

Können Schneckenförderer die Übertragung von Staubexplosionen in angeschlossene Anlagenteile verhindern?

Albrecht Vogl, Mannheim

Schneckenförderer dienen dem Transport von Schüttgütern. Handelt es sich um brennbare Schüttgüter in staubförmiger Form oder Schüttgüter, die Feinstaubanteile enthalten, so werden die Schneckenförderer im Allgemeinen in staubexplosionsgefährdeten Anlagenbereichen betrieben. In einem Forschungsprojekt der Forschungsgesellschaft für angewandte Systemsicherheit und Arbeitsmedizin e.V. (FSA e.V.) sollte die Frage geklärt werden, ob technisch modifizierte Schneckenförderer neben ihrer Hauptaufgabe, dem Transport von Schüttgütern, gleichzeitig als Schutzmaßnahme für die Vermeidung einer Explosionsübertragung in angeschlossene Anlagenteile eingesetzt werden können. Hierzu wurde in einem Rohrschneckenförderer ein kleiner Teil des Schneckengangs entfernt, sodass an dieser Stelle ein Schüttgutpfropfen entsteht, der den Querschnitt verschließt. Durch diese Maßnahme soll eine Flammenübertragung über die Förderschnecke hinaus in angeschlossene Anlagenteile verhindert werden. Während des normalen Förderbetriebs wird das Schüttgut des Pfropfens kontinuierlich zum Schüttgutaustrag hindurchgeschoben. Der Schüttgutpfropfen sollte jedoch verbleiben, wenn die Schüttgutzufuhr in die Förderschnecke unterbrochen wird. Die Wirksamkeit dieses Funktionsprinzip wurde in Explosionsversuchen mit unterschiedlichen Lastfällen und in Abhängigkeit von Schüttguteigenschaften untersucht.

In der Industriepraxis werden in großer Anzahl Schneckenförderer für den Transport von Schüttgütern eingesetzt. Dabei handelt es sich vielfach um brennbare Schüttgüter, die in Form von Staub, Körnern oder Granulaten vorliegen. Letztere besitzen in der Regel einen gewissen Feinstaubanteil. Das hat zur Folge, dass Schneckenförderer häufig in explosionsgefährdeten Anlagenbereichen betrieben werden, die durch konstruktive Maßnahmen gegen die gefährlichen Auswirkungen von Staubexplosionen geschützt werden müssen.

Eine wichtige Maßnahme des konstruktiven Explosionsschutzes besteht in der explosionstechnischen Entkopplung [1; 2]. Sie sorgt dafür, dass die Auswirkungen eines Explosionsereignisses räumlich begrenzt bleiben. Insbesondere die Flammenübertragung in angeschlossene Anlagenbereiche muss verhindert werden.

Für Betreiber explosionsgefährdeter Anlagen ist es ein großer Vorteil, wenn ohnehin benötigte Schneckenförderer gleichzeitig als Schutzmaßnahme gegen-

über einer Explosionsübertragung eingesetzt werden können. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde ein Prinzip aufgegriffen, das erstmals von Wheeler [3; 4] beschrieben wurde. Es beruht auf der Entfernung eines kleinen Teils des Schneckengangs innerhalb einer Rohrförderschnecke, sodass bei der Schüttgutförderung im Bereich des unterbrochenen Schneckengangs ein Schüttgutpfropfen entsteht, der im Falle einer Staubexplosion die Flammenübertragung verhindern soll. Der Schüttgutpfropfen sollte möglichst auch dann bestehen bleiben, wenn die Schüttgut-

zufuhr in die Förderschnecke unterbrochen ist. In einem Forschungsvorhaben der Forschungsgesellschaft für angewandte Systemsicherheit und Arbeitsmedizin e. V. (FSA e. V.) wurde dieses Prinzip aufgegriffen [5]. Wirksamkeit und Grenzen einer entsprechend modifizierten Förderschnecke wurden in Abhängigkeit von Schüttguteigenschaften, Länge des Schüttgutpfropfens und Explosionsdruck untersucht.

Versuchsaufbau

Für die explosionstechnischen Untersuchungen wurde eine Rohrförder-

Tabelle 1 Technische Daten des Rohrschneckenförderers (Fa. AZO).

Länge in m	3
Durchmesser in mm	200
Spaltbreite zwischen Förderschnecken-Umfang und Gehäuseinnenwandung in mm	5 bis 7
Förderleistung in t/h	5,5*
Druckstoßfestigkeit in bar	10

* bezogen auf 40 % Befüllung und Schüttgewicht 0,7 kg/dm³



Bild 1 Ausgebaute Schneckenwelle, bei der ein Schneckenangang entfernt wurde. Es standen zwei zusätzliche Schneckenwellen mit anderthalb und zwei herausgetrennten Schneckenängängen zur Verfügung.

schnecke verwendet. Die technischen Daten sind **Tabelle 1** zu entnehmen.

Der Rohrschneckenförderer wurde mit zwei Anschlussmöglichkeiten für die Schüttgutzuführung ausgerüstet. Über den ersten Anschluss erfolgte die Zuführung des Schüttguts mithilfe einer Dosierschleuse. Der zweite Anschluss wurde über eine kurze Rohrverbindung mit einem druckentlasteten Explosionsbehälter verbunden. Der Schüttgutauslauf erfolgte in einen flexiblen Schüttgutbehälter.

Für die Rohrförderschnecke standen drei Schneckenwellen mit unterschiedlich langen Unterbrechungen des Schneckenangangs zur Verfügung (siehe **Bild 1**). Es wurden ein, anderthalb und zwei Schneckenängänge entfernt, wodurch die Länge des Schüttgutpfropfens variiert werden konnte. Die Länge des Schüttgutpfropfens sollte so bemessen werden, dass einerseits eine Flammenübertragung verhindert und andererseits die

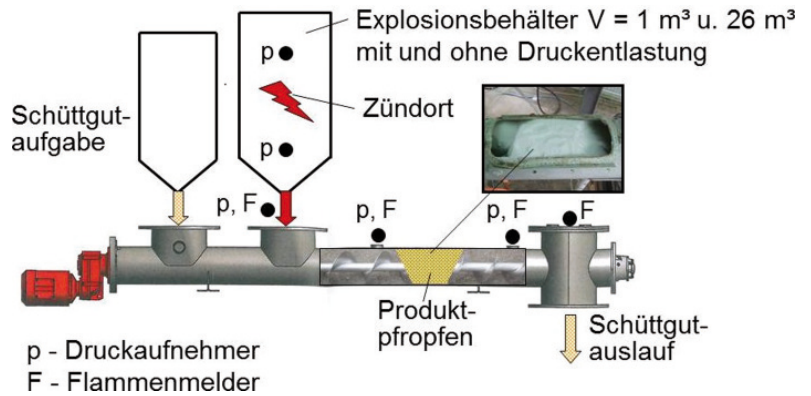


Bild 2 Prinzipbild des Versuchsaufbaus mit Positionen der Druckaufnehmer, der Flammenmelder und des Produktpfropfens in der Rohrförderschnecke.

Schüttgutförderung nicht unzulässig beeinträchtigt wird.

Das Prinzipbild des Versuchsaufbaus ist in **Bild 2** zu sehen, die praktische Realisierung in **Bild 3**. Alle Versuche wurden sowohl mit einem 1-m³-Explosionsbehälter als auch mit einem 26-m³-Explosionsbehälter durchgeführt. Durch die Verwendung unterschiedlicher Volumina sollte der Einfluss des zeitlichen Druckanstiegs dp/dt und der zeitlichen Dauer der Expansionsströmung aufgrund der heißen Verbrennungsgase auf die Wirksamkeit als explosionstechnische Entkopplung untersucht werden.

Der Explosionsdruckverlauf in den Explosionsbehältern, in der Verbindungsleitung zur Rohrförderschnecke und in der Rohrförderschnecke selbst wurde mit piezoelektrischen Druckaufnehmern gemessen. Zusätzlich wurden an der Verbindungsleitung und an der Rohrförderschnecke vor und nach dem Schüttgutpfropfen Flammenmelder in-

stalliert. Der Schüttgutauslauf wurde mithilfe einer Videokamera überwacht, um einen Flammenaustritt eindeutig identifizieren und dokumentieren zu können.

Versuchsdurchführung

Mithilfe einer Dosierschleuse wurde der Rohrförderschnecke gerade so viel Schüttgut zugeführt, dass sich ein optimaler Förderzustand einstellen konnte. Bei den gewählten Schüttgütern wurde dieser Förderzustand mit einem Befüllungsgrad von ca. 40 % erreicht. Danach wurde die Zuführung des Schüttguts gestoppt, sodass die Rohrförderschnecke bis auf den Schüttgutpfropfen sowie unvermeidliche Produktablagerungen leer gefahren wurde. Nach definierter Zeit erfolgte schließlich die Entzündung einer Staubexplosion im druckentlasteten Explosionsbehälter, die durch einen Rohrbogen in die Rohrförderschnecke eingeleitet wurde.

Die Explosionsversuche wurden mit unterschiedlichen Schüttgütern durchgeführt, die sich in Bezug auf die Explosionskenngrößen und Fließeigenschaften unterschieden (siehe **Tabelle 2**). Die Rohrförderschnecke wurde dabei mit Staubexplosionen unterschiedlicher Heftigkeit beaufschlagt. Durch die Verwendung unterschiedlich großer Druckentlastungsflächen wurden reduzierte Explosionsüberdrücke [6] im Bereich von 0,15 bar bis 2 bar erzeugt.

Ergebnisse

In Voruntersuchungen wurde festgestellt, dass sich bei horizontaler Einbaulage der Rohrförderschnecke und mit Entfernung von bis zu zwei Schneckenängängen nicht mit allen Schüttgütern die



Bild 3 Praktische Realisierung des Versuchsaufbaus mit 26-m³-Explosionsbehälter. Im Vordergrund sind die Rohrförderschnecke und die Schüttgutaufgabe zu sehen.

Tabelle 2 Kenngrößen der verwendeten Schüttgüter.

Schüttgut	P_{\max} in bar	K_{St} in bar · m · s ⁻¹	MZE in mJ	MZT in mJ	Schüttdichte	Fließfähigkeitsfaktor ffc
Maisstärke	9,0	200	> 4/≤ 5	380	0,64	9,78
Cellulose	9,2	175	> 5/≤ 10	400	0,32	2,79
Malzstaub	8,4	150	> 5/≤ 10	370	0,22	6,40
Puderzucker	7,9	140	> 5/≤ 10		0,60	2,08
Milchpulver	8,8	125	> 30/≤ 100	460	0,56	3,73
Holzmehl	8,5	160	> 50/≤ 100	420	0,23	4,62
Weizenmehl	7,5	80	> 100/≤ 500	410	0,54	2,80
Kristallzucker	3,8	12	> 10 ⁶		0,85	8,60
Getreide	–	–	–	–	0,70	11,00

gewünschten Pfropfen ausbilden konnten. Teilweise konnten nur Anhäufungen des Schüttguts (z. B. Getreide, Kristallzucker, Maisstärke) beobachtet werden, weshalb den Explosionsversuchen zunächst Untersuchungen zur Pfropfenbildung vorangestellt wurden.

Pfropfenbildung

Die Untersuchungen zur Ausbildung eines Schüttgutpfropfens ergaben, dass die Fließeigenschaften des Schüttguts eine wichtige Rolle spielen. Die Fähigkeit des Schüttguts zur Ausbildung eines in diesem Falle gewünschten Pfropfens, der auch nach Abschaltung der Schüttgutzufuhr verbleibt, korrelierte sehr gut mit dem Fließfähigkeitsfaktor ffc [7; 8].

Bei horizontaler Lage der Rohrförderschnecke konnten keine „verbleibenden“ Schüttgutpfropfen mit Malzstaub ($ffc = 6,4$) oder Schüttgütern mit höherem Fließfähigkeitsfaktor erzeugt werden. Eine rasche Ausbildung eines Schüttgutpfropfens entstand hingegen mit Holzmehl ($ffc = 4,62$) und allen Schüttgütern mit geringerem Fließfähigkeitsfaktor als Holzmehl.

Die Entfernung von anderthalb Schneckengängen aus der Förderschnecke hat sich als optimales Maß für Schüttgüter mit einem Fließfähigkeitsfaktor $ffc < 5$ herausgestellt, um die gewünschten Pfropfen zu erzeugen. Eine geringe Steigung des Rohrschneckenförderers von bis zu 20 % in Förderrichtung brachte nur wenig Erfolg. Lediglich mit Maisstärke ($ffc = 9,78$) gelang schließlich ebenfalls die Ausbildung eines Pfropfens, wenn zwei Schneckengänge entfernt und die Förderschnecke mit geringer Steigung in Förderrichtung ($\geq 15\%$) betrieben wurde.

In Bild 4 ist bei Entfernung von anderthalb Schneckengängen und nach Abschaltung der Schüttgutzufuhr ein vollständig ausgebildeter Schüttgut-

pfropfen mit Cellulose zu sehen. Unter gleichen Bedingungen entstand mit Maisstärke lediglich eine Anhäufung des Schüttguts.

Im normalen Förderbetrieb, d. h. ohne Unterbrechung der Schüttgutzuführung über die Dosierschleuse, konnte stets eine Pfropfenbildung beobachtet werden.

Flammenübertragung

Mithilfe von Explosionsversuchen im Großmaßstab sollte die Eignung der modifizierten Rohrförderschnecke für die explosionstechnische Entkopplung untersucht werden. Es war also die Frage zu klären, ob mithilfe eines Schüttgutpfropfens die Flammenübertragung vom Schüttguteinlauf bis zum Schüttgutauslauf verhindert werden kann.

Die Rohrförderschnecke wurde hierzu mit unterschiedlich heftigen Explosionsereignissen aus einem druckentlasteten 1-m³- und 26-m³-Behälter beaufschlagt. Die reduzierten Explosionsüberdrücke p_{red} wurden im Bereich von 0,15 bar bis 2 bar variiert.

Zu Beginn erfolgten Referenzversuche ohne Schüttgutpfropfen. Diese Versuche führten zu der interessanten Erkenntnis,



Bild 4 Schüttgutpfropfen mit Cellulose (Bild unten) und lediglich Schüttgut-Anhäufung mit Maisstärke (Bild oben) in der Rohrförderschnecke nach abgeschalteter Schüttgutzufuhr. Im gezeigten Beispiel wurden anderthalb Schneckengänge entfernt (horizontale Einbaulage).



Bild 5 Explosionsversuch mit Cellulose. Es ist lediglich starker Staubaustritt zu beobachten. Die Flammenübertragung aus dem Explosionsbehälter durch die Rohrförderschnecke hindurch wird durch den Schüttgutpfropfen in der Rohrförderschnecke verhindert.



Bild 6 Explosionsversuch mit Maisstärke und Flammenübertragung durch die Rohrförderschnecke hindurch.

dass auch ohne Schüttgutpfropfen eine Flammenübertragung verhindert werden kann. So gelang es nicht, mit Weizenmehl und Holzstaub (Tabelle 2) eine Flammenübertragung durch die Rohrförderschnecke zu provozieren, d. h. mit Stäuben, deren Mindestzündenergie $MZE \geq 100$ mJ beträgt [9].

Ein Flammendurchschlag (ohne Schüttgutpfropfen) war hingegen mit Malzstaub ($MZE \leq 10$ mJ), Cellulose ($MZE \leq 10$ mJ) und Maisstärke ($MZE \leq 5$ mJ) zu beobachten.

Da mit Malzstaub und Maisstärke keine Schüttgutpfropfen entstanden, die den Querschnitt auch nach Abschaltung der Schüttgutzufuhr vollständig verschlossen, wurden zunächst weitere Versuche mit Cellulose ($MZE \leq 10$ mJ) gefahren. Hierbei genügte die Entfernung von anderthalb Schneckengängen, um den gewünschten Pfropfen entstehen zu lassen. Nach Variation der Explosionsdrücke im druckentlasteten 1-m^3 -Explosionsbehälter und auch im 2-m^3 -Explosionsbehälter konnte keine Flammenübertragung bis zum Schüttgutauslauf der Rohrförderschnecke beobachtet werden (Bild 5). Der Laufweg der Flammenfront betrug maximal 1,2 m bezogen auf den Schüttguteinlauf. Der Schüttgutauslauf befand sich hingegen in einem Abstand von 1,8 m.

Zur Kontrolle wurden nochmals Versuche mit Maisstärke durchgeführt, obwohl mit diesem Schüttgut keine vollständigen Pfropfen, sondern lediglich Produktanhäufungen entstanden. Wie zu erwarten, erfolgte sowohl mit anderthalb als auch mit zwei herausgetrennten Schneckengängen ein Flammendurch-

schlag (Bild 6). Bei normaler Schüttgutförderung, d. h. ohne Unterbrechung der Schüttgutzufuhr, entstand auch mit Maisstärke ein Pfropfen, der eine Flammenübertragung verhinderte.

Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse

Die Untersuchungen zur explosions-technischen Entkopplung mithilfe einer modifizierten Rohrförderschnecke erbrachten folgende Ergebnisse:

- Bei horizontaler Einbaulage der Rohr-


förderschnecke und Entfernung von anderthalb Schneckengängen entstehen dann Schüttgutpfropfen, wenn der dimensionslose Fließfähigkeitsfaktor $ffc < 5$ beträgt.

- Ohne Schüttgutpfropfen war keine Flammenübertragung durch die Rohrförderschnecke zu beobachten mit Stäuben, deren Mindestzündenergie $MZE \geq 100$ mJ beträgt.

- Mit Schüttgutpfropfen war keine Flammenübertragung zu beobachten mit Stäuben, deren Mindestzündenergie $MZE \geq 10$ mJ beträgt.

Die Ergebnisse gelten für eine minimale Länge von 1,8 m zwischen Schüttguteinlauf und -auslauf sowie einer maximalen Spaltbreite von 7 mm zwischen Förderschneckenumfang und Gehäuseinnenwand des Rohrschneckenförderers.

TS 397

Autor	
	Dr.-Ing. Albrecht Vogl , Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gast- gewerbe (BGN), Mann- heim und Forschungs- gesellschaft für angewand- te Systemsicherheit und Arbeitsmedizin (FSA).

Literaturverzeichnis

[1] VDI 2263: Staubbrände und Staubexplosionen; Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen. Berlin: Beuth Verlag 1992.

[2] Technische Regel für Betriebssicherheit (TRBS) 2152 Teil 4: Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes, welche die Auswirkung einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken. GMBL 2012, S. 387.

[3] Wheeler, R. V.: Report on Experiments into the means of preventing the spread of explosions of carnoaceous dust. His Majesty's Stationary Office. London 1935.

[4] Eckhoff, R. K.: Dust explosions in the process industries. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd 1991.

[5] Vogl, A. ; Radandt, S.: Abschlussbericht zum Forschungsprojekt „Förderschnecken mit Produktpfropfen für die explosions-

technische Entkopplung“ (F-05-1201). Forschungsgesellschaft für angewandte Systemsicherheit und Arbeitsmedizin e.V. (FSA e.V.). Mannheim 2014 (noch unveröffentlicht).

[6] DIN EN 14491: Schutzsysteme zur Druckentlastung von Staubexplosionen. Berlin: Beuth Verlag 2012.

[7] Jenike, A. W.: Storage and flow of solids. Utah Eng. Exp. Station, Bulletin Nr. 123. Salt Lake City, USA, 1964.

[8] Schulze, D.: Zur Fließfähigkeit von Schüttgütern – Definition und Messverfahren. Chem.-Ing.-Tech. 67 (1995) Nr. 1, S. 60-68.

[9] DIN EN 13821: Explosionsfähige Atmosphären – Explosionsschutz – Bestimmung der Mindestzündenergie von Staub/Luft-Gemischen. Berlin: Beuth Verlag 2003.