

Explosionsschutz in der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft

Am 1. und 2. Dezember 1982 veranstaltete der Fachausschuß „Explosionsschutz in der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft“ der KDT seine erste Fachtagung. An der Beratung nahmen etwa 300 Praktiker der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft, der Ländertechnik und des Landbaus teil. Der Vorsitzende des Fachausschusses, Dipl.-Chem. Beck, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft (FZM) Schlieben/Bornim, erläuterte in seiner Eröffnungsrede Aufgabengebiet, Ziel und Zweck der Arbeit des im Mai 1982 gegründeten KDT-Gremiums. Neben dem Schutz und der Erhaltung der Gesundheit der Werktätigen und der Vermeidung von Verlusten an sozialistischem Eigentum ist es das Ziel, Maschinen und Anlagen sicherheitstechnisch entsprechend dem international erforderlichen Niveau auszurüsten. Da auf dem Gebiet des Explosionsschutzes hinsichtlich der Öffentlichkeitsarbeit noch ein großer Nachholbedarf besteht, sollte den Teilnehmern der Tagung ein weitgehender Überblick über bestehende Probleme und Lösungsmöglichkeiten in der Praxis vermittelt

werden. Einen Schwerpunkt stellt hierbei der Staubexplosionsschutz dar. Im Vortrag von Prof. Dr. Algenstaedt, Direktor des FZM Schlieben/Bornim, wurde die politisch-moralische und ökonomische Bedeutung des Gesundheits-, Arbeits- und Brandschutzes sowie der Produktionssicherheit in der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft herausgestellt. Das Forschungspotential ist zur Schaffung des wissenschaftlich-technischen Vorlaufs voll zu nutzen. Im Zusammenhang mit der politisch-ideologischen und fachlichen Aus- und Weiterbildung müssen die Aktivitäten im Sinne des 10. FDGB-Kongresses sowie des XII. Bauernkongresses der DDR fortgesetzt werden. Dann folgte eine Reihe von speziellen Fachvorträgen (Prof. Dr. sc. techn. Metzner, Dr.-Ing. Wolf, Dipl.-Chem. Beck, Dipl.-Ing. Leja, Dipl.-Ing. Jacobi, Obering. Schubert), die als überarbeitete Fassung in diesem Heft der „agrartechnik“ veröffentlicht werden. In einem weiteren Beitrag behandelte Dr.-Ing. Kohlschmidt, Institut für Bergbausicherheit, Bereich Freiberg, Probleme und sicherheitstechnische Maßnahmen

beim Einsatz von Kohle im Zusammenhang mit der Heizölsubstitution. Braunkohlenstaub bietet sich zur Verbrennung in ehemaligen Heizölanlagen an, da die Kesselanlagen genutzt werden können.

Eine rege Diskussion nach jedem Vortrag und ein ausgiebiger Meinungsaustausch über Querschnittsprobleme des Staubexplosionsschutzes verdeutlichten das große Interesse der Praktiker. Weitere Tagungen sollen sich schwerpunktmäßig mit praxisnahen Beiträgen zur Risikoanalyse und zu Schutzlösungen in den einzelnen Zweigen der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft befassen, in denen ein Explosionsrisiko besteht. Spezielle Anfragen zur Arbeit des Fachausschusses sowie zu Tagungsschwerpunkten sind an folgende Adresse zu richten: FA „Explosionsschutz in der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft“ der KDT im Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben/Bornim, 7912 Schlieben, Gartenstraße.

A 3683

Dipl.-Chem. G. Beck, KDT
Dipl.-Ing. G. Markgraf, KDT

Grundlagen für den Explosionsschutz in der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft

Prof. Dr. sc. techn. H. Metzner, KDT, Technische Hochschule „Carl Schorlemmer“ Leuna-Merseburg, Sektion Verfahrenstechnik

Explosionen gehören im Havariegeschehen zu den seltenen Ereignissen, die aber dennoch wegen ihrer meist beträchtlichen Sachschäden und Produktionsbeeinflussung sowie wegen der hohen Ablaufgeschwindigkeit, die ein Eingreifen während des Vorgangs unmöglich macht, zu den am meisten gefürchteten Vorkommnissen zu zählen sind. Schutzmaßnahmen beschränken sich demzufolge fast ausschließlich auf vorbeugende technische Maßnahmen. Explosionen kommen dann zustande, wenn ein Zündinitial ort- und zeitgleich mit einem explosiblen Stoffsystem auftritt. Explosible Stoffsysteme sind dadurch gekennzeichnet, daß an jeder Stelle die Reaktionspartner — meist brennbares Gas oder brennbarer Staub und Luft — in inniger Vermischung innerhalb bestimmter Konzentrationsbereiche vorliegen. Die innige Vermischung hat zur Folge, daß allein der Verbrennungsvorgang die Ablaufgeschwindigkeit bestimmt, daß also Mischungs- und Transportvorgänge, die meist wesentlich langsamer verlaufen, keinen Einfluß auf den Vorgang haben. Diese Zusammenhänge sind verantwortlich dafür, daß Flammgeschwindigkeiten bis zu mehreren hundert Metern auftreten und daß hohe Verbrennungstemperaturen und Drücke zu erwarten sind. Aus den Drücken und Temperaturen ergeben sich die Schadensbilder.

Die Definition für Explosionen muß demzufolge nachstehend angeführte Elemente enthalten:

Eine Explosion ist eine sehr schnell verlaufende exotherme Reaktion, bei der so große Energiemengen frei werden, daß spürbare Drucksteigerungen auftreten. Die Reaktionszone durchläuft dabei ein explosionsfähiges Stoffsystem, das meist aus einem Gemisch brennbarer Substanz mit Luft besteht [1]. Zur

Charakterisierung von Explosionen werden bevorzugt folgende Kenngrößen herangezogen:

- maximaler Explosionsdruck
- maximale Druckanstiegsgeschwindigkeit
- Explosionsgeschwindigkeit.

Sie geben u. a. Auskunft über die zu erwartenden Zerstörungen und Schäden.

Der maximale Explosionsdruck ist ein Maß für das Arbeitsvermögen einer Explosion. Da der Druck in einem Raum, d. h. in einem definierten und normalerweise konstanten Volumen, wirkt, bestimmt er den Wert des Ausdrucks $A = \int V dp$. Zerstörungen, die auf der Basis statischer Druckwirkungen entstehen, sind in ihrem Ausmaß auf der Basis des maximalen Explosionsdrucks abzuschätzen. Der maximale Explosionsdruck ist bei Gas- und Staubexplosionen etwa gleich groß und liegt für stöchiometrische Gemische und geschlossene Räume bei 0,7 bis 1,0 MPa.

Die Druckanstiegsgeschwindigkeit kann als Leistungskenngröße für eine Explosion betrachtet werden. Im Bild 1 sind der maximale Explosionsdruck und die maximale Druckanstiegsgeschwindigkeit für eine Gasexplosion dargestellt.

Die Explosionsgeschwindigkeit ist die Geschwindigkeit, mit der sich die Reaktionsfront in das Unverbrannte hinein fortpflanzt. Sie steigt, vom Zündort ausgehend, stetig an, bis sie den dem Energieinhalt des explosiblen Gemisches entsprechenden Maximalwert erreicht hat. Explosionsgeschwindigkeiten von Gasexplosionen können mehr als 100 m/s betragen. Bei Staubexplosionen liegen diese Werte meist wesentlich darunter, können jedoch unter ungünstigen Bedingungen die gleiche Größenordnung erreichen.

Entsprechend der eingangs angeführten De-

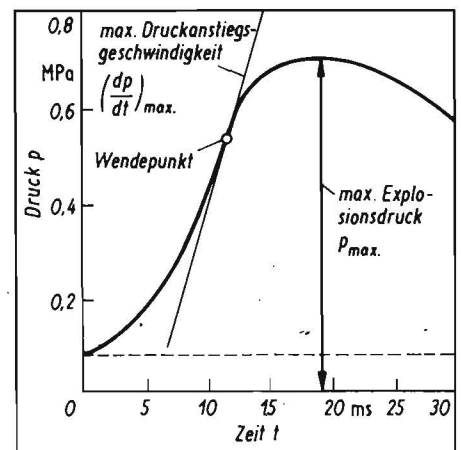


Bild 1. Druck-Zeit-Kurve einer Wasserstoffexplosion

finition der Explosionen können sehr unterschiedliche Stoffsysteme explosibel sein. Tafel 1 enthält eine Übersicht, in der auch einige Beispiele aus der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft mit angeführt sind. Hieraus wird ersichtlich, daß alle Arten von Explosionen in Betrieben der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft vorkommen können, wenn auch die Staubexplosionsgefährdung die dominierende Rolle spielt.

Für die Beurteilung und Klassifizierung von Explosionen sowie für die Auswahl und Auslegung von Schutzmaßnahmen bestehen für Gasexplosionen wesentlich umfassendere gesetzliche Vorschriften, Standards und Kennzahlensysteme als für Staubexplosionen. Um unter diesen Bedingungen auch für Staubexplosionen die richtigen Entscheidungen —

Tafel 1. Explosionsarten

Explosionsart	Stoffsystem	Beispiele
Gasexplosion	Gas-Luft-Gemisch	Biogasexplosion
Staubexplosion	Staub-Luft-Gemisch	Mehlstaubexplosion
hybride Explosion	Gas-Staub-Luft-Gemisch	Explosionen nicht ausreichend entbenzinierter Extraktionsprodukte
	Gas-Flüssigkeit-Luft-Gemisch (Nebelexplosion)	Explosionen in Druckluftleitungen nach ölgeschmierten Kolbenverdichtern
Zerfallsreaktion	gasförmiges zerfallfähiges Einkomponentensystem	Azetylenzerfall in Gasleitungennetzen von zentralen Werkstätten
	festes zerfallfähiges Stoffsystem, ggf. mit Sauerstoffträgern	Explosionen von Ammonitrat mit organischen Beimengungen (Düngemittel)

ggf. unter sinnmäßiger Betrachtung der für Gasexplosionen geltenden Regelungen — treffen zu können, ist es notwendig, die wesentlichsten Unterschiede zwischen der Entstehung und dem Ablauf von Gasexplosionen einerseits und von Staubexplosionen andererseits zu kennen.

Folgende markante Unterschiede sind herauszustellen:

Stäube sind akkumulationsfähig

Im Standard TGL 30042 (Verhütung von Bränden und Explosionen) werden explosionsgefährdete Arbeitsstätten als Räume sowie im Freien liegende Betriebsanlagen oder Teile hiervon definiert, in denen sich Gase, Dämpfe oder Stäube, die explosive Gemische bilden, erfahrungsgemäß nach den örtlichen und betrieblichen Verhältnissen in gefährdender Menge entwickeln, ansammeln oder ausbreiten können. Diese Definition ist grundsätzlich auch für Stäube als richtig und zutreffend anzuerkennen, wobei jedoch die „im Freien liegenden Betriebsanlagen“ für Stäube als explosionsgefährdet auszuschließen sind, da nur in „verdämmten“ Räumen ein für die Aufwirbelung ausreichender Druck zustande kommt.

Einer besonderen Betrachtung bedarf für Stäube die Aussage, daß Räume, in denen sich Gase, Dämpfe oder Stäube „ansammeln“ können, explosionsgefährdet sind. Für Gase gilt, daß die Konzentration der brennbaren Komponente von der Austritts- bzw. Entstehungsstelle aus nicht mehr zunehmen kann, da ein ständiger Stoffaustausch mit der Umgebungsluft aufgrund des Konzentrationsgefälles stattfindet. Daraus folgt, daß der primäre Explosionsschutz gewährleistet ist, wenn an der Entstehungsstelle des Gas-Luft-Gemisches die Brennstoffkonzentration unter der unteren Explosionsgrenze gehalten werden kann.

Wenn an der Entstehungs- und Austrittsstelle die Konzentration die untere Explosionsgrenze übersteigt, liegt Explosionsgefährdung vor. Damit läßt sich um die Austrittsstelle herum eine Gefährdungzone festlegen, innerhalb der das Auftreten gefährdender Mengen brennbarer Gase möglich ist. Eine gefährdende Menge liegt nach [2] dann vor, wenn die Konzentration der brennbaren Komponente 50% der unteren Explosionsgrenze übersteigt.

Bei Stäuben muß in die Ermittlung der gefährdenden Menge der lagernde, aber aufwirbelungsfähige Staub mit einbezogen werden. Da die abgelagerte Staubmenge außer von der an der Emissionsstelle vorliegenden Konzentration auch von Abstand, Luftbewegung, Staubfeinheit bzw. Sedimentationsgeschwindigkeit und von der Dauer der ungestörten Sedimentation abhängig ist, liegen für die Abschätzung der gefährdenden Menge grundsätzlich andere Gesichtspunkte als bei Gasen vor, was u. a. auch in [3] deutlich zum Ausdruck kommt.

Wegen der Akkumulationsfähigkeit der Stäube sind die Staubkonzentration an der Emissionsstelle und die Häufigkeit des Staubaustritts nicht die dominierenden Kriterien für die Einschätzung staubexplosionsgefährdeter Arbeitsstätten. Das bedeutet, daß eine zeitliche Staffelung der Explosionsgefährdung für staubexplosionsgefährdete Arbeitsstätten nicht anwendbar ist. Aus der Akkumulationsfähigkeit der Stäube folgt weiterhin, daß die Festlegung örtlich begrenzter Gefährdungszonen innerhalb eines Raumes nicht möglich ist, da alle Teile des Raumes, in denen sich Staubablagerungen befinden, als explosionsgefährdet eingeschätzt werden müssen.

In Staub-Luft-Gemischen ändert sich die Konzentration durch Sedimentation

Die Abnahme der Konzentration des Brennbaren erfolgt relativ schnell, sofern nicht durch zusätzliche Strömungsvorgänge eine Beeinflussung der Sedimentationsgeschwindigkeit bewirkt wird. Dadurch wird im Anschluß an eine Aufwirbelung nach kurzer Zeit die untere Explosionsgrenze zonenweise von oben nach unten fortschreitend wieder unterschritten, so daß eine Zündung nicht mehr möglich ist. Eine Explosion kann dann anlaufen, wenn zusammen mit der Aufwirbelung bzw. kurz danach ein Zündinitial wirksam wird.

Gleichzeitig nebeneinander ablaufende Aufwirbelung und Zündung sind Bedingung für die Einleitung von Staubexplosionen

Staub-Luft-Gemische können beim Austritt von Staub aus Aggregaten oder beim Aufwirbeln bzw. Abgleiten von abgelagertem Staub entstehen. Beim Austritt aus Aggregaten, der in vielen Fällen über längere Zeiten anhält, entstehen nur in seltenen Fällen zündfähige Staub-Luft-Gemische. Gemische mit Staubkonzentrationen innerhalb der Explosionsgrenzen und von entsprechender Ausdehnung treten meist auf, wenn abgelagerter Staub aufgewirbelt wird. Für eine Ausweitung der Explosion

stellt dann der Explosionsdruck selbst den Wirbelimpuls dar. Damit ergibt sich für Staubexplosionen die Besonderheit, daß die Explosion nur dann eingeleitet wird, wenn ein Wirbelimpuls und ein Zündinitial gleichzeitig am gleichen Ort auftreten. Diese Situation ist u. a. dann gegeben, wenn eine Staubbablagerung oder ein Staubstrom einen Glimmbrand enthält und aufgewirbelt wird oder durch Abgleiten von der Unterlage in den freien Fall übergeht.

Die Mindestzündenergie von Stäuben liegt wesentlich über der von Gasen

Aus der Literatur (z. B. [2, 4, 5]) ist zu entnehmen, daß die Mindestzündenergie für leicht entzündliche Stäube etwa 10 bis 50 mJ beträgt, während für Gase 0,2 bis 0,3 mJ ermittelt wurden.

Auf der Basis der unterschiedlichen Zündenergien lassen sich jedoch prinzipielle Unterschiede in der Einschätzung der Explosionsgefährdung nicht ableiten, sondern sie geben allenfalls die Möglichkeit zur Graduierung der Schutzmaßnahmen.

Der Ablauf von Explosionen wird durch die bereits angeführten Kenngrößen Druck, Druckanstiegsgeschwindigkeit und Explosionsgeschwindigkeit charakterisiert. Eine Vielzahl von Einflußfaktoren bestimmt den Ablauf von Explosionen. Herauszuheben sind

- Art der brennbaren Substanz
 - Konzentration der brennbaren Substanz
 - Konzentration des Sauerstoffs
 - Vordruck
 - Stärke des Zündinitials
 - Größe und Form des Raumes.
- Für Staubexplosionen sind weitere Einflußfaktoren von Bedeutung:
- Aschegehalt des Staubs
 - flüchtige Bestandteile (hybride Explosionen)
 - Wassergehalt des Staubs (beeinflusst Reaktionsenthalpie und Flugfähigkeit des Staubs)
 - Korngröße des Staubs.

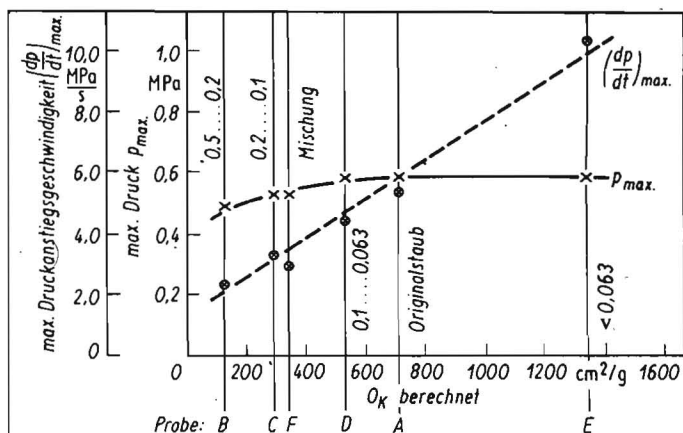
Die Korngröße kann den dominierenden Einfluß ausüben. Das gilt besonders für alle zeitabhängigen Größen, wie im Bild 2 am Beispiel eines Brennstaubs zu erkennen ist. Anstelle der Korngröße ist in diesem Fall die „spezifische Kornoberfläche“ angeführt.

Literatur

- [1] Metzner, H.; Menge, R.: Sicherheitstechnik für Verfahrenstechnik. Leipzig: VEB Dt. Verlag für Grundstoffindustrie 1979.
- [2] Autorenkollektiv: Erläuterungen zur TGL 30042 — Verhütung von Bränden und Explosionen.

Fortsetzung auf Seite 241

Bild 2
Maximaler Explosionsdruck und maximale Druckanstiegsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Kornfeinheit



Staubexplosionen in der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft und prinzipielle Möglichkeiten ihrer Vermeidung

Dozent Dr.-Ing. H. Wolf, KDT, Technische Universität Dresden, Sektion Verarbeitungs- und Verfahrenstechnik

1. Zum Staubexplosionsgeschehen im internationalen Maßstab

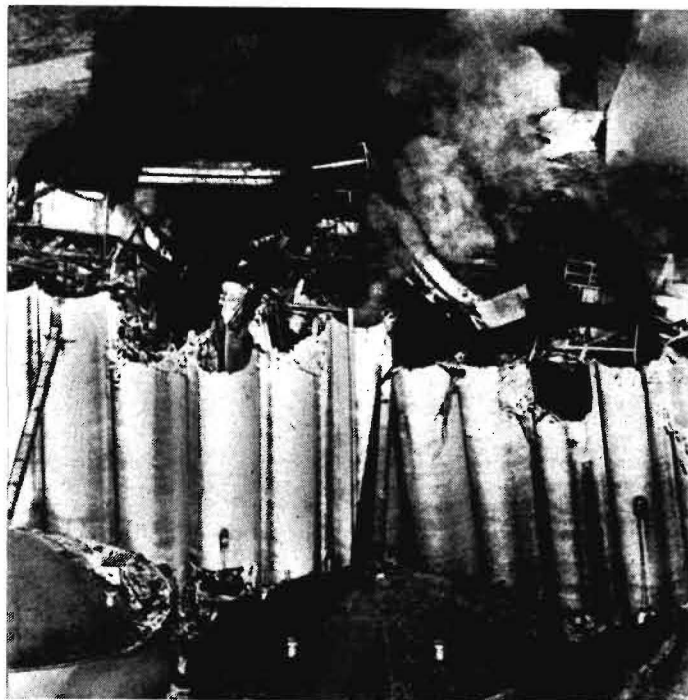
Staubexplosionen werden im Zusammenhang mit der Gewährleistung der Arbeits-, Sachwert- und Produktionssicherheit gegenwärtig im internationalen Maßstab noch nicht voll beherrscht. Sie fordern immer wieder Todesopfer und zahlreiche Verletzte, verursachen hohe Sachwertschäden und Produktionsausfälle in den betroffenen Betrieben sowie Folgeverluste in den vom Betrieb beeinflussten Wirtschaftseinheiten. Trotz eines sich ständig erweiternden wissenschaftlichen Erkenntnisstands über Entstehungsmöglichkeiten und -ursachen, über Ablauf und Wirkungen sowie über Möglichkeiten der Verhinderung, der Begrenzung der Ausbreitung und der Verminderung der Auswirkungen von Staubexplosionen mußte in den vergangenen Jahrzehnten bis in die jüngste Zeit hinein in vielen Ländern ein Ansteigen nach Anzahl, Opfern und Schadenswirkungen registriert werden.

An dieser Entwicklung sind Betriebe der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft (LNW) und dabei wiederum der Getreide- und Futtermittelwirtschaft sehr wesentlich beteiligt.

So ergaben langjährige statistische Untersuchungen nach [1], daß in der BRD jährlich rd. 300 Explosionen offiziell registriert wurden. Tafel 1 weist aus, daß bei 291 analysierten Explosionen Nahrungs- und Futtermittelstäube mit 24,0% den 2. Platz einnehmen. Dieser Anteil von Stäuben der LNW am Gesamtexplosionsgeschehen ist auch in anderen Ländern bestätigt worden (USA 30,0% [2], CSSR 26,2% [3]).

Tafel 2 enthält eine Einteilung bezüglich der an der Auslösung von Explosionen beteiligten technischen Einrichtungen. Hiernach fanden mehr als 70% der Explosionen der LNW in Förderanlagen, Mahl- und Zerkleinerungsanlagen und Siloanlagen statt oder nahmen dort ihren Ausgang (s. a. [3] und [5]).

Bild 1
Zerstörte Getreidesiloanlage bei New Orleans [9]



Der bereits angedeutete Anstieg der Explosionen nach Anzahl und Schwere kann für den Bereich der Getreide- und Futtermittelindustrie der USA mit den Angaben in Tafel 3 belegt werden. Aus der Vielzahl der Staubexplosionskatastrophen, von denen die jüngsten Ereignisse — Siloanlage in Metz, Frankreich, am 20. Oktober 1982 und Rolandmühle in Bremen, BRD, am 6. Februar 1979 — noch in guter Erinnerung sind, sei als Beispiel die Staubexplosion in einer Getreidespeicheranlage in Westwego bei New Orleans, USA, am 22. Dezember 1977 kurz beschrieben. Wie [8] und [9] zu entnehmen ist, handelt es sich um eine verhältnismäßig moderne Anlage mit einem Fassungsvermögen von über 300 000 m³, die mit diversen sicherheitstechnischen Ausrüstungen versehen war (getrennter Staubsammelbehälter, Druckentlastungseinrichtungen in den Bandförderanlagen). Die Explosion nahm ihren Ausgang in dem 40 m hohen Beschickungsturm, dessen oberes Drittel abgesprengt und auf das darunter befindliche Verwaltungsgebäude geschleudert wurde. Die Explosion forderte 36 Tote und zahlreiche Verletzte. Von 73 Silozellen wurden 45 zerstört. Der Schaden betrug über 100 Mill. US-Dollar (Bild 1).

Ursachen für die Entwicklung des Staubexplosionsgeschehens liegen u. a. darin,

- daß beim Übergang zu größeren und leistungsfähigeren Maschinen, Anlagen und Betrieben oftmals Wirkprinzipie und Verfahren übernommen und auf großmaßstäbliche Verhältnisse übertragen worden sind, deren potentiell innewohnende Gefährdungen sich bei der vorangegangenen im Kleinmaßstab betriebenen Produktion nicht oder nur geringfügig bemerkbar gemacht hatten
- daß eine Vielzahl technologischer Prozesse zum Zweck einer Leistungssteigerung zu kritischen Prozeßparametern hin verändert worden ist
- daß im Bereich der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft keine oder nur unzureichende auf den Staubexplosionsschutz gerichtete normative Festlegungen getroffen wurden und außerdem die Kontrolle über die Durchsetzung von Schutzmaßnahmen fehlte
- daß bis in die Gegenwart hinein trotz des fortgeschrittenen Erkenntnisstands auf diesem Gebiet — möglicherweise auch aufgrund der Seltenheit derartiger Ereignisse im eigenen Erfahrungsfeld, mit Sicherheit aber wegen fehlender Sachkenntnis — die möglichen Gefährdungen übersehen, unterschätzt oder ignoriert werden.

Tafel 1. Anteil einzelner Stoffarten an 291 Staubexplosionen in der BRD [1]

Stoffart	Anteil %
Holz	33,7
Nahrungs- und Futtermittel	24,0
Kunststoffe	13,7
Metalle	10,3
Kohle/Torf	9,6
Papier	2,4
sonstige	6,2

Tafel 2. Anteil verschiedener technischer Einrichtungen an Staubexplosionen in der LNW [4]

technische Einrichtungen	Anteil %
Förderanlagen	27,1
Mahl- und Zerkleinerungsanlagen	22,9
Silos und Bunker	21,4
Trockner	8,6
Feuerungsanlagen	2,9
Siebanlagen	2,9
Entstaubungs- und Abscheideanlagen	2,9
sonstige	11,4

Fortsetzung von Seite 240

Herausgegeben von der Zentralstelle für Schutzgüter Dresden, 1977.

- [3] Beck, G.: Staubexplosionsschutz in der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft der DDR. Brandschutz, Explosionsschutz — Aus Forschung und Praxis, H. 7, S. 99—127. Berlin: Staatsverlag der DDR 1982.

- [4] Jacobson, M.; Cooper, A. R.; Nagy, J.: Explosibility of agricultural Dusts (Explosionsfähigkeit von landwirtschaftlichen Stäuben). US Bureau of Mines, Report of Investigations, Nr. 5753, 1961.

- [5] Raftery, M.: Untersuchungen von industriellen Stäuben auf Explosionsfähigkeit. Staub, Reinhaltung der Luft, Düsseldorf 31 (1971) 3, S. 141—148.

A 3734