

Getreidestaubexplosionen – ein neues Schadenrisiko?

Von Dipl.-Chem. Dr. rer. nat. Wilhelm Jach, Kiel¹⁾

Am 14. Dezember 1970 gegen 17.24 Uhr ereignete sich im Großsilo „Nordhafen“ der Stadt Kiel eine schwere Explosion, die einen Versicherungsschaden von insgesamt 35 Mio., 6 Tote und 16 meist schwer Verletzte zur Folge hatte. Der Umstand, daß bis etwa 16.30 Uhr aus einem 12 000 t-Frachter U.S.A.-Gerste mit Hilfe einer pneumatischen Sauganlage gelöscht wurde, wirft die grundsätzliche Frage nach der Brand- und Explosionsgefährlichkeit von Getreidestäuben auf. Es ergibt sich in diesem Zusammenhang ebenfalls die Frage, ob derartige Vorgänge eine generelle Überprüfung des Versicherungs- und Unfallrisikos von Mühlen- und Silobetrieben notwendig machen.

Gegen 17.24 Uhr sah ein Zeuge vom gegenüberliegenden Kanalufer, wie plötzlich der Siloaltbau (vgl. Übersichtsskizze) sich wie eine Gummiblaste aufbauchte, in diesem Bereich eine mehrere 100 m hohe Stichflamme hochschob und nach Südosten im Erdgeschoßbereich am Gebäude entlanglief. Es erfolgten 3 heftige Explosionsknalle. Ein weiterer Zeuge von der Landseite (Aufenthaltsraum der Belegschaft) sah zum gleichen Zeitpunkt, wie plötzlich aus dem Erdgeschoß am Büroanbau (Siloaltbau) eine rotgelbe Feuerkugel mit riesigem Durchmesser nach oben schoß und in Verladeramphenhöhe eine gelbrote Flamme mit rasender Geschwindigkeit nach Südosten lief. Gleichzeitig wurde ein gewitterartiges Rollen gehört, dem mindestens 3 sehr harte Explosionsknalle folgten. Menschen und Pkw wurden 30 m durch die Luft geschleudert. Die extrem starke Strahlungshitze von der Feuerkugel verursachte an Betriebsangehörigen außerhalb des Gebäudes in etwa 20 bis 30 m Entfernung Verbrennungen 2. und 3. Grades an allen unbedeckten Körperteilen.

Aus den Untersuchungen der BAM geht hervor, daß in der Reaktionszone das abbrennende explosible Luft/Staubgemisch eine Maximaltemperatur von etwa 3000°C hat, die allerdings nur Bruchteile einer Sekunde anstehen.

¹⁾ Leiter des Laboratoriums für Brandschutztechnik der Schleswig-Holsteinischen Landesbrandkasse, Kiel.

Die vom Autor geleitete technische Untersuchungskommission kam besonders nach diesen Beobachtungen zu dem Schluß, daß eine Gerstenstaubkettenexplosion für die außerordentlich schweren Schäden am Gebäude verantwortlich gemacht werden müsse. Allgemein müssen für die Auslösung einer Staubexplosion folgende Bedingungen erfüllt sein:

1. Vorliegen eines brennbaren Staubes;
2. Unterschreiten einer kritischen Grenzkorngröße (hoher Feinstaubanteil);
3. der Staubanteil in der Luft muß die untere „Explosionsgrenzkonzentration“ überschreiten;
4. der Staub muß in der Luft gleichmäßig aufgewirbelt verteilt sein;
5. die für die Entzündung des Staub/Luftgemisches notwendige Zündtemperatur und Zündenergie muß zugeführt werden.

Der Umstand, daß das Gelände im Umkreis von etwa 1000 m mit Getrei-

destaub dick bedudert war, ließ den Schluß zu, daß am Unfalltage besonders staubreiches Getreide über längere Zeiträume bewegt bzw. gefördert worden sein mußte. Wir unterzogen deshalb 50 kg Originalstaub aus dem Bereich der Primärexplosion einer Siebanalyse, deren Ergebnisse in der nachfolgenden Tabelle zusammengefaßt sind.

Es ergibt sich, daß die am Schadentage entladene U.S.A.-Ware gegenüber dem deutschen Getreide mit nur etwa 0,5 g Feinstaubanteil in 1000 g einen Feinstaubgehalt von 10,5 g in 1000 g aufwies.

Die Frage der Ursache des extrem hohen Feinstaubanteiles wurde durch eine Feuchtigkeitsbestimmung geklärt. Die U.S.A.-Ware hatte eine Restfeuchtigkeit von nur 8,0%. Es ergeben sich hier beim Vergleich von Getreide aus verschiedenen Herkunftsländern folgende Zusammenhänge:

1. Deutsches Getreide: 14–16% Restfeuchte
Mittelwert: etwa 15%

Erfafte Staubexplosionen in den U.S.A. von 1900–1. Mai 1952

Staubarten	Anzahl	Tote	Verletzte	Sachschaden in \$
Getreide	191	127	337	38 125 624
Holz	129	37	156	7 584 071
Futtermittel	113	64	260	9 459 977
Mehl	101	33	88	8 410 545
Stärke	43	144	146	756 826
Kork	37	6	28	181 190
Zucker	26	12	31	1 722 300

Siebanalyse: (Einwaage 1 000 g)

Siebgröße	Probe I	Probe II		Grütze		Gerstenschrot
		a	b	a	b	
+ 2	986,0	923,5	924,0	686,0	693,0	35 g
1 — 2	6,0	22,0	19,5	268,0	262,0	181 g
0,5 — 1	3,0	15,0	17,0	22,5	19,5	168 g
0,2 — 0,5	1,5	14,0	16,0	11,5	11,5	339 g
0,1 — 0,2	1,0	12,5	11,0	4,5	4,5	258 g
— 0,1	0,5	10,5	8,50	0,5	0,5	9 g
	998,0	997,5	996,0	993,0	991,0	990 g

2. U.S.A.-
 Getreide: 8–10 %
 Mittelwert: 9 %

3. Australisches
 Getreide: 8 % (u. weniger)

Je trockener also ein Getreide ist, um so größer und feinkörniger ist der Abrieb und das damit verbundene Explosionsrisiko bei jeglichen Transportaktionen.

Eine Zusammenfassung der erfaßten Staubexplosionen in den U.S.A. zeigt, daß aufgrund der vorstehend erläuterten Zusammenhänge durch Getreidestaubexplosionen die höchsten Verluste an Menschen und Sachwerten auftraten.

Diese Feststellung veranlaßte die N.F.P.A.²⁾ im Jahre 1962, für die U.S.A. ganz besonders scharfe Richtlinien zur Verminderung derartiger Explosionsrisiken auszuarbeiten, die noch heute allgemein als vorbildlich zu beurteilen sind.

Welche Staubmenge ist nun erforderlich, um ein explosionsfähiges Getreidestaubgemisch mit Luft zu erzeugen?

Nach den neuesten Versuchsergebnissen in der B.R.D. wird die „untere Explosionsgrenze“ mit 50 g/Nm^3 , in den U.S.A. mit 55 g/Nm^3 erreicht. Derartige Mengen werden aber bei schlechter Betriebsentstaubung sehr schnell in der Praxis erreicht.

Außerordentlich schwierig ist es, in der Untersuchungspraxis den Ausgangspunkt und die Zündauslösung einer derartigen Staubexplosion im Schadenobjekt sicher zu lokalisieren bzw. sicher zu rekonstruieren.

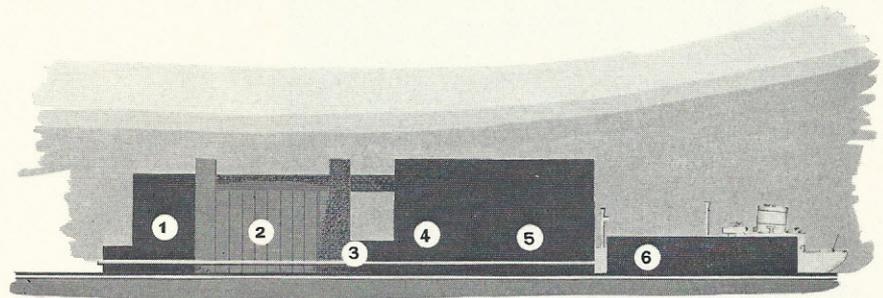
Unsere äußerst mühseligen und wochenlangen Untersuchungen an dem stark einsturzgefährdeten Schadenobjekt, das einen etwa 140 m langen Gebäudekomplex darstellte, (die Explosionsdruckwellen hatten den gesamten durchgehenden Kellergangsbereich und das Erdgeschoß stark zerstört) führten schließlich zu folgendem Ergebnis:

1. Die Treppenhäuser und Fahrstuhlschächte (vgl. Übersichtsskizzen) im gesamten Gebäude wurden durch mechanische Druckwellenausläufer eingedrückt.
2. Die Gebäudeteile 1 und 2a (Fa. M.) wiesen ebenfalls nur mechanische Druckwellenschäden auf, die nach Gebäude 1 hin sichtbar und schnell abnahmen.
3. Die Gebäude 2b, 3, 4, 5a, 5 (Fa. W.) wiesen eindeutige Merkmale von min-

²⁾ N.F.P.A. = National Fire Protection Association.

³⁾ Nm^3 = Normalkubikmeter.

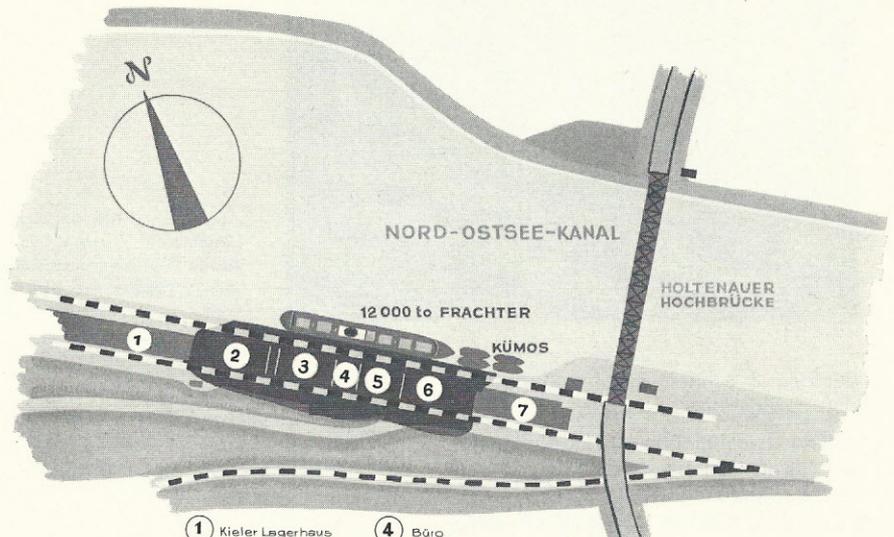
Übersichtsskizzen



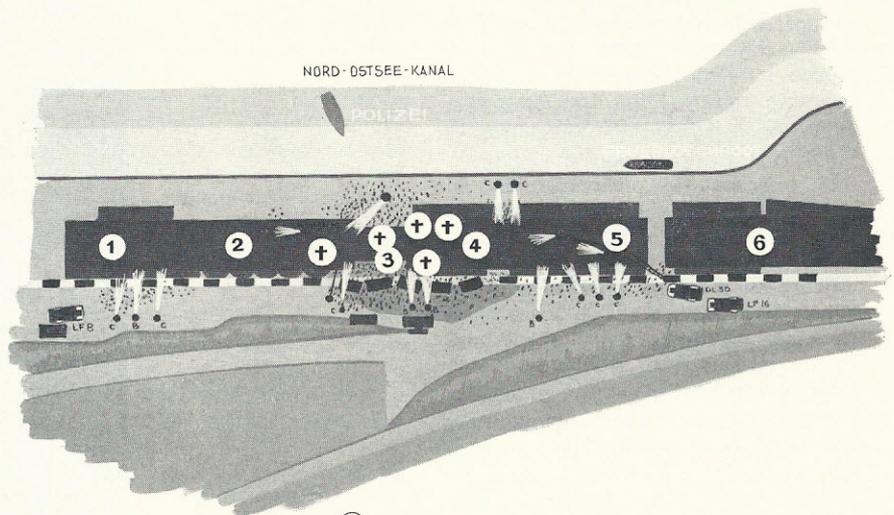
Ansicht von der Uferstrasse

ausgesprengte Wände

- | | |
|---------------------------------|------------------------------------|
| 1 Mischfutterwerk | 4 Altbau silo mit Sackabfüllanlage |
| 2 Neuba silo ca. 13 700 t | 5 Altbau silo etwa 10 000 t |
| 3 Büro, darüber Transportbrücke | 6 Lagerschuppen |



- | | |
|--------------------|------------------|
| 1 Kieler Lagerhaus | 4 Büro |
| 2 westl. Schuppen | 5 Silo |
| 3 Neubau Silo | 6 Altbau |
| | 7 östl. Schuppen |



- | |
|------------------------------------|
| 1 Mischfutterwerk |
| 2 Neuba silo etwa 13 700 t |
| 3 Büro und Transportbrücke |
| 4 Altbau silo mit Sackabfüllanlage |
| 5 Altbau silo etwa 10 000 t |
| 6 Lagerschuppen |



Abb. 1. Mechanische Druckwelle. Turm I. Erste Staubfolgeexplosion mit ausgedrückter Zellenwand.

destens 3 schnell aufeinanderfolgenden Explosionswellen auf.

4. Die auslösende Primärexplosion wurde im Kellergeschoß neben dem Bürogebäude lokalisiert. Die hochgedrückte, total zerstörte 15 cm dicke Betondecke – in diesem Bereich mit entsprechend nach oben verbogenen 20 bis 25 mm starken Armierungsstahleinlagen – läßt eine sichere Aussage in dieser Hinsicht zu, die wesentlich durch typische Verletzungen von 2 Todesopfern in diesem Bereich gestützt wird (schwerste offene Stauchungsbrüche an den Unterschenkeln sowie Lungen-, Leber-, Milz- und Aortenabrisse durch extreme Druckbeanspruchung).

5. Die Rekonstruktion ergab, daß in diesem Kellerbereich ohne jegliche direkte Entstaubungsmöglichkeit Staubschichten bis zu 5 cm Stärke wegen der teilweise unvollkommen geschlossenen Redleranlagen sich schnell ansammeln konnten. (Hier erfolgte nur in unregelmäßigen Abständen eine „Kehraktion“ mit Besen.)

6. Diese starken Staubablagerungen im durchgehenden Keller hatten aber zur Folge, daß nach der Primärverpuffung durch den Luftdruck eine Welle von Folgeaufwirbelungen mit nachfolgender Zündung im Betriebs teil W. eintreten konnte.

Hier ergibt sich nun die Frage nach dem auslösenden Zündmoment, die untersuchungstechnisch noch schwieriger zu lösen ist als die Druckwellen-

verlaufsrekonstruktion. Grundsätzlich sind folgende Zündquellen zu diskutieren:

1. Glühende Metallflächen.
2. Offene Flammen aller Art.
3. Mechanisch erzeugte Funken und Lichtbögen (elektr. Anlagen).
4. Reibungswärmeeffekte.
5. Staubgewitter (Selbstentladung statisch aufgeladener Staubwolken).

Die Untersuchung der brandtechnischen Eigenschaften des Originalgerstenstaubes aus dem Schadenobjekt erbrachte folgende Ergebnisse:

1. Flamm- und Brennpunkt nach Jentsch: 200/205° C; 220/225° C
2. Glimmtemperatur (VDE 165): 280° C
3. Selbstzündtemperatur nach Gliwitzki (30 cm³ Volumen): 190° C
4. Selbstzündtemperatur bei Warmlagerung (400 cm³ Volumen): 160° C
5. Zündtemperatur der Schwelgase (nach Methode BAM): 210° C

Es fällt auf, daß sich der untersuchte Originalgerstenstaub bei Ablagerung in dicken Schichten als äußerst empfindlich gegen Glimmselbstzündungen erweist.

Die Ermittlung der Zündtemperatur des explosionsfähigen Luft/Staubgemisches ergab den sehr niedrigen Wert von 470° C (neueste U.S.A.-Werte: 450–550° C – ältere deutsche Literaturangaben: 950–1000° C).

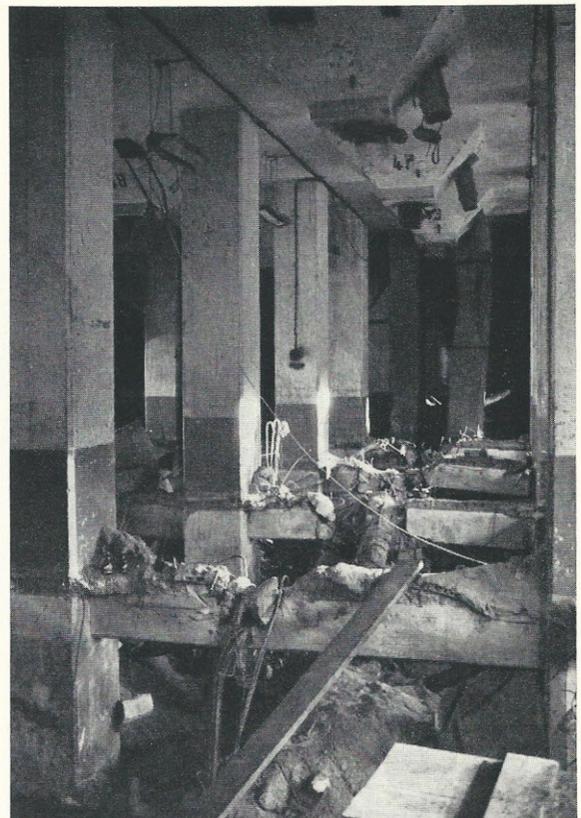


Abb. 2. Folgewirkung der Primärexplosion, Kellerbereich, Unterabsackanlage.

Da die sehr schichtdicken Staubablagerungen im Schadenobjekt extrem trocken (maximale Restfeuchte 8 % und weniger) waren, wurden der maximale Explosionsdruck und der maximale Explosionsdruckanstieg bei verschiedenen Feuchtigkeiten gemessen. Dabei ergab sich für 8 % Feuchtigkeit ein Maximaldruck von 12,25 atü, für 10 % Feuchtigkeit von 8,4 atü. Wegen des nur 1200 cm³ großen Versuchsvolumens liegen die Maximaldrücke im Schadenobjekt mindestens um den Faktor 1,5 höher, betragen also etwa 18,37 bzw. 12,60 atü. Der maximale Druckanstieg wächst zwischen 10 % Restfeuchtigkeit und 8 % Feuchtigkeit von 50 atü/sec. auf 270 atü/sec., d. h. auf den 5,5-fachen Wert. Da derartig extreme Trockenheitsverhältnisse im Kellergang vorlagen, bewegte sich die Folgeexplosionsserie offensichtlich im Gebiet der Detonationen (Reaktionsgeschwindigkeit = km/sec.). Dadurch erklären sich die abnormen Zerstörungsbilder am Schadenobjekt.

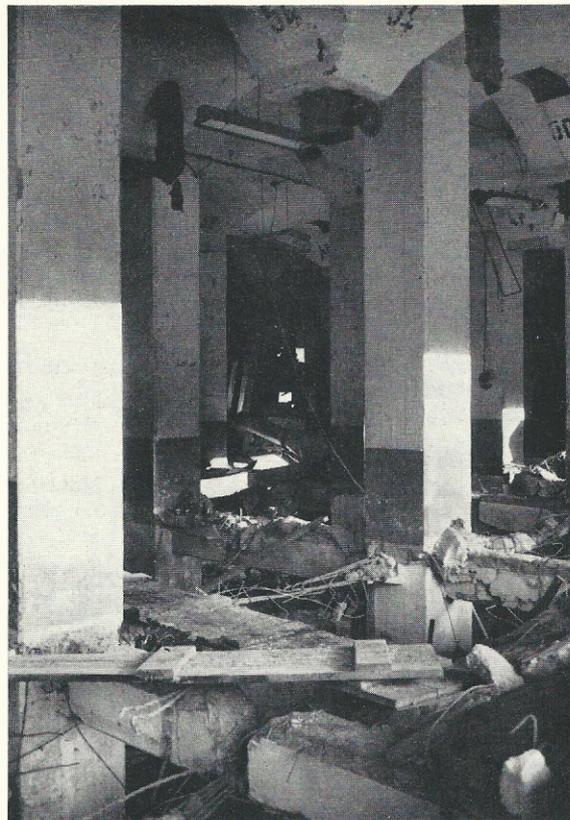
Eine Staubgewitterentladung statisch aufgeladener Staubwolken im Keller scheidet als Ursache aus, da im speziellen Versuch bei 8 % Restfeuchtigkeit eine Aufladung von 240 000 V/m, bei etwa 3 % Restfeuchte praktisch ein fast gleicher Wert von 260 000 V/m gemessen wird, bei Getreidestaubgemischen jedoch Werte von 350 000 bis 400 000 V/m erreicht werden müssen, um eine Staubgewitterselbstentladung zu erreichen.

Im eindeutig nach Spurenverlauf und Spurenekonstruktion abgegrenzten Primärzündbereich (Keller unter Absackanlage – Trennwand – Bürökeller) konnten Lösungsmitteldämpfe von innen und außen (Betriebstischlerei und Benzinfilm auf einem Wassergraben neben dem Gebäude) als Zündursache sicher ausgeschlossen werden. Auch eine unverschlossene, stark nach Gas riechende Versorgungsleitung im Keller konnte wegen Absperrung im Sozialgebäude auf der Gegenseite der Fahrstraße des Betriebes und Plombenverschluß (August 1968) als mögliche Schadenursache ausgeschlossen werden.

Als Zündursache durch Oberflächwärme (160° C) kommen nach festgestellten Rußausblasespuren nach unseren eingehenden Untersuchungen im primären Explosionsbereich nur in Betracht: (gemeinsame Untersuchungen mit Dipl.-Ing. Ritthof und Ing. [grad.] Dahlkemper)

1. geschlossener Redlerantriebsmotor mit Keilriemenscheibe und Riemenschutz sowie sehr stark verkolhten Staubablagerungen;
2. kellerseitige Maschinenteile einer neuen, auffällig häufig betriebsgestörten pneumatischen Absackanlage.

Abb. 3. Direkter Einblick in den Primärexplosionsbereich Keller.



Da die äußerst verdächtige, im Betrieb laufend defekte Absackanlage nach allen Zeugenangaben um 17.24 Uhr noch nicht angestellt gewesen sein soll, verdichtet sich die Explosionsauslösung auf Glimmzündung der Staubablagerung auf der warmen Motorfläche, wo nachweislich starke Staubablagerungen vorgelegen haben. Erschwert wird hier aber eine eindeutige Aussage, da unsere speziellen Untersuchungen (gemeinsam mit dem Allianz-Zentrum für Technik, München-Ismaning) ergaben, daß die extrem niedrige Glimmselbstzündtemperatur des Gerstenstaubes in einem Bereich liegt, wo noch keine Gefügeveränderungen in Metallen ausgelöst werden. Mit letzter Sicherheit kann somit leider im vorliegenden Fall die Ursache der Zündauslösung nicht geklärt werden.

Es ist aber darauf hinzuweisen, daß bei Redlerbetrieb derart dichte Staubansammlungen und Aufwirbelung im Kellergang vorhanden waren, daß die Sicht sich auf etwa 2 m beschränkte. Ein Umstand, der von Staubfachleuten dahingehend erläutert wird, daß bei derartig großer Sichtbehinderung ein akut explosionsgefährliches Luft/Staubgemisch vorliegt.

Es ergibt sich abschließend die Frage, wie man Staubexplosionen, speziell Getreidestaubexplosionen, deren Risiko im deutschen Bereich wegen des feuchteren, inländischen Getreides

bisher offenbar stark unterschätzt wurde, durch betriebliche Maßnahmen vermeiden kann.

Nach unseren Überlegungen sind folgende Maßnahmen als technisch sinnvoll zu bezeichnen:

1. Bestmögliche Entstaubung der Betriebsanlagen und Betriebsgebäude,
2. Ausstattung der Betriebsanlagen an besonders kritischen Bereichen mit modernen Explosionsunterdrückungs- und Schnelllöschanlagen (z. B. „Gravinergeräte“),
3. sorgfältige Pflege der VDE entsprechende explosionsgeschützt ausgelegten Elektroanlage (geschlossene Motoren von Staubablagerungen laufend befreien, Ausstattung der Anlage mit Fehlerstromschutz- bzw. Spannungsschutzschaltern, Ausstattung der Motoren mit Motorschutzschaltern),
4. bestmögliche Erdung der gesamten Maschinenanlage (Ableitwiderstände der technischen Einrichtung laufend messend kontrollieren),
5. Raumluftbefeuchtung bis zu einer relativen Luftfeuchte von 75 % (bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 75 % und mehr ist ein Explosionsrisiko durch Staubwolken ausgeschlossen),
6. leichtes Anfeuchten besonders gefährdeten Förder- und Mahlgutes. (Diese Methode soll sich in den USA besonders gut bewährt haben,

die Fachleute in der BRD bestreiten eine effektive Wirksamkeit einer Anfeuchtmethode.)

7. Vorhandensein ausreichend dimensionierter Druckentlastungskappen und -flächen in den Betriebseinrichtungen sowie in Dächern und Wänden der Betriebsgebäude.
8. Auch automatische Brandfrühwarnanlagen komb. mit Sprinkleranlagen können eine starke Risikominderung für derartige Betriebe bedeuten.

Abschließend muß zusammenfassend festgestellt werden, daß im deutschen Bereich sowohl von der Sicherheitstechnik als auch von der versicherungswirtschaftlichen Seite her das Risiko von Getreidestaubexplosionen und Verpuffungen stark unterschätzt wurde. Eine kritische Bearbeitung der z. Z. gültigen technischen Richtlinien zur Verhinderung von Staubexplosionen ist in Vorbereitung.

(Dipl.-Ing. Ritthof, Ing. (grad.) Dahlkemper, Ing. (grad.) Blumhagen, Peter Bastian und KHM Stangenberg sei für die hervorragende Unterstützung bei den sehr schwierigen Untersuchungen herzlich gedankt —

Prof. Dr. Zehr, Prof. Dr. Heinrich, Dr. Conrad und Dr. Lindner, BAM, Berlin, danke ich sehr herzlich für zahlreiche wertvolle Fachdiskussionen und Unterstützung bei speziellen notwendigen Untersuchungen.)

Literaturnachweis

- 1) Freytag: Handbuch für Raumexplosionen, Abschnitt: Staubexplosionen, Verlag: Chemie — 1965.
- 2) Meldau: Handbuch der Staubtechnik, Band I und II, Verlag: VDI Düsseldorf 1958.
- 3) Walter Geck: Zündfähige Industriegasstäube, Verlag: VDI Düsseldorf 1954.

4) Handbuch für Feuer- und Explosionsgefahr, Verlag: Pädagogischer Verlag Schwann GmbH, Düsseldorf 1964.

5) Günter Leuschke: „Über die Untersuchung brennbarer Stäube auf Brand- und Explosionsgefahren“. Zeitschrift: Staubreinheit der Luft, Band 29 (1966 — Seite 49/57).

6) Code for the prevention of Dust Explosions in Terminal Grain Elevators. Nr. 61 B (1959) NFPA (USA).

7) Code for the prevention of Dust Explosions in Flour and feed Mills Nr. 61 C (1962) NFPA (USA).

8) VDI-Richtlinien „Zur Verhütung von Staubbränden und Staubexplosionen“ VDI 2263 — August 1969.

9) Daselbst (s. Ziffer 8) ist ein ausführlicher Nachweis über sämtliche wissenschaftlichen und technischen Aufsätze in Fachzeitschriften einschließlich 1969.

Die Aufgaben des Instituts für Bautechnik, insbesondere auf dem Gebiet des baulichen Brandschutzes

Von Dipl.-Ing. Hertel, Institut für Bautechnik, Berlin

Das Institut für Bautechnik ist gemeinsam von Bund und Ländern aufgrund eines Verwaltungsabkommens im Jahre 1968 als Anstalt des öffentlichen Rechts mit Dienstherrenfähigkeit in Berlin gegründet worden (Gesetz über das Institut für Bautechnik vom 9. 7. 1968¹⁾). Es dient der einheitlichen Bearbeitung bautechnischer Arbeiten auf dem Gebiet der Bauaufsicht, wobei Auswirkungen auch auf andere Bereiche des Bauwesens sich natürlich ergeben. Die wesentlichen Aufgaben des Instituts sind:

1. Entscheidungen über Anträge auf allgemeine bauaufsichtliche (baupolizeiliche, baurechtliche) Zulassungen für neue Baustoffe, Bauteile und Bauarten vorzubereiten und dafür Richtlinien aufzustellen;
2. Entscheidungen auf Erteilung von Prüfzeichen vorzubereiten und dafür Richtlinien aufzustellen;

¹⁾ Siehe Gesetz- und Verordnungsblatt für Berlin, 24. Jahrgang Nr. 45, 17. Juli 1968, Seiten 917-920.

3. Richtlinien für die Güteüberwachung von Baustoffen, Bauteilen und Bauarten zu erarbeiten und Güteschutzgemeinschaften zu beraten;

4. Verzeichnisse der Gütegemeinschaften und anerkannten Prüfstellen zu führen und zu veröffentlichen;

5. an der Ausarbeitung bautechnischer Richtlinien und technischer Baubestimmungen, insbesondere im Deutschen Normenausschuß, mitzuwirken und Einföhrungserlasse für technische Baubestimmungen vorzubereiten;

6. Bauforschungsanträge anzuregen, zu begutachten und zu betreuen sowie Bauforschungsberichte auszuwerten;

7. an der Vorbereitung für eine internationale Vereinheitlichung in den vorgenannten Bereichen mitzuwirken.

Die Länder können nach dem Abkommen bestimmte Entscheidungsbefug-

nisse auf das Institut für Bautechnik übertragen. So haben alle Bundesländer dem Institut die Entscheidungsbefugnisse für die Erteilung von Prüfzeichen übertragen, während die Länder Berlin, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen auch die Befugnisse zur Erteilung von Zulassungen, die Anerkennung von Gütegemeinschaften und die Zustimmung zu Überwachungsverträgen übertragen haben. Die Länder, für die die Entscheidungen nur vorbereitet werden, dürfen von den Vorschlägen des Instituts ohne Beratung im Verwaltungsrat nicht abweichen. Damit ist eine wesentliche Vereinheitlichung erreicht.

In der Satzung des Instituts für Bautechnik²⁾ sind Aufbau und Arbeit des Instituts geregelt. Die Beratung der Anträge auf Zulassung oder Erteilung von Prüfzeichen erfolgt in Sachverständigenausschüssen, in denen die Materialprüfstellen, die Bauaufsicht, neutrale Sachverständige der Wirt-

²⁾ Siehe Amtsblatt für Berlin, 18. Jahrgang, Nr. 35, 2. August 1968.