

Brand- und Explosionsschutz an Sprühtrocknungsanlagen

Richard Siwek, Kaiseraugst

Die Richtlinie VDI 2263 Blatt 7.1 ist im Entwurf (Gründruck) im Oktober 2011 erschienen [1] und wurde im April 2012 überarbeitet. Sie wird im Weißdruck voraussichtlich im Frühjahr 2013 erscheinen. Diese Richtlinie, die den Stand der Technik beschreibt, gibt sowohl Herstellern als auch Betreibern Hinweise in Form von Beispielen zur Durchführung von Risikobeurteilungen und vorbeugenden Schutzmaßnahmen sowie Auslegung und Berechnung sowohl von konstruktiven Explosionsschutzmaßnahmen wie Explosionsdruckentlastung und Explosionsunterdrückung als auch Brandschutzmaßnahmen. Die nachfolgend vorgestellte Richtlinie setzt jedoch die Kenntnis der Richtlinie VDI 2263 Blatt 7 [2] voraus, die im Juli 2010 im Weißdruck erschienen ist.

An einer Sprühtrocknungsanlage für den Bereich Lebensmittel und den Bereich Chemie werden Risikobeurteilungen durchgeführt, wobei bewusst zwei unterschiedliche Methoden angewendet werden. Während für den Lebensmittelbereich die FMEA-Methode (Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse) angewendet wird, kommt für den Chemiebereich die modifizierte Zürich Gefahrenanalyse (MZHA) zur Anwendung.

Die MZHA ist eine induktive Analysenmethode. Durch Betrachtung von Ursachen und Auswirkungen der jeweiligen Gefährdung (Brand/Explosion) kann das Risiko, abhängig von der Eintrittswahrscheinlichkeit und den zu erwartenden Auswirkungen des Ereignisses, bewertet werden. Sobald alle Gefahren (z. B. die 13 Zündquellen) für jedes einzelne Anlagenteil gekennzeichnet worden sind, muss eine Abschätzung der Ursache des möglichen Schadens, der entstehen kann, und die Wahrscheinlichkeit

des Auftretens jeder Gefahr (Eintrittswahrscheinlichkeit, z. B. der Zündquellen) gebildet werden, um die Gefahren zu ordnen. Die Ursache wird in vier Kategorien eingeteilt, während die Auswirkungen eines Risikos in sechs relativen Wahrscheinlichkeiten ausgedrückt werden. Es wird ein Risikoprofilraster erstellt, in dem sich das Schutzziel, d. h. das vom Analysteam nach bestimmten Regeln und Überlegungen und im Einvernehmen mit dem Management festzulegende Sicherheitsniveau, durch eine Treppelinie (entspricht dem Schutzziel) darstellen lässt.

Die FMEA stammt aus der Fertigungsindustrie und wird inzwischen auch in der chemischen Industrie oder verwandter Industriezweigen häufig angewandt. Sie stellt eine formalisierte Methode zur systematischen Erfassung potenzieller Risiken im Prozess dar und dient dem Aufzeigen von Korrekturmaßnahmen. Sie gehört zur Gruppe der halbquantitativen Methoden, da bei dieser Methode zur Risikobeurteilung mit Zahlen operiert wird. Diese haben jedoch nur einen relativen Stellenwert, da sie keine empirisch-wissenschaftliche Grundlage besitzen, sondern nur Schätzgrößen zur Einordnung in ein vorgegebenes Raster darstellen.

Auslegung von stationären Sprühwassersystemen

Das am häufigsten in Sprühtrocknungsanlagen eingesetzte Löschmittel ist versprühtes Wasser. Das Wasser muss in der Trocknungskammer durch Sprühdüsen so verteilt werden, dass sowohl das

an der Wandung haftende als auch auf dem Boden bzw. im integrierten Fließbett befindliche brennende Produkt schnell abgelöscht wird. Gleichzeitig müssen die durch den Brand erwärmten Bauteile der Trocknungskammer flächendeckend gekühlt werden.

Bei der Auslegung von stationären Sprühwassersystemen in Sprühtrocknungsanlagen, z. B. für Nahrungsmittel, empfiehlt sich eine Intensität der Löschwasserzufuhr $I_{L\ddot{o}s\ddot{c}h}$ von 10 mm/min (dies entspricht 10 l/m² Querschnittsfläche und Minute) bei einer Löschzeit von 10 min.

Für die in Bild 1 dargestellte Trocknungskammer mit einem Durchmesser von 12,5 m ergibt sich eine Querschnittsfläche von $A_{Turmquerschnitt} = 123 \text{ m}^2$. Somit beträgt der erforderliche Förderstrom zum Löschen und Kühlen $\dot{V}_{L\ddot{o}s\ddot{c}h}$

$$\dot{V}_{L\ddot{o}s\ddot{c}h} = I_{L\ddot{o}s\ddot{c}h} \cdot A_{Turmquerschnitt} \quad (1)$$

$$\dot{V}_{L\ddot{o}s\ddot{c}h} = 10 \text{ l}/(\text{min} \cdot \text{m}^2) \cdot 123 \text{ m}^2 = 1230 \text{ l}/\text{min}$$

Für die festgelegte Löschzeit von 10 min beträgt die zum Löschen und Kühlen der Trocknungskammer mindestens vorzuhaltende Löschwassermenge 12,3 m³.

Auslegung von Explosionsschutzsystemen

Allgemeines

Die übliche Dimensionierung der konstruktiven Schutzmaßnahmen Ex-

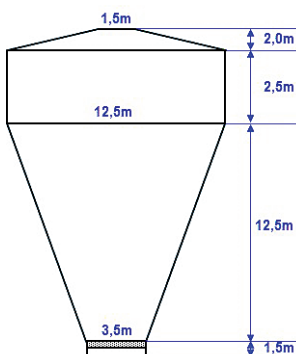


Bild 1 Hauptabmessungen der Trocknungskammer mit integriertem Fließbett.

Tabelle 1 Explosionskenngrößen bei 250 g/m³ und Raumtemperatur für organische St1- und St2-Stäube.

| Staubexplosionsklasse | St 1 Stäube | St2-Stäube |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Explosionsüberdruck P_{ex} | 9 bar | 10 bar |
| Explosionskonstante K_{max} | 120 m · bar · s ⁻¹ | 175 m · bar · s ⁻¹ |

Tabelle 2 Beispiel für Trockenturm-Gesamtvolumen Multianlage: $L/D = 1,3$; St1-Staub; $T = 120$ °C.

| Symbol | V_{Turm} | P_{Turm} | C_{Pmax} | $P_{max,20°C}$ | $P_{max,120°C}$ | C_{Kex} | K_{ex} | P_{stat} | A |
|---------|----------------|------------|------------------|----------------|-----------------|------------------|-----------|------------|----------------|
| Einheit | m ³ | bar | g/m ³ | bar | bar | g/m ³ | m · bar/s | bar | m ² |
| Wert | 200 | 0,4 | 250 | 9 | 6,9 | 250 | 120 | 0,1 | 3,2 |

plosionsdruckentlastung oder -unterdrückung bezieht sich auf homogene Staubverteilung (Normverfahren) mit einer vom Ort nahezu unabhängigen Staubkonzentration. Deshalb wurden in den letzten Jahren diese beiden konstruktiven Explosionsschutzmaßnahmen mit großem technischen und finanziellen Aufwand unter praxisnahen Betriebsbedingungen, d. h. auf inhomogene Staubverteilung mit einer ortsabhängigen Staubverteilung wissenschaftlich untersucht. Aus Forschungsergebnissen [3] lässt sich ableiten, dass die Dimensionierung der Explosionsdruckentlastung zu geringeren Druckentlastungsflächen und der Explosionsunterdrückung zu einer geringeren Anzahl an Löschmittelbehältern führen [4].

Explosionsdruckentlastung Schutz der gesamten Trocknungskammer

Ist nicht auszuschließen, dass die gemittelte Staubkonzentration (Produktdurchsatz dividiert durch Luftdurchsatz) in der Trocknungskammer oberhalb der temperaturbezogenen unteren Explosionsgrenze liegen kann und die Möglichkeit besteht, dass Feinstaub in den Trockenturm wieder zurückgeführt wird, ist für die Dimensionierung der Explosionsschutzsysteme das Gesamtvolumen zugrunde zu legen.

Bei konservativer Betrachtung ist davon auszugehen, dass im gesamten Trockenturm eine maximale durchschnittliche Staubkonzentration von 250 g/m³ zu erwarten ist [3 bis 5].

Die Richtlinie unterscheidet zusätzlich noch, ob es sich dabei um eine Mono- oder eine Multianlage handelt.

Bei **Multianlagen** muss das Schutzkonzept beispielsweise auf einen St1-Staub mit K_{max} von 200 m·bar·s⁻¹ oder auf einen St2-Staub von 300 m·bar·s⁻¹ ausgerichtet werden. Dies bedeutet, dass man bei einer Staubkonzentration von 250 g/m³ für den

St1-Staub oder St2-Staub im Labor den Explosionsüberdruck und die Explosionskonstante bestimmen muss und diese Werte anschließend unter Berücksichtigung der Temperatur für die Berechnung der Explosionsschutzsysteme herangezogen werden können. Die Richtlinie gibt Hüllkurven typischer Explosionskenngrößen in Abhängigkeit der Staubkonzentration für reale St1- und St2-Stäube an, die für die Auslegung von Schutzmaßnahmen zugrunde gelegt werden können. Dabei ergeben sich bei Raumtemperatur für eine Staubkonzentration von 250 g/m³ die in **Tabelle 1** aufgeführten Werte.

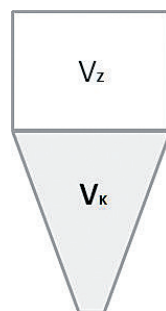


Bild 2 Beispiel für eine Trocknungskammern mit einem Gesamtvolumen von $V_{tot} = 200$ m³, einem Zylindervolumen von $V_z = 127$ m³ und Konusvolumen von $V_k = 73$ m³ (das Konusvolumen ist somit größer als das untere Drittel von 67 m³).

Im Falle von **Monoanlagen** können auch die Zahlenangaben aus **Tabelle 1** eingesetzt werden. Man kann aber auch bei einer Staubkonzentration von 250 g/m³ für das zu trocknende Produkt im Labor den Explosionsüberdruck und die Staubexplosionskonstante bestimmen und zieht diese Werte unter Berücksichtigung der Temperatur für die Auslegung eines Schutzsystems (Druckentlastung oder Unterdrückung) heran.

In **Tabelle 2** ist ein Berechnungsbeispiel für eine Trockenturm-Multianlage von 200 m³ Gesamtvolumen dargestellt.

Schutz des unteren Teils der Trocknungskammer

Unter der Voraussetzung, dass die gemittelte Staubkonzentration in der Trocknungskammer stets unter der temperaturbezogenen unteren Explosionsgrenze liegt und keine Möglichkeit besteht, dass Feinstaub in den Trockenturm wieder zurückgeführt werden kann und keine Ablagerungen auftreten, braucht man nach heutigem Erkenntnisstand nur ein Teilvolumen des Trockenturms in Rechnung zu stellen. Dies ist mindestens das Konusvolumen oder das untere Drit-

Tabelle 3 Beispiel für Trockenturm-Drittelvolumen Multianlage: $L/D = 1,3$; St 1-Staub; $T = 120^\circ\text{C}$.

| Symbol | $1/3 V_{\text{Turm}}$ | P_{Turm} | C_{Pmax} | $P_{\text{max},20^\circ\text{C}}$ | $P_{\text{max},120^\circ\text{C}}$ | C_{Kex} | K_{ex} | P_{stat} | A |
|---------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------|
| Einheit | m^3 | bar | g/m^3 | bar | bar | g/m^3 | $\text{m} \cdot \text{bar}/\text{s}$ | bar | m^2 |
| Wert | 67 | 0,4 | 250 | 9 | 6,9 | 250 | 120 | 0,1 | 1,4 |

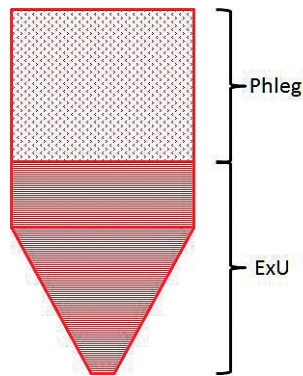


Bild 3 Beispiel für eine Trocknungskammer mit einem Gesamtvolumen von $V_{\text{tot}} = 200 \text{ m}^3$; untere Hälfte unterdrückt, obere Hälfte phlegmatisiert.

tel der gesamten Trockenkammer. Es muss jeweils das größere der beiden Teilverolumina für die Dimensionierung zugrunde gelegt werden. In Bild 2 ist dies beispielhaft dargestellt.

In Tabelle 3 ist ein Berechnungsbeispiel für eine Trockenturm-Multianlage mit einem Drittel des Gesamtvolumens von 67 m^3 dargestellt.

Explosionsunterdrückung Schutz der gesamten Trocknungskammer

Bei der Explosionsunterdrückung ist wie bei der Schutzmaßnahme Explosionsdruckentlastung vorzugehen, mit dem Unterschied, dass die untere Hälfte des Volumens „unterdrückt“ und der obere Teil des Volumens mittels einer Löschpulverkonzentration von $100 \text{ g}/\text{m}^3$ „phlegmatisiert“ wird, weil aufgrund der Erfahrung angenommen werden kann, dass eine Explosion im unteren Volumenteil erfolgt.

Bei konservativer Betrachtung ist i. d. R. davon auszugehen, dass im unteren Teil des Trockenturms eine maximale durchschnittliche Staubkonzentration von $250 \text{ g}/\text{m}^3$ nicht überschritten wird

[3 bis 5]. In Bild 3 ist das Schutzkonzept grafisch dargestellt.

Schutz des unteren Teils der Trocknungskammer

Unter der Voraussetzung, dass die gemittelte Staubkonzentration in der Trocknungskammer stets unter der temperaturbezogenen unteren Explosionsgrenze liegt und keine Möglichkeit besteht, dass Feinstaub in den Trockenturm wieder zurückgeführt werden kann und keine Ablagerungen auftreten, braucht man nach heutigem Erkenntnisstand nur ein Teilvolumen des Trockenturms in Rechnung zu stellen. Dies ist mindestens das Konusvolumen oder das untere Drittel der gesamten Trockenkammer. Es muss jeweils das größere der beiden Teilverolumina für die Dimensionierung zugrunde gelegt werden.

Um den schlimmsten Fall abdecken zu können, muss angenommen werden, dass eine anlaufende Explosion am oberen Rand des Konusvolumens oder am oberen Rand des unteren Drittels der gesamten Trockenkammer beginnen kann. Es muss deshalb ein Sicherheitsabstand aus der Kenntnis der Flammgeschwindigkeit und der Zeit vom Zündzeitpunkt bis zur vollständigen Explosionsunterdrückung bestimmt werden. Das sich daraus ergebende Zusatzvolumen muss dem zu schützenden Konusvolumen oder dem unteren Volumendrittel zugerechnet und bei der Auslegung des Unterdrückungssystems berücksichtigt werden. Auch in diesem Fall ist die Vorgehensweise in der zur Diskussion stehenden VDI-Richtlinie beschreiben.

Explosionstechnische Entkopplung

Um im Fall einer Explosion in der Trocknungskammer deren Weiterleitung über angeschlossene Rohrleitungen – auch wenn hier im normalen Betriebszustand keine explosionsfähigen Gemische vorhanden sind – in andere Anlagenteile nötigenfalls zu unterbinden, ist zu überprüfen, ob in den Leitungen zwischen

- dem Lufterhitzer und der Trocknungskammer sowie
- der Trocknungskammer und dem Filter/Zyklon oder

- der Trocknungskammer und dem Fließbettrockner

geprüfte Entkopplungseinrichtungen wie beispielsweise Löschmittelsperren oder Zellenradschleusen eingesetzt werden müssen.

Zahlreiche Versuche haben gezeigt [3], dass bei Einhaltung eines reduzierten maximalen Explosionsüberdrucks durch das Schutzsystem Explosionsdruckentlastung in der Trockenkammer und dem angeschlossenen Filter oder Zyklon einschließlich der verbindenden Rohrleitungen von $P_{\text{red,max}} \leq 0,3 \text{ bar}$ auf eine Explosionsentkopplung verzichtet werden kann. Lassen sich aber reduzierte Explosionsüberdrücke von $P_{\text{red,max}} \leq 0,3 \text{ bar}$ konstruktiv nicht realisieren, ist eine explosionstechnische Entkopplung in dieser Rohrleitung z. B. mit einer Löschmittelsperre unumgänglich. TS 230

Literaturverzeichnis

- [1] VDI 2263, Blatt 7.1 (Entwurf): Staubbrände und Staubexplosionen; Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen; Brand- und Explosionsschutz an Sprühtrocknungsanlagen. Beispiele. Berlin: Beuth Verlag 2011.
- [2] VDI 2263, Blatt 7: Staubbrände und Staubexplosionen; Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen; Brand- und Explosionsschutz an Sprühtrocknungsanlagen. Berlin: Beuth Verlag 2010.
- [3] Grund, S.; Wenzel, M.; Gehrke, M.: Explosionsschutz an Sprühtrocknungsanlagen – Praxisorientierte Umsetzung von Explosionsschutzkonzepten in der Nahrungsmittelindustrie aufgrund weiterentwickelter Verfahren und Produkte. VDI-Berichte 2096. Düsseldorf: VDI Verlag 2010.
- [4] Siwek, R.: Explosionsschutz an Zerstäubungstrocknern. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 60 (2000) Nr. 3, S. 95-99.
- [5] Siwek, R. et al.: Dust explosion venting and suppression of conventional spray dryers – an experimental study. Proceedings of the 11th International Symposium Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, 31 May-3 June, Praha, Czech Republic, 2004.

Autor

Dipl.-Ing. **Richard Siwek**,
FireEx Consultant GmbH, Kaiseraugst,
Schweiz.