

Staubexplosionsschutz an Mahlanlagen der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft

Dipl.-Ing. W. Sauermann, KDT, Kombinat NAGEMA, VEB Mühlenbau Dresden
Dipl.-Chem. G. Beck, KDT/Dipl.-Ing. J. Kunath, KDT

Forschungszentrum für Mechanisierung und Energieanwendung in der Landwirtschaft Schlieben der AdL der DDR

1. Einleitung

In der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft werden in großem Umfang brennbare Stoffe gemahlen, vor allem bei der Produktion von Kraftfutter, Trockengrün- und Strohpellets, Mehl, Zucker, Stärke und anderen Kartoffelveredlungsprodukten und bestimmten Lebensmitteln. Damit vergleichbar ist hinsichtlich der volkswirtschaftlichen Bedeutung sowie der stofflichen, technischen und sicherheitstechnischen Charakteristika das Mahlen von Trockenholzschnitzeln für die Faserplattenproduktion, was auch ohne besondere Nennung in die folgenden Ausführungen mit einbezogen wird.

Als Zerkleinerungsmaschinen dienen Hammer-, Nasen- und Stiftmühlen (nach fallender Häufigkeit geordnet) sowie in großem Umfang Walzenstühle.

Bei den aufgeführten Mahlprozessen können, wie bei allen Trockenmahlungen von brennbaren Stoffen in Sauerstoff-Inertgas-Mischungen mit einem O₂-Volumenanteil $\geq 10\%$ überhaupt, prinzipiell – wenn auch mit

geringer Häufigkeit – auch beim Normalbetrieb Staubexplosionen entstehen und Schaden anrichten (Tafel 1). Im folgenden soll dargelegt werden, welche praxisrelevanten Erkenntnisse über Staubexplosionsentstehung und -auswirkungen in Mahlanlagen für o. g. Produkte der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft bestehen und welche Schutzmaßnahmen anwendbar sind. Als Mahlanlagen sind hierbei alle Kombinationen an Baugruppen vom Grobguteinlauf bis zur Feingut-Mahlgas- (meist Luft-) Trennung und dem ersten Austrag des Feingutes als Schüttgut nach der Mühle zu verstehen.

2. Explosionsentstehung

In den Mahlanlagen der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft sind die bekannten Voraussetzungen für die Entstehung von Staubexplosionen auch beim Normalbetrieb gegeben:

- Das zündfähige System existiert außer bei Störungen oder Leerlauf ständig wie folgt:
 - Feingut-Luft-Massenverhältnis 0,5...3

(\cong Staubkonzentration $\approx 0,5...3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
· O₂-Konzentration wie bei Luft oder geringfügig darunter.

- Infolge der hohen Antriebsleistungen (5 bis 200 kW), der hohen Relativgeschwindigkeit ($10 \text{ bis } 100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), der daraus resultierenden starken Reib- und Schlagbeanspruchungen sowie aufgrund bestimmter Mahlguteigenschaften sind auch beim Normalbetrieb die in Tafel 2 zusammengestellten zündwirksamen Störungen nicht völlig auszuschließen. Diese Zündquellen sind zwangsläufig an die Mühlen und – soweit vorhanden – an die Fördergebläse im Feingutstrom gebunden. Weitere betriebsbedingte Zündquellen können an einer entsprechend Standard TGL 22 061 gegen gefährliche elektrostatische Entladungen gesicherten Mahlanlage, die nach den Vorgaben der Mühlen- bzw. Mahlanlagenhersteller aufgestellt ist und betrieben wird, ausgeschlossen werden.

Die in Tafel 3 wiedergegebenen Erhebungen von Staubexplosionen [2 bis 6] bestätigen in etwa diese Reihenfolge, wenn nur die für Mahlanlagen relevanten Zündquellen betrachtet werden. Fremdzündquellen, wie Schweißflammen, -flächen und -perlen, von außen hereinschlagende Explosionsflammen oder Brände, simultaner Eintrag von oxidierenden Agrochemikalien (z. B. Nitratdünger, bestimmte Herbizide, Wachstumsregulatoren und Pflanzenschutzmittel) werden hier grundsätzlich außer Betracht gelassen. Zur Häufigkeit von Staubexplosionen in Mahlanlagen läßt sich abschätzen, daß sie relativ seltene Ereignisse sind. Ihre Häufigkeit steigt mit

- Häufigkeit der betriebsbedingten Zündquellen (\cong dominanter Faktor)

Tafel 1. Häufigkeit von Staubexplosionen in staubtechnologischen Arbeitsmitteln nach [1]

Arbeitsmittel	Anteil in % bei		
	allen Brennstäuben	Holzstäuben	Stäuben von Nahrungs- und Futtermitteln
Silos, Bunker ¹⁾	20,2	39	23
Mahl- und Zerkleinerungsanlagen	13,7	8	19
Förderanlagen ¹⁾	10,1	4	26
Entstaubungsanlagen, Abscheider ¹⁾	14,3	16	8
Trockner	7,6	9	9
Feuerungsanlagen	5,3	10	–
Mischanlagen	4,5	–	–
Schleif- und Poliermaschinen	4,5	4	–
Pulverrückgewinnungsanlagen	1,1	–	–
Siebanlagen	3,1	5	3
Wiegeanlagen	0,5	–	–
Walzen	0,5	–	–
sonstige	14,6	–	–

1) Diese Arbeitsmittel stehen mit Prallmühlen in den meisten Fällen über den Feingutstrom in direkter Verbindung und sind dementsprechend in den Staubexplosionsschutz von Prallmahlanlagen voll mit einzu-beziehen.

Tafel 3. Wirksamkeit von Zündquellen für Staubexplosionen von Produkten der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft nach verschiedenen Erhebungen (P, Anteil der untersuchten Fälle, bei denen eine Zündung bewirkt wird, in %, R, Rang in der Wirksamkeitsskala)

Zündquelle	[2]		[3]		[4]		[5]		[6]		gesamt	
	P ₁	R ₁	P ₂	R ₂	P ₃	R ₃	P ₄	R ₄	P ₅	R ₅	ΣR_i	R _{ges}
sonstige, unbekannte	18,2	2	46,8	1	28	1	27	1	18,5	2	7	1
mechanische Funken	26,1	1	10,4	3	17	3	17	3	29,2	1	11	2
Schweißen	11,3	4	17,2	2	22	2	22	2	5,2	8	18	3
mechanisch erhitzte Oberflächen	12,5	3	8,0	5	5	6	6	6	9,4	5	25	4
unsachgemäße, überlastete oder defekte elektrische Betriebsmittel	6,8	6	10,0	4	12	4	11	4	2,2	9	27	5
offene Flammen und Glimmbrände	10,3	5	5,2	6	4	7	3	8	13,8	3	29	6
elektrostatische Entladungsfunken	6,8	6	1,2	7	3	8	4	7	10,1	4	32	7
heiße Oberflächen	3,4	9	0,4	9	9	5	8	5	6,0	6	34	8
Selbstentzündungsvorgänge	4,6	8	0,8	8	1	9	2	9	5,6	7	41	9

Tafel 2. Möglichkeiten für die Entstehung betriebsbedingter Zündquellen in Mahlanlagen (Zündfähigkeit nimmt von oben nach unten zu)

Störung	daraus resultierende Zündquelle
Wandgängigkeit des Rotors (gilt vorzugsweise für Nasen- und Stiftmühlen)	heiße Flächen Funken
Trockenlaufen der Lager	heiße Flächen an der Rotorachse
Heißlaufen der Walzen bei Fehleinstellung oder harten Fremdkörpern (nur bei Walzenstühlen)	heiße Flächen glühende Teile brennendes Mahlgut
Verschanzung in der Mühle oder im Fördergebläse (letzteres nur bei bestimmten Mahlanlagen)	brennendes Mahlgut
Einlauf harter Fremdkörper (Steine, Glas, Metall)	heiße Flächen Funken
Reibung des Rotors an Anbackungen	brennendes Mahlgut

- Zündfähigkeit dieser Zündquellen (s. Tafel 2)
- Zündwilligkeit des Feingutes
Diese steigt erheblich mit abnehmender Korngröße und Feuchte des Mahlgutes. Auch deswegen ist die Trockenholzmahlung besonders kritisch.

3. Explosionsauswirkung

Staubexplosionen in Mahlanlagen allgemein sind immer Schadereignisse mit folgenden charakteristischen Merkmalen:

- Die Mühlen werden im Normalfall infolge ihrer robusten Bauweise nicht beschädigt.
- Die Baugruppen des Grobguteintrags werden meist nur geringfügig beschädigt, da die Explosionsausbreitung nach dorthin durch geringe Staubkonzentration und entgegengesetzte Strömungsrichtung begrenzt ist. Bei kurzen oder fehlenden Einlaufschürren und/oder Luftansaugstutzen kann aber die Explosionsflamme in die Arbeitsstätte schlagen und dort direkt und durch Aufwirbeln von abgelagertem Staub und Zündung der entstandenen Staub-Luft-Wolke schwere Schäden verursachen.
- Die Baugruppen der Feingutabscheidung und -ausräumung werden am stärksten betroffen, weil die Explosionsausbreitung durch hohe Staubkonzentration und gleiche Strömungsrichtung begünstigt wird. Anlagen mit mechanischer Feingutabscheidung werden meist mehr geschädigt als solche mit pneumatischer Abförderung (in beiden Fällen fehlenden Explosionsschutz vorausgesetzt).

Üblicherweise reißen die Förderorgane und Abscheider auf (Ausnahme: kleine Zykclone). Weiterhin schlägt die Explosion in den meisten Fällen auch durch Austragöffnungen in die Arbeitsstätten und in die mit der Mahlanlage verbundenen Arbeitsmittel, wie Entstaubungsanlagen, Becherwerke, Silozellen. Dies bedingt vielfach verheerende Folgeexplosionen im gesamten Objekt, Verletzungen und tödliche Unfälle, besonders an Absack- bzw. Abpackanlagen, die ständige Arbeitsplätze haben.

Der hohe Anteil schwerer Schäden ergibt sich weitgehend daraus, daß infolge der Seltenheit von Staubexplosionen ihre Gefährlichkeit nicht erkannt bzw. ernst genommen wird. Damit unterbleiben nicht nur elementare Schutzmaßnahmen (s. Abschn. 4 und 5), sondern wird die Gefahr noch erhöht, besonders durch starke Raumverstaubung und Schweißen in verstaubten Arbeitsstätten und an staubführenden Arbeitsmitteln. Das Schadensmaß wird durch die Art der Mahlanlage und die Mahltechnologie stärker beeinflusst als vom Mahlgut.

4. Schutzmaßnahmen an Mahlanlagen der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft

4.1. Übersicht über mögliche Schutzmaßnahmen

Grundsätzlich sind alle bekannten Arten von Schutzmaßnahmen möglich. Die Festlegung oder Auswahl notwendiger bzw. geeigneter Schutzmaßnahmen für die speziellen Einsatzfälle ist immer unter sorgfältiger Abwägung zwischen Nutzen und Aufwand vorzunehmen. Vorrang muß dabei den Schutzmaßnahmen gegeben werden, die unter Berücksichtigung der örtlichen und betrieblichen Verhältnisse und der Gefährlichkeitseigenschaften der Mahlprodukte einerseits eine

ausreichende Sicherheit gewährleisten und andererseits geringe Herstellungs- und Betriebskosten erfordern.

Ausgehend von diesen allgemeinen Realisierungsbedingungen und in Auswertung der internationalen Fachliteratur sind die möglichen Schutzmaßnahmen an Mahlanlagen der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft wie folgt zu präzisieren:

4.1.1. Primärer Explosionsschutz durch Schutzgasbetrieb

Bei Anwendung dieser Methode besteht nach [7] das geringste Restrisiko, da eine Explosion nur dann auftreten kann, wenn die Schutzgaszufuhr oder die Sauerstoffkonzentrationsmessung ausfallen und damit kein kontrollierter Schutzgasbetrieb mehr möglich ist. Wegen der hohen Betriebskosten ist der Schutzgasbetrieb allerdings nur für Sonderfälle, wie Gefahrenabwehrung, Vermahlung teurer, toxischer oder extrem zündempfindlicher Produkte, Vermahlung in Anlagen mit hohem Sicherheitsbedürfnis oder mit günstigem Schutzgasangebot sowie Vermahlung von qualitätsempfindlichen Produkten, wie Gewürzen (s. [8]), praktikabel.

4.1.2. Sekundärer Explosionsschutz durch Zündquellenvermeidung

Dieser Komplex reicht prinzipiell als alleinige Staubexplosionsschutzmaßnahme nicht aus. Aber besonders bei Hammermühlen liegen Anhaltspunkte dafür vor, daß die Zündquellenvermeidung bei der Vermahlung von mäßig zündwilligen Produkten – und zu diesen sind die üblichen Mahlgüter der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft zu zählen – einen ausreichenden Schutzeffekt ergibt.

Mögliche Maßnahmen zur Vermeidung betriebsbedingter Störungen und daraus resultierender Zündquellen (s. a. Tafel 2) sind z. B.:

- Trennen harter Fremdkörper aus dem Grobgut
- Vermeiden des Heißlaufens in Baugruppen mit bewegten Teilen
- Überfüllungsschutz
- Vermeiden des Schleifens an Anbackungen
- Vermeiden von zündwirksamen elektrostatischen Entladungsvorgängen (Einhaltung des Standards TGL 22 061 [9]).

Diese Maßnahmen müssen soweit wie technisch realisierbar im Komplex angewendet werden.

Zusammenfassend muß betont werden, daß Störungen des Normalbetriebs nach den Erkenntnissen der Zuverlässigkeitstheorie zwar nicht völlig auszuschließen sind, aber ihre Häufigkeit durch betriebssichere Konstruktion, angemessene planmäßige vorbeugende Instandhaltung (PVI) und sachgerechtes Betreiben soweit verringert werden kann, um das niedrigste, gerade noch zu tolerierende Sicherheitsniveau zu garantieren. Eine unumgängliche Erhöhung des Sicherheitsniveaus setzt eine weitere Technisierung der Schutzmaßnahmen zur Zündquellenvermeidung voraus.

4.1.3. Tertiärer Explosionsschutz durch

- Explosionsdruckentlastung und druck(stoß)feste Bauweise (Maßnahme 1)
- Explosionsunterdrückung und druck(stoß)feste Bauweise, z. B. [10] (Maßnahme 2)
- Explosionssperren und -ableitung (Maßnahme 3).

Diese jeweils in den Kombinationen 1 und 3 bzw. 2 und 3 anzuwendenden Schutzmaßnahmen dienen zur Beschränkung der Auswirkungen einer angelaufenen Explosion auf ein unbedenkliches Maß. Nach dem gegenwärtigen Erkenntnisstand sind diese Maßnahmen sicherheitstechnisch und ökonomisch optimal. Zur Erhöhung des Sicherheitsniveaus ist eine Ergänzung des tertiären Explosionsschutzes durch Maßnahmen der Zündquellenvermeidung sinnvoll.

4.2. Gegenwärtiger Stand des Staubexplosionsschutzes in Mahlanlagen der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft

Meist haben die in der internationalen Fachliteratur vorgestellten Schutzlösungen für Mahlanlagen nur einen orientierenden Charakter. Spezielle Schutzlösungen für die Land- und Nahrungsgüterwirtschaft werden nur in [8] mit der Tieftemperaturmahlung von Gewürzen und in [10] mit einem Explosionsunterdrückungssystem für Hammermühlenanlagen der Zuckerindustrie vorgestellt.

In der DDR ist der Staubexplosionsschutz in Mahlanlagen der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft auf einige wenige Maßnahmen der Zündquellenvermeidung beschränkt, z. B.

- Trennen von Fremdkörpern aus dem Grobgut durch i. allg. serienmäßig installierte Magnetabscheider, Steinausleser (z. Z. nur bei Walzenstühlen) und in Sonderfällen Siebe
- Einsatz von Überlastsicherungen
- entsprechende Gestaltung des Mahlraums zur Vermeidung von Anbackungen
- Beeinflussung der Luftzirkulation zur Vermeidung des Rückstaus von Mahlgut.

5. Schlußfolgerungen für die Weiterentwicklung von Schutzmaßnahmen

Der Maßnahmenkomplex der Zündquellenvermeidung in Verbindung mit einer angemessenen, sorgfältigen PVI wird sicher auch in absehbarer Zukunft am häufigsten angewendet werden. Schwerpunkte sind dabei:

- Trennen von Fremdkörpern aus dem Grobgut durch Magnetabscheider und Steinausleser
- Vermeiden des Heißlaufens
- Überfüllungsschutz
- Vermeiden des Schleifens an Abbackungen.

Dazu sind entsprechende technische Lösungen zu entwickeln und durch die Hersteller von Mahlanlagen serienmäßig zu integrieren. Der Betreiber muß die ständige Wirksamkeit dieser Lösungen gewährleisten.

Der Schutzgasbetrieb wird nur in den bereits im Abschn. 4.1.1. aufgeführten Sonderfällen zur Anwendung kommen. Eine Erweiterung des Anwendungsbereichs ist nur über die Entwicklung neuer Verfahren zur Senkung der Betriebskosten zu erreichen.

Die technisch und ökonomisch sinnvollste Lösung dürfte gegenwärtig und in näherer Zukunft die Explosionsdruckentlastung von Feingutabscheidern sein, besonders an Mahlanlagen mit pneumatischer Förderung. Durchgängig erforderlich ist die Anwendung von Explosionssperren (Zellenradschleusen, wandgängige Schnecken) in Verbindung mit angemessener druck(stoß)fester Bauweise. Da z. Z. in der DDR noch keine Mahlanlagen mit konstruktiven Schutzlösungen hergestellt

Zentrale Prüfstelle für Landtechnik Potsdam-Bornim – Gutachten

Gutachten-Nr.: 709

Bürstensiabschnecke BSS 250/4500

Hersteller: VEB Kombinat Rationalisierungsmittel Pflanzenproduktion Sangerhausen

Beurteilung

Die Bürstensiabschnecke BSS 250/4500 ist als Vortrennaggregat zur Schneckenpresse SP 304 und als selbständiges Trennaggregat zur Gewinnung von schüttfähigem Feststoff aus Gülle von Schweineproduktionsanlagen mit unterschiedlichen Entmistungsverfahren einsetzbar.

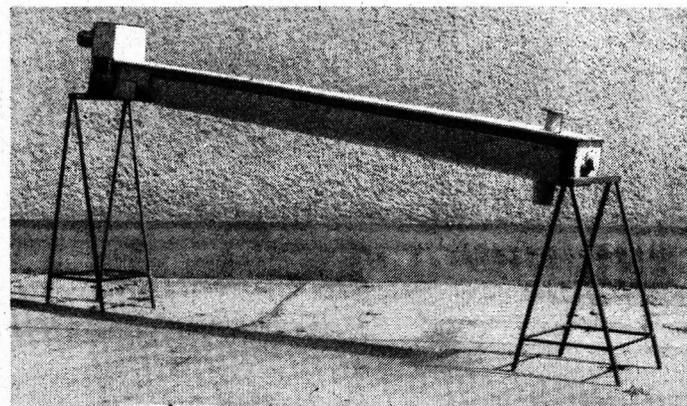
Mit der Bürstensiabschnecke werden die für die Schneckenpresse günstigen Eingabeparameter – Eingabemenge 2 bis 4 m³/h und TS-Gehalt 10 bis 14% – erreicht.

Der schüttfähige Feststoff, der beim Einsatz der Bürstensiabschnecke als selbständiges Trennaggregat entsteht, weist einen Volumenstrom von 0,2 bis 6,2 m³/h und einen durchschnittlichen TS-Gehalt von 14 bis 15% auf.

Die Bürstensiabschnecke BSS 250/4500 wird für den Einsatz in der Landwirtschaft der DDR empfohlen.

Technische Daten

Länge	5 200 mm
Breite	400 mm
Höhe	805 mm
Masse	263 kg
Zulauf	NW 100
Auslauf Flüssigkeit	2 × NW 125
Auslauf Feststoff	270 mm × 270 mm
Siebblech	
Lochung	rund/versetzt
Lochdurchmesser	1,25 mm
Teilung	2,5 mm
Bürstenbelagdicke	1 mm
Getriebemotor	ZG 2 KMRB 100 S4/2
Nennleistung	3 kW
Drehzahl	200 min ⁻¹
Spannung	380 V
Stromstärke	6,8 A
cos φ	0,83



Masse	44,5 kg
Schutzgrad	IP54

Beschreibung

Die Bürstensiabschnecke BSS 250/4500 dient als Vortrennaggregat zur Schneckenpresse SP 304 und als selbständiges Trennaggregat für die Gewinnung von schüttfähigem Feststoff aus Gülle von Schweineproduktionsanlagen mit unterschiedlichen Entmistungsverfahren.

Die Bürstensiabschnecke besteht aus den Hauptbaugruppen Schneckenrotor, Schneckenwelle mit Arbeitswerkzeugen, Auffangwanne und Antrieb. Die Trogwanne des Schneckenrotorförderers bilden Siebbleche. Die Schneckenwelle ist zusätzlich mit einem Bürstenbelag an der Wendeloberkante (Spiralbelag) ausgerüstet.

In der Auffangwanne, die am Schneckenrotor angebracht ist, wird die Gülleflüssigkeit gesammelt und über zwei Auslaufstutzen abgeleitet. Die Schneckenwelle wird durch einen Getriebemotor angetrieben.

Die Funktion der Bürstensiabschnecke entspricht der eines Schneckenrotorförderers, wobei zusätzlich das eingegebene Material (Gülle) in eine feste und eine flüssige Phase getrennt wird. Diese Phasentrennung wird durch den Bürstenbelag unterstützt. Die Bürstensiabschnecke ist so montiert, daß der Güllefeststoff eine Steigung von 3 bis 10° überwinden muß.

Die Bürstensiabschnecke BSS 250/4500 gehört zum Maschinensystem Güllewirtschaft.

Begutachtungsergebnisse und deren Einschätzung

Entsprechend den Prüfergebnissen für die Maschinenkette zur Festflüssig-Trennung von Schweinegülle (Bogensieb/Schneckenpresse) – Prüfbericht Nr. 803 und Nachträge – werden für die optimale Fahrweise der Schneckenpresse Eingabemengen von 2 bis 4 m³/h mit einem TS-Gehalt von 9 bis 14% benötigt. Um diese Werte zu erreichen, muß die Bürstensiabschnecke als Vortrennaggregat zur Schneckenpresse mit folgenden Mindestzulaufmengen beschickt werden:

- TS-Gehalt 5 bis 9% rd. 20 m³/h
- TS-Gehalt 2 bis 5% rd. 25 m³/h
- TS-Gehalt bis 2% rd. 30 m³/h.

Für die Bürstensiabschnecke als selbständiges Trennaggregat lassen sich aus den Meßergebnissen folgende Tendenzen ableiten:

- Mit zunehmendem Rohgülle-Volumenstrom nimmt der Feststoffaustrag zu.
- Mit steigendem TS-Gehalt der Rohgülle nimmt der TS-Gehalt der Flüssigkeit zu.

Um schüttfähigen Feststoff zu gewinnen, sind je nach TS-Gehalt der Rohgülle folgende maximale Rohgülle-Volumenströme erreichbar:

- TS-Gehalt bis 2% rd. 70 m³/h
- TS-Gehalt 2 bis 6% rd. 35 m³/h
- TS-Gehalt 6 bis 10% rd. 25 m³/h.

Der dabei entstehende Feststoff (0,2 bis 6,2 m³/h) weist einen TS-Gehalt zwischen 12 und 20% auf. Der Feststoff dränert nach. Die dränierende Flüssigkeit ist durch die Gestaltung der nachfolgenden Transportmittel und Lagerplätze abzuleiten und aufzufangen.

Der Instandhaltungsaufwand für die Bürstensiabschnecke ist gering. Der eingesetzte 3-kW-Getriebemotor ist richtig dimensioniert. Der Korrosionsschutz entspricht im wesentlichen den Anforderungen. Der Pflege- und Wartungsaufwand ist gering.

A 5056

werden, muß zukünftig in Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf die Explosionsdruckentlastung und – in Langzeitperspektive – auf die Explosionsunterdrückung besonderer Wert gelegt werden. Letztere ist sicher die eleganteste, weil mit modernster Technik ausgerüstete Schutzmaßnahme, deren Entwicklung eine kooperative Zusammenarbeit zwischen Sicherheitstechnikern und Spezialisten der Mikroelektronik und Automatisierungstechnik erfordert.

Literatur

- [1] Beck, H. A. J.: Schadensanalyse von Staubexplosionen. Staub-Reinhalung der Luft, Düsseldorf 42 (1982) 3, S. 118.
- [2] Beck, H.; Jeske, J.: Dokumentation Staubexplosion – Analyse und Einzeldarstellung. BIA-Report, St. Augustin (BRD) (1982) 4.

- [3] Craziano, I. V.: Prevention of dust explosions in grain elevators (Staubexplosionsschutz in Getreideelevatoren). US-Ministerium für Landwirtschaft, 1976.

- [4] Reinders, E. U.: Minimizing dust explosion hazard in grain and flow mills (Verminderung von Staubexplosionen in Getreidemöhlen). Journal of flour and animal feed milling, 11 (1975) 3, S. 16–18.

- [5] Vasilev, Ja., u. a.: Puti povyšenija vrzyvobezopasnosti elevatornych sooruzenii v SSSR i za rubežom (Wege zur Erhöhung der Explosionsicherheit in Getreidesilos der UdSSR und des Auslands). Moskau: Centralnyi naučno-issl. Institut informacii tehniko-ekonomičeskyh issledovanii ministerstva zagotovok SSSR, 1980.

- [6] Wasmund, R.: Zündquellen für Staubrände und -explosionen in der Lebensmittelindustrie. Zuckerindustrie, Berlin (West) 27 (1977) 9, S. 581.

- [7] Ritter, K.: Beispiele des Anlagenschutzes mit Kostenbetrachtungen. In: VDI-Berichte 304 „Sichere Handhabung brennbarer Stäube“. Düsseldorf: VDI-Verlag 1978, S. 157–168.

- [8] Landwehr, D.; Pahl, M.: Kaltzerkleinerung von Gewürzen. Chemie-Ingenieur-Technik, Weinheim 58 (1986) 3, S. 246–247.

- [9] TGL 22 061/01 Elektrostatische Aufladung; Beseitigung von Gefahren und Betriebsstörungen infolge unbeabsichtigter elektrostatischer Aufladungen; allgemeine Grundsätze. Ausg. Okt. 1968.

- [10] Moore, P. E.; Watkins, G. K.; Velenoweth, A. C.: Explosion suppression – its effectiveness and limits of applicability (Effektivität und Grenzen der Anwendbarkeit der Explosionsunterdrückung). In: VDI-Berichte 494 „Sichere Handhabung brennbarer Stäube“. Düsseldorf: VDI-Verlag 1984, S. 247–257.

A 5212