ca. 250 x 250 x 300 mm großen Bauraum (Kammer für das Druckteil). Der Industriedrucker kann 500.000 US-Dollar oder mehr pro Maschine kosten.

3.1.29.1 Potenzielle Gefahren

Zu den Aspekten der persönlichen Sicherheit gehören Dämpfe und feine Partikel, die eine ordnungsgemäße Entlüftung erfordern; ätzende und reizende Materialien, die das Tragen einer persönlichen Schutzausrüstung (Handschuhe, Schutzbrille usw.) nötig machen; heiße Oberflächen; Laser- oder UV-Licht sowie hohe Spannungen.

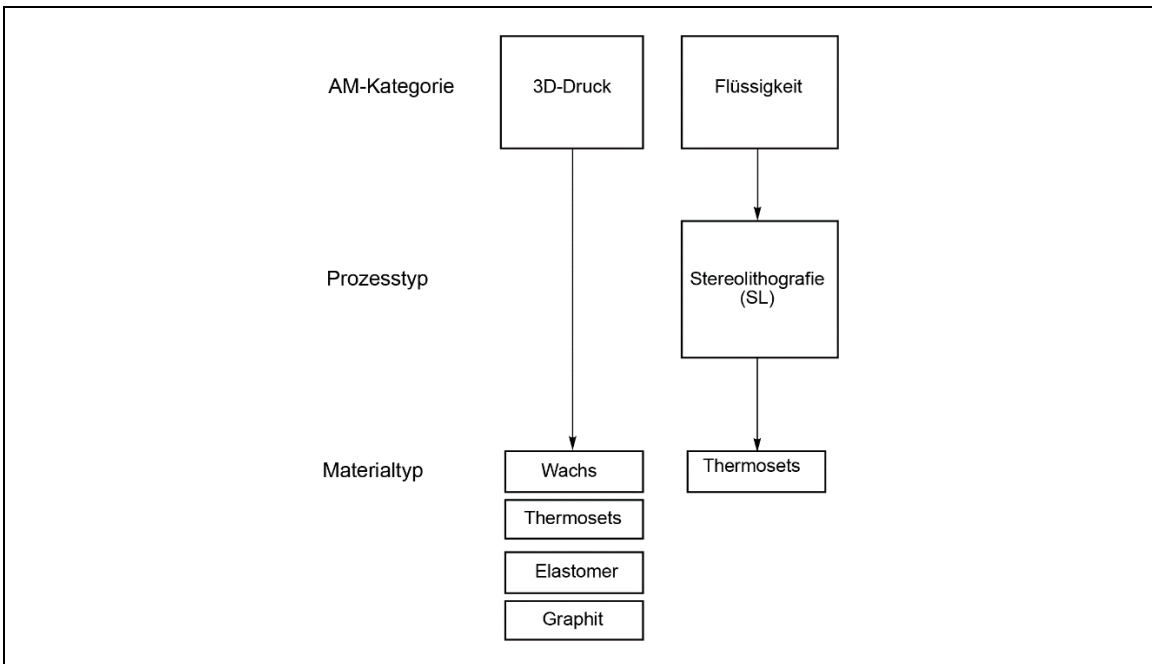


Abb. 14: 3D-Druck und Flüssigkeitsprozesse

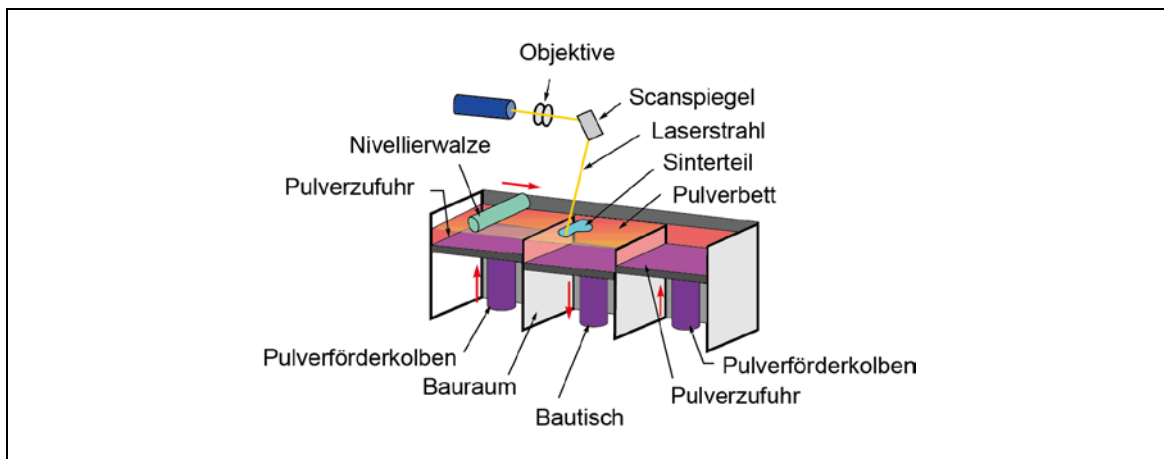


Abb. 15: SLS-Designkonzept (Chemical Engineering Progress, Mai 2014)

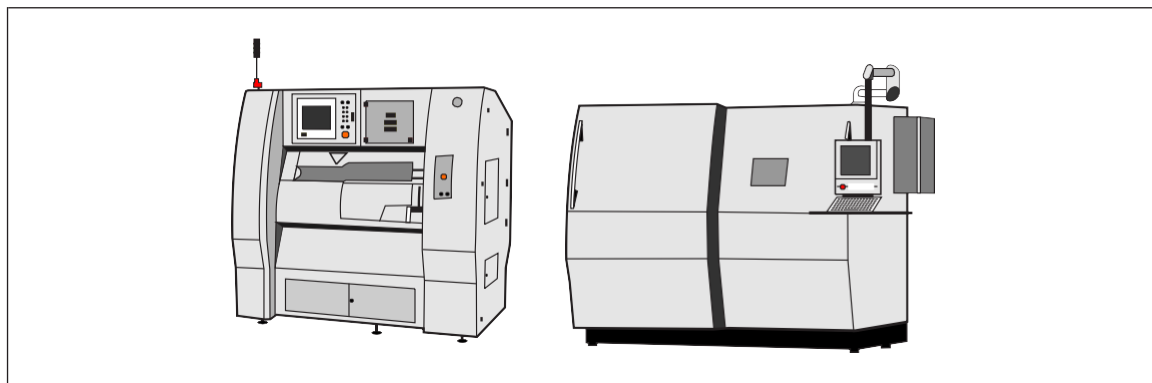


Abb. 16: Industrielle 3D-Systeme: Laserdrucker Prox300 und Concept M2 (Quelle: Broschüren der Hersteller)

Zu den Hauptgefahren gehören brennbarer Staub, der in feiner Pulverform (oft 50 Mikrometer oder weniger) gehandhabt wird, und brennbare Flüssigkeiten, die von einigen Anlagen verwendet werden. Hier werden nur die Gefahren im Zusammenhang mit Pulverarbeiten berücksichtigt, wobei der Schwerpunkt auf Metallpulvern liegt.

Die metallischen Prozesse laufen zu Produktqualitätszwecken unter sauerstoffarmer Atmosphäre (weniger als 1 % Sauerstoff) und stellen daher keine Explosionsgefahr im Bauraum oder dem Inertgas-Rückführungssystem dar. Dieses System kann Patronen- oder Panelfilter beinhalten, die größtenteils oder vollständig von brennbarer Bauweise sind. Die meisten Filter werden für zwei oder drei Produktionszyklen verwendet und dann ersetzt. Einige Systeme identifizieren die Dämpfe des Laserprozesses als „hochentzündliches Metallkondensat“, das besondere Handhabung und Sicherheitsvorkehrungen erfordert, um eine Entzündung zu verhindern. Eine solche könnte zu spontanen Schweißbränden in den Filtern führen, wenn diese entfernt und der Luft ausgesetzt werden.

Da die meisten aktuellen Industriemaschinen nur geringe Materialmengen benötigen (die größte erforderliche Menge liegt bei mehreren hundert Pfund/Kilogramm), werden die Prozesspulver in schweren Hartfaserbehältern oder Kunststoffflaschen mit einer Größe von maximal 7,6 l gehandhabt. Statische Aufladung beim Transport dieser Pulver ist möglich und die Hersteller empfehlen in der Regel das Verbinden und Erden der Mitarbeiter, der Behälter und der Maschinen während dieser Vorgänge. Auf der Materialhandhabungsseite ist die Kontrolle von Zündquellen durch Erdung, Potenzialausgleich usw. angesichts des aktuellen Maßstabs, in dem diese Systeme verwendet werden, praktischer als die Inertisierung des Betriebs.

Für Anlagen im Produktionsmaßstab sind wahrscheinlich andere Methoden zur Materialhandhabung erforderlich, die auf Grundlage der Eigenschaften der betroffenen Pulver, wie auch anderer brennbarer Stäube, bewertet werden müssen.

Bei der Reinigung des Bauraums werden in der Regel tragbare Staubsauger verwendet, die für gefährliche Arbeiten mit brennbaren Metall- oder Kunststoffstäuben ausgelegt sein müssen.

Die fertigen Teile werden außerhalb der Anlage entnommen und überschüssiges Pulver wird manuell oder mechanisch abgeschüttelt oder mit der Anlagenluft abgeblasen. Dann werden die Teile zu anderen Fertigungsprozessen transportiert. Einige Kunststoffe werden mit Hochdruckwasserstrahlen in einem Handschuhfachgehäuse gereinigt. Das Abblasen der Luft könnte eine kleine örtliche Staubbrandgefahr, ein zugehöriges Staubsammelsystem eine Staubexplosionsgefahr darstellen.

3.1.29.2 Schutz

Wie bereits erwähnt arbeiten die Maschinen mit brennbaren Metallpulvern unter inerten Atmosphären und stellen keine Staubexplosionsgefahr dar. Maschinen mit anderen brennbaren Pulvern müssten überprüft werden, um zu verstehen, wie der Prozess funktioniert und ob erhebliche Staubwolken entstehen könnten.

Maschineneinhausungen schließen die brennbaren Pulver vollständig ein und machen daher keine geschützten elektrischen Betriebsmittel für in der Umgebung erforderlich.

Wenn eine Pulverrückgewinnung durch Sieben oder andere Verfahren durchgeführt wird, sollten dies in ordnungsgemäß belüfteten Hauben erfolgen. Ebenso sollte das Produkt in geeigneten Hauben oder Einhausungen gereinigt werden, um Pulver aus den Innenräumen zu entfernen.

Pulverreinigungen müssen mit tragbaren Staubsaugern erfolgen, die für diese Art von Arbeit ausgelegt sind. Es gibt keine eindeutigen Standards für die Zertifizierung von Staubsaugern zum Auffangen von Metall oder anderen brennbaren Stäuben. Anscheinend sind die meisten dieser Geräte ebenso für den Einsatz in staubgefährdeten Bereichen ausgelegt wie andere elektrische Betriebsmittel auch.

Die Norm DIN EN 60335 Teil 2-69, *Besondere Anforderungen für Staub- und Wassersauger für den gewerblichen Gebrauch*, deckt den Themenkomplex der Zertifizierung von Geräten für den Betrieb in Bereichen der Zone 22 weitgehend ab. Der Anhang CC des genannten Dokuments behandelt insbesondere Änderungen an der Hauptnorm, die für die Verwendung in Zone 22 erforderlich sind. Klausel 24.1 des Anhangs CC besagt, dass „Komponenten in Einhausungen, die brennbaren Staub enthalten, für Zone 20 geeignet sein müssen“.

4.0 VERWEISE

4.1 FM Global

FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 1-44, *Damage-Limiting Construction*

FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 5-1, *Electrical Equipment in Hazardous Locations*

FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 5-8, *Static Electricity*

FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 5-20, *Electrical Testing*

FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 6-9, *Industrial Ovens and Dryers*

FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 7-10, *Wood-Processing and Wood-Working Facilities*

FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 7-17, *Explosion Protection Systems*

FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 7-32, *Ignitable Liquid Operations*

FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 7-59, *Inerting and Purging of Tanks, Process Vessels and Equipment*

FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 7-73, *Dust Collectors and Collection Systems*

FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 7-75, *Grain Storage and Milling;*

FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 7-78, *Industrial Exhaust Systems;*

FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 10-3, *Planung und Durchführung von Heißarbeiten*

Hot Work Management Kit (P9601)

4.2 Sonstiges

Air Movement and Control Association (AMCA) *Klassifizierungen fr funkenbestndige Bauweise*. AMCA 99040186, neueste Ausgabe.

American Society for Testing and Materials (ASTM) Standardtestmethode zur Begrenzung der Sauerstoffkonzentration (Oxidationsmittel) von brennbaren Staubwolken. E2931.

American Society for Testing and Materials (ASTM) *Standardtestmethode für die minimale explosionsfähige Konzentration brennbarer Stäube*. Standard E1515, neueste Ausgabe.

American Society for Testing and Materials (ASTM) *Standardtestmethode für minimale Zündenergie einer Staubwolke in Luft*. ASTM E2019, neueste Ausgabe.

American Society for Testing and Materials (ASTM) *Standardtestmethode für Druck und Druckanstieg von brennbaren Stäuben*. Standard E1226, neueste Ausgabe.

Bhatia, S. K. und S. Sharma. „3D Printed Prothetics Roll off the Presses“. *Chemical Engineering Progress*, Mai 2014

Europäisches Komitee für Normung (CEN). *Bestimmung der Explosionskenngrößen von Staub/Luft-Gemischen - Teil 1: Bestimmung des maximalen Explosionsdruckes P_{max} von Staub/Luft-Gemischen*. EN 14034-1.

Europäisches Komitee für Normung (CEN). *Bestimmung der Explosionskenngrößen von Staub/Luft-Gemischen - Teil 2: Bestimmung des maximalen zeitlichen Druckanstiegs $(dp/dt)_{max}$ von Staub/Luft-Gemischen*. EN 14034-2.

Europäisches Komitee für Normung (CEN). *Bestimmung der Explosionskenngrößen von Staub/Luft-Gemischen Teil 3: Bestimmung der unteren Explosionsgrenze UEG von Staub/Luft-Gemischen* (Auch als minimale explosionsfähige Konzentration [MEK] bezeichnet). EN 14034-3.

Europäisches Komitee für Normung (CEN). *Bestimmung der Explosionskenngrößen von Staub/Luft-Gemischen Teil 4: Bestimmung der Sauerstoffgrenzkonzentration SGK von Staub/Luft-Gemischen* EN 14034-4.

Europäisches Komitee für Normung (CEN). *Brand- und Explosionsschutz für Becherwerke*. TR16829 (vorläufig).

Europäisches Komitee für Normung (CEN). *Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke*, Teil 2-69: Besondere Anforderungen für Staub- und Wasserauger für den gewerblichen Gebrauch. EN 60335-2-69.

Europäisches Komitee für Normung (CEN). *Explosionsfähige Atmosphären – Explosionsschutz – Bestimmung der Mindestzündenergie von Staub/Luft-Gemischen*. EN 13821.

Holbrow, P., G. A. Lunn und A. Tyldesley. „Explosion Venting of Bucket Elevators“. *Journal der Schadenverhütung in der weiterverarbeitenden Industrie (Journal of Loss Prevention in the Process Industries)*. 15. Jahrgang, Nr. 5, 2002.

Internationale Organisation für Normung (ISO). *Explosionsschutzsysteme – Teil 1: Bestimmung der Explosionskenngrößen von brennbaren Stäuben in Luft*. ISO 6184/1, neueste Ausgabe.

National Fire Protection Association (NFPA). *Recommended Practice for the Classification of Combustible Dusts and of Hazardous (Classified) Locations for Electrical Installation in Chemical Process Areas. (Empfohlene Vorgehensweise für die Klassifizierung von brennbaren Stäuben und gefährlichen (klassifizierten) Standorten für elektrische Installationen in chemischen Prozessbereichen.)* NFPA 499, neueste Ausgabe.

National Fire Protection Association (NFPA). *Recommended Practice on Static Electricity. (Empfohlene Vorgehensweise bei statischer Elektrizität.)* NFPA 77, neueste Ausgabe.

National Fire Protection Association (NFPA). *Standard on Explosion Prevention Systems. (Norm für Explosionsschutzsysteme.)* NFPA 69, neueste Ausgabe.

National Fire Protection Association (NFPA). *Standard on Explosion Protection by Deflagration Venting. (Norm zum Explosionsschutz durch Deflagrationsentlüftung.)* NFPA 68, neueste Ausgabe.

University of Exeter, Center for Additive Layer Manufacturing *What is additive layer manufacturing?* <http://emps.exeter.ac.uk/engineering/research/calm/whatis>. Abruf am Sonntag, 16. Oktober 2016.

Verein Deutscher Ingenieure (VDI). VDI-Richtlinie 2263, Teil 8.1: *Staubbrände und Staubexplosionen – Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen – Brand- und Explosionsschutz an Elevatoren – Beispiele*. 2011.

Verein Deutscher Ingenieure (VDI). VDI-Richtlinie 3673, Teil 1, „Druckentlastung von Staubexplosionen“. Neueste Ausgabe.

ANHANG A – BEGRIFFSDEFINITIONEN

Av: Explosionsdruck-Entlastungsfläche

Bara: bar, absolut (Druckeinheit).

Barg: bar, gauge (Druckeinheit)

Brennbare Flüssigkeiten Alle Flüssigkeiten oder Flüssigkeitsgemische, die einen Brand begünstigen können, einschließlich brennbarer Flüssigkeiten, entzündlicher Flüssigkeiten oder anderer Hinweise auf eine brennende Flüssigkeit. Eine brennbare Flüssigkeit muss einen Flammpunkt haben.

Bruchfestigkeit: Druck, bei dem eine Einhausung aufgerissen (d. h. beschädigt) wird.

Doppelpendelklappe: Anordnung von zwei Absperrarmaturen oder Absperrklappen in Reihe. Es ist jeweils nur eine geöffnet. Diese Art von Armatur wird häufig verwendet, wenn das aus einem Behälter austretende Material einem anderen Behälter durch Schwerkraft zugeführt (d. h. nicht pneumatisch gefördert) wird, z. B. wenn ein Staubabscheider seinen Inhalt in einen darunter liegenden Trichter entlädt oder wenn Stoffe aus einem Materialmischer/einer Schleifmaschine in ein pneumatisches Fördersystem gelangen.

Erdung: Elektrische Verbindung zwischen einem leitfähigen Objekt und dem Boden, die den Unterschied zwischen dem elektrischen Potenzial zwischen dem Objekt und der Masse minimiert.

Explosionssenkopplung: System oder einzelnes Gerät, das die Ausbreitung von Explosionseffekten von einem Volumen auf ein benachbartes Volumen verhindert.

Explosionsschutz: Verfahren zur Verhinderung einer Explosion durch Kontrolle von Luft, Kraftstoff, Zündquelle oder eine Kombination dieser Möglichkeiten.

FM Approvals geprüft: Die Bezeichnung „FM Approvals geprüft“ in diesem Datenblatt bedeutet, dass das betreffende Produkt/die betreffende Dienstleistung die Kriterien für eine Anerkennung durch FM Approvals erfüllt. Eine vollständige Auflistung aller FM Approvals geprüften Produkte und Dienstleistungen kann dem Approval Guide entnommen werden

Konstruktionsfestigkeit: Druck, dem ein Behälter ohne Beschädigungsrisiko ausgesetzt werden kann (da ein Sicherheitsfaktor auf die Streckgrenze angewendet wurde).

K_{st}: Die Konstante für die Staubexplosionsfähigkeit, definiert als Höchstwerte des Druckanstiegs einer Staubexplosion in einem 1-m³-Behälter. Die Einheit ist bar in Meter pro Sekunde (bar m/s). Die Prüfmethode, mit der diese Konstante erreicht wird, ist weltweit standardisiert. Dieser Wert (K_{st}) wird für die Berechnung aller modernen Staubexplosionsdruck-Entlastungsvorrichtungen verwendet, um die Reaktivität (d. h. Explosivität) eines bestimmten Staubs zu charakterisieren. Für diese Konstante werden nur metrische Einheiten verwendet.

Luft-Material-Abscheider: Allgemeine Bezeichnung für ein Gerät, das Pulver von der Luft trennt, in der sie transportiert werden. In der Regel handelt es sich hierbei um einen Zyklon oder einen Staubabscheider.

MEK: Minimale explosionsfähige Konzentration, die niedrigste Staubkonzentration, die eine sich selbst ausbreitende Explosion unterstützen kann. (Die Begriffe UEG [untere Explosionsgrenze] oder UBG [untere brennbare Grenze] bedeuten dasselbe, werden aber im Zusammenhang mit Staubexplosionen nicht oft verwendet.)

Minimale Zündenergie (MZE): Die Mindestmenge an Wärmeenergie, die an einem Punkt in einem brennbaren Gemisch freigesetzt wird, um eine unbestimmte Flammenausbreitung unter bestimmten Testbedingungen zu verursachen. Der niedrigste MZE-Wert, GMZE genannt, ist bei einer bestimmten optimalen Mischung zu finden. Dieser Wert wird in der Regel als MZE gemeldet.

$P_{blast, max}$: Der örtlich begrenzte Druck infolge des Feuerballs und des Drucks durch eine entlastete Explosion.

Phlegmatisierung: Das Mischen von inerten Stäuben mit brennbaren Stäuben zur Reduzierung oder Beseitigung der Explosionsgefahr.

P_{max} : Der in der 20-Liter-Kugel erreichte Höchstdruck beim Testen des Staubs auf seine Explosionsfähigkeit gemäß Methode ASTM E1226. Dieser Faktor wird zur Dimensionierung der Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen verwendet.

Potenzialausgleich: Elektrische Verbindung zwischen zwei elektrisch leitfähigen Objekten, welche die Unterschiede im elektrischen Potenzial zwischen diesen minimiert.

P_{red} : Höchster Explosionsdruck in einem mit Explosionsdruck-Entlastungseinrichtungen geschützten Behälter; die üblichen Einheiten sind barg oder psig.

P_{sia} : Pfund pro Quadratzoll, absolut (Druckeinheit).

P_{sig} : Pfund pro Quadratzoll, Manometer (Druckeinheit).

P_{stat} : Explosionsentlastungsdruck; die üblichen Einheiten sind barg oder psig.

Rohrbogen: Die Montageplatte für Kartuschenfilter oder Sackfilterrohre und -käfige.

Schadenbegrenzende Bauweise (DLC, Damage-limiting construction): Bauweise, die darauf ausgelegt ist, Schaden aufgrund einer Verpuffung (Explosion) in Anlagen oder in einem Gebäude möglichst gering zu halten. Dies kann durch eine druckresistente bzw. druckentlastende Bauweise oder eine Kombination aus beidem erreicht werden. In der Regel handelt es sich hierbei um Druckentlastungspaneele an Einhausungen (Gebäuden oder Anlagen), die bei einem Druck unter der Stärke der Einhausung auslösen.

Schadenminderung nach Explosionsabschwächung: Verfahren zur Reduzierung des Explosionsschadens nach dem Start der Explosion.

Schwacher Behälter/schwache Einhausung: Struktur, die Explosionsdrücken von mehr als 0,2 barg nicht standhalten kann, ohne beschädigt oder zerstört zu werden. Dazu gehören die meisten Räume, Gebäude und viele nordamerikanische Prozessbehälter.

Starke Zündquelle: Eine starke Zündung kann mehr als 100 Joule Energie liefern.

a) Beispiele für eine starke Zündquelle sind offene Flammen, Schweißlichtbogen, Gas- oder Staubexplosionen und Lichtbogen/Kurzschluss.

b) Im Gegensatz dazu sind Reibungsfunken, mechanische Schlagfunken, statische Funken, Zigaretten, heiße Oberflächen und überhitzte elektrische Bauteile Beispiele, die nicht als starke Zündquelle angesehen werden.

Starker Behälter: Ein Behälter, der Explosionsdrücken von mehr als 0,2 barg standhalten kann, ohne beschädigt oder zerstört zu werden. Dazu gehören die meisten Prozessbehälter, die in Europa gebaut oder verwendet werden.

Staub, brennbar: Alle organischen Materialien (Landwirtschaft, Kunststoff, Chemikalien, Kohle usw.), nicht oxidierte Metallpartikel oder andere oxidierbare Materialien (z. B. Zinkstearat) sind als brennbar zu betrachten. Tests, bei denen Funken oder Flammen aus Bunsen- oder Meker-Flammenbrennern auf kleine Schichten oder Materialstapel auftreffen, können bei der Identifizierung solcher Materialien helfen. Dies kann jedoch auch zu falsch negativen Ergebnissen führen.

Staub, explosive: Nach ASTM E1226, Standardtestmethode zur Bestimmung der Explosivität von Staubwolken, oder einer gleichwertigen internationalen Norm (z. B. EN 14034-1, Bestimmung der Explosionskenngrößen von Staub/Luft-Gemischen – Teil 1: Bestimmung des maximalen Explosionsdrucks P_{max} von Staub/Luft-Gemischen, und EN 14034-2, Bestimmung der Explosionskenngrößen von Staub/Luft-Gemischen – Teil 2: Bestimmung des maximalen zeitlichen Druckanstiegs $(dP/dt)_{max}$ von Staub/Luft-Gemischen. Bei einem E1226-Test könnte festgestellt werden, dass ein Staub, der sich nicht entzündet oder in Schichten oder Stapeln brennt, trotzdem explosiv ist.

Staub: Kleine feste Partikel, die durch Ausgießen, Blasen, Schleifen usw. in die Luft suspendiert werden können. In diesem Datenblatt bezieht sich der Begriff nur auf brennbare Stäube.

Staubabscheider mit Filtermedien: Ein Gerät (Einhausung), das trockenes, festes Material von der Luft trennt, indem die Luft durch ein trockenes Filtermedium geleitet wird. Beispiele sind Einhausungen mit Beutelfiltern, Patronenfiltern (normalerweise ein gefalteter Filter in zylindrischer Form, ähnlich wie bei Autolufffiltern), Trommelfiltern und Plattenfiltern. (Informationen zu Filtertypen sind in FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 1-45, *Air Conditioning and Ventilation Systems*, und in FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 7-73, *Dust Collectors and Collection Systems*, zu finden.)

Staubabscheider ohne Einhausung: Gerät, das entwickelt wurde und verwendet wird, um Staub aus der Transportluft zu entfernen, wenn das Filtermedium nicht in einem Behälter enthalten ist.

Streckgrenze: Druck, bei dem eine Einhausung ohne Risse verformt wird.

ANHANG B – ANGABEN ZUR ÜBERARBEITUNG DES DOKUMENTS

April 2017 Zwischenrevision. Empfehlung 2.7.2.3 zum Schutz von Becherförderern wurde zwecks Übersichtlichkeit geändert.

Januar 2017. Zwischenrevision. Folgende Änderungen wurden vorgenommen:

- A. Neue Informationen zum Additive Manufacturing hinzugefügt (3D-Druck).
- B. Auslegungskriterien für Explosionsdruckentlastung und zusätzliche Brandschutzkriterien für Becherförderer erweitert.
- C. Neue Informationen zu Staubabscheidern ohne Einhausung hinzugefügt.
- D. Informationen zur ordnungsgemäßen Anwendung von flammenlosen Druckentlastungsvorrichtungen (Quench-Röhre) erweitert.
- E. Redaktionelle Änderungen wurden vorgenommen.

Oktober 2014 Zwischenrevision Die Definition des Begriffs „Explosionsfähiger Staub“ wurde an die industrielle Praxis angepasst, indem die spezifische Partikelgrößengrenze entfernt wurde.

Januar 2014. Geringfügige redaktionelle Änderungen wurden vorgenommen.

April 2013 Geringfügige redaktionelle Änderungen wurden vorgenommen.

Januar 2012. Die Terminologie für brennbare Flüssigkeiten wurde überarbeitet, um eine bessere Übersichtlichkeit und Konsistenz hinsichtlich der FM Global Schadenverhütungsempfehlungen für brennbare Flüssigkeiten sicherzustellen.

März 2009 Bei dieser Überarbeitung wurden geringfügige redaktionelle Änderungen vorgenommen.

Januar 2009. Die Gleichung in Abschnitt 2.4.2.2.1 wurde korrigiert.

Mai 2008 Das Dokument wurde zwecks Übersichtlichkeit und Benutzerfreundlichkeit neu formatiert, insbesondere die Empfehlungen.

Empfehlungen zu Bauweise und Standort für bevorzugte Orte in Belegungen mit Staubexplosionsgefahr wurden hinzugefügt.

Merkmale der Explosionsgefahreneliminierung und -minderung wurden hervorgehoben. Drosseln wurden als Entkopplungsmethode hinzugefügt.

Die Kriterien für Lüfter und Gebläse in Schwebstaub wurden verfeinert. Luftströme können zu einer Zündquelle in einer Atmosphäre werden, die das MEK überschreiten könnte.

Die Kriterien für den Schutz von Behältern unbekannter Stärke wurden vereinfacht.

Inkonsistenzen mit anderen Datenblättern, insbesondere FM Global Datenblatt zur Schadenverhütung 7-73, *Dust Collectors*, wurden behoben.

Der Abschnitt „Grundlagen der Empfehlungen“ wurde vereinfacht.

Mai 2006 Bei dieser Überarbeitung wurden geringfügige redaktionelle Änderungen vorgenommen.

Der neue Abschnitt 3.2.3.9.1, Masse (Trägheit) herkömmlicher Druckentlastungspanelee, wurde hinzugefügt.

Mai 2005 Empfehlungen zur Umsetzung eines Änderungsmanagementprogramms wurden hinzugefügt.

Januar 2005. Kleinere redaktionelle Änderungen

Mai 2004 Kleinere redaktionelle Änderungen

Mai 2003. Kleinere redaktionelle Änderungen

Januar 2001. Das Dokument wurde neu organisiert, um ein konsistentes Format zu bieten.

August 1995. Umfangreiche Überarbeitungen zur Implementierung der K_{st} -basierten Technologie zur Druckentlastungs-Dimensionierung und Entfernung der vorherigen Methode „Druckentlastungsfläche für geschützte Volumen“.

Dieses Datenblatt enthält viele neue Empfehlungen, die nicht in der Ausgabe von 1976 enthalten waren. An vielen Standorten ist jedoch weniger Schutz erforderlich, als in der vorherigen Version empfohlen wurde. Die folgenden Ausnahmen wurden zu den allgemeinen Explosionsschutzanforderungen hinzugefügt:

- Eine Explosionsdruckentlastung ist nicht erforderlich für Zyklone, die Stäube mit einer K_{st} unter 80 (schwach explosiv) handhaben und über einen offenen Gasauslass verfügen, dessen Durchmesser 45 % des Zyklondurchmessers entspricht oder diesen Wert überschreitet.
- Systeme, die mit einem Druck unter 0,1 bara arbeiten, benötigen keinen Schutz.
- Bei Sprühtrocknern ist eine geringere Explosionsdruckentlastung erforderlich als bei anderen Anlagen mit dem gleichen Volumen. Hinweis: Die Explosionsdruckentlastungsfläche für Sprühtrockner und andere Anlagen wird jetzt mit der FM Global Forschungs-Software DustCalc berechnet.

ANHANG C – FORSCHUNGSDATEN ZUR STAUBEXPLOSIONSGEFAHR

Weitere Informationen sind im folgenden Artikel zu finden:

Tamanini, F. and Valiulis, J.V. „Improved guidelines for the sizing of vents in dust explosions“, Journal der Schadenverhütung in der weiterverarbeitenden Industrie (Journal of Loss Prevention in the Process Industries) (Jahrgang 9, Nr. 1, 1996): 105-118

ANHANG D – BIBLIOGRAPHIE

1. Bartknecht, W. Dust Explosions: Course, Prevention, Protection. Springer-Verlag, New York, NY, 1989.
2. Alfert, F. und K. Fuhre. Flame and Dust Free Venting of Dust Explosions by Means of a Quenching Pipe. CMI-Report Nr. 89-25820-1. Chr. Michelsen Institute (Norway), 1989.
3. Eckoff, R. K. Dust Explosions in the Process Industries. Butterworth-Heinemann, Oxford, 1991.
4. van Wingerden, K. „Prediction of pressure and flame effects in the direct surroundings of installations protected by dust explosion venting.“ Journal der Schadenverhütung in der weiterverarbeitenden Industrie (Journal of Loss Prevention in the Process Industries) (Jahrgang 6, Nr. 4, 1993): 241-249.
5. WirknerBott, I. et. al. „Dust Explosion Venting: Investigation of the Secondary Explosion.“Beitrag auf dem Siebten Internationalen Symposium über Schadenverhütung und Sicherheitsförderung in der Prozessindustrie, Taormina, Italien, 1992.
6. Lunn, G. A. Dust Explosion Prevention and Protection Part 3 – Venting of Weak Explosions and the Effect of Vent Ducts. Rugby: Institute of Chemical Engineers, 1988.
7. Cooper, M. G., et. al. „On the Mechanisms of Pressure Generation in Vented Explosions.“Combustion and Flame (1986) 65: 1-14.
8. Cabbage, P. A. und W. A. Simmonds. „An Investigation of Explosion Reliefs for Industrial Drying Ovens. I-Top Reliefs in Box Ovens.“Transactions of the Institute of Gas Engineers (1955): 105: 470-526.
9. Siwek, R. und O. Skov. „Modellberechnung zur Dimensionierung von Explosionsklappen auf der Basis von praxisnahen Explosionsversuchen.“VDI Berichte (1988) 701: 569-616.
10. Pineau, J. P. „Protection Against Fire and Explosion in Milk Powder Plants.“Europex First International Symposium, Antwerp, Belgien, 16.-19. April 1984.
11. Hurlimann, H. „Results from Real Scale Explosion Tests.“Third International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, Basel, Schweiz, 1980.
12. van Wingerden, C. J. M. und H. J. Pasman. „Explosion Venting of Partially Filled Enclosures.“Conference on Flammable Dust Explosions, St. Louis, Missouri, USA, 2.-4. November 1988.
13. Zeeuwen, J. P. und G. G. M. van Laar. „Explosion Venting of Enclosures Partially Filled with Flammable Dust/Air Mixtures.“International Symposium on Control of Risks in Handling and Storage of Granular Foods, Paris, Frankreich, 24.-26. April 1985.

14. Siwek, R. "New Knowledge About Rotary Air Locks in Preventing Dust Ignition Breakthrough." *Plant Operations Progress* (Juli 1989), Jahrgang 8, Nr. 3: 165-176.
15. Green, D. W. und R. H. Perry. *Perry's Chemical Engineers' Handbook, Eighth Edition* (Chemical Engineers Handbook). New York: McGraw-Hill, 2007
16. DeGood, R. „Isolation: Another Way to Take the Bang out of Explosions.“ *CPI Equipment Reporter* (Jan-Feb 1988).
17. Siwek, R. „A Review of Explosion Isolating Techniques.“ *Europex International Seminar*, März 1996.