

**Explosionsschutz  
an  
Zerstäubungstrocknern**

Dipl.-Ing. *Richard Siwek*  
FireEx, Brand- & Explosionsschutz Consultant, Giebenach (Schweiz)

# Explosionsschutz an Zerstäubungstrocknern

R. Siwek

## Zusammenfassung

*Für die sichere Durchführung einer Einheitsoperation wie Zerstäubungstrocknung mit Brennstoffen in Industriebetrieben muss das Verhalten von Ausgangsstoffen, Zwischenprodukten und Endprodukten bekannt sein, denen sie bei der Sprühtrocknung ausgesetzt sind. Es wird aufgezeigt, wie die Erfassung der Gefahrenmomente für das Sprühtrocknen aufgrund von Sicherheitsprüfungen und die Beurteilung der Eigenschaften der Produkte erleichtert werden kann und Entscheidungsgrundlagen für die Anwendung von möglichen Sicherheitsmassnahmen bereitgestellt. Die aufgezeigten Schutzkonzepte basieren auf sorgfältig durchgeführte Ereignisanalysen und den in den letzten Jahren vor allem im Erfahrungsaustausch unter Chemiefirmen gewonnenen Erkenntnissen und Erfahrungen aus der betrieblichen Praxis. Es soll den Praktikern in den Betrieben und den zuständigen Fachabteilungen Hilfestellung bei der Beurteilung von Explosionsgefahren und bei der Auswahl von Schutzmassnahmen gewähren. Die festgelegten Grenzwerte basieren auf praxisnahen Laboruntersuchungen oder wurden ermessensmässig festgelegt und beruhen auf langjähriger Erfahrung. Die Konzepte umreissen die für die sichere Handhabung von Zerstäubungstrocknung zu erfüllenden Grundvoraussetzungen. In jedem Betrieb ist anhand der örtlichen Gegebenheiten zu beurteilen, ob und in welcher Art, weitere technische und/oder organisatorische Massnahmen getroffen werden müssen. Im Zweifelsfalle ist der Rat von Experten einzuholen.*

## Summary

*For the safe running of spray drying with combustible materials in industrial plants, the behavior of reactants, intermediates and final products in the spray drying operation must be known. It is shown how the determination of hazard factors for spray drying can be facilitated by safety tests and the assessment of the properties of the products, and how criteria serving as a basis for decisions for the application of possible safety measures can be provided. The demonstrated protection concepts are based on carefully performed event analyses and in recent years above all on the free exchange of findings and experience gained in industrial operations between chemical companies. It is intended to provide support for practitioners in plants and the responsible departments in the assessment of explosion hazards and the selection of protective measures. The specified limit values are based on laboratory investigations emulating industrial conditions or have been estimated based on many years of experience. The concepts summarize the basic requirements, which have to be met for the safe handling of spray drying operations. However, in every plant the local conditions must be used to assess whether and in what manner further technical and/or organizational measures must be implemented. In cases of doubt, the advice of experts must be sought.*

# 1 Einleitung

Die Technologie Zerstäubungstrocknung bzw. Sprühtrocknung wird in verschiedenen Branchen wie beispielsweise Nahrungsmittel-, Farbstoff-, Pharmaindustrie und chemischen Industrie eingesetzt. Dabei kommen hauptsächlich Einstufen- und Zweistufentrockner mit Gleichstromverfahren mit oder ohne Feinstaubrückführung zur Anwendung.

Man unterscheidet auch zwischen Düsenzerstäubern und Scheibenzerstäubern, wobei sich bei Düsensystemen die Notwendigkeit ergibt, eine schlankere und höhere Bauform anzustreben als bei Scheibenzerstäubern.

Im folgenden werden spezifische Probleme hinsichtlich Brand- und Explosionsschutz bezogen auf Einstufen- oder Zweistufentrockner mit Gleichstromverfahren analysiert und Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt die sich in der Praxis bereits mehrfach bestätigt haben.

## 2 Gefahrensituation

- Werden in Zerstäubungstrocknern Lösungen und Suspensionen von brennbaren Feststoffen verarbeitet, so muss mit dem Auftreten explosionsfähiger Atmosphäre (explosionsfähiger Staub-Luft-Gemische) zumindest im unteren Teil des Zerstäubers gerechnet werden. Dies gilt auch dann, wenn sich bei der globalen Berechnung: (Feststoffdurchsatz dividiert durch Luftdurchsatz) durchschnittliche Staubkonzentrationen ergeben, die unterhalb der temperaturbezogenen unteren Explosionsgrenze des staubförmigen Produktes liegen.
- Beim Zerstäubungstrocknern werden die Produkte *thermisch* beansprucht. Diese Beanspruchung ist selbst bei hohen Lufteintrittstemperaturen relativ gering und von kurzer Dauer, sofern sich an Wand und Oberteil des Zerstäubungstrockners keine Beläge bzw. keine Anbackungen bilden.
- Ein Produkt, das sich *exotherm zersetzt*, kann sich unter günstigsten Isolationsbedingungen, wie sie beim Vorhandensein von Belägen bzw. Anbackungen in Zerstäubern gegeben sein können, bis zur Glimmtemperatur erwärmen. Dies kann je nach Brand- und Zündverhalten des Staubes zu einem **Staubbrand** oder – insbesondere wenn **Glimmnest** herunterfällt – zu einer **Staubexplosion** führen.
- In *Scheibenzerstäubern* kann das Zerstäuberscheibenaggregat im Falle von einem mechanischen Defekt als *Zündquelle* wirken.
- Bei *Scheibenzerstäubern* können in diesem Zerstäuberscheibenaggregat Anbackungen entstehen, welche durch Reibung von den Zerstäuberscheiben sich zu *glühenden Ablagerungen* entwickeln und beim Herunterfallen als *Glimmnest* eine Entzündung verursachen.

### 3 Beurteilungskriterien

#### ⇒ **Brennverhalten:**

Das im Zerstäuber anfallende Trockenprodukt ist einer erhöhten Temperatur ausgesetzt. Diesem Umstand wird zumindest teilweise Rechnung getragen, indem das Brennverhalten bei einer Temperatur von  $T = 100^\circ\text{C}$  zugrunde gelegt wird. Bei Produkten mit einer Brennzahl bei  $100^\circ\text{C}$  von  $BZ \leq 2$  ist auch bei der Entstehung eines örtlich begrenzten Glimmnestes erfahrungsgemäss nicht mit der Ausbreitung eines Brandes zu rechnen. Bei  $BZ = 3-5$  sollte der Zerstäubungstrockner mit einer vom Produktstrom unabhängigen Wassersprühflutanlage ausgerüstet sein. Produkte mit einer  $BZ = 6$  können nach erfolgter Entzündung nicht mehr unter Kontrolle gehalten werden.

#### ⇒ **Zündverhalten:**

Die Auslösung einer Staubexplosion beim Trocknen ist auch im Havariefall nicht zu erwarten bei Produkten mit einer Mindestzündenergie von  $MZE > 1 \text{ J}$  und einer Mindestzündtemperatur nach BAM von  $MZT > 500^\circ\text{C}$ . Bei tiefer liegenden Werten ist mit Staubexplosionen zu rechnen. Im Zerstäubungstrockner dürfen an keiner Stelle Temperaturen auftreten, welche die Mindestzündtemperatur (abzüglich eines Sicherheitsabstandes) des Produktes erreichen.

#### ⇒ **Thermisches Verhalten:**

Produkte, bei denen oberhalb  $220^\circ\text{C}$  keine relative Selbstentzündungstemperatur (RSET) festgestellt werden kann, werden sich beim Zerstäubungstrocknen normalerweise nicht selbstentzünden, wenn die Austrittstemperatur des Zerstäubers auf maximal  $AT = 150^\circ\text{C}$  begrenzt wird. Tritt aber eine RSET schon bis  $220^\circ\text{C}$  auf, so muss (wegen der Mengenabhängigkeit der RSET) die Selbstentzündungstemperatur SET ermittelt durch Warmlagerversuche für die Festlegung der Temperaturlimiten zugrunde gelegt werden. Schmilzt ein Produkt, so sind für die Beurteilung die entsprechenden relativen Zersetzungstemperaturen (RZT) zugrunde zu legen.

#### ⇒ **Spontanes Zersetzungsverhalten:**

Eine während des Zerstäubens anlaufende spontane Zersetzung kann zu einem Ereignis mit hoher Tragweite führen. Produkte, die unter den beim Trocknen möglichen Bedingungen spontan zersetzungsfähig sind, dürfen in der Regel nicht getrocknet werden.

#### ⇒ **Brennbare Lösemittel:**

Produkte, die brennbare Lösemittel enthalten, können beim Trocknen hybride Gemische bilden. Diese sind leichter entzündbar und explodieren mit grösserer Heftigkeit als lösemittelfreie Staub-Luft-Gemische. Diese Gefahrenerhöhung kann dann bedeutsam

werden, wenn die Lösemitteldampf-Konzentration 20 % der unteren Explosionsgrenze überschreitet. Bei Produkten, die nicht mehr als 0.5 Gew.% brennbare Lösemittel enthalten, ist dies nicht zu erwarten. Stäube mit höherem Lösemittelgehalt erfordern eine eingehende Untersuchung, wenn sie getrocknet werden sollten.

## 4 Schutzmassnahmen

Die folgenden Schutzkonzepte basieren auf sorgfältig durchgeführte Ereignisanalysen und den in den letzten Jahren vor allem im Erfahrungsaustausch unter Chemiefirmen gewonnenen Erkenntnissen und Erfahrungen aus der betrieblichen Praxis. Es soll den Praktikern in den Betrieben und den zuständigen Fachabteilungen Hilfestellung bei der Beurteilung von Explosionsgefahren und bei der Auswahl von Schutzmassnahmen gewähren. Die festgelegten Grenzwerte basieren auf praxisnahen Laboruntersuchungen oder wurden ermessensmässig festgelegt und beruhen auf langjähriger Erfahrung.

Die Konzepte umreissen die für die sichere Handhabung von Zerstäubungstrocknung zu erfüllenden Grundvoraussetzungen. In jedem Betrieb ist anhand der örtlichen Gegebenheiten zu beurteilen, ob und in welcher Art, weitere technische und/oder organisatorische Massnahmen getroffen werden müssen. Im Zweifelsfalle ist der Rat von Experten einzuholen.

### 4.1 Allgemeine

Folgende elementaren Massnahmen sind immer zu treffen:

- ▶ Betriebliche Zündquellen müssen soweit wie möglich durch z.B. Einsatz von Metallabscheidern, Erdung sämtlicher leitfähiger Anlageteile, regelmässige Kontrolle von Lagern, vermieden werden.
- ▶ In Zerstäuber dürfen keine Temperaturen auftreten, welche die Zündtemperatur des aufgewirbelten Staubes des getrockneten Produktes erreichen. Enthält das zu zerstäubende Produkt eine brennbare Flüssigkeit, so darf die Lufteintrittstemperatur den Zündpunkt dieser Flüssigkeit nicht erreichen.
- ▶ Werden Produkte mit einer Brennzahl bei 100°C von oberhalb 2 verarbeitet, so ist zu empfehlen mindestens im Zerstäuber eine produktstrom unabhängige Wassersprühflutanlage einzubauen. Im Hinblick auf mögliche Zersetzungen empfiehlt sich dies auch für inertisierte Zerstäuber.
- ▶ Die Einhaltung der festgelegten Temperaturlimiten (vergl. Abschnitt 4.2) für die Luft- bzw. Gaseintrittstemperatur (ET) und die Luft- bzw. Gasaustrittstemperatur (AT) ist durch technische Mittel sicherzustellen. Die Ansprechtemperaturen von Temperatur-Sicherheitseinrichtungen sind auf diese Werte einzustellen. Die Arbeitstemperaturen sind entsprechend dem Regelbereich der Steuerorgane tiefer zu wählen.

- ▶ Für jede Anlage ist zu prüfen, ob zur Verhinderung grösserer Materialansammlungen im Trockner, z.B. starke Beläge an Wänden, und Oberteil, Stauungen an der Austragvorrichtung, besondere Einrichtungen wie beispielsweise Schaugläser, Niveausonden, Fluidisierung, Vibratoren erforderlich bzw. vorzusehen sind.
- ▶ Die elektrischen Einrichtungen im Innern des Apparates sowie im Arbeitsraum müssen entsprechend den örtlich gültigen Normen und Vorschriften geschützt sein.
- ▶ Staubablagerungen auf Böden, Simsen, Apparate­teilen usw. müssen vermieden werden bzw. sind regelmässig zu entfernen.
- ▶ In ***Scheibenzerstäubern*** kann das Zerstäuberscheibenaggregat im Falle von mechanischen Defekten als Zündquelle wirken. Deshalb sind zur Vermeidung von gefährlichen Störungen und Defekten am Zerstäuberscheibenaggregat *Vibrations- und Umwuchtungsüberwachung der Welle, Temperaturüberwachung der Lager, Leistungsüberwachung des Antriebmotors, Verwendung funkenarmer Werkstoffe und Probelauf vor Inbetriebnahme des Zerstäubers* erforderlich. Darüberhinaus sollte eine *Ölstandsüberwachung* des Lagers erfolgen, denn unkontrollierte Ölverluste z.B. aus dem Scheibenlager, könnten die Entzündungstemperatur der Produktansätze herabsetzen.

#### ***4.2 Festlegung der Luft-/Gasein- und -austrittstemperaturen***

Um eine sichere Zerstäubungstrocknung zu gewährleisten, ist eine korrekte Temperaturführung erforderlich. Dafür muss, speziell aufgrund der thermischen Produkteigenschaften in Kombination mit dem Schutzgrad des Zerstäubers, entweder die Luft- bzw. Gas­eintrittstemperatur (ET) oder die Luft- bzw. Gasaustrittstemperatur (AT) festgelegt werden. Dies erlaubt eine sichere Zerstäubungstrocknung der Produkte, weil dabei keine Gefahr eines Brandes und/oder Explosion gegeben ist, oder aber die Brand- und/oder Explosionsgefahr bewusst einkalkuliert wird. In den folgenden Tabellen 1 und 2 wird das Prüfschema für die Festlegung der entsprechenden Temperaturlimiten aufgezeigt, wobei unterschieden wird, ob der Zerstäuber geschützt ist oder nicht:

**Tabelle 1:** Prüfschema für die Festlegung der entsprechenden Temperaturlimiten für ungeschützte Zerstäuber

MZE > 1 J BZ ≤ 2 bei 100°C	MZE ≤ 1 J und/oder BZ = 3 - 5 bei 100 °C	BZ = 6 bei 100°C und/oder
spontane Zersetzung: <b>negativ</b>		spontane Zersetzung: <b>positiv</b>
brennbare Lösemittel: ≤ 0.5 Gew.%		brennbare Lösemittel: > 0.5 Gew.%
<b>RSET &gt; 220°C:</b> Die ET wird vom <u>Betrieb</u> gewählt. Die AT ≤ 150°C.	<b>Warmlagerprüfung:</b> Die ET wird aufgrund der Selbstentzündungstemperatur  (SET) von <u>Experten</u> festgelegt	Die Zerstäubungstrocknung ist <b>normalerweise</b> nicht erlaubt.  Experten sind zu Rate zu ziehen
<b>RSET ≤ 220°C:</b>  Die ET wird vom <u>Betrieb</u> gewählt. Die AT wird aufgrund der Warmlagerprüfung (SET) von <u>Experten</u> festgelegt		

**Tabelle 2:** Prüfschema für die Festlegung der entsprechenden Temperaturlimiten für geschützte Zerstäuber

MZE > 1 J BZ ≤ 2 bei 100°C	MZE ≤ 1 J und/oder BZ = 3 - 5 bei 100 °C	BZ = 6 bei 100°C und/oder
spontane Zersetzung: <b>negativ</b>		spontane Zersetzung: <b>positiv</b>
brennbare Lösemittel: ≤ 0.5 Gew%		brennbare Lösemittel: > 0.5 Gew.%
<b>Schutzart: Inertisierung</b>		
<b>RSET &gt; 220°C:</b> Die RSET und die SET werden nicht in Luft sondern bei einer Atmosphäre von 92% N <sub>2</sub> und 8% O <sub>2</sub> ermittelt. Ansonsten gelten die gleichen Bedingungen wie bei der Explosionsentlastung oder Explosionsunterdrückung.	<b>Warmlagerprüfung:</b>	Die Zerstäubungstrocknung <b>normalerweise</b> nicht erlaubt. Experten sind zu Rate zu ziehen
<b>Schutzart: Explosionsdruckentlastung oder Explosionsunterdrückung</b>		
<b>RSET &gt; 220°C:</b> Die ET wird vom <u>Betrieb</u> gewählt. Die AT ≤ 150°C <b>RSET ≤ 220°C:</b> Die AT wird aufgrund der Warmlagerprüfung (SET) von <u>Experten</u> festgelegt.		Die Zerstäubungstrocknung <b>normalerweise</b> nicht erlaubt.  Experten sind zu Rate zu ziehen

Hinweise:

- Produkte, die ausschliesslich wegen ihres Lösemittelgehaltes von > 0.5 Gew.% nicht Zerstäubungstrocknet werden dürfen, können bei genügender Inertisierung (Sauerstoffgrenzkonzentration SGK ≤ 10 Vol.%) in Zerstäubern getrocknet werden. Ob eine Trocknung der Produkte in entlasteten

oder unterdrückten Zerstäubern möglich ist, kann nur nach einer Beurteilung durch Experten entschieden werden.

- Produkte, die ausschliesslich wegen einer positiven spontanen Zersetzung nicht Zerstäubungstrocknet werden dürfen, ist zu untersuchen, ob diesem Risiko einer spontanen Zersetzung eventuell durch automatisches Fluten mit Wasser begegnet werden kann, so dass die Produkte - nach einer gründlichen Überprüfung der Schutzmassnahmen - in geschützten Zerstäuber getrocknet werden können.

## 4.3 Konstruktiver Explosionsschutz

### 4.3.1 Schutz des gesamten Trockners (Vollschutz)

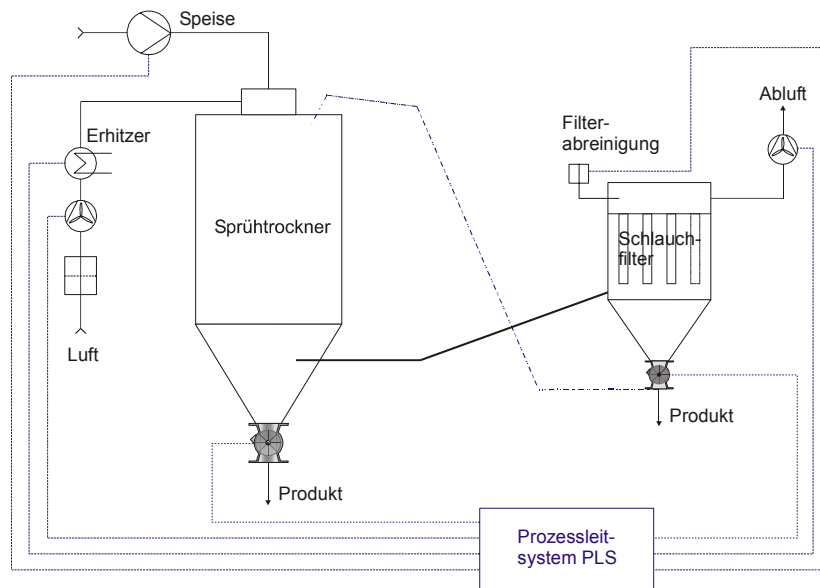
Wenn nicht auszuschliessen ist, dass die gemittelte Staubkonzentration (Produktdurchsatz dividiert durch Luftdurchsatz) im Trocknerturm oberhalb der temperaturbezogenen unteren Explosionsgrenze liegen kann und die Möglichkeit besteht, dass Feinstaub in den Trockenturm wieder zurückgeführt werden muss, ist für die **Dimensionierung** von konstruktiven Explosionsschutzmassnahmen das **gesamte Volumen des Trocknerturmes** zugrunde zu legen.

Bild 1 zeigt ein vereinfachtes Schema einer herkömmlichen Zerstäubungsanlage im Gleichstromverfahren. Das zu trocknende Produkt (Speise) wird über Düsen oder eine schnell rotierende Scheibe von oben im Trocknerturm versprüht und dort im Heissluftstrom getrocknet. Feinstaub aus dem Schlauchfilter kann wieder in den Sprühtrockner zurückgeführt werden (gestrichelte Linie). Da die Lufteintrittstemperatur für ungeschützte Zerstäuber (Tabelle 1) aus wirtschaftlichen Gründen nicht eingehalten werden kann, wurde in diesem Fall die Zerstäubungsanlage mit der konstruktiven Schutzmassnahme „EXPLOSIONSUNTERDRÜCKUNG in Kombination mit ENTKOPPLUNG“ gewählt.

Bei Schlauchfiltern steht neben dem Einschleppen von Zündquellen (z.B. Glimmnest) aus dem vorgeschalteten Zerstäuber die Gefahr einer Entzündung durch elektrostatische Aufladung im Vordergrund. Bei Stäuben mit einer Mindestzündenergie von weniger als 10 mJ muss über das Vermeiden von wirksamen Zündquellen hinausgehende Explosionsschutzmassnahmen (z.B.: Explosionsunterdrückung) getroffen werden.

Bild 2 zeigt das Schema einer durch Explosionsunterdrückung geschützten Zerstäubungstrocknungsanlage. Zur Auslösung des Unterdrückungssystems dienen hier dynamische Explosionsdrucksensoren (1) in Duoschaltung, die sowohl im Trocknerturm als auch im Schlauchfilter angeordnet sind.





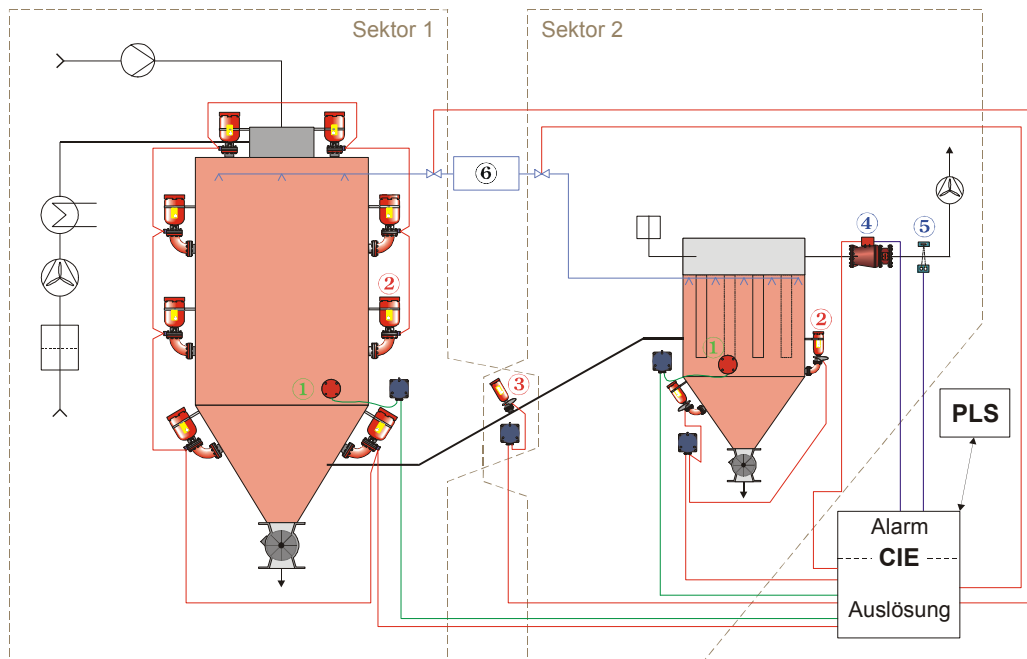
**Bild 1.** Schema einer Zerstäubungstrockneranlage

Die Auslegung und Dimensionierung der erforderlichen Löschpulvermenge bzw. HRD-Löscher (2,3) wurde so berechnet, dass für den vorgegebenen zu verarbeitenden Staub im Falle einer Explosion der zu erwartende maximale Explosionsüberdruck den Wert der Behälterfestigkeit nicht überschreitet. Zur Dimensionierung von Explosionsunterdrückungsanlagen sowie von explosionstechnischen Entkopplungseinrichtungen sei auf die einschlägigen Literaturen hingewiesen.

Trocknerturm und Schlauchfilter stellen verbundene Behälter dar. Weil die Länge der Verbindungsleitung es erlaubt, ist hier eine detektorgesteuerte Löschmittelsperre (3) angeordnet, um eine Explosionsübertragung in den anderen Anlagenteil zu verhindern.

Die Explosionsausbreitung in die Abluftventilation wird durch ein geprüftes fremdbetätigtes Explosionsschutz-Ventil (4) unterbunden. Das fremdbetätigte Ventil gewährleistet, dass auch bei einer schwachen Explosion im Schlauchfilter es nicht über die Einbaustelle hinaus zu einem Zünddurchschlag kommen kann. Da herkömmliche Ventilatoren als Zündquelle nicht auszuschließen sind, wird eine mögliche Staubablagerung (z.B. durch Filterbruch) in der Leitung und im Ventilatorgehäuse durch ein Staubkontrollgerät (5) überwacht. Auf ein Explosionsschutz-Ventil oder eine Löschmittelsperre in der Zuluftleitung zum Sprühtrockner kann im allgemeinen verzichtet werden, wenn die Explosionsunterdrückungsanlage so ausgelegt ist, dass dieser Zuluftbereich mit Löschpulver umgeben ist und ein maximaler reduzierter Explosionsüberdruck nach erfolgreicher Unterdrückung von  $P_{red,max} < 0.5$  bar entsteht. Die ebenfalls geprüften Zellenradschleusen am Austrag verhindern eine Explosionsübertragung.

Zur Bekämpfung eines möglichen Nachfolgebrandes ist eine fest montierte automatisch gesteuerte Wassersprühflutanlage (6) im Turm und Filter installiert.



**Bild 2.** Beispiel für den Vollschutz: Zerstäubungstrockneranlage mit Schlauchfilter geschützt durch Explosionsunterdrückung in Verbindung mit Entkopplungsmassnahmen

Im Falle eines gleichzeitigen Ansprechens der in Duoschaltung installierten Explosionsdrucksensoren im Sprühtrockner (Sektor 1) aktiviert die CIE das Unterdrückungssystem des Sektors 1, die Löschmittelsperre (3) und die Wassersprühflutanlage (Sektor 1). Gleichzeitig wird dem Prozess-Leit-System (PLS) ein Signal für den Notaus der gesamten Anlage gesandt. Im Falle eines Ansprechens der Explosionsdrucksensoren im Schlauchfilter (Sektor 2) aktiviert die CIE das Unterdrückungssystem im Schlauchfilter (Sektor 2), die Löschmittelsperre (3), das fremdbetätigte Explosionsschutz-Ventil (4) und die Wassersprühflutanlage (Sektor 2). Gleichzeitig wird ebenfalls dem PLS ein Signal für den Notaus der gesamten Anlage gesandt. Wenn das Staubkontrollgerät (5) eine erhöhte Staubkonzentration anzeigt oder der Endschalter des Explosionsschutz-Ventils (4) die Stellung "zu" anzeigt, wird über das CIE dem PLS unmittelbar ein Signal für eine Warnung gesandt.

Alle leitfähigen Apparateile/Metalteile der gesamten Anlage sind zusätzlich einwandfrei geerdet. Beim Schlauchfilter wurde insbesondere auf die Erdung der Filterstützkörbe, Briden, etc. geachtet.

Ergänzend zu den realisierten Schutzmassnahmen sind noch organisatorische Massnahmen getroffen worden, wie beispielsweise Reinigung der Anlagen, Überwachung und Wartung der Sicherheitseinrichtungen, Kontrolle der Erdung (besonders nach

Reparatur- und Wartungsarbeiten), die einerseits das Brand- und Explosionsrisiko verringern und andererseits die Wirksamkeit der getroffenen Schutzmassnahmen gewährleisten.

#### 4.3.2 Schutz des unteren Teils des Trockners (Teilschutz)

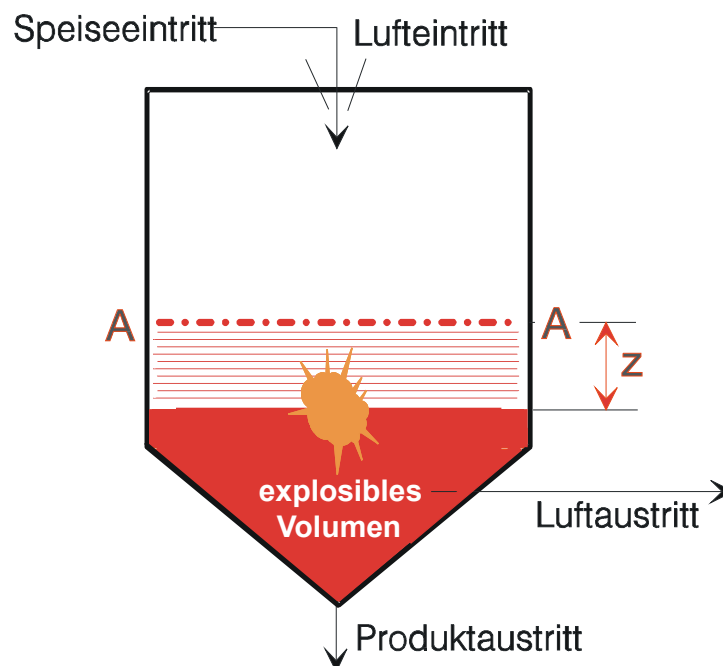
Unter der Voraussetzung, dass die gemittelte Staubkonzentration im Sprühtrocknerturm (Produktdurchsatz dividiert durch Luftdurchsatz) gesichert unter der **temperaturbezogenen** unteren Explosionsgrenze UEG liegt, und **keine Möglichkeit** besteht, dass Feinstaub in den Sprühtrockenturm wieder zurückgeführt werden kann, braucht man, nach dem heutigen Erkenntnisstand, für das Auslegen des Unterdrückungssystems nur ein **Teilvolumen** des Sprühtrockners in Rechnung zu stellen. Im allgemeinen ist dies mindestens das **Konusvolumen** des Sprühtrockners oder das **untere Drittel** des gesamten Trocknerturmes (Bild 3).

Um den WORST CASE abdecken zu können muss angenommen werden, dass eine anlaufende Explosion am oberen Rand des Konusvolumens beginnt (Bild 3).

In diesem Fall kann die kritische Distanz "z" bei Kenntnis der Flammengeschwindigkeit  $s_f$  und der Zeit zwischen der Entzündung und der totalen Explosionsunterdrückung  $t_{supp}$  bestimmt werden zu:

$$z = s_f \cdot t_{supp} \quad (4)$$

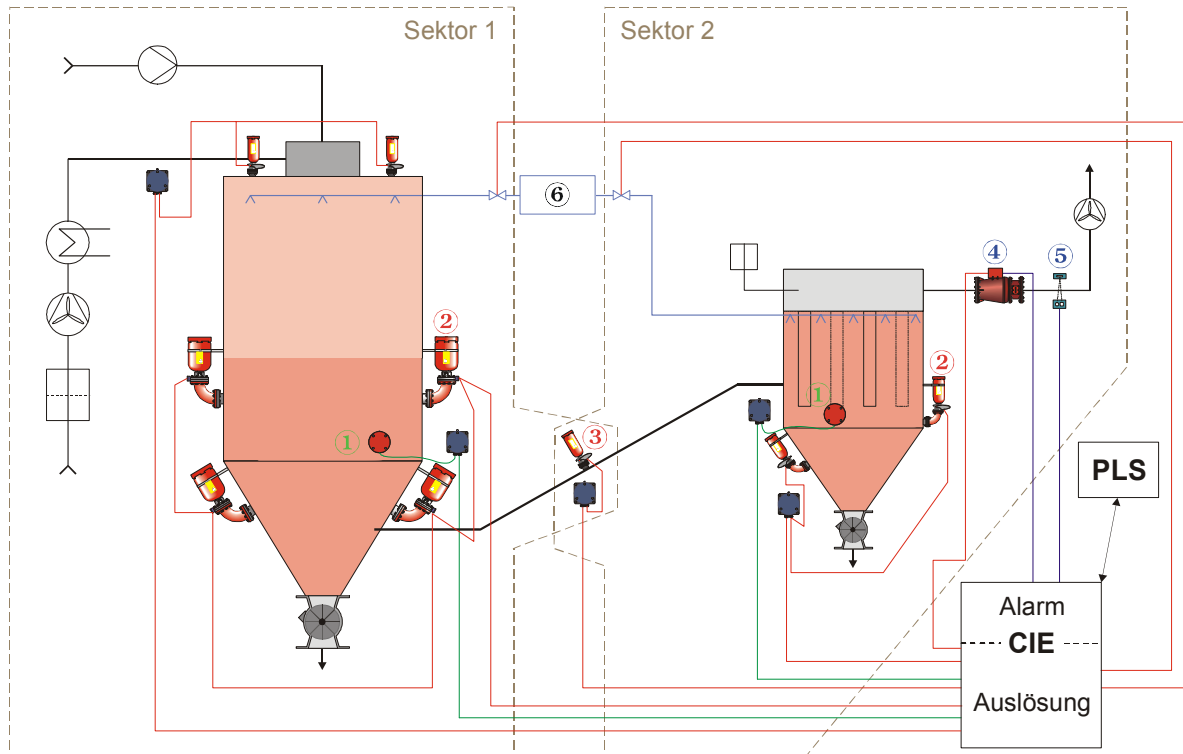
Diese Distanz bestimmt das Grenzvolumen AA. Oberhalb diesem Grenzvolumen ist keine Löschpulvereingabe für die Explosionsunterdrückung mehr erforderlich.



**Bild 3.** Zerstäubungstrockner: Ermittlung des maximal zu unterdrückenden Trocknervolumens bei Anwendung des „Teilschutzes“

Zusätzlich ist aus sicherheitstechnischen Gründen zu empfehlen, den restlichen oberen Volumenteil (oberhalb des Grenzvolumen AA) mittels Löschpulver zu "inertisieren" (Bild 4).

Ansonsten gelten die gleichen Grundsätze, Bemerkungen wie in Kapitel 4.1 beschrieben.



**Bild 4.** Beispiel für den Teilschutz: Zerstäubungstrocknerturms mit Schlauchfilter geschützt durch Explosionsunterdrückung in Verbindung mit Entkopplungsmassnahmen

## 5 Literaturhinweise

ISO-Standard: Explosion Protection System - Part 4: Determination of Efficiency of Explosion Protection Systems, ISO G184/4, 1985.

VDI-2263, Blatt 4: Unterdrückung von Staubexplosionen, Beuth Verlag GmbH, April 1992.

Moore, P.E. und Siwek, R.: New Developments in Explosion Suppression, VDI-Berichte 975, S. 481 - 505, 1992.

Bartknecht, W.: "Explosionsschutz, Grundlagen und Anwendungen", Springer-Verlag, 1993.

Siwek, R., Cesana C.: Assessment of the Fire & Explosion Hazard of Combustible Products for Unit Operations, Proceedings of the 2nd International Conference on Health, Safety and Loss Prevention in the Chemical and Process Industries, 15-19.02.1993 in Singapore, Butterworth Heinemann Verlag, 1993.

- Siwek, R.: Explosion Suppression on a Spray Drying Installation. Proceedings of the Chemical Hazard Control Technology Workshop, February 22-24, Taipei, Taiwan, 1993.
- Ott, R.J., Pellmont, G., Siwek, R.: Sicheres und wirtschaftliches Betreiben von Zerstäubungstrocknern in der Nahrungsmittelindustrie unter besonderer Berücksichtigung von Milchprodukten, ISSA Series No. 1013, Internationales Kolloquium Lugano, 30.8.-1.9.1993.
- Siwek, R., Moore, P.E.: New development in explosion suppression. Proceedings of the "8th Int. Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries", Volume 2: pp 57-72, 20-28 June, Antwerp, Belgium, 1995.
- Siwek, R.: Dusts: Explosion Protection, 7th edition of Perry's chemical Handbook for Chemical Engineering, USA, 1996.
- Siwek, R.: A Review of Explosion Isolating Techniques, Proceedings of the EuropEx 2nd Word Seminar, Gent - Belgium, 1996.
- Moore, P.E.: Explosion Suppression and Explosion Suppressants, Proceedings of the EuropEx 2nd Word Seminar, Gent - Belgium, 1996.
- Moore, P.E. und Siwek, R.: Triggered Barrier Explosion Isolation Procedures, VDI-Berichte 1272, S. 297 - 306, 1996.
- Siwek, R., Jaeger, N.: Safe Handling of Easily Ignitable Dusts, Proceedings of the fifth World Congress Of Chemical Engineering San Diego, USA, July 1996, USA, 1996.
- Siwek, R.,: Explosionsunterdrückung in Kombination mit Explosionsentkopplung, Proceedings der IVSS Konferrrence AICHEMA, 8. - 11. Juni 1997, Frankfurt, 1997.
- Siwek, R.: Application of Detection and Suppression For Industrial Explosion Protection, Proceedings of the Fire Suppression and Detection Research Application Symposium, February 25-27, Adam's Mark Hotel, Orlando, Florida, USA, 1998.
- Jaeger, N., Siwek, R.: Prevent Explosions of Combustible Dusts, Chemical Engineering Progress, Vol. 95/No. 6, June 1999.
- Siwek, R.: Vorbeugen ist besser - Explosionsschutz in Filteranlagen; Chemie Technik, 28. Jahrgang, Nr. 7 , 1999,Hüthig GmbH, Heidelberg.