

Wolfgang Bartknecht

- 158 -

3.5 Explosionstechnische Entkopplung und Explosionsabbruch

Bei Teilschnitt-Vortriebsmaschinen mit im Allgemeinen hoher Leistung, besteht Entzündungsgefahr des beim Lösevorgang freigesetzten Methans. Um sie zu vermindern, wurde eine spezielle Explosionslöschanlage entwickelt[62]. In ca. 3 m Abstand von der

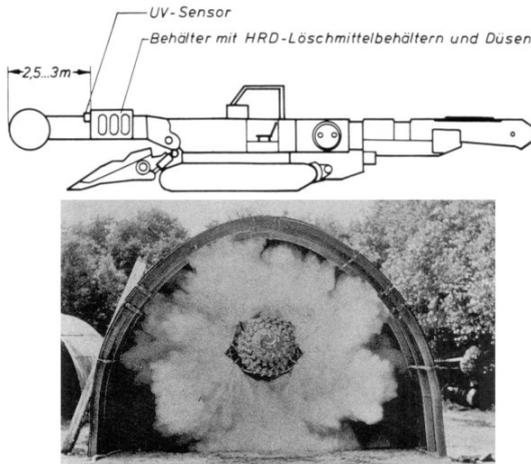


Abb.3.360: Schematische Darstellung der automatischen Löschanlage an Teilschnitt-Vortriebsmaschine (oben) und radiale Verteilung des Löschpulvers (unten)

Schneidkopfspitze befinden sich die, den Schneidkopf überwachenden UV-Detektoren (Abb.3.360. oben). Die Verteilung des Löschpulvers aus 12.3l-Löschmittelbehältern erfolgt symmetrisch radial um die gesamte Schneideinheit, d.h. senkrecht zur Längsachse. Dieses Löschanlage, das auch als "Mehrfachlöschanlage" arbeitet, wurde erfolgreich in einer 20 m²-Bogenstrecke in explosionsfähigen Methan/Luft-Gemischen verschiedener Konzentrationen bei unterschiedlichen Zündortlagen getestet (Abb.3.360. unten).

Auch voll ausgebildete Puderzucker-Staubexplosionen wurden in der Rohrleitung DN 1400 mit Erfolg beim 30. Leitungsmeter abgebrochen. Verdoppelung der staubspezifischen Kenngröße und damit auch des Explosionsdruckes im Sperrbereich gegenüber Kohlenstaub erfordern für eine Explosionsgeschwindigkeit von 300 m/s einen doppelten spezifischen Löschpulverbedarf, als den in Tabelle 3.35 für Kohlenstaub angegeben.

In vielen praktischen Fällen ist es nicht möglich, Silozellen, wie gefordert, unmittelbar oder über Ausblasrohre in ungefährliche Richtung in die freie Atmosphäre zu Explosionsdruckentlasten. Oben auf dem Silo befindet sich häufig eine Art, "**Wetterschutzraum**" (auch "**Siloboden**" genannt), der zum Zweck der Silobesichtigung und -reinigung begangen oder auch befahren werden muss. Eine Explosionsdruckentlastung erfolgt daher in den genannten Siloboden, der durch Druck- und Flammenentwicklung gefährdet ist. Untersuchungen[63][64] mit einem simulierten Explosionsdruckentlasteten Siloboden ($V = 100 \text{ m}^3$, $A = 9 \text{ m}^2$, $p_{\text{stat}} = 0.08 \text{ bar}$), der auf ein Explosionsdruckentlastetes 20 m^3 -Silo ($H/D = 6.25$, $A = 1.54 \text{ m}^2$, $p_{\text{stat}} = 0.1 \text{ bar}$) aufgesetzt war (Abb.3.361. links), haben bewiesen, dass dies durch den Einsatz einer Löschmittelsperre im Bereich der Siloentlastung (Abb.3.361. rechts) verhindert werden kann.

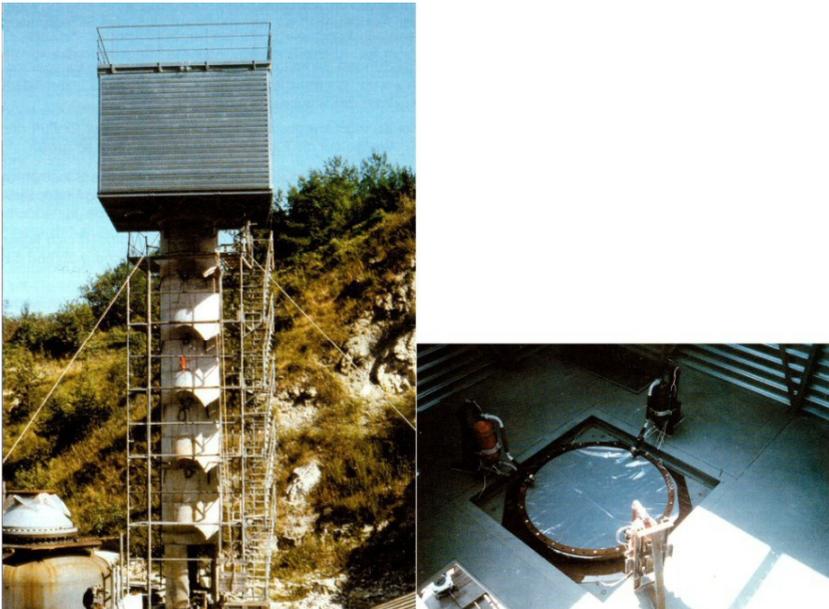


Abb.3.361: 20 m^3 -Betsilo mit aufgesetztem 100 m^3 -Siloboden (links); Löschmittelsperre im Innern des Silobodens im Bereich der Siloentlastung (rechts)

Es handelt sich hierbei um drei Löschmittelbehälter von 10 l (5 l) Inhalt mit $3''$ -Doppelventilen, die mit 7 kg (4 kg) Löschpulver auf der Basis von Ammonphosphat (Treibmitteldruck $p_{\text{N}_2} = 120 \text{ bar}$) befüllt

und unter einem Winkel von 120° gegeneinander versetzt waren. Die Löschpulververteilung erfolgte wiederum über Fächerdüsen, und die entsprechenden Leitungen waren so geformt, dass sie auf die Siloentlastung gerichtet waren. Der die Sperre aktivierende optische Flammenmelder befand sich in einer Entfernung von 4 m in der Silowand.

Für die Untersuchungen wurden homogene Maisstärke-Staub/Luft-Gemische u.a. in Optimalkonzentration d.h. homogene Staubwolken verwendet, ein Produkt, das bei einem maximalen Explosionsüberdruck von $p_{\max} \sim 9$ bar dem oberen Grenzbereich der Staubexplosionsklasse St 1 zuzuordnen ist. Die Zündquelle ($E = 10$ kJ) war in Silomitte und am geschlossenen Siloende angeordnet.

Das hinsichtlich der maximalen Explosionsgeschwindigkeit v_{\max} und des reduzierten maximalen Explosionsdruckes $p_{\text{red,max}}$ erhaltene Untersuchungsergebnis einschliesslich des Abschlussversuches ohne Löschmittelsperre fasst Tabelle 3.36 zusammen.

Die Löschmittelsperre beeinflusst also kaum die maximale Explosionsgeschwindigkeit v_{\max} im Silo, setzt aber hier den reduzierten maximalen Explosionsüberdruck $p_{\text{red,max}}$ um ca. 30% und im Siloboden um ca. 70% herab.

Tabelle 3.36. Wirksamkeit einer Löschmittelsperre im Bereich des Silodaches auf die maximalen Explosionskenngrößen von Maisstärke in Optimalkonzentration

Messort		Silo		Siloboden	
Zündort	Spez. Löschpulvermenge [kg/m ²]	v_{\max} [m/s]	$p_{\text{red,max}}$ [bar]	$p_{\text{red,max}}$ [bar]	Bemerkungen
Silomitte geschlossenes Siloende	10.4	27	0.42	0.09	keine Flamme
	6.0	229	0.41	0.09	schwache Flamme
	10.4	225	0.41	0.09	keine Flamme
	- ^a	235	0.59	0.28	Siloboden zerstört

^a ohne Löschmittelsperre

Während bei der geringeren spezifischen Löschpulvermenge (6.0 kg/m²) im Siloboden eine kurzzeitige Flamme beobachtet wird (Abb.3.362.links), ist bei erhöhter Pulvermenge (10.4 kg/m²) keine Flammenerscheinung sichtbar (Abb.3.362. rechts).

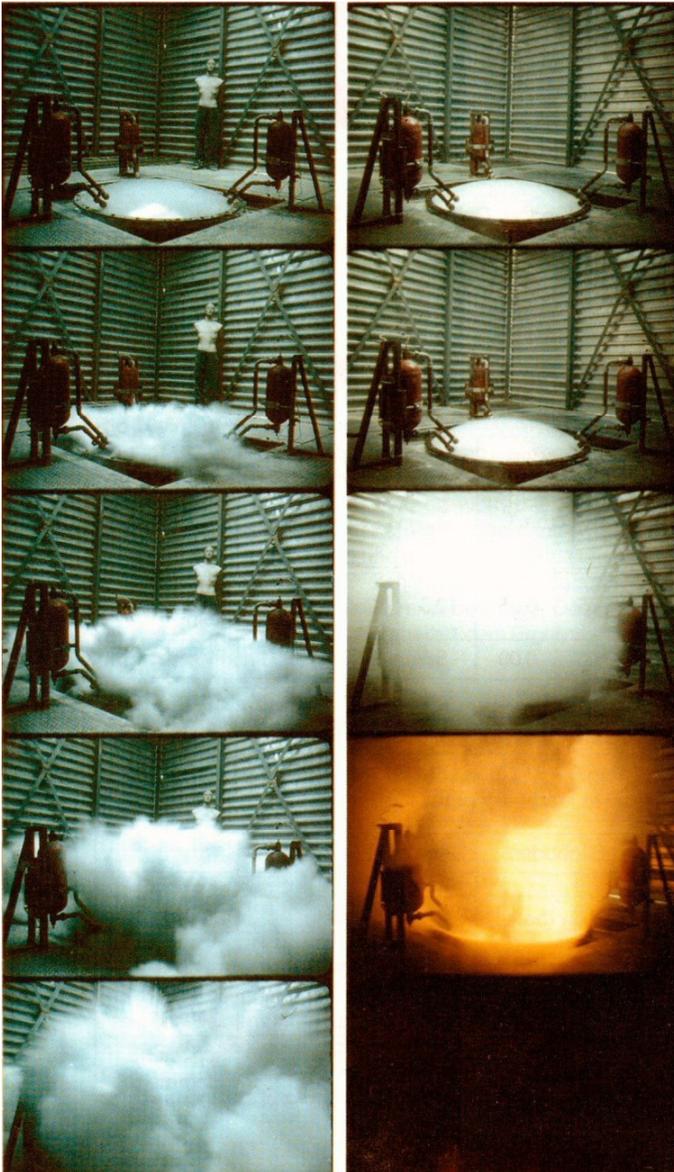


Abb.3.362: Flammerscheinungen im Siloboden bei Anwendung unterschiedlicher spezifischer Löschpulvermengen

- Maisstärke, Zündort: Siloboden - links: 6.0 kg/m^2 - rechts: 10.4 kg/m^2 -

Die Abb.3.363 vermittelt einen visuellen Eindruck von diesen Untersuchungen.

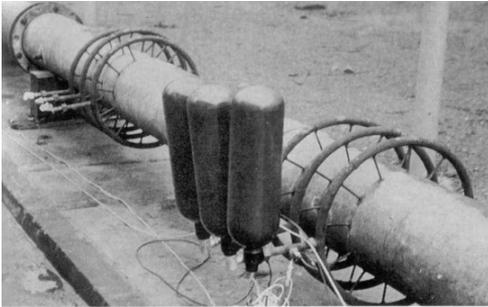


Abb.3.363: Löschpulveraustritt (links) und Flammenaustritt bei Nichtvorhandenseins einer Löschmittelsperre (rechts) unmittelbar nach dem Ansprechen der Entlastung des "Wetterschutzraumes"

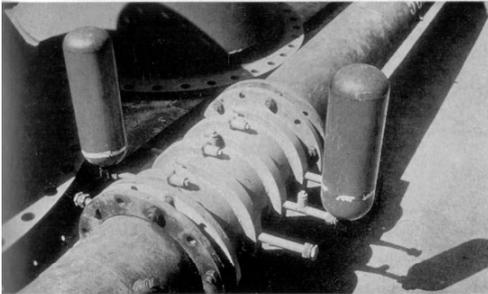
Die vorstehenden Ausführungen haben bestätigt, dass der Einsatz von Löschmittelsperren nicht nur in Rohrleitungen mit grossen Querschnitten, sondern auch zur Verhinderung des Explosionsübertritts aus einem Silo in den Siloboden von hervorragender Wirksamkeit ist. Diese Sperrenart begrenzt nicht nur den Ablauf speziell von Staubexplosionen und mindert Explosionsauswirkungen, sondern beschränkt auch, ähnlich wie mechanische Flammensperren (Abb.3.325), die Flammenausdehnung wesentlich.

Die Anwendung der Löschmittelsperre ist keineswegs auf weite Rohrquerschnitte beschränkt, sondern auch für enge Rohrquerschnitte geeignet. Ihre Entwicklung war ähnlich (Abb.3.364).

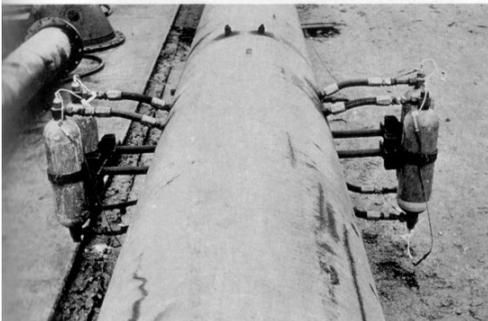
Im Jahr 1966 gelang erstmalig der Abbruch von langsam ablaufenden Methanexplosionen ($v_{\text{ex,Sperre}} = 60 \text{ m/s}$) in einer Rohrleitung DN 300 allein durch die Eingabe von Stickstoff über 7 mm-Düsen (Abb.2.490. oben) aus drei 5l-Vorratsbehältern mit einem 3/4"-sprengkapselbetätigten Ventil und einem Treibmitteldruck von $p_{\text{N}_2} = 60 \text{ bar}$, allerdings nicht bei höheren Explosionsgeschwindigkeiten. Bei weiterführenden Lösversuchen mit Methan und einer über



Löschmitteleingabe über **7 mm-Düsen**



Löschmitteleingabe über **5 mm-Bohrungen**



Löschmitteleingabe über **Fächerdüsen**

Abb.3.364: Entwicklung der Löschmittelsperre für enge Rohrquerschnitte.

höhten Explosionsgeschwindigkeit von $v_{\text{ex,Sperre}} = 400 \text{ m/s}$ erwies sich nicht nur ein Löschpulver (NaHCO_3) dem Halon (CF_2ClBr) überlegen, sondern auch der unterfüllte Löschmittelbehälter dem Vollbefüllten. Damit wurden die, an Rohrleitungen mit grossem Durchmesser, gewonnenen Erkenntnisse bestätigt.

Scholl unterbrach auch in der nunmehr auf 60 m verlängerten Rohrleitung DN 300 mit der verbesserten Löschmittelsperre (Abb.3.364. Mitte) detonationsähnliche Abläufe von Methan.

Danach ruhte die Entwicklung zugunsten der Löschmittelsperre für grosse Rohrdurchmesser bis zum Jahr 1970.

Die Untersuchungen wurden dann zunächst mit brennbaren Stäuben (staubspezifische Kenngrösse $K_{\text{St}} = 100\text{-}550 \text{ bar}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) in Rohrleitungen DN 400-700 mit homogenen Gemischen (Normverfahren) weitergeführt, und die Sperrenanordnung gemäss Abb.3.364 (unten) angewendet. Für die Löschmittelbevorratung wurden die gleichen Behälter verwendet, wie sie für die Explosionsunterdrückung (Abb.3.230) eingesetzt werden:

- 5l-Löschmittelbehälter mit einem 3/4"-Ventil, die an Rohrleitungen mit engeren Rohrquerschnitten ($\leq \text{DN } 400$) angewendet werden und mit 2 kg des geeignetsten Löschmittels befüllt sind, sowie
- 5l-Behälter mit 3/4"-Doppelventilen für grössere Rohrquerschnitte ($> \text{DN } 400$) mit jeweils 4 kg des geeignetsten Löschmittels.

Als Löschmittel wurde Löschpulver verwendet, vorzugsweise auf Ammonphosphat-Basis. Die Löschmittelbehälter stehen unter einem Stickstoff-Treibmitteldruck von $p_{\text{N}_2} = 120 \text{ bar}$. Auch auf Halon als Löschmittel wurde wegen der bereits erwähnten negativen Eigenschaften verzichtet. Zur Löschpulververteilung dienen vertikal angeordnete Fächerdüsen (Abb.3.348).

In Abb.3.305 sind die Explosionskenngrössen von brennbaren Stäuben in einer Rohrleitung DN 400 und 20 m Länge für den Fall des ungehinderten Explosionsablaufs demjenigen gegenübergestellt, der sich bei Vorhandensein einer wirksamen Löschmittelsperre beim 10. Leitungsmeter (Flammenmelder:

1. Leitungsmeter) ergeben. Danach gelingt es nicht nur, wie gewünscht, die Explosionsflammen auf den Streckenbereich zwischen Zündort und Löschmittelsperre zu begrenzen, sondern auch das Auftreten von sehr heftig ablaufenden Explosionen oder gar von

detonationsähnlichen Vorgängen (Aluminiumstaub) im weiteren Verlauf nach der Sperrenanordnung zu unterbinden.

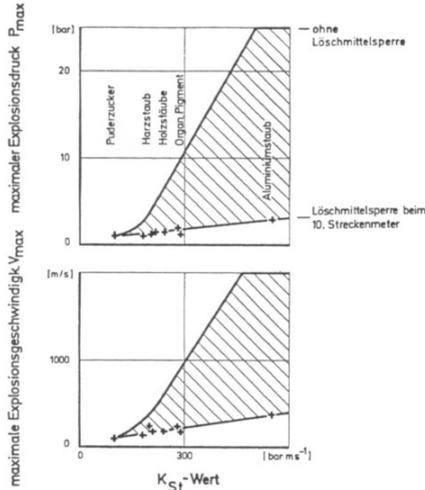


Abb.3.365: Rohrleitung DN 400: Wirksamkeit einer Löschmittelsperre gegenüber Staubexplosionen.

Die sehr systematischen Untersuchungen haben ergeben, dass der für einen Explosionsabbruch notwendige spezifische Löschmittelbedarf wie bei Grossrohrleitungen linear der an der Einbaustelle der Löschmittelsperre erwarteten Explosionsgeschwindigkeit anzupassen ist.

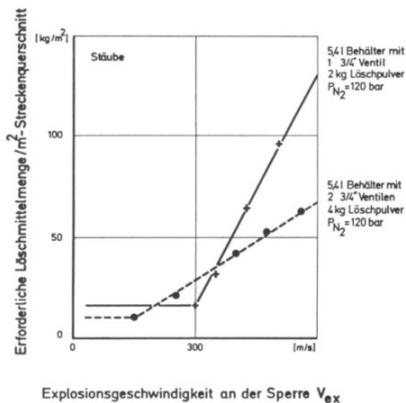


Abb.3.366: Spezifischer Löschmittelbedarf als Funktion der Explosionsgeschwindigkeit v_{ex} brennbarer Stäube an der Löschmittelsperre.

Besonders bei hohen Geschwindigkeiten haben, wegen der grösseren Löschpulvermenge, Löschmittelbehälter mit 4 kg Löschpulver eine deutlich günstigere Wirksamkeit als solche mit 2 kg. Die für

eine vorgegebene Explosionsgeschwindigkeit an der Sperre zur Erzwingung des Explosionsabbruchs notwendige spezifische Löschpulvermenge ist auch für enge Rohrquerschnitte konstant und unabhängig vom Leitungsdurchmesser. Hieraus ergeben sich die Zahlenangaben der Tabelle 3.37 für die erforderliche Anzahl der Löschmittelbehälter in Abhängigkeit von der Explosionsgeschwindigkeit v_{ex} für die verschiedenen Rohrdurchmesser DN.

Tabelle 3.37. Brennbare Stäube: Mindestanzahl der erforderlichen Löschmittelvorratsbehälter für Löschmittelsperren (Sperre: 10. Leitungsmeter, Flammenmelder: 1. Leitungsmeter)

v_{ex} : Sperre [m/s]		300	400	500	600
DN [mm]	5l-Löschmittelbehälter mit	Erforderliche Anzahl der Löschmittelbehälter			
200	einem	1	1	2	2
300	3/4"-Ventil	1	2	4	5
400		1	4	6	8
500	zwei	2	2	3	4
600	3/4"-Ventilen	2	3	4	5
700		3	4	6	7

Als **Orientierungshilfe für die Dimensionierung solcher Flammensperren** möge der Hinweis dienen, dass in Rohrleitungen DN 200 - 400 und 20 m Länge beim 10. Leitungsmeter, d.h. an der Sperrenanordnung, die folgenden Explosionsgeschwindigkeiten homogener Staub/Luft-Gemische (Normverfahren) zu erwarten sind:

Staubexplosionsklasse St 1 ($K_{St} \leq 200 \text{ bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$):

$$v_{ex} \leq 300 \text{ m/s,}$$

Staubexplosionsklasse St 2 ($K_{St} \leq 201 - 300 \text{ bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$):

$$v_{ex} = 301 - 400 \text{ m/s,}$$

Staubexplosionsklasse St 3 ($K_{St} \leq 300 \text{ bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$):

$$v_{ex} > 400 \text{ m/s.}$$

Für grössere Rohrquerschnitte (Abb.1.214) verschieben sich die Werte nach unten. Die automatischen Löschmittelsperren können auch mit Erfolg gegen Explosionen von Methan, Propan, Lösungsmitteldämpfen (in speziellen Fällen auch Wasserstoff) eingesetzt werden. Wie Abb.3.367 zeigt, ist die hierfür erforderliche Löschpulvermenge deutlich grösser als diejenige, die im Falle von Staub-

explosionen notwendig ist. Entsprechende Angaben macht Tabelle 3.38.

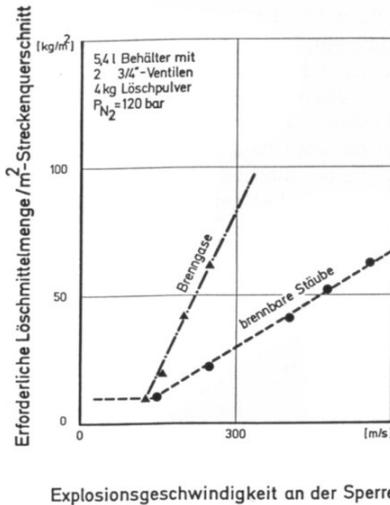


Abb.3.367: Vergleich des spezifischen Löschmittelbedarfs für Brenngase und brennbare Stäube als Funktion der Explosionsgeschwindigkeit an der Sperre

Die Zahlenangaben der Tabelle beziehen sich auf im ruhenden Zustand entzündete Brenngas/Luft-Gemische. In Rohren mit engen Querschnitten DN 100-400 haben beim 10. Leitungsmeter (der Einbaustelle der Sperre) Methanexplosionen eine Geschwindigkeit von maximal 50 m/s und Propanexplosionen von maximal 100 m/s (Abb.1.198). Sie wird auf ca. 150 m/s angehoben, wenn anstelle einer schwachen (Induktions-Dauerfunkenstrecke) eine kräftigere Zündquelle (Flammenstrahl) vorhanden ist (Abb.1.197). Schallgeschwindigkeit wird bei Entzündung von Methan- und Propan/Luft-Gemischen im strömenden, d.h. turbulenten Zustand erreicht (Abb.1.198). Dies gilt allerdings nur für Rohre DN ≥ 400.

Tabelle 3.38. Methan/Propan: Mindestanzahl der erforderlichen Löschmittelvorratsbehälter für Löschmittelsperren (Sperre: 10. Leitungsmeter, Flammenmelder: 1. Leitungsmeter; Gemische in ruhendem Zustand entzündet)

v _{ex} : Sperre [m/s]		200	300	400
DN [mm]	5l-Löschmittelbehälter mit	Erforderliche Anzahl der Löschmittelbehälter		
200	einem	2	2	3

Wolfgang Bartknecht

- 168 -

3.5 Explosionstechnische Entkopplung und Explosionsabbruch

300	3/4"-Ventil	2	3	6
400		2	3	12
500	zwei	3	4	6
600	3/4"-Ventilen	3	6	9
700		4	8	12

Bei geringerem Rohrdurchmesser ist hingegen mit detonationsähnlichen Abläufen zu rechnen. Scholl [29] hat zwar auch für diesen Fall und Methan die Möglichkeit des Einsatzes von Löschmittelsperren nachgewiesen, entsprechende Versuche mit Propan fehlen jedoch zur Zeit.

Abbildung 3.368 zeigt abschliessend die praktische Ausführung einer Löschmittelsperre für eine Aspirationsleitung.



Abb.3.368: Löschmittelsperre für Aspirationsleitung

Statistisch sind Elevatoren in der staubverarbeitenden Industrie zu 10% von Explosionen betroffen. Solche Einrichtungen (Abmessungen: 230 X 270 mm, Wanddicke: 2 mm) widerstehen im allgemeinen Explosionsdrücken von ~ 2 bar. Weitere Drucksteigerung führt zu Rissbildung an den Kanten, Verformungen und schliesslich zur Zerstörung (Abb.3.369)[65]. Dies kann durch den Einsatz von Löschmittelsperren ebenso verhindert werden, wie z. B. ein Explosionsübertritt in ein nachgeschaltetes Silo, wie die nachfolgenden Ausführungen zeigen.

Die Wirksamkeit solcher Sperrenanordnungen wurde mit einem **verstärkten Gurtelevator** von 30 m Förderhöhe, dessen Elevator-

schächte als Rohre ausgebildet waren (Schacht-Rohrdurchmesser: 390 mm, Rücklauf-Rohrdurchmesser: 300 mm), erprobt (Abb.3.370).

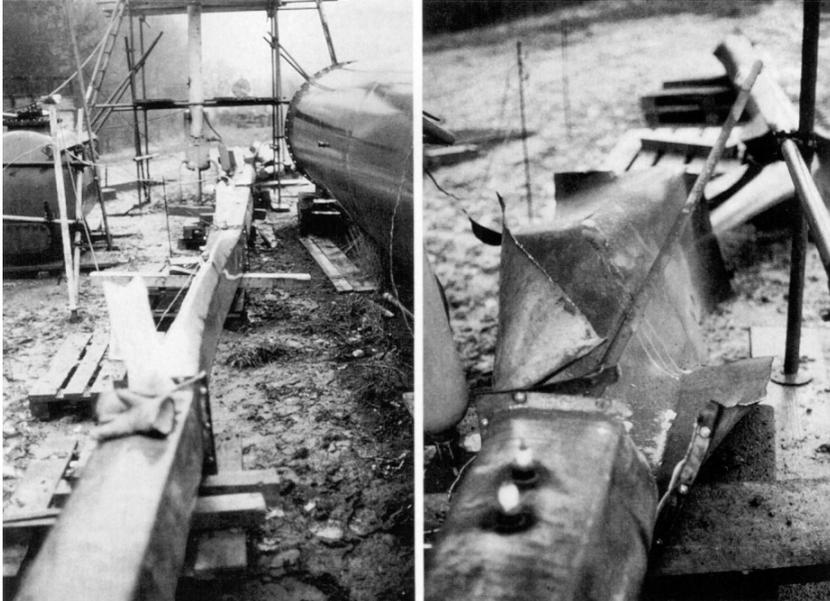


Abb.3.369: Durch Staubexplosionsversuche verformter (rechts) und zerstörter (links) Elevator

In Förderrichtung befand sich unmittelbar nach dem Elevatorfuss und dem Elevatorkopf je eine Löschmittelsperre (zwei gegenüberliegend angeordnete 5l-Löschmittelbehälter mit 3/4"-Doppelventil, mit 4 kg Ammonphosphat-Löschpulver unter einem Stickstoff-Treibmitteldruck von $p_{N_2} = 120$ bar befüllt). Zusätzlich waren Elevatorkopf und -fuss durch einen weiteren Löschmittelbehälter mit einem 3/4"-Ventil abgesichert (Abb.3.371). Die Löschpulververteilung im Elevator erfolgte über Teleskop-Fächerdüsen[66][67]. Der optische Flammenmelder für die Sperre am Fuss befand sich beim 7.5ten Schachtmeter und für den Kopf beim 22.56ten Schachtmeter.

Die Löschmittelsperren waren zunächst immer aktiv. **Ungemahle- nes Soja-Extraktionsschrot** wird wegen seines hohen Medianwertes ($M = 1000 \mu m$) und geringen Feinstaubanteils (3 Gew% < $63 \mu m$) nach dem Normverfahren als nicht staubexplosionsfähig einge-

Wolfgang Bartknecht

- 170 -

3.5 Explosionstechnische Entkopplung und Explosionsabbruch

stuf. Nach mehrminütigem Fördern (150 kg) im Elevator über den Fördergut-Rücklauf mit einer Gurtgeschwindigkeit von 3.5 m/s wurde jedoch der Feinstaub freigesetzt und eine selbständige Explosionsfortpflanzung festgestellt.



Abb.3.370: Gesamtansicht des verstärkten Gurtelevators (links) und des Becherwerkes (rechts)

Gleiche Beobachtungen wurden beim pneumatischen Transport von ähnlich grobem Polyethylen-Griess mit geringem Polyethylen-Feinstaubanteil (Abb.3.187) gemacht.



Abb.3.371: Verstärkter Elevatorfuss mit Löschmittelsperre (oben)

Der Explosionsablauf war hingegen deutlich heftiger, wenn 120 kg gemahlene Soja-Extraktionsschrot (maximaler Explosionsüberdruck $p_{\max} = 7.9$ bar, staubspezifische Kenngrösse $K_{St} = 90 \text{ bar}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) gefördert wurde.

Höchstwerte für die Explosionskenngrössen ergaben sich bei Anordnung der Zündquelle ($E = 10$ kJ) inmitten des Förder-Schacht-Rohres, d.h. beim 15. Rohrmetern. Diese Zündortlage wurde für die weiterführenden Versuche beibehalten.

Weil es versuchstechnisch sehr schwierig war, allein durch das Fördergut unterschiedliche Feinstaubmengen freizusetzen, wurden im Förder- und Rückschacht nach dem Normverfahren [31] zusätzlich homogene Staubwolken von Nahrungsmittel-Feinstäuben (Weizenabfallstaub: $p_{\max} = 7.4$ bar, $K_{St} = 70 \text{ bar}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; Maisstärke: $p_{\max} = 9.1$ bar, $K_{St} = 203 \text{ bar}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) grundsätzlich über einen weiten Konzentrationsbereich erstellt und auch ohne Fördergut gearbeitet. Das Untersuchungsergebnis ist in Tabelle 3.39 zusammengefasst.

Tabelle 3.39. Maximaler Explosionsüberdruck p_{\max} und maximale Explosionsgeschwindigkeit v_{\max} brennbarer Stäube im Elevator bei aktiven Löschmittelsperren (Zündort: 15. Schachtrohrmeter, Gurtgeschwindigkeit 3.5 m/s)

Messort	Zusätzlicher Feinstaub ^a		Fuss	Förderschacht	Kopf	Rückschacht	
Fördergut	p_{\max} [bar]	K_{st} [bar·m·s ⁻¹]	p_{\max} [bar]	p_{\max} [bar]	v_{\max} [ms]	p_{\max} [bar]	
Soja, ungemahlen	-	-	0.24	0.30	12.0	0.21	0.24
Soja, gemahlen	7.9	90	0.66	0.72	16.7	0.5	0.55
ohne Fördergut	7.4	70	0.69	0.75	17.4	0.52	0.55
	7.9	90	1.0	1.57	20.3	0.61	0.68
	9.1	203	2.0	2.8	48.0	0.61	0.59

^a Kenngrößen nach Normverfahren

Optimale Explosionskenngrößen im Förderschacht stellten sich immer bei Vorhandensein explosionsfähiger Atmosphäre in der Gesamtanlage ohne Fördergut im Becherwerk ein. Sie stiegen mit zunehmender Explosionsheftigkeit des Feinstaubes. Während sich der Explosionsüberdruck über den ganzen Elevator ausbreitete, wurden Explosionsflammen nur, wie erwartet, im Förderschacht, nicht hingegen im Rück-Schacht (bzw. Produkt-Rücklauf) beobachtet.

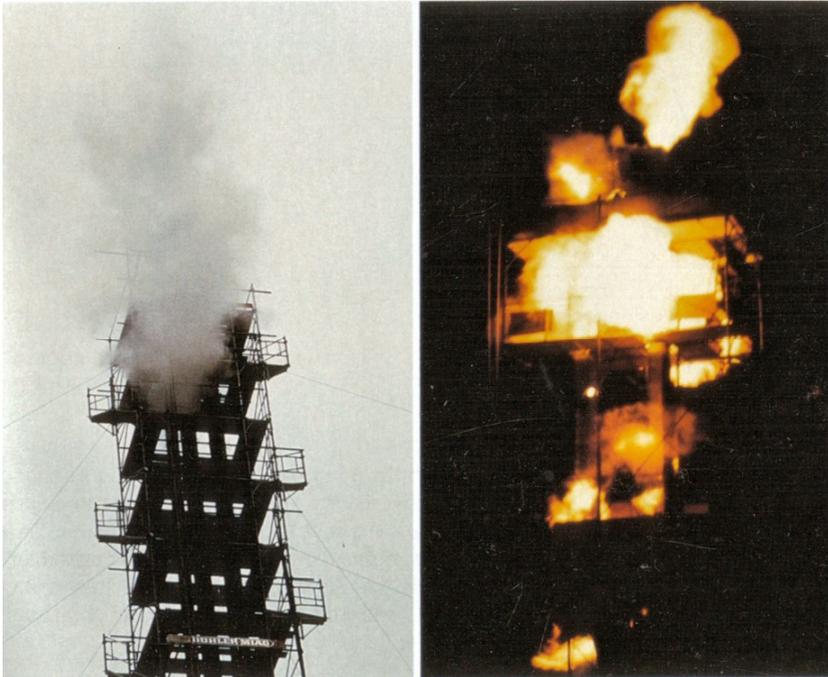


Abb.3.372: Elevatorkopf bei Absicherung durch eine Löschmittelsperre (links) und durch Explosionsdruckentlastung (rechts).

Dies bedeutet, dass die Löschmittelsperre bei allen Versuchen als Flammensperre wirkte. Abbildung 3.372. links vermittelt einen Eindruck von diesen Untersuchungen im Vergleich zur Flammenausbreitung in einem Explosionsdruckentlasteten Elevator (Abb.3.372. rechts).

Tabelle 3.40. Maximaler Explosionsüberdruck p_{max} und maximale Explosionsgeschwindigkeit v_{max} brennbarer Stäube im Elevator ohne und mit Löschmittelsperre (Zündort: 15. Schachtrohrmetr, Gurtgeschwindigkeit 3.5 m/s)

Messort			Fuss	Förderschacht	Kopf	Rückschacht	
p_{max}	K_{St}	Bemerkungen	p_{max}	p_{max}	v_{max}	p_{max} [bar]	
[bar]	[bar·m·s ⁻¹]		[bar]	[bar]	[m/s]		
7.9	90	ohne Sperren	1.3	1.7	27.3	0.9	0.9

Wolfgang Bartknecht

		mit Sperren	1.0	1.57	20.2	0.61	0.68
9.1	203	ohne Sperren	5.8	4.0	200	2.6	1.4
		mit Sperren	2.0	2.8	48.0	0.61	0.59

Aufgrund obiger Ausführungen wurden Abschlussversuche ohne Löschmittelsperren und ohne Fördergut, jedoch mit laufendem Behälterwerk durchgeführt. Tabelle 3.40 vergleicht die hierbei gemessenen Explosionskenngrößen mit denen bei Vorhandensein einer Sperrenanordnung.

Die Anordnung beider Löschmittelsperren vermindert deutlich beide Explosionskenngrößen in der Gesamtanlage und verhindert eine Explosionsübertragung in den Rückschacht mit einer Explosionsgeschwindigkeit von einigen 10 m/s bei ungehindertem Explosionsablauf. Dies gilt vor allem für das Produkt im oberen Grenzbe-
reich der Staubexplosionsklasse St 1 (Maisstärke) mit einer relativ hohen Druckäusserung im Elevatorfuss.

Bezogen auf eine konstante maximale Explosionsgeschwindigkeit ist die Druckwirkung im Elevator-Förderschacht deutlich höher, als in einer vergleichbaren geraden, einseitig offenen Rohrleitung bei Zündortlage am geschlossenen Rohrende (Abb.3.373).

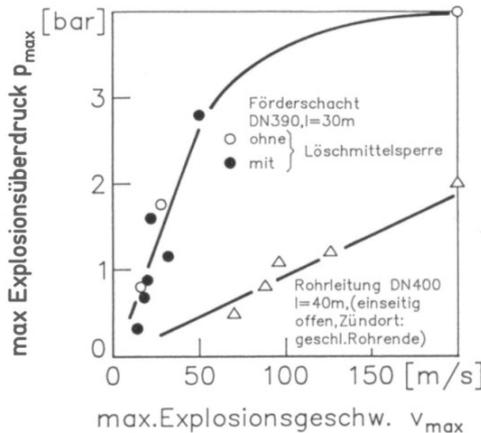


Abb.3.373: Maximaler Explosionsüberdruck p_{max} als Funktion der maximalen Explosionsgeschwindigkeit v_{max} von Nahrungsmittelsäuben im Elevator-Förderschacht und einer geraden Rohrleitung

Aus den Untersuchungen resultiert die Forderung (Tabelle 3.39), dass durch Löschmittelsperren geschützte Elevatoren explosionsfest für einen Überdruck von 3 bar zu bauen sind, wenn brennbare Stäube der Staubexplosionsklasse St 1 gefördert werden. Übersteigt die Förderhöhe 30 m, so sind alle 30 m zusätzliche Sperrenanordnungen mit vor- und nachgesetzten optischen Flammenmeldern

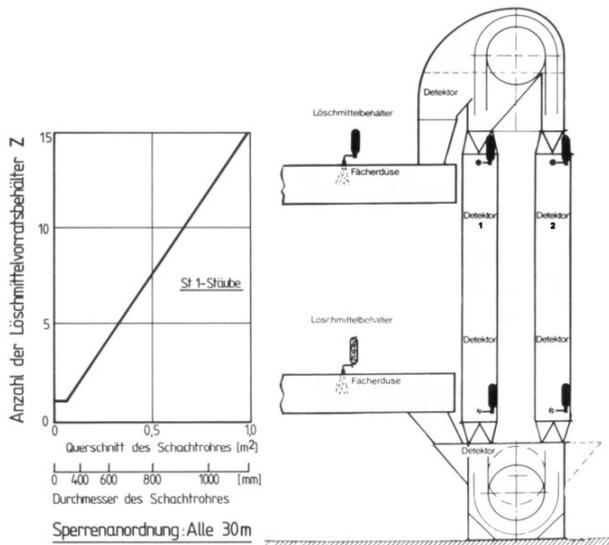


Abb.3.374: Löschmittelbedarf als Funktion des Schachtrohrdurchmessers (links) und schematische Darstellung eines durch Löschmittelsperren abgesicherten Gurtelevators

vorzusehen. Dies gilt in der Praxis auch für den Rückschacht. Die für die Projektierung von Löschmittelsperren notwendige Anzahl von 5 l-Löschmittelvorratsbehältern (mit 3/4"-Doppelventil) ist in Abhängigkeit vom Schachtrohrdurchmesser Abb.3.374 (links) zu entnehmen, während Abb.3.374 (rechts) die schematische Darstellung eines entsprechend abgesicherten Gurtelevators zeigt.

Funkenlöschanlagen (Abb.3.375) sind zwar nicht in der Lage, voll ausgebildete Staubexplosionen in Rohren wirksam zu bekämpfen, können aber helfen, die Zündursache zu vermeiden[68] - [70].

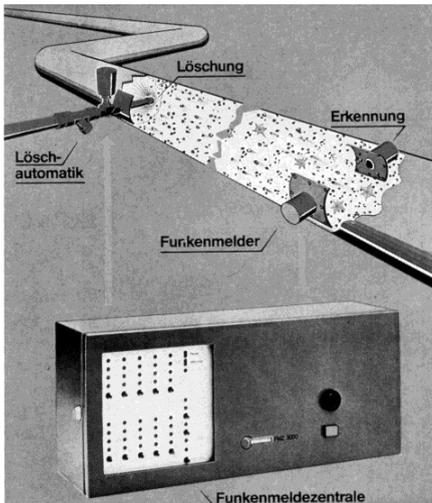


Abb.3.375: Schematische Darstellung einer Funkenlöschanlage[69]

Die z. B. bei der Holzverarbeitung entstehenden Funken sind im Allgemeinen nicht sehr energiereich und verlöschen auf ihrem Weg in die pneumatischen Förderanlagen. Energiereiche Funken und auch Glimmnester können aber zum Risiko werden, wenn sie in kritische Anlagenbereiche, z. B. Späne- und Staubabscheider, hineingetragen werden. Es wird durch verschärfte Emissionschutzforderungen erhöht, wenn anstelle der ehemals benutzten Zyklone filternde Abscheider gefordert werden. In solcher Apparatur ist nicht nur Brandgefahr, sondern zufolge des Auftretens explosionsfähiger Staub/Luft-Gemische auch Explosionsgefahr gegeben.

Die Funkenlöschanlage besteht aus einem geeigneten Funken-detektor, der beim Auftreten von Funken, z. B. in einer pneumatischen Förderanlage, über eine Funkenmeldezentrale das Einsprühen von im allgemeinen Wasser aus Spezialdüsen in einem räumlichen Abstand und somit das Verlöschen der Funken bewirkt. Ein an die Wasserversorgung (7 bar) angeschlossenes Magnetventil sorgt für eine kurzzeitige Wassereingabe (6-10 s), d.h. die Wirksamkeit der Anlage bleibt ständig aufrechterhalten. Solche Anlagen haben sich in der Industriepraxis bewährt. Einzelheiten über die Anwendungsmöglichkeiten sind [68] zu entnehmen.

3.534 Explosionsschutzventil

In den 80-iger Jahren sah sich die Firma Rickenbach & Co (CH-St. Gallen) vor die Aufgabe gestellt, für den Schutz privater und öffentlicher Schutzraumbauten gegen die Druckwellen von atomaren Explosionen ein Schutzventil zu entwickeln mit folgenden Anforderungen:

- Eine relativ hohe Druckfestigkeit bei möglichst geringer Ventilmasse zum Erreichen einer maximalen Beschleunigung und damit einer kurzen Schliesszeit.
- Der die Schliesszeit bestimmende Ventilweg war so zu wählen, dass ein vorgegebener Durchflusswiderstand nicht überschritten wird.

Der Zentrale Sicherheitsdienst der Ciba-Geigy AG (Basel) schlug im Jahr 1971 vor, auf der damaligen Berggewerkschaftlichen Versuchsstrecke (Dortmund-Derne) ein solches "Ventex-Ventil" auf Zünddurchschlag und Explosionsdruckbelastung zu prüfen (Abb.3.376).

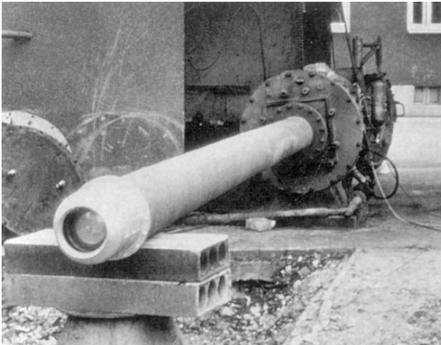


Abb.3.376: Versuchsanordnung eines Ventex-Ventils für Schutzbauten im Staubexplosionsfall (1971)

Das Prüfergebnis war verblüffend: Bei Kohlen- und Aluminium-Staubexplosionen schloss das Ventil nicht nur ohne Flammenaustritt in den Aussenraum selbsttätig, sondern widerstand auch einem Explosionsüberdruck von 7.5 -10 bar.

Seine Funktionsfähigkeit wurde durch die Explosionsbelastung nicht beeinträchtigt. Damit war der Weg vom "Schutzraum-Ventex-Ventil" zum "Explosionsschutzventil-Ventex" frei, das in enger Zusammenarbeit mit der Fachgruppe Explosionstechnik im Zentralen Sicherheitsdienst und den Ingenieurdiensten der Ciba-Geigy AG (Basel) zu dem in Abb.3.377 gezeigten Ventil entwickelt wurde, das in der Praxis als Entkopplungseinrichtung wirkt.

Wolfgang Bartknecht

- 178 -

3.5 Explosionstechnische Entkopplung und Explosionsabbruch

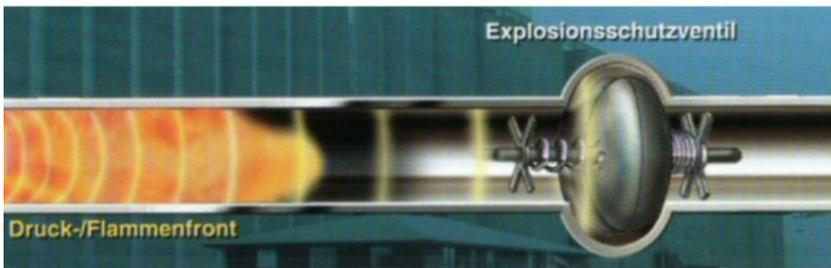
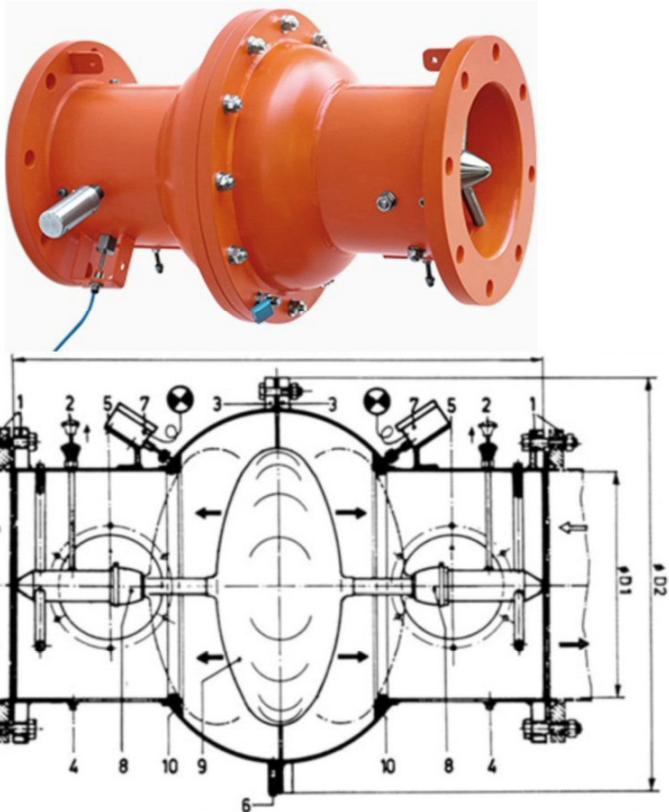


Abb.3.377: Grundsätzlicher Aufbau des Explosionsschutzventils Ventex. oben: Praktische Ausführung; mitte: schematische Darstellung; unten: Wirkungsweise.