

ISSA Prevention Series No. 2051 (G)



Internationale Sektion  
der IVSS für die  
chemische Industrie

# **Staubexplosions- ereignisse**

**Analysen von Staubexplosionen  
in Industrie und Gewerbe**

**Ursachen, Lehren  
und Massnahmen**



# **suva**

Schweizerische  
Unfallversicherungsanstalt  
Postfach 4358  
6002 Luzern  
Schweiz

2005  
ISBN 92-843-7169-4  
ISSN 1015-8022



## DIE INTERNATIONALE VEREINIGUNG FÜR SOZIALE SICHERHEIT (IVSS)

hat über 350 Mitglieder (Regierungsbehörden und Anstalten) in mehr als 150 Staaten. Rund die Hälfte der Mitglieder befasst sich mit der Arbeitssicherheit. Der Sitz der IVSS befindet sich in Genf, beim Internationalen Arbeitsamt. Ihr Hauptziel ist die Förderung und der Ausbau der SOZIALEN SICHERHEIT in allen Teilen der Welt.

Zur Intensivierung der Arbeitssicherheit in den Betrieben ist seit 1970 für den Bereich der chemischen Industrie einschliesslich der Kunststoff-, Sprengstoff-, Mineralöl- und Gummiindustrie die



### INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS FÜR DIE VERHÜTUNG VON ARBEITSUNFÄLLEN UND BERUFSSKRANKHEITEN IN DER CHEMISCHEN INDUSTRIE

gebildet worden. Vorsitz und Sekretariat liegen bei der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie, 69115 Heidelberg, Deutschland.

Zur weiteren Verbesserung der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes in den Betrieben wurde 1975 die



### INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS MASCHINEN- UND SYSTEMSICHERHEIT

gegründet. Sie behandelt Fragen zur Sicherheit von Maschinen, Anlagen und Systemen.

Vorsitz und Sekretariat: Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten, 68165 Mannheim, Deutschland.

# Staubexplosionsereignisse

## Analysen von Staubexplosionen in Industrie und Gewerbe

### Ursachen, Lehren und Massnahmen

Kompendium für die Praxis

Herausgeber

Internationale Sektion für die Verhütung von Arbeitsunfällen  
und Berufskrankheiten in der chemischen Industrie der Inter-  
nationalen Vereinigung für Soziale Sicherheit (IVSS),  
Kurfürsten Anlage 62 (BG-Chemie-Haus),  
69115 Heidelberg,  
Deutschland



Die **I**nternationale **V**ereinigung für **S**oziale **S**icherheit (**IVSS**) hat sich zum Ziel gesetzt, durch fachlich orientierte Sektionen die Risiken, die in der sozialen Sicherheit wahrgenommen werden, wie Arbeitsunfälle und Berufskrankheiten, durch Informationsaustausch, Veröffentlichungen und Kolloquien aufzuzeigen und Vorschläge zu deren Verminderung zu unterbreiten.

Der Vorstand der „Sektion Chemie“ der IVSS hat eine „Arbeitsgruppe Explosionsschutz“ eingesetzt, um den internationalen Erfahrungsaustausch unter Fachleuten zu fördern und für bestimmte Probleme gemeinsam Lösungen zu erarbeiten. Sie will auf diesem Weg einen Beitrag zu einem hohen und unter Industrieländern vergleichbaren Stand der Technik auf dem Gebiet des Explosionsschutzes leisten. Sie ist gewillt, ihr Wissen den industriell noch weniger entwickelten Ländern weiterzugeben.

Dieses Kompendium - das in enger Zusammenarbeit mit der Sektion „Maschinen- und Systemsicherheit“ der IVSS erarbeitet wurde - ermöglicht es Verantwortlichen in den Betrieben, ohne spezifische Kenntnisse auf dem Gebiet des Explosionsschutzes zu beurteilen, ob Staubexplosionsgefahren bestehen können. Es kann auch hinsichtlich der Anforderungen an die Betriebe zur Dokumentation von Gefährdungsanalysen und Problemlösungen durch das EG-Recht herangezogen werden. Die jeweils einzelfallbezogenen, betriebsspezifisch notwendigen Explosionsschutzmassnahmen müssen aber im Betrieb unter Beteiligung von Experten erarbeitet werden.

Die Sektion Chemie leistet so einen Beitrag zur Erhaltung und Weiterentwicklung eines hohen und - über die aktive Mitarbeit von Mitgliedern ihrer Arbeitskreise in Ausschüssen der EG - unter Industrieländern vergleichbaren Standes der Technik. Aus ihrem Verständnis der umfassenden, weltweiten Bedeutung einer wirksamen Prävention bietet die Sektion auch den sich in Entwicklung befindlichen Ländern ihre Unterstützung und Beratung an.

Die Fragen des Gesundheitsschutzes werden in dieser Broschüre nicht behandelt.



Dr. E. Radek  
Vorsitzender des Vorstandes  
der Sektion Chemie



# Mitarbeiter und Autoren

## Vorsitz

Dr. R. J. Ott  
Suva (Schweizerische Unfallversicherungsanstalt)

## Unter Mitarbeit von

Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA), Wien (A)  
Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie, Heidelberg (D)  
Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten (BGN), Mannheim (D)  
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz (BGIA), Sankt Augustin (D)  
Directoraat-Generaal van de Arbeid, Den Haag (NL)  
Forschungsgesellschaft  
für angewandte Systemsicherheit und Arbeitsmedizin (FSA), Mannheim (D)  
Inburex Consulting GmbH, Hamm (D)  
Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), Paris (F)  
Pellmont Explosionsschutz, Binningen (CH)  
Sicherheitsinstitut, Basel (CH)  
SIQ (Slovenian Institute of Quality and Metrology), Ljubljana (SI)  
Stazione Sperimentale per i Combustibili (SSC), Milano (I)  
Suva (Schweizerische Unfallversicherungsanstalt), Luzern (CH)

## Autoren

<b>Dipl.-Ing. H. Beck, Sankt Augustin (D)</b>	P. C. Parlevliet, Luxembourg (LU)
Dr. B. Dyrba, Heidelberg (D)	Dr. G. Pellmont, Binningen (CH)
Prof. Dr. A. Fiumara, Milano (I)	Ing. J.-M. Petit, Paris (F)
<b>Dr. M. Glor, Basel (CH)</b>	Prof. Dr. S. Radandt, Brühl (D)
Dr. F. Hauert, Mannheim (D)	<b>Dr. R. L. Rogers, Hamm (D)</b>
Ing. K. Kopia, Wien (A)	Dr. L. Rossinelli, Luzern (CH)
Dr. Z. Kramar, Ljubljana (SI)	<b>Dipl. Chem. F. Scheller, Luzern (CH)</b>
<b>Dr. R. J. Ott, Luzern (CH)</b>	

## Gestaltung und Grafik

Dr. R. J. Ott, Luzern (CH)  
**Dipl.-Designer D. Settele, Mannheim (D)**



<b>Einleitung</b>	<b>11</b>
<b>Lehren für die Praxis</b>	<b>12</b>
<b>Ereignisse und Analysen</b>	<b>14</b>
<b>1</b> Umschlag von Mehl in einem Mühlenbetrieb	15
<b>2</b> Mischanlage für Magnesium (1. Ereignis)	18
<b>3</b> Mischanlage für Magnesium (2. Ereignis)	20
<b>4</b> Befüllen eines Mischers mit Kunststoffpulver	22
<b>5</b> Absauganlage einer Gummi-Schleifmaschine	24
<b>6</b> Absauganlage für Kohlenstaub	26
<b>7</b> Schweissarbeiten an einem Stärkesilo	30
<b>8</b> Stromtrockner für ABS-Pulver	32
<b>9</b> Holzspänefeuerung	34
<b>10</b> Aluminiumschleiferei	36
<b>11</b> Mahlen von lösemittelfeuchtem Produkt	38
<b>12</b> Entleeren von Schüttgutbehältern (FIBC)	40
<b>Übersicht der wichtigsten Explosionsschutzmassnahmen</b>	<b>43</b>
<b>Begriffe und Definitionen</b>	<b>45</b>
<b>Schriftenreihe IVSS-Explosionsschutz</b>	<b>49</b>



Die in den Beispielen aufgezeigten Schutzmassnahmen sind keine „Patentrezepte“, die ohne weiteres auf ähnliche Fälle übertragbar sind. In der Praxis ist es erforderlich, ein auf den speziellen Fall abgestimmtes Schutzkonzept zu entwickeln. Dieses Schutzkonzept muss in den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union in einem Explosionsschutzdokument festgeschrieben werden.

Diese Broschüre soll Ingenieuren, Betriebsleitern, Sicherheitsfachkräften usw. anhand von ausgewählten Unfallbeispielen die Risiken beim Umgang mit brennbaren Stäuben aufzeigen. Die ausgewählten Staubexplosionsereignisse sollen es erleichtern, auch ohne spezielle Kenntnisse auf dem Gebiet der Staubexplosionen, im eigenen Betrieb, beim Planen, Errichten und Betreiben von Anlagen zu beurteilen, ob Explosionsgefahren durch brennbare Stäube entstehen können.

Die dargestellten Ereignisse sind so ausgewählt, dass nach Möglichkeit alle für Staubexplosionen wichtigen Aspekte zum Zuge kommen wie:

- Staubarten (z. B. Kunststoffe, Nahrungsmittel, Holz),
- Korngrösse,
- hybride Gemische,
- Anlagenarten (z. B. Mischer, Silos, Trockner),
- Zündquellenarten (z. B. offene Flammen, mechanisch erzeugte Funken, elektrostatische Entladungsfunken),
- Schutzmassnahmen (z. B. Mengengrenzung, Vermeiden wirksamer Zündquellen, Explosionsunterdrückung).

Die beschriebenen Staubexplosionsbeispiele beruhen auf tatsächlichen Schadenereignissen der letzten fünfundzwanzig Jahre aus dem europäischen Raum. Sie sind vereinfacht dargestellt, um den Ablauf und die Ursachen der Schadenfälle oder einzelner Schutzmassnahmen klar herausheben zu können. Von den in Frage kommenden und in verschiedenen IVSS-Broschüren ausführlich beschriebenen Schutzmassnahmen:

- vorbeugender Explosionsschutz (Vermeiden explosionsfähiger Staub/Luft-Gemische und Vermeiden wirksamer Zündquellen),
- konstruktiver Explosionsschutz (Vermeiden gefährlicher Explosionsauswirkungen),
- organisatorische Massnahmen,

wird in der Regel nur eine Lösungsmöglichkeit aufgezeigt.

Weiterführende Informationen zur Gefährdungsbeurteilung und zu den möglichen Schutzmassnahmen sowie zum Erstellen eines Explosionsschutzdokumentes finden sich in den am Ende der Broschüre zitierten IVSS-Veröffentlichungen (S. 49).

# Lehren für die Praxis

**1**

Abgelagerter brennbarer Staub kann durch Aufwirbeln zu gefährlichen explosionsfähigen Staub/Luft-Gemischen führen.

**2**

Explosionsschutzmassnahmen können erforderlich werden, wenn ein grobkörniger Stoff durch einen feineren ersetzt wird.

**3**

Die Inertisierung muss auch im Falle einer Betriebsstörung sichergestellt sein.

**4**

Das Vermeiden wirksamer Zündquellen ist als alleinige Massnahme nur dann ausreichend, wenn alle in Frage kommenden Zündquellen berücksichtigt und sicher ausgeschlossen werden.

**5**

Oft ist es notwendig, Massnahmen des vorbeugenden Explosionsschutzes miteinander zu kombinieren.

**6**

Die dauerhafte Funktionstüchtigkeit der Schutzkomponenten und das Verhalten der Mitarbeiter zur Instandhaltung müssen in Sicherheitskonzepten berücksichtigt und umgesetzt werden.

# Lehren für die Praxis

**7**

Die Explosionsdruckentlastung muss auf ungefährliche Weise erfolgen, z. B. durch Abblasrohre ins Freie.

**8**

Nichteinhalten bzw. Abweichen von Betriebsanweisungen kann zu schwerwiegenden Explosionsereignissen führen.

**9**

Mit explosionstechnischer Entkopplung wird das Ausbreiten einer Explosion in ungeschützte Bereiche verhindert.

**10**

Organisatorische Massnahmen sind erforderlich, um die Wirksamkeit technischer Massnahmen zu gewährleisten.

**11**

Lösemitteldämpfe können auch noch nach dem Trocknen von lösemittelfeuchtem Produkt freigesetzt werden.

**12**

Die Schulung der Mitarbeiter auf dem Gebiet der Sicherheit ist eine zentrale und permanente Aufgabe des Managements.

# Ereignisse und Analysen



Abgelagerter brennbarer Staub kann durch Aufwirbeln zu gefährlichen explosionsfähigen Staub/Luft-Gemischen<sup>1)</sup> führen.

# Umschlag von Mehl in einem Mühlenbetrieb

## Staubart

Mehlstaub

## Verfahrens- und Anlagenbeschreibung

- Zwischenspeichergebäude (siehe Abb. S. 16/17 (1)) mit einem in Holzbauweise abgeteilten Probenlagerraum (2) im Erdgeschoss und einem Zwischenlager (3) im 2. Obergeschoss für in Säcken abgepacktes Mehl
- Verbindung des Sacklagers (3) mit dem Erdgeschoss durch eine schräg nach unten verlaufende Sackrutsche (4)
- Geschlossene, ca. 45 m lange Verbindungsbrücke (5) vom Zwischenlager (3) zum Mehlspeicher (6)
- Verpackungsbereich mit Abfülleinrichtungen (7) für Gebinde aller Art im Mehlspeicher (6)

## Schadenablauf

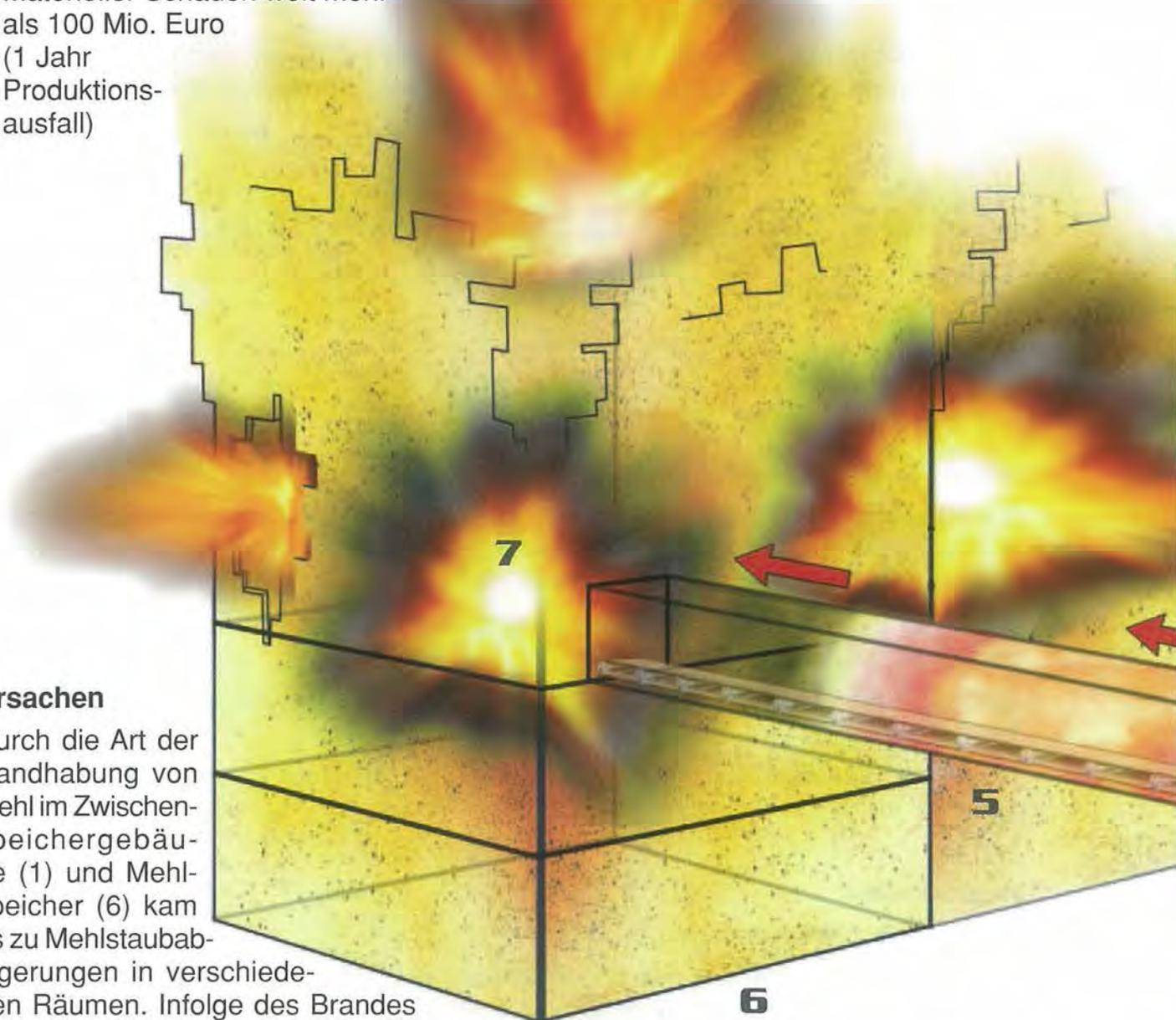
- Brand im Probenlagerraum (2)
- Übergreifen des Brandes auf das Zwischenlager (3) begünstigt durch Deckenöffnungen für die Fördereinrichtungen (4)
- Staubexplosionen im Zwischenlager (3)
- Explosionsübertragung durch die Verbindungsbrücke (5) in den Verpackungsbereich (7) im Mehlspeicher (6)
- Ausgeprägte Raumexplosion im Verpackungsbereich (7) führt zum Zerstören der tragenden Wände und damit zum Einsturz des siebengeschossigen Mehlspeichers (6).
- Zahlreiche Folgeexplosionen in verschiedenen Betriebsbereichen (z. B. Silozellen) infolge Explosionsübertragung durch Übergänge, Durchführungen sowie Förder- und Entstaubungsleitungen

---

<sup>1)</sup> Vgl. IVSS-Broschüre „Staubexplosionen“ (No. 2044)

## Schadenausmass

- 14 Tote, 17 Schwerverletzte
- Nahezu total zerstörte Gebäude und Anlagen
- Materieller Schaden weit mehr als 100 Mio. Euro (1 Jahr Produktionsausfall)



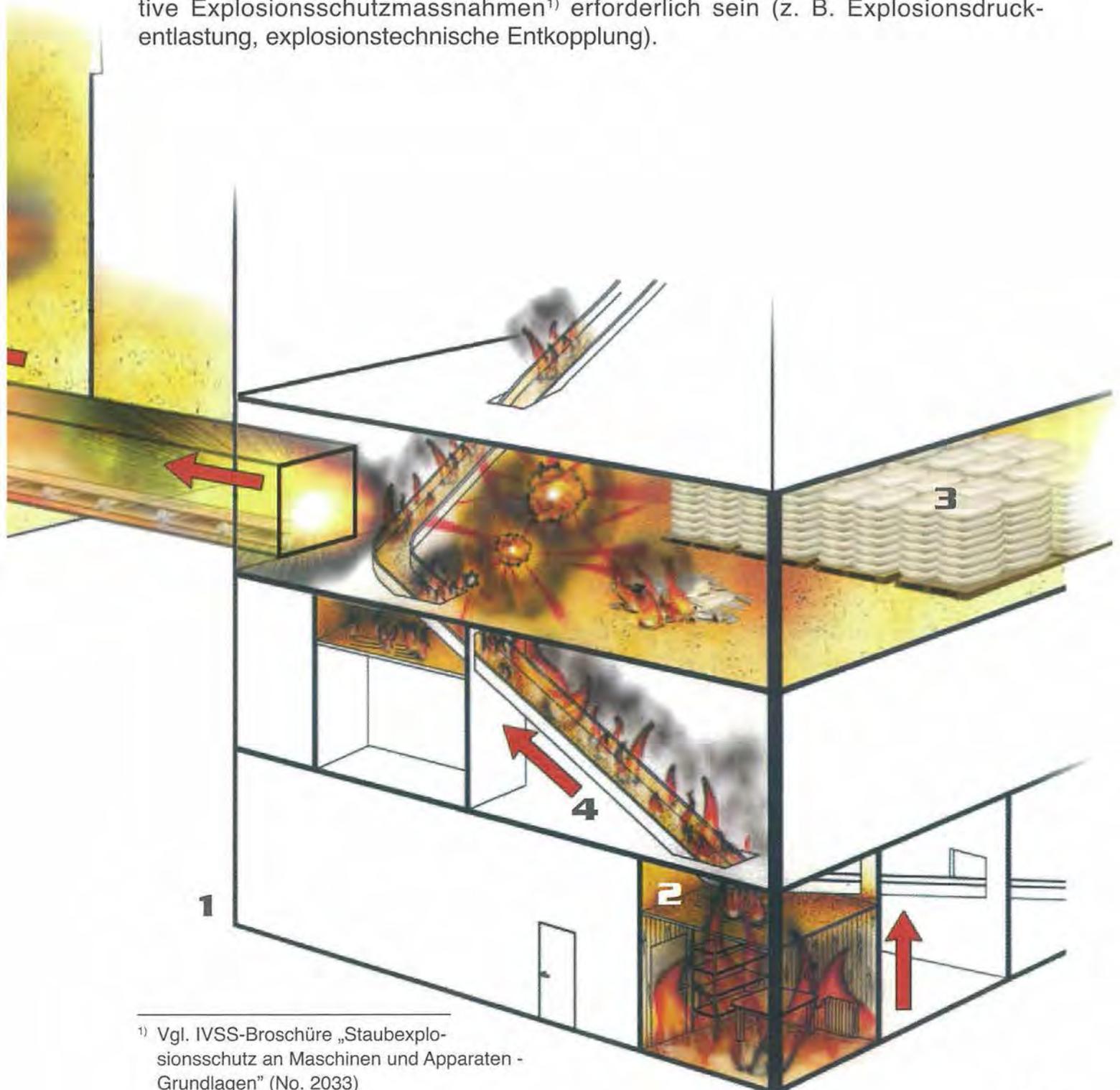
## Ursachen

Durch die Art der Handhabung von Mehl im Zwischenspeichergebäude (1) und Mehl-speicher (6) kam es zu Mehlstaubablagerungen in verschiedenen Räumen. Infolge des Brandes im Probenlagerraum (2), der sich über die Deckendurchbrüche für die Sackrutsche (4) nach oben ausbreitete, konnte es zum ersten Aufwirbeln von abgelagertem Staub im Zwischenlager (3) kommen. Das Entzünden des aufgewirbelten Staubes erfolgte durch den Brand. Die Druckwelle der ersten Explosion führte zum Aufwirbeln weiteren Staubes, womit eine „Kettenreaktion“ ausgelöst wurde. Durch die lang gestreckte Form der Brücke (5) kam es zu einer Ausrichtung der Explosionsdruckwelle, so dass unverbranntes Mehl innerhalb der Brücke vor der Explosionsfront hergeschoben wurde. Im Verpackungsbereich (7) entstand somit ein grossvolumiges Mehlstaub/Luft-Gemisch, das durch den gleichzeitig entstandenen Flammenstrahl entzündet wurde. Die dadurch erfolgte schwere Raumexplosion zerstörte einen Grossteil des Mehlspeichers (6) und führte zu weiteren Folgeexplosionen in angrenzenden Gebäuden, Silos usw.

## Massnahmen

- Vermeiden von Staubablagerungen durch dichte Bauweise, Entstaubungstechnik und Reduzieren von Ablagerungsflächen
- Beseitigen unvermeidbarer Staubablagerungen durch regelmässiges und systematisches Reinigen (Reinigungsplan)
- Vermeiden von Zündquellen in den brand- und explosionsgefährdeten Bereichen
- Bilden von Brandabschnitten, Gebäudeentkopplung

Mit diesen Massnahmen des vorbeugenden und konstruktiven Explosionsschutzes<sup>1)</sup> kann bereits ein hoher Sicherheitsstand erreicht werden. Abhängig von den Möglichkeiten zum Umsetzen dieser Massnahmen (bzw. von deren Qualität) werden zumindest für Teilbereiche wie Rohrleitungen, Silos und Abscheider weitere konstruktive Explosionsschutzmassnahmen<sup>1)</sup> erforderlich sein (z. B. Explosionsdruckentlastung, explosionstechnische Entkopplung).



<sup>1)</sup> Vgl. IVSS-Broschüre „Staubexplosionsschutz an Maschinen und Apparaten - Grundlagen“ (No. 2033)

# Mischanlage für Magnesium (1. Ereignis)

## Staubart

Magnesium

## Verfahrens- und Anlagenbeschreibung

- Herstellen von Mischungen für die Roheisen-Entschwefelung unter Zugabe von Magnesium
- Magnesium wird aus einem aufgesetzten Container (1) im freien Fall durch ein Zuleitungsrohr (2) in einen Mischer (3) gefüllt.

## Schadenablauf

Nach einer gewissen Betriebszeit stellte der Beschäftigte fest, dass entgegen der bisherigen Erfahrung das Material nicht in den Mischer (3) nachrutschte. Mit einer Stocherstange aus Metall versuchte er, durch die Revisionsöffnung (4) das an der verstopften Stelle festsitzende Magnesiumgranulat zu lösen. Hierbei kam es im Zuleitungsrohr (2) zum Mischer (3) zu einer Explosion.

## Schadenausmass

Die aus der Revisionsöffnung (4) herausschlagende Flamme fügte dem Beschäftigten schwere Verbrennungen zu.

## Ursachen

- Die Anlage war nicht durch besondere Massnahmen explosionsgeschützt, weil sie für ein sehr grobkörniges und damit nicht staubexplosionsfähiges Magnesiumgranulat ausgelegt worden war.
- Als das Magnesium von einem anderen Lieferanten bezogen wurde, blieb unberücksichtigt, dass dieses einen deutlich höheren Feinanteil aufwies. Damit lag nun ein staubexplosionfähiges Material vor und bedingt durch sein schlechteres Fliessverhalten kam es zudem zu einer Blockade im Zuleitungsrohr (2).
- Durch das Stochern mit einer Stange aus Metall bildete sich gleichzeitig ein explosionsfähiges Staub/Luft-Gemisch und ein zündwirksamer mechanischer Funke.



### Massnahmen

- Das erneute Verwenden des nicht staubexplosionsfähigen Magnesiumgranulats würde weitere Schutzmassnahmen verzichtbar machen.
- Da das Magnesium mit dem höheren Feinanteil im konkreten Fall weiterhin verwendet werden soll und damit explosionsfähige Magnesiumstaub/Luft-Gemische nicht sicher vermieden werden können, müssen vorbeugende oder konstruktive Schutzmassnahmen getroffen werden. Aufgrund der niedrigen Mindestzündenergie des Magnesiumstaubes kann eine Entzündung nicht sicher ausgeschlossen werden, so dass die vorbeugende Explosionsschutzmassnahme Vermeiden von wirksamen Zündquellen als alleinige Schutzmassnahme nicht ausreicht.
- Im konkreten Fall wurde die Schutzmassnahme Inertisieren <sup>1)</sup> getroffen.

<sup>1)</sup> Vgl. IVSS-Broschüre „Staubexplosionsschutz an Maschinen und Apparaten - Grundlagen“ (No. 2033)

**3**

Die Inertisierung muss auch im Falle einer Betriebsstörung sichergestellt sein.

## Mischanlage für Magnesium (2. Ereignis)

(Es handelt sich um ein zweites Ereignis  
in der im Beispiel 2 beschriebenen Anlage)

### Staubart

Magnesium

### Verfahrens- und Anlagenbeschreibung

- Herstellen von Mischungen für die Roheisen-Entschwefelung unter Zugabe von Magnesium
- Aus einem aufgesetzten Container (1) wird Magnesium im freien Fall durch ein Zuleitungsrohr (2) in einen Mischer (3) gefüllt.
- Die Anlage ist mit der vorbeugenden Explosionsschutzmassnahme Inertisierung (4) geschützt.

### Schadenablauf

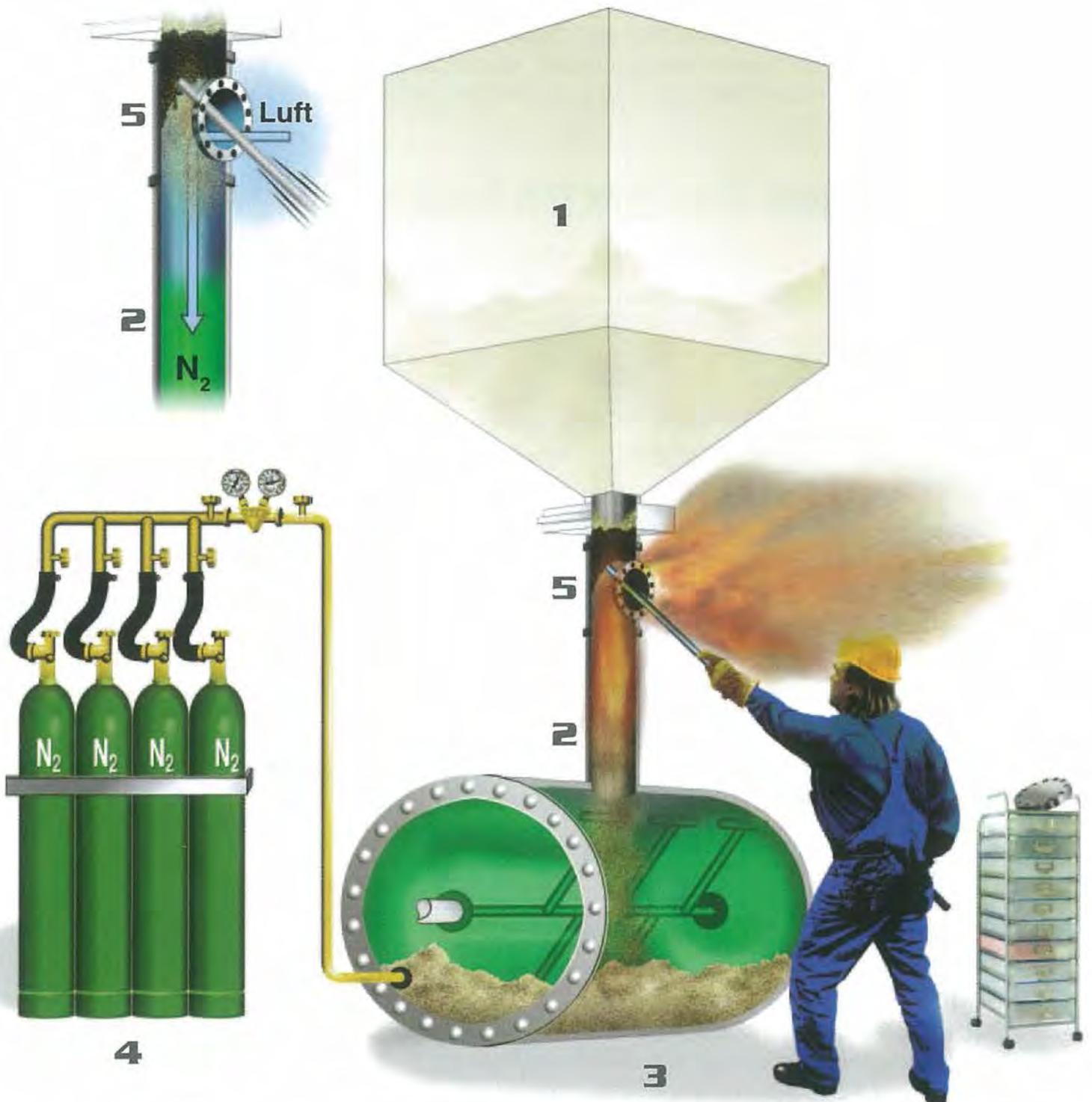
Nach einer gewissen Betriebszeit stellte der Beschäftigte fest, dass das Material nicht in den Mischer (3) nachrutschte. Mit einer Stocherstange aus Metall versuchte er das an der verstopften Stelle festsitzende Magnesium durch die Revisionsöffnung (5) zu lösen. Hierbei kam es im Zuleitungsrohr (2) zum Mischer (3) zu einer Explosion.

### Schadenausmass

Die aus der Revisionsöffnung (5) herausschlagende Flamme fügte dem Beschäftigten schwere Verbrennungen zu.

### Ursachen

- Durch die Revisionsöffnung (5) konnte Luftsauerstoff in das Zuleitungsrohr und den oberen Bereich des Mixers (3) gelangen. Damit wurde die Inertisierung in diesem Bereich unwirksam!
- Durch das Stochern mit einer Stange aus Metall bildete sich gleichzeitig ein explosionsfähiges Staub/Luft-Gemisch und ein zündwirksamer mechanischer Funke.



### Massnahmen

- Durch technische Änderungen im Bereich des Materialeintrags ist ein Verstopfen nach Möglichkeit zu verhindern, z. B. durch Einbau einer Rüttelvorrichtung im Zuleitungsrohr (2).
- Im Falle einer Blockade des Materialflusses im Zuleitungsrohr ist eine Massnahme zum Lösen des festsitzenden Magnesiums zu treffen, ohne dass die Inertisierung unwirksam wird (z. B. möglichst kleine Revisionsöffnung, Überdruck in der inertisierten Anlage - **Achtung Gesundheitsgefährdung** durch Sauerstoffmangel).
- Stocherstangen müssen aus nicht funkenerzeugendem Material (z. B. Holz) bestehen.

**4**

Das Vermeiden wirksamer Zündquellen ist als alleinige Massnahme nur dann ausreichend, wenn alle in Frage kommenden Zündquellen berücksichtigt und sicher ausgeschlossen werden.

# Befüllen eines Mixers mit Kunststoffpulver

## Staubart

Kunststoffpulver

## Verfahrens- und Anlagenbeschreibung

- Mischer (1) mit Eintragsöffnung (2)
- Beschicken von Hand aus Säcken
- Absaugung (3) an der Eintragsöffnung (2)
- Die vollständig aus Metall bestehende Anlage ist mit Massnahmen zum Vermeiden wirksamer Zündquellen geschützt (Erden, Begrenzen der Umfangsgeschwindigkeit des Mischarms (4) usw.).
- Der Boden und die Schuhe des Mitarbeiters sind ableitfähig.

## Schadenablauf

Nach dem Entleeren mehrerer Säcke kam es bei einem weiteren Einfüllvorgang zu einer Staubexplosion im Bereich der Eintragsöffnung (2).

## Schadenausmass

Der Beschäftigte erlitt schwere Verbrennungen im Gesicht und am Oberkörper.

## Ursachen

- Der Beschäftigte stand während des Einfüllvorgangs auf der Schrumpffolie der Palettenverpackung (5) und war somit elektrostatisch isoliert.
- Durch den Arbeitsvorgang hat sich der Mitarbeiter sowohl durch Ladungstrennung (Hin- und Hergehen) als auch über Influenz (Ausschütten des Produktes, Ausschütteln des Plastiksackes) elektrostatisch aufgeladen.
- Eine Funkenentladung vom nicht mehr geerdeten Mitarbeiter (Schrumpffolie am Boden) zu einem geerdeten Anlageteil entzündete das im Einschüttbereich (2) vorhandene, extrem zündempfindliche (Mindestzündenergie  $< 3$  mJ) explosionsfähige Staub/Luft-Gemisch.



## Massnahmen

- Die Massnahme Vermeiden wirksamer Zündquellen muss konsequent durchgeführt werden. Dabei sind zum Vermeiden von Funkenentladungen<sup>1)</sup> allerdings nicht nur leitfähige Anlagenteile zu erden, sondern auch Personen (leitfähiges Schuhwerk, leitfähige Fussböden). Zusätzlich muss darauf geachtet werden, dass keine isolierenden Materialien die Erdung unterbrechen.
- Die Wirksamkeit des Erdens ist durch organisatorische Massnahmen auf Dauer sicherzustellen (z. B. muss im Rahmen einer Betriebsanweisung das Tragen von leitfähigem Schuhwerk und das Sauberhalten/Freihalten des Fussbodens geregelt werden).
- Für Produkte mit sehr niedriger Mindestzündenergie<sup>2) 3)</sup> reichen Massnahmen zum Vermeiden wirksamer Zündquellen alleine nicht aus. In derartigen Fällen sind weitere Massnahmen wie Inertisierung, Explosionsunterdrückung erforderlich.

<sup>1)</sup> Vgl. IVSS-Broschüre „Statische Elektrizität“ (No. 2017)

<sup>2)</sup> Vgl. IVSS-Broschüre „Bestimmen der Brenn- und Explosionskenngrössen“ (No. 2018)

<sup>3)</sup> Vgl. IVSS-Broschüre „Staubexplosionsschutz an Maschinen und Apparaten - Grundlagen“ (No. 2033)

# Absauganlage einer Gummi-Schleifmaschine

## Staubart

Gummi-Schleifabrieb

## Verfahrens- und Anlagenbeschreibung

- Schleifen von Gummiwalzen (1)
- Absauganlage (2) zum Erfassen, Abführen und Abscheiden des Schleifstaubes

## Schadenablauf

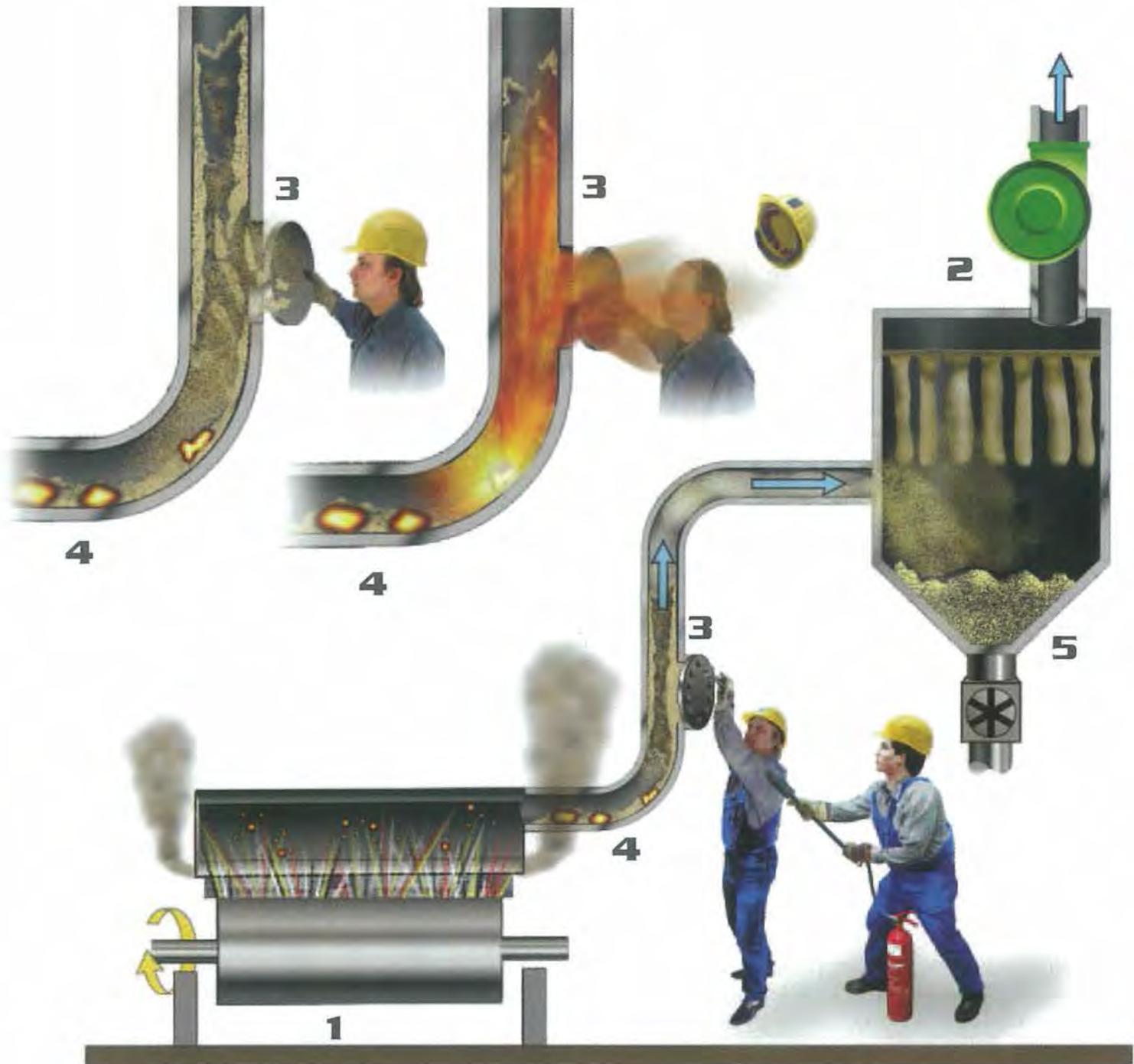
- Veranlasst durch Qualm und Brandgeruch öffneten die Beschäftigten eine Revisionsöffnung (3) in der Saugleitung (4), um den Brand zu bekämpfen.
- Kurz nach dem Abnehmen der Schliessplatte der Revisionsöffnung (3) kam es zu einer Explosion.

## Schadenausmass

Zwei Beschäftigte erlitten schwere Brandverletzungen an Gesicht und Oberkörper.

## Ursachen

- Infolge unzureichender Strömungsgeschwindigkeit und ungünstiger Leitungsführung kam es in der Saugleitung zu Staubablagerungen (4).
- Von der Schleifmaschine (1) erzeugter Funkenwurf entzündete abgelagerten Staub, wodurch sich in der Saugleitung (4) Glimmnester bilden konnten.
- Beim Abnehmen der Schliessplatte wurde der abgelagerte Staub aufgewirbelt. Das dabei entstehende explosionsfähige Gummistaub/Luft-Gemisch in der Saugleitung (4) entzündete sich an einem Glimmnest.



## Massnahmen

- Vermeiden von Staubablagerungen in der Saugleitung (4), durch:
  - technische Massnahmen, d. h. strömungstechnisch günstigere Leitungsführung (z. B. genügend grosse Krümmungsradien) und ausreichende Strömungsgeschwindigkeit,
  - organisatorische Massnahmen, d. h. regelmässiges Kontrollieren und systematisches Reinigen der Leitungen (Reinigungsplan).
- Im Bereich der Schleifmaschine lassen sich Zündquellen nicht mit Sicherheit vermeiden, so dass die Zündquellenübertragung in den Abscheider (5) verhindert werden muss, z. B. mittels einer Funkenlöschanlage.
- In der Betriebsanweisung muss geregelt sein, wie im Falle eines trotzdem auftretenden Brandes zu verfahren ist (z. B. Absaugung abstellen, geeignete Lösch- oder Inertisierungsmassnahmen einleiten, Anlage möglichst geschlossen halten).

# Absauganlage für Kohlenstaub

## Staubart

Kohle

## Verfahrens- und Anlagenbeschreibung

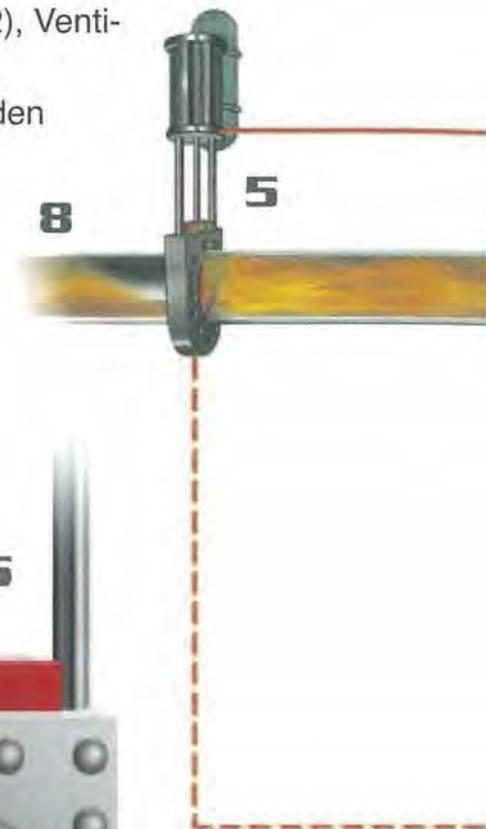
- Zentrale Entstaubungsanlage mit Hauptfilter (1), Polzeifilter (2), Ventilator (3) und Staubbunker (4)
- Hauptfilter (1) durch explosionsdruckstossfeste Bauweise für den maximalen Explosionsüberdruck geschützt
- Entkopplung des Hauptfilters (1)
  - Rohluftseitig durch Explosionsschutzschieber (5)
  - Zum Polzeifilter (2) durch ein einseitig fremdbetätigtes Explosionsschutzventil (6)
  - Zum Staubbunker (4) durch Doppelschieber (7)

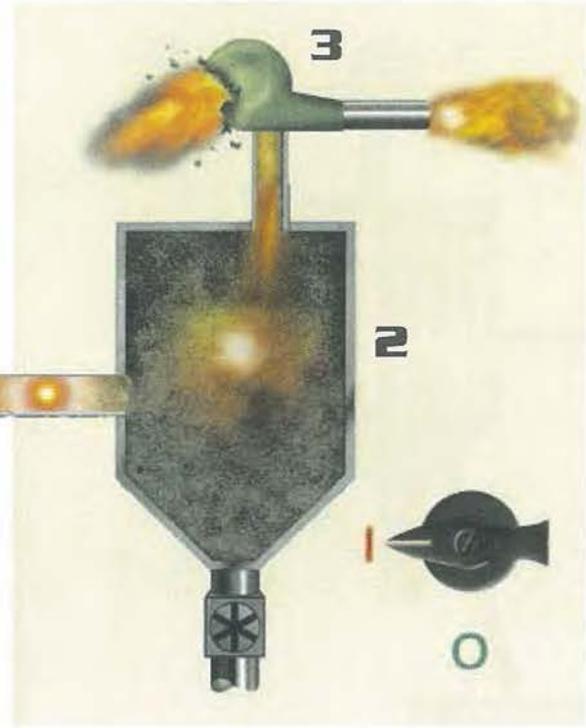
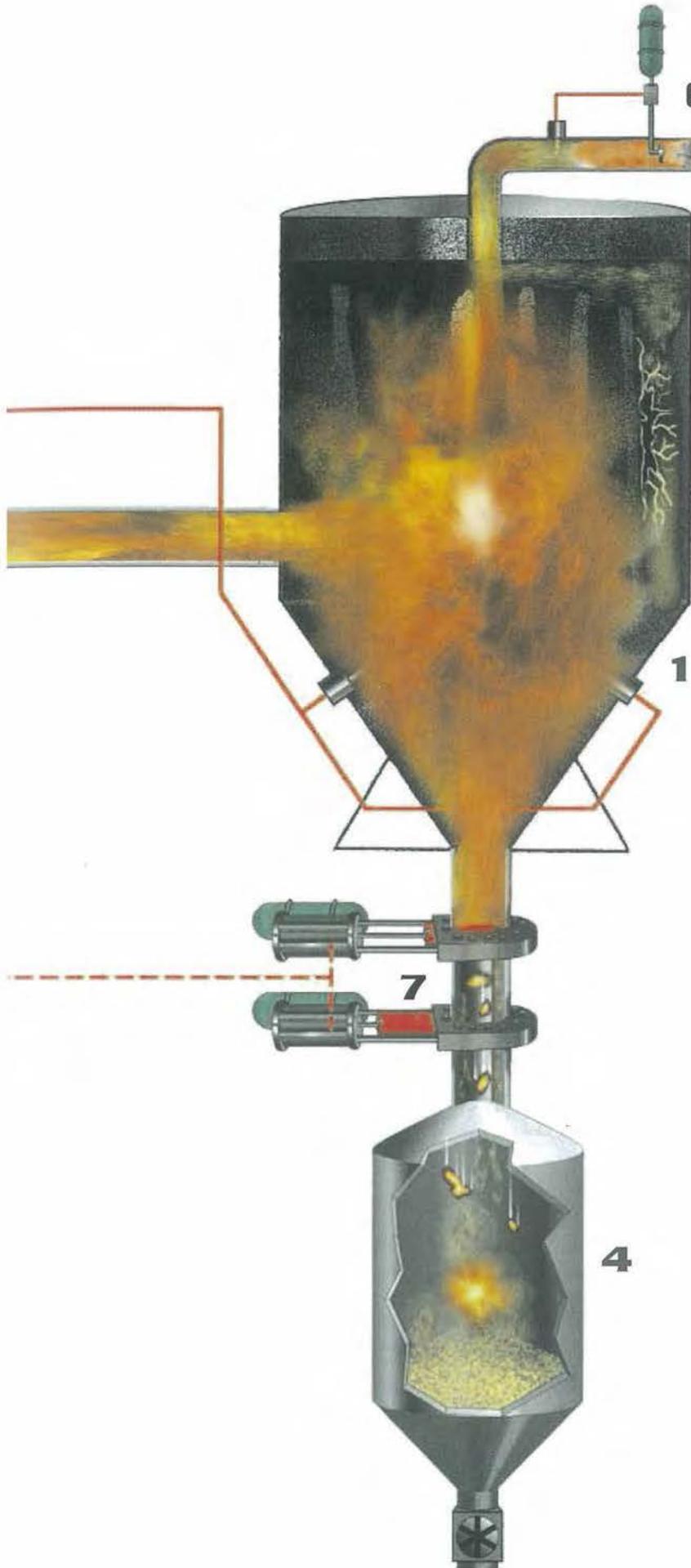
## Schadenablauf

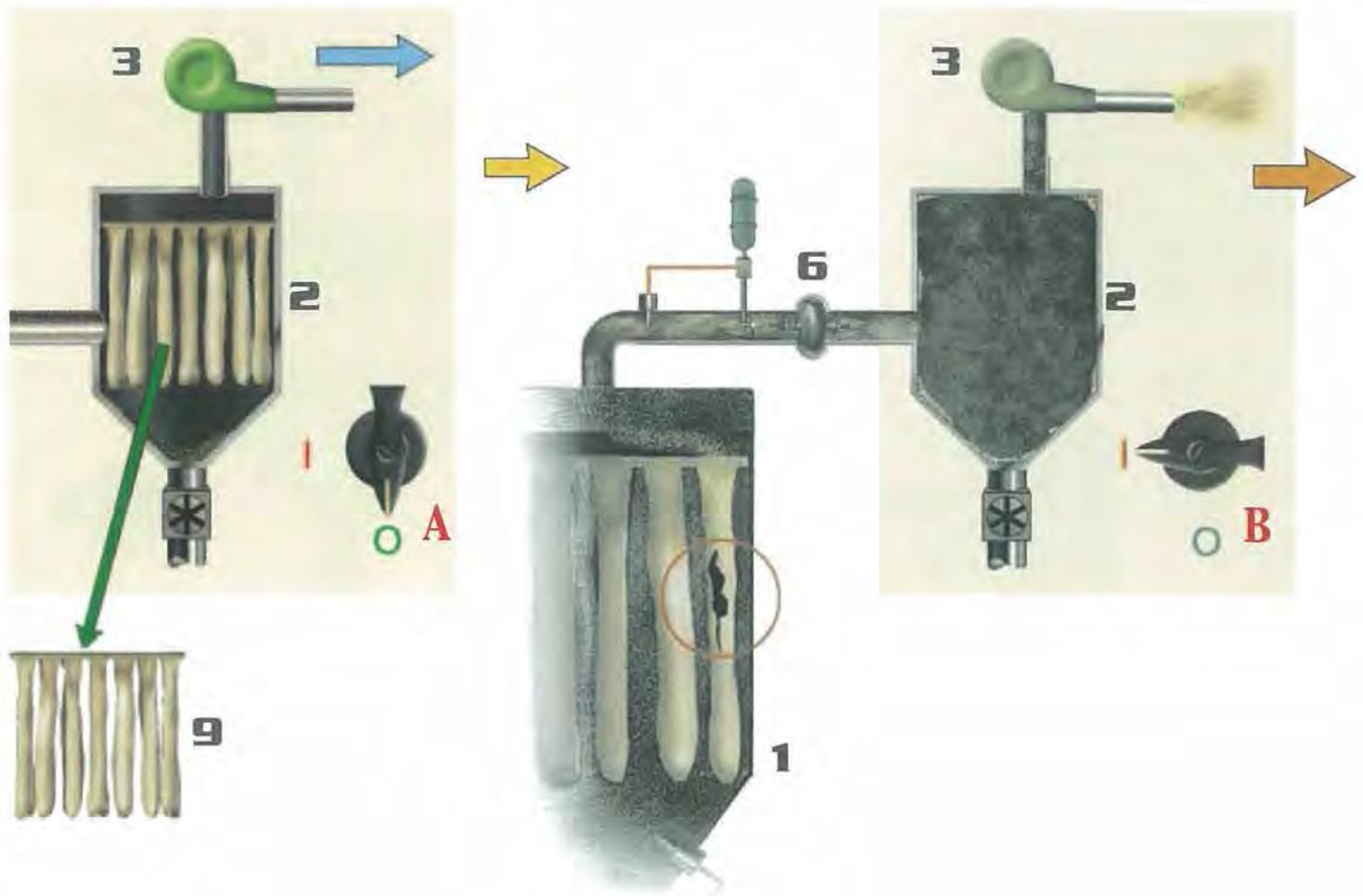
- Kurz nach dem Einschalten der Entstaubungsanlage kam es zuerst zu einer Explosion im Ventilator-/Polzeifilter-Bereich (3)/(2), dann im Hauptfilter (1) und im Staubbunker (4).

## Schadenausmass

- Mechanische Zerstörung des Polzeifilters (2)
- Folgebrände im Hauptfilter (1) und im Staubbunker (4)
- Ausblasen von brennendem Staub in die Betriebsräume über die Rohluftleitung (8)

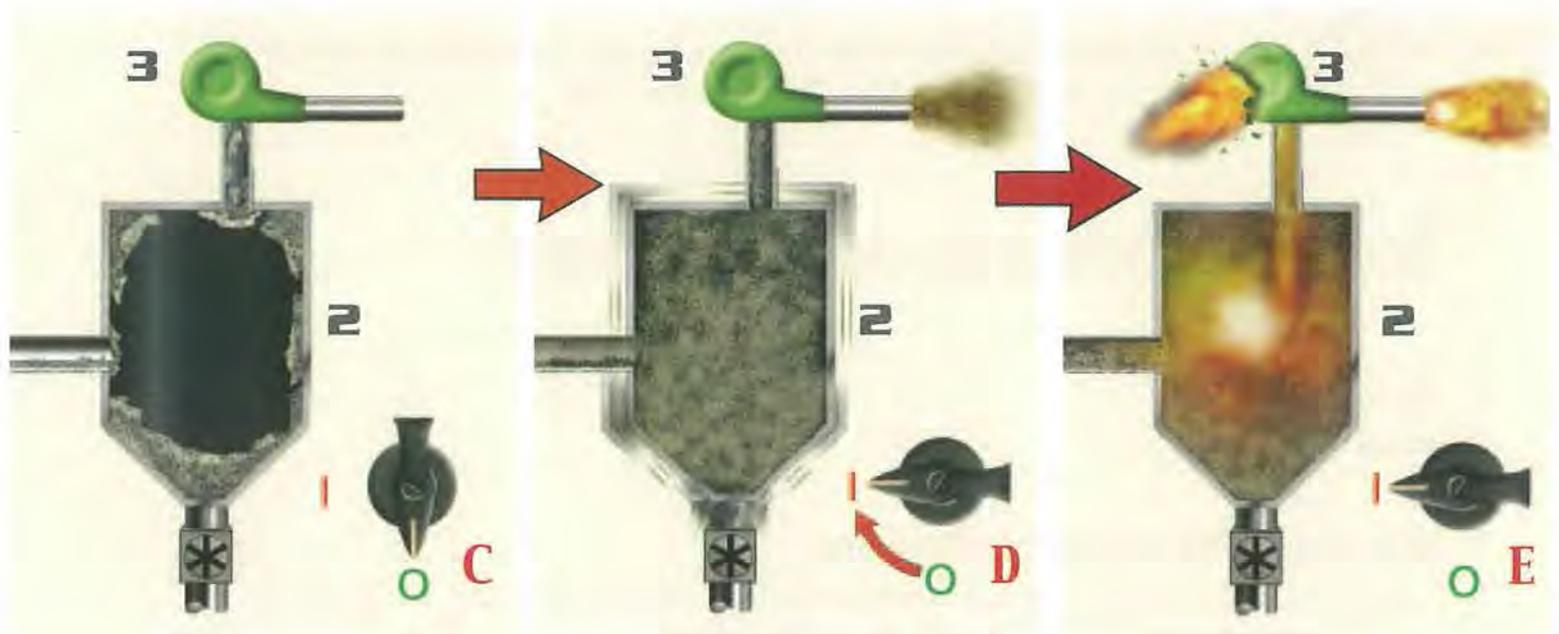






## Ursachen

- Da bei Wartungsarbeiten das Filtertuch (9) aus dem Polzeifilter (2) entfernt und nicht mehr eingesetzt wurde, konnte dieser seine Schutzfunktion als zusätzlicher Staubabscheider nicht mehr erfüllen [A]. Infolge eines unbemerkten Filterdurchbruchs im Hauptfilter (1) strömte über die Reinluftseite und den Ventilator (3) ein nicht explosionsfähiges Staub/Luft-Gemisch [B]. Dabei kam es zu unzulässig hohen Staubablagerungen im Polzeifilter (ohne Filtertuch) und Ventilator [C]. Beim Wiedereinschalten der Entstaubungsanlage wurde dieser abgelagerte Staub aufgewirbelt, so dass sich ein jetzt explosionsfähiges Staub/Luft-Gemisch im Ventilatorbereich bilden [D] und entzünden konnte [E]. Vermutlich kam es infolge der aussergewöhnlich hohen Staubbelastung zur Entzündung im nicht explosionsgeschützten Ventilator (3) (Zündquelle).
- Da das Explosionsschutzventil (6) so ausgelegt wurde, dass es nur im Falle einer Explosion im Hauptfilter (1) ansprechen konnte, kam es zur Explosionsübertragung aus dem Ventilator-/Polzeifilterbereich (3)/(2) in das Hauptfilter (1).
- Der Explosionsschutzschieber (5) war so eingebaut worden, dass die Führungsnut für das Schieberblatt sich mit Staub auffüllen konnte und somit ein vollständiges Schliessen des Schiebers nicht mehr möglich war.



- Beide Schieber des Doppelschiebers (7) sollten im Explosionsfall über den Endschalter am Explosionsschutzschieber (5) aktiviert und damit geschlossen werden. Da der Endschalter des Explosionsschutzschiebers (5) wegen der Staubablagerungen den Doppelschieber (7) nicht auslöste, wurde brennendes Material in den Staubbunker gefördert. Dies führte dort zu einer weiteren Explosion.

### Massnahmen

- Schutzkomponenten (z. B. Polzeifilter) dürfen nicht verändert werden. Dem ist durch entsprechende Betriebsanweisungen, gegebenenfalls aber auch durch technische Massnahmen (z. B. Verriegelungen) Rechnung zu tragen.
- Schutzkomponenten (z. B. Explosionsschutzschieber) müssen nach Herstellerangaben und unter Berücksichtigung der Betriebsverhältnisse eingebaut werden.
- Die Instandhaltung muss alle Sicherheitsfunktionen einschliessen (z. B. das tatsächliche Schliessen eines Explosionsschutzschiebers).
- Der Doppelschieber (7) sollte auf eine eigene Branderkennung und/oder direkt auf die Druckmeldung der Sensoren im Silo (1) ansprechen.

# Schweissarbeiten an einem Stärkesilo

## Staubart

Maisstärke

## Verfahrens- und Anlagenbeschreibung

- Silo (1) mit konstruktivem Explosionsschutz (Explosionsdruckentlastung (2), explosionstechnischer Entkopplung durch Zellenradschleuse (3) und Explosionsschutzschieber (4))
- Aufstellungsort innerhalb des Gebäudes
- Pneumatisches Beschicken des Silos

## Schadenablauf

Bei Schweissarbeiten an der Silozelle (1) während des Beschickungsvorgangs ereignete sich die Staubexplosion.

## Schadenausmass

- Durch die Explosionsdruckentlastung (2) in den Raum wurde das Dach des Gebäudes zerstört und herabstürzende Teile verletzten den Schweisser schwer.
- Aufgrund der ausreichend dimensionierten Explosionsdruckentlastung blieb die Silozelle (1) unbeschädigt.

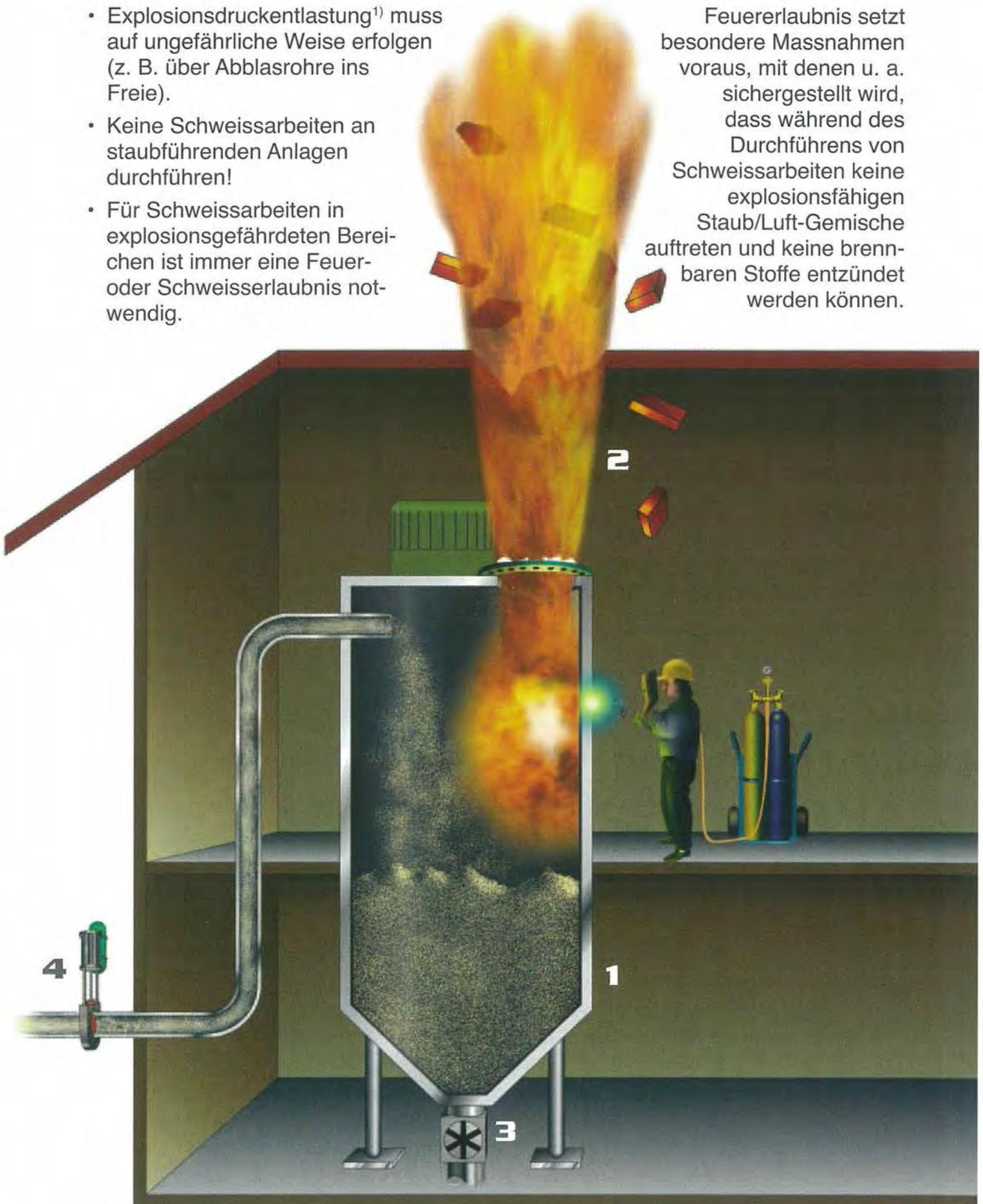
## Ursachen

- Schweissarbeiten an einer in Betrieb stehenden, staubführenden Anlage
- Unkontrollierte Explosionsdruckentlastung (2) in den Arbeitsraum (fehlende Abblasrohre in ungefährliche Bereiche)

## Massnahmen

- Explosionsdruckentlastung<sup>1)</sup> muss auf ungefährliche Weise erfolgen (z. B. über Abblasrohre ins Freie).
- Keine Schweissarbeiten an staubführenden Anlagen durchführen!
- Für Schweissarbeiten in explosionsgefährdeten Bereichen ist immer eine Feuer- oder Schweisserlaubnis notwendig.

Feuererlaubnis setzt besondere Massnahmen voraus, mit denen u. a. sichergestellt wird, dass während des Durchführens von Schweissarbeiten keine explosionsfähigen Staub/Luft-Gemische auftreten und keine brennbaren Stoffe entzündet werden können.



<sup>1)</sup> Vgl. IVSS-Broschüre „Staubexplosionsschutz an Maschinen und Apparaten - Grundlagen“ (No. 2033)



**Nichteinhalten bzw. Abweichen von Betriebsanweisungen kann zu schwerwiegenden Explosionsereignissen führen.**

# Stromtrockner<sup>1)</sup> für ABS-Pulver

## Staubart

ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer)

## Verfahrens- und Anlagenbeschreibung

Der Stromtrockner besteht aus Stromrohr (1) mit vorgeschaltetem, dampfbeheiztem Heizregister (3), Produktzuführung (2) und nachgeschaltetem Abscheider (4). Da die Mindestzündenergie extrem niedrig und eine Selbstentzündung<sup>2)</sup> von ABS-Pulver bei Vorhandensein von Luftsauerstoff nicht auszuschliessen ist, wird die Anlage mittels Stickstoff (5) inertisiert.

Zum Vermeiden von Selbstentzündungen sind in der Betriebsanweisung folgende Massnahmen zum Herunterfahren der Anlage vorgeschrieben:

- Unterbrechen der Dampfzufuhr im Heizregister (3),
- Abkühlen der Anlage unter Beibehaltung des Stickstoffkreislaufes bis die Temperatur im Heizregister 60 °C oder weniger beträgt (erfahrungsgemäss 60 Minuten),
- Umstellen von Stickstoff- auf Luftbetrieb,
- Öffnen der Reinigungsklappe (6) und Entfernen des abgelagerten Materials.

## Schadenablauf

- Die Anlage wurde zu Reinigungszwecken abgestellt, d. h. die Dampfzufuhr unterbrochen, entgegen der Betriebsanweisung sofort von Stickstoff- auf Umluftbetrieb umgestellt und kurz danach die Reinigungsklappe (6) am Heizregister (3) geöffnet.
- Infolge der langen Verweilzeit der Staubablagerungen im Bereich hoher Temperaturen kam es zu einer stärkeren Erhitzung des abgelagerten Staubes am Heizregister (3). Beim Aufheben der Inertisierung kam es zur Selbsterhitzung und schliesslich zur Selbstentzündung.
- Aufgrund der weiteren Luftzufuhr beim Öffnen der Reinigungsklappe (6) bildete sich ein Brand.
- Zwei an der Nachbaranlage beschäftigte Mitarbeiter sahen Rauchwolken und versuchten sofort den Brand mittels Löschpulver zu löschen. Das mit hohem Druck austretende Löschpulver richteten sie direkt auf den abgelagerten ABS-Staub.
- Durch Einsatz des Pulverlöschers wurde der ABS-Staub aufgewirbelt, bildete ein gefährliches explosionsfähiges Staub/Luft-Gemisch, das an der Brandstelle am Heizregister noch während des Löschvorganges entzündet wurde.
- Durch die Explosion wurde brennendes Material in Richtung der löschenden Beschäftigten geschleudert.

<sup>1)</sup> Vgl. IVSS-Broschüre „Staubexplosionsschutz an Maschinen und Apparaten - Beispielsammlung“

<sup>2)</sup> Vgl. IVSS-Broschüre „Explosionskenngrössen von Stäuben“ (No. 2018)

## Schadenausmass

- Ein Schwer- und ein Leichtverletzter
- Teilweise Zerstörung des Stromtrockners

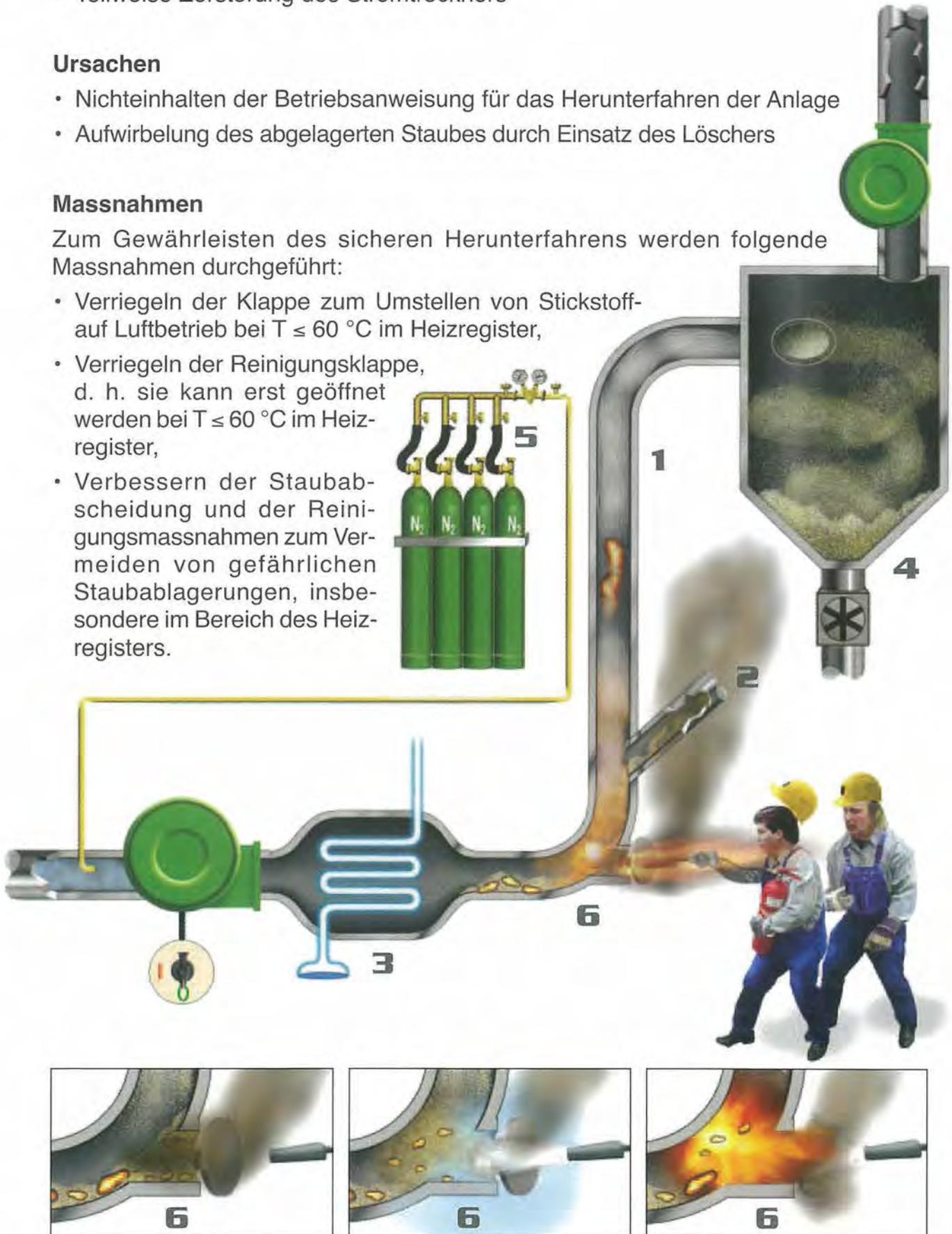
## Ursachen

- Nichteinhalten der Betriebsanweisung für das Herunterfahren der Anlage
- Aufwirbelung des abgelagerten Staubes durch Einsatz des Löschers

## Massnahmen

Zum Gewährleisten des sicheren Herunterfahrens werden folgende Massnahmen durchgeführt:

- Verriegeln der Klappe zum Umstellen von Stickstoff- auf Luftbetrieb bei  $T \leq 60^\circ\text{C}$  im Heizregister,
- Verriegeln der Reinigungsklappe, d. h. sie kann erst geöffnet werden bei  $T \leq 60^\circ\text{C}$  im Heizregister,
- Verbessern der Staubabscheidung und der Reinigungsmassnahmen zum Vermeiden von gefährlichen Staubablagerungen, insbesondere im Bereich des Heizregisters.





Mit explosionstechnischer Entkopplung wird das Ausbreiten einer Explosion in ungeschützte Bereiche verhindert.

# Holzspänefeuerung

## Staubart

Holz

## Verfahrens- und Anlagenbeschreibung

- Spänefeuerungsanlage mit automatischer Beschickung aus dem Spänesilo (1) über eine Zellenradschleuse (2) in den Ofenraum (3)
- Gelegentliches Beschicken der Feuerungsanlage von Hand (4)

## Schadenablauf

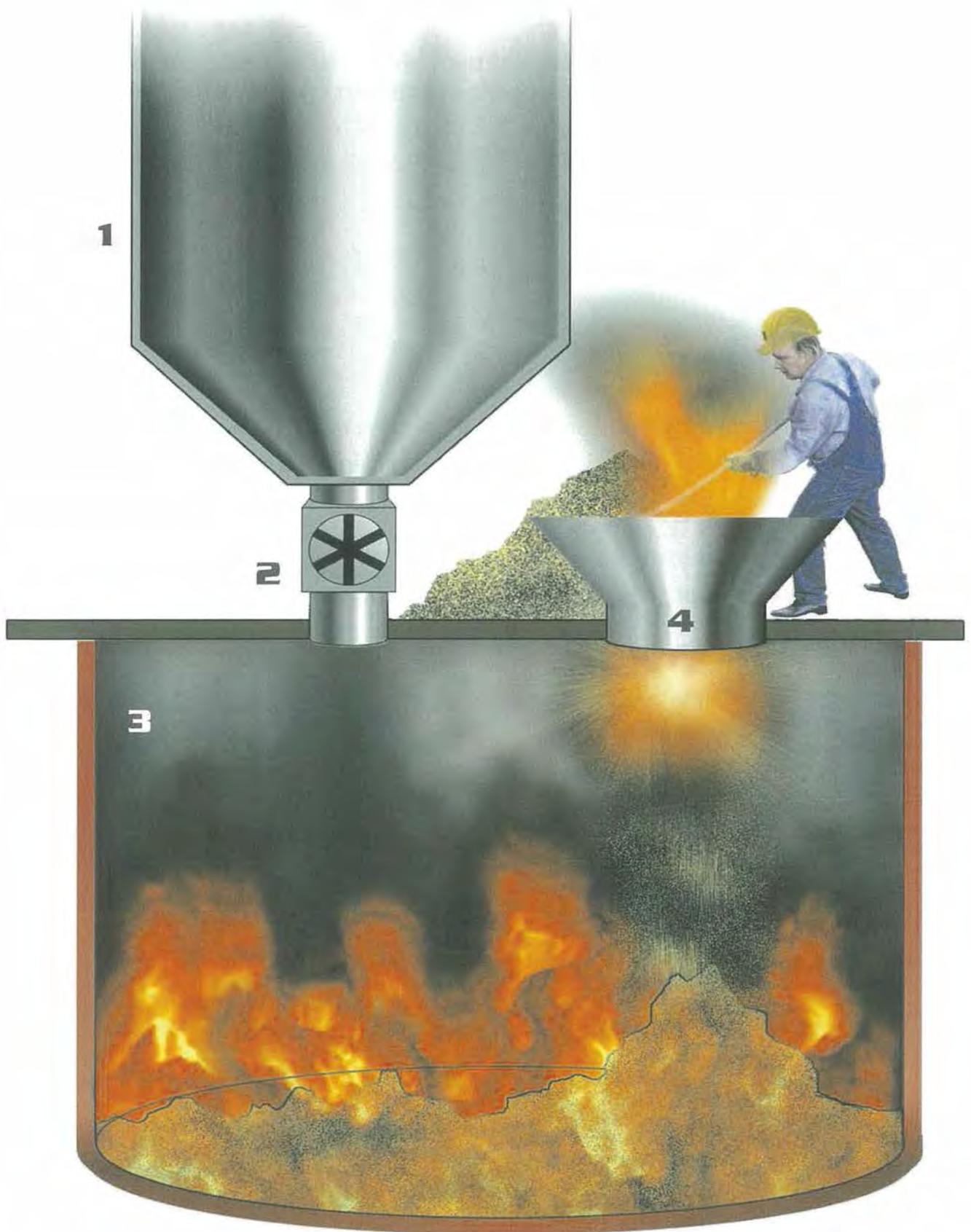
- Wegen vorgesehener Reinigungsarbeiten wurde der Ofen (3) leergefahren.
- Es sollten jedoch noch einige Abfälle verbrannt und zu diesem Zweck von Hand aufgegeben werden (4).
- Beim Eintrag des staubhaltigen Abfalls kam es zu einer Explosion. Die Explosionsflamme schlug durch die Beschickungsöffnung (4) heraus.

## Schadenausmass

Der Beschäftigte zog sich Verbrennungen mittleren Grades im Gesicht und an den Armen zu.

## Ursachen

- Beim Beschicken von Hand konnte sich im fast leeren Verbrennungsraum (3) wegen des hohen Staubanteils in den Holzabfällen eine grössere zusammenhängende Staubwolke bilden.
- An der am Boden des Ofens (3) noch vorhandenen Glut entzündete sich das Staub/Luft-Gemisch.
- Infolge einer fehlenden Entkopplung schlug die Explosionsflamme in den Betriebsraum.



### Massnahmen

- Bei der Beschickung von Hand (4) mit Holzspänen mit gefährlich hohem Staubanteil muss die Massnahme explosionstechnische Entkopplung, z. B. über geeignete Schleusen, getroffen werden.
- Auch für den Ausnahmebetrieb muss eine Betriebsanweisung vorhanden sein.

# Aluminiumschleiferei

## Staubart

Aluminium

## Verfahrens- und Anlagenbeschreibung

- Bearbeiten (Schleifen, Polieren) von Werkstücken aus Aluminiumguss (1)
- Zentrale Entstaubungsanlage (2) für die verschiedenen Schleifplätze (Schleifböcke)(1)
- Nassabscheider (3) ausserhalb des Gebäudes mit nachgeschaltetem Ventilator (4) und teilweiser Luftrückführung (5)
- Rückluftkanal (6) über die ganze Stirnseite der Schleiferei unterhalb der Decke

## Schadenablauf

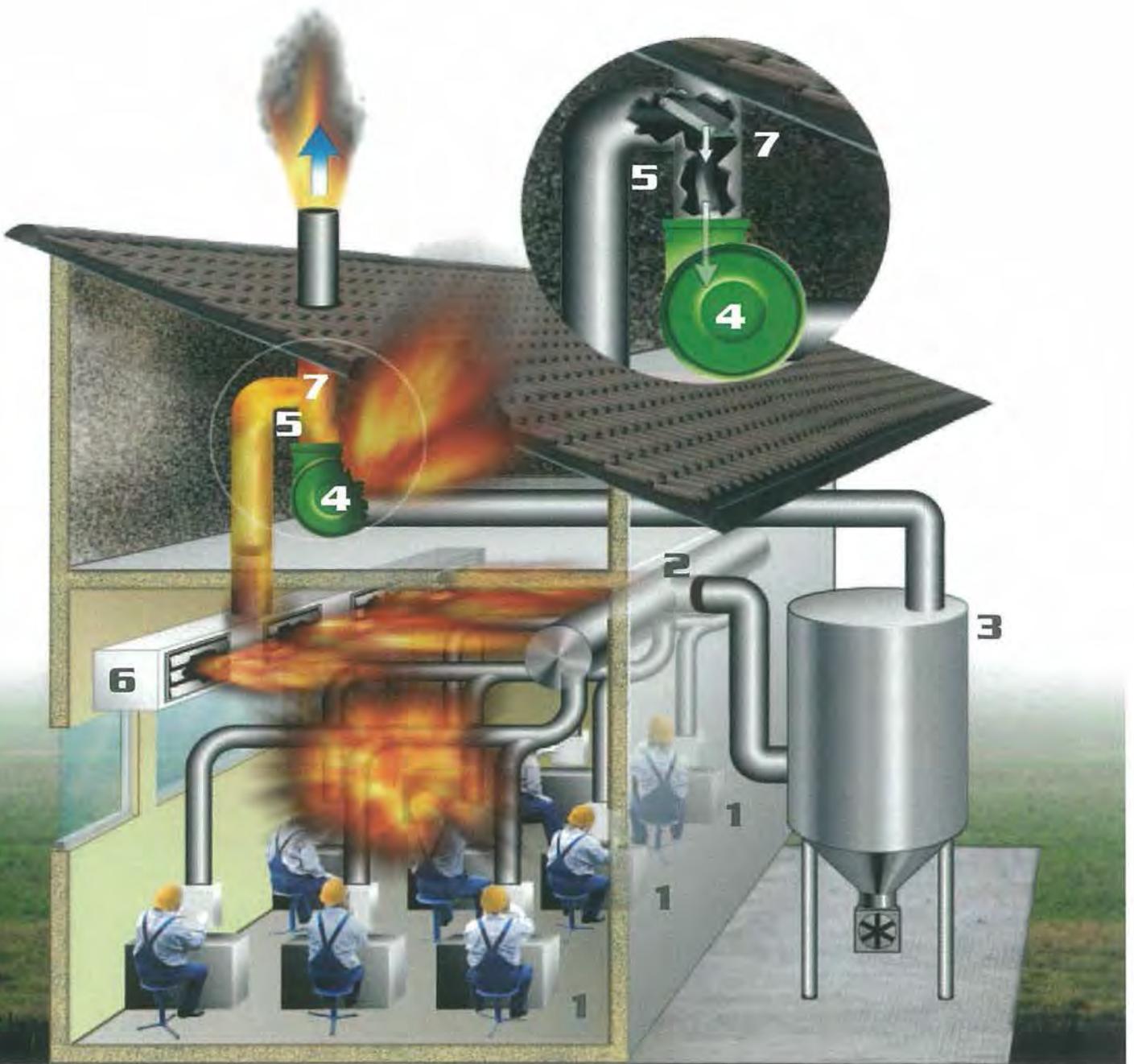
- Erste Explosion im Ventilatorbereich (4), ausgelöst durch die in den Ventilator (4) hineingefallene Fortluftklappe (7)
- Explosionsübertragung in den Rückluftkanal (6)
- Aufwirbeln des in grossen Mengen im Rückluftkanal (6) abgelagerten Feinstaubes durch die Druckwelle
- Bildung eines grossvolumigen explosionsfähigen Staub/Luft-Gemisches im Schleifraum, das durch die nacheilende Flammenfront entzündet wurde

## Schadenausmass

- Alle acht im Schleifraum tätigen Personen wurden vom Feuerball erfasst. Sechs verstarben noch am Unfallort, zwei erlagen in den folgenden Tagen ihren schweren Brandverletzungen.
- Die Schleiferei wurde vollständig zerstört.

## Ursachen

- Der schlechte Wartungszustand der Entstaubungsanlage (u. a. undichte Rohrleitungen, mangelhafte Füllstandskontrolle des Nassabscheiders (3)) führte zu einer starken reinluftseitigen Staubbelastung und damit zu grossen Ablagerungen im Bereich des Ventilators (4) und des Rückluftkanals (6).
- Infolge einer gebrochenen Welle konnte die Fortluftklappe (7) in den Ventilator (4) fallen. Hierdurch wurde einerseits der abgelagerte Staub aufgewirbelt und andererseits die Zündquelle (Funken bzw. heisse Oberflächen) erzeugt, die das explosionsfähige Aluminiumstaub/Luft-Gemisch entzündete.



## Massnahmen

Neben den getroffenen vorbeugenden Schutzmassnahmen sind organisatorische Massnahmen<sup>1)</sup> erforderlich:

- Grundsätzlich erfüllt ein Nassabscheider seine Schutzfunktion (Vermeiden explosionsfähiger Staub/Luft-Gemische) nur bei entsprechender Instandhaltung.
- Da man auch bei gutem Wartungszustand des Abscheidesystems auf der Reinluftseite mit Staubanfall rechnen muss,
  - ist es angezeigt, auf einen Rückluftbetrieb zu verzichten und den Reinluftbereich durch regelmässiges Kontrollieren und Reinigen staubfrei zu halten
  - oder
  - wenn trotzdem eine Luftrückführung installiert wird (z. B. um Energie zu sparen), müssen durch technische Massnahmen (z. B. Vermeiden von Ablagerungsflächen) in Verbindung mit regelmässigem Reinigen (Reinigungsplan) gefährliche Staubablagerungen sowohl in den Rückluftleitungen als auch in den Arbeitsräumen vermieden werden.

<sup>1)</sup> Vgl. IVSS-Broschüre „Staubexplosionen“ (No. 2044)



Lösemitteldämpfe können auch noch nach dem Trocknen von lösemittelfeuchtem Produkt freigesetzt werden.

# Mahlen von lösemittelfeuchtem Produkt <sup>1)</sup>

## Staubart

Kunststoffadditiv

## Verfahrens- und Anlagenbeschreibung

- Das Produkt wird vorgängig aus brennbarem Lösemittel in einem Schaufeltrockner unter Vakuum und erhöhter Temperatur getrocknet und anschliessend in Metallfässer abgefüllt. Die Produktspezifikation für die Restfeuchte beträgt 0,5 Gew.-%. Ein Produkt mit diesen Spezifikationen bildet in der Regel nach dem Trocknen keine hybriden Gemische.
- Pro Mahlvorgang (Batch) werden ca. 2 t des Produktes aus den Metallfässern (1) über eine Eintragsvorrichtung (2) in eine Schleudersiebmaschine (3) mit Lochblechzylinder und Abstreifer eingetragen und zerkleinert.
- Aus der Schleudersiebmaschine (3) wird das Produkt durch ein Abwurfrohr, das eine Weiche (4) zu einer zweiten Eintragsstelle (5) aufweist, in einen Auffangbunker (6) eingetragen.
- Der Auffangbunker (6) besitzt ein Aufsatzfilter (7) zum Druckausgleich.
- Die Anlage besteht aus rostfreiem Stahl und ist geerdet.
- Das getrocknete Produkt ist hochisolierend.

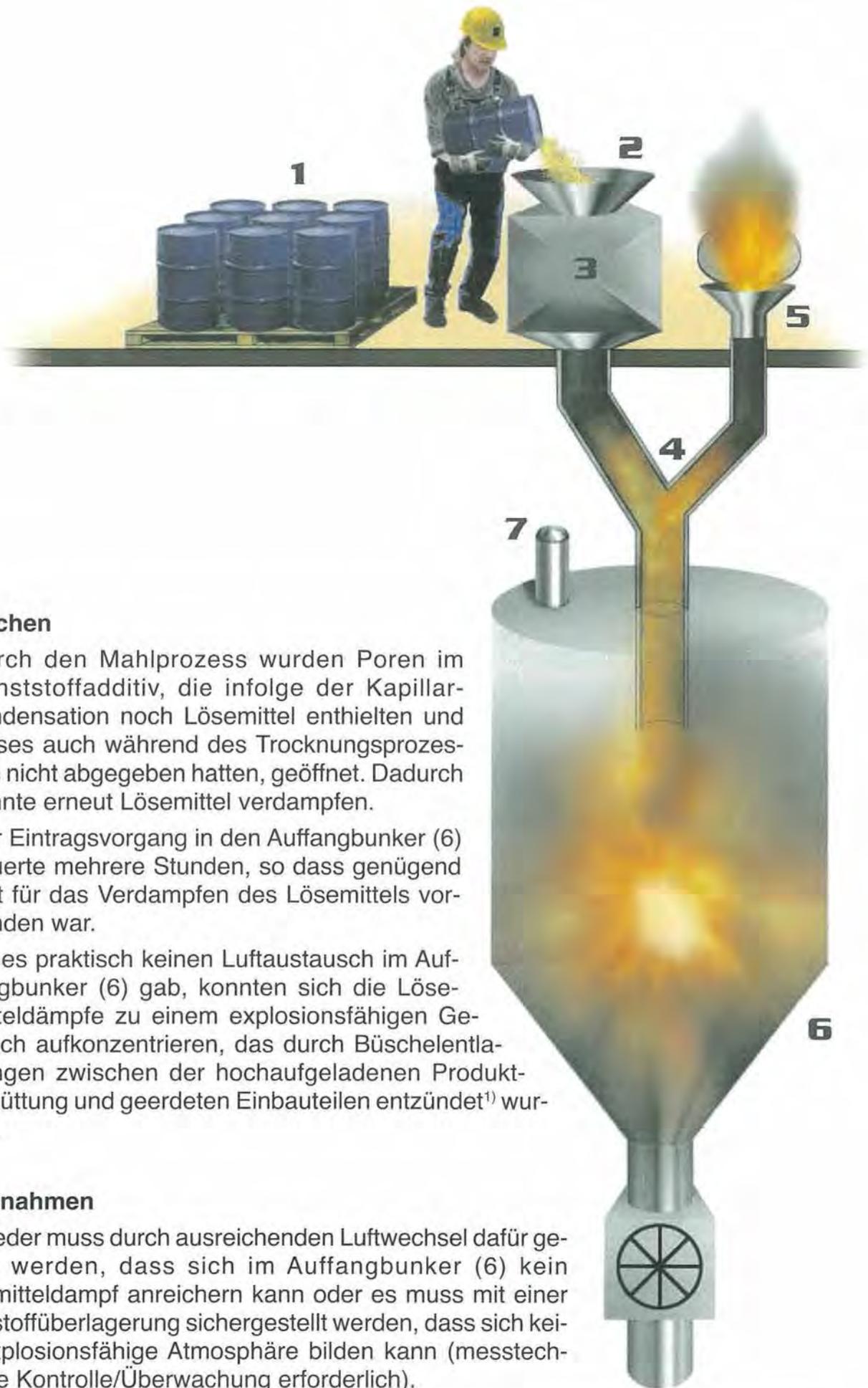
## Schadenablauf

Das Produkt eines Batches, dessen Lösemittelrestfeuchte knapp unterhalb von 0,5 Gew.-% (Grenzwert) lag, wurde langsam (während mehrerer Stunden) in die Schleudersiebmaschine (3) und den nachgeschalteten Auffangbunker (6) eingetragen. Nach dem Eintrag von ca. 1 t Produkt erfolgte eine heftige Explosion im Auffangbunker (6), welche über die Weiche (4) zurück zur nicht in Betrieb stehenden Eintragsstelle (5) schlug.

## Schadenausmass

- Der Mitarbeiter erlitt einen Schock.
- Der Auffangbunker (6) im unteren Stockwerk wurde deformiert. Das Aufsatzfilter (7) wurde weggeschleudert. Der Abwurfschacht unterhalb der Siebmühle (3) wurde aufgerissen, während der zweite unterhalb der anderen Eintragsstelle (5) deformiert wurde.

<sup>1)</sup> Schon bei einer Beimischung von Dämpfen brennbarer Lösemittel geringer Konzentration (unterhalb der unteren Explosionsgrenze) kann die Zündempfindlichkeit einer Staubwolke stark erhöht werden (Bildung eines hybriden Gemisches), so dass zusätzliche Zündquellen wirksam werden können.



### Ursachen

- Durch den Mahlprozess wurden Poren im Kunststoffadditiv, die infolge der Kapillarkondensation noch Lösemittel enthielten und dieses auch während des Trocknungsprozesses nicht abgegeben hatten, geöffnet. Dadurch konnte erneut Lösemittel verdampfen.
- Der Eintragsvorgang in den Auffangbunker (6) dauerte mehrere Stunden, so dass genügend Zeit für das Verdampfen des Lösemittels vorhanden war.
- Da es praktisch keinen Luftaustausch im Auffangbunker (6) gab, konnten sich die Lösemitteldämpfe zu einem explosionsfähigen Gemisch aufkonzentrieren, das durch Büschelentladungen zwischen der hochaufgeladenen Produktschüttung und geerdeten Einbauteilen entzündet<sup>1)</sup> wurde.

### Massnahmen

Entweder muss durch ausreichenden Luftwechsel dafür gesorgt werden, dass sich im Auffangbunker (6) kein Lösemitteldampf anreichern kann oder es muss mit einer Stickstoffüberlagerung sichergestellt werden, dass sich keine explosionsfähige Atmosphäre bilden kann (messtechnische Kontrolle/Überwachung erforderlich).

<sup>1)</sup> Büschelentladungen sind in Abwesenheit von brennbaren Gasen und Dämpfen für reine Stäube nicht zündwirksam.

# Entleeren von Schüttgutbehältern (FIBC)

## Staubart

Kunststoffadditiv

## Verfahrens- und Anlagenbeschreibung

- Das Produkt wurde in leitfähigen Schüttgutbehältern (FIBC Typ C) (1) angeliefert.
- Die Schüttgutbehälter (1) hatten ableitfähige Hebeschlaufen (2) und seitlich angebrachte Erdungsglaschen (3).
- Aufhängekreuz aus Metall (4) mit Kunststoffseil (5) zum Hebekran
- Einfülltrichter (6) mit Dichtungseinrichtung (7)
- Silo zur Zwischenlagerung des Produktes (8)

## Schadenablauf

- Beim Entleeren eines Schüttgutbehälters (1) trat staubförmiges Kunststoffadditiv zwischen dem Auslassschlauch (7) und dem Einfülltrichter (6) infolge mangelhafter Abdichtung aus.
- Zum Beheben dieses Dichtungsproblems hat der verantwortliche Operator zwei weitere Mitarbeiter zugezogen.
- Kurze Zeit später kam es in der Umgebung des Einfülltrichters (6) und im Schüttgutbehälter (1) zu einer Staubexplosion.

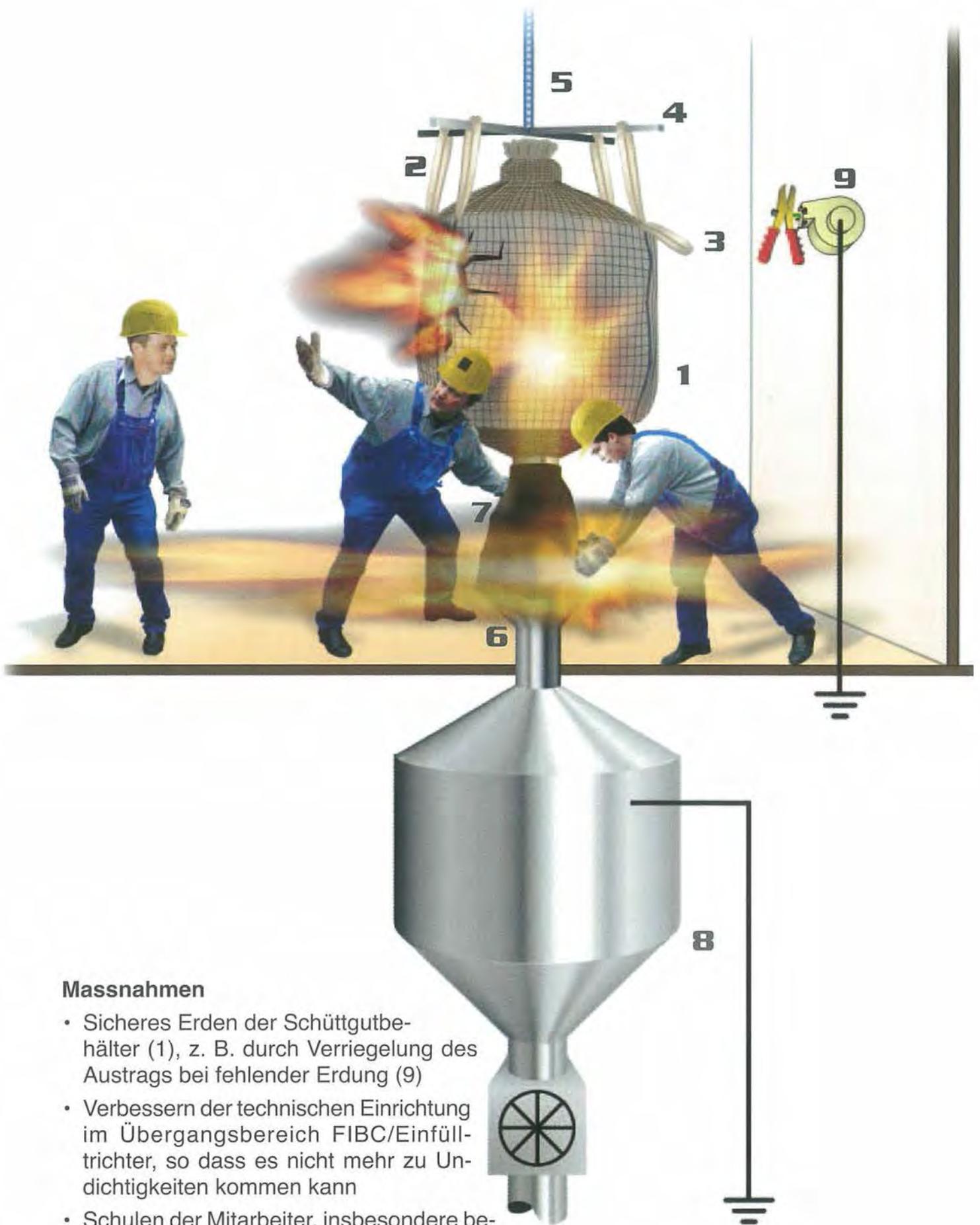
## Schadenausmass

Infolge der Dichtungsprobleme und der austretenden Staubwolke standen drei Mitarbeiter in einem weit über den Normalfall hinausgehenden Gefahrenbereich.

- Die drei beteiligten Mitarbeiter erlitten schwerste Verbrennungen.
- Im Rahmen einer Schadenersatzklage mussten die beteiligten Firmen einen Betrag in zweistelliger Millionenhöhe in Euro bezahlen.

## Ursachen

- Infolge der Dichtungsprobleme wurde vergessen den Schüttgutbehälter (1) zu erden (9), so dass er sich beim Entleeren elektrostatisch aufladen konnte.
- Nach Erreichen der Durchbruchfeldstärke kam es zu einer elektrostatischen Entladung zum geerdeten Einfülltrichter (6).
- Die in der Umgebung des Einfülltrichters (6) und im Schüttgutbehälter (1) vorhandene Staubwolke wurde dadurch entzündet.



### Massnahmen

- Sicheres Erden der Schüttgutbehälter (1), z. B. durch Verriegelung des Austrags bei fehlender Erdung (9)
- Verbessern der technischen Einrichtung im Übergangsbereich FIBC/Einfülltrichter, so dass es nicht mehr zu Undichtigkeiten kommen kann
- Schulen der Mitarbeiter, insbesondere betreffend der Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Vgl. IVSS-Broschüre „Statische Elektrizität“ (No. 2017)



# Übersicht der wichtigsten Explosionsschutzmassnahmen

## Vorbeugender Explosionsschutz - Verhindern des Eintretens einer Explosion

- Vermeiden explosionsfähiger Staub/Luft-Gemische
  - Brennbare Stoffe durch unbrennbare Stoffe ersetzen
  - Brennbare Stoffe in möglichst grober Körnung handhaben
  - Konzentrationsbegrenzung bzw. Mengenbegrenzung
  - Geschlossene Anlagen, dichte Bauweise
  - Entstaubungstechnische Massnahmen
  - Reinigung (regelmässig, Reinigungsplan)
  - Staubablagerungen durch Oberflächengestaltung vermeiden
  - Inertisieren
- Vermeiden wirksamer Zündquellen
  - Temperaturen von heissen Oberflächen begrenzen
  - Feuerarbeiten, Rauchen untersagen
  - Geeignete elektrische und mechanische Betriebsmittel einsetzen
  - Elektrostatische Entladungsvorgänge vermeiden (Materialauswahl, Erden)
  - Reib- und Schleifvorgänge vermeiden (Geschwindigkeiten begrenzen, Materialauswahl, Wandabstände, Ausschliessen von Fremdkörpern)
  - Funken erkennen und löschen
  - Weitere Zündquellen beachten

## Konstruktiver Explosionsschutz - Vermeiden gefährlicher Auswirkungen einer Explosion

- Explosionsfeste Bauweise (explosionsdruckfest, explosionsdruckstossfest)
- Explosionsdruckentlastung
- Explosionsunterdrückung
- Explosionstechnische Entkopplung

## Organisatorische Massnahmen

- Betriebsanweisungen, Reinigungspläne
- Instandhalten (Kontrollieren, Warten, Instandsetzen)
- Feuer- oder Schweisserlaubnis beantragen
- Aufklären, Belehren, Unterweisen
- ...

## Bauliche Massnahmen

- Gebäudeentkopplung
- Brandabschnittsbildung
- Dichte Durchführungen
- ...



# Begriffe und Definitionen

## **Büschelentladungen**

Büschelentladungen können dann auftreten, wenn eine leitfähige, geerdete und gekrümmte Oberfläche (Elektrode) vorzugsweise mit einem Krümmungsradius von 5 mm bis 50 mm einem hohen elektrischen Feld - z. B. ausgehend von einer hoch aufgeladenen Oberfläche eines nichtleitfähigen Werkstoffes - ausgesetzt ist. Die Entladung breitet sich ausgehend vom Ort der grössten Krümmung (höchste Feldstärke) in den Raum aus und zwar in Form eines hellen Entladungskanals, der sich nach mehreren Millimetern Länge fein verästelt (daher der Name Büschelentladung).

## **Doppelschieber**

Einrichtung aus zwei Schiebern, die so miteinander verriegelt sind, dass sich immer ein Schieber in geschlossener Stellung befindet. Damit wird ein Explosionsabbruch erreicht. Um einen Weitertransport von brennendem Material zu verhindern, muss über eine Branderkennung das Schiebersystem automatisch stillgesetzt werden.

## **Explosionsdruckentlastung**

Schutzmassnahme, die den Explosionsüberdruck unter Ausschub von unverbranntem Gemisch und von Verbrennungsprodukten durch Freigabe von vorgegebenen Öffnungen so begrenzt, dass der Behälter nicht über seine vorgegebene Festigkeit beansprucht wird.

## **Explosionsfähiges Staub/Luft-Gemisch**

Gemisch aus Luft und brennbarem Staub, unter atmosphärischen Bedingungen, in dem sich der Verbrennungsvorgang nach erfolgter Entzündung auf das gesamte unverbrannte Gemisch überträgt.

## **Explosionsfeste Bauweise**

Bauweise von Behältern und Einrichtungen, die so gebaut sind, dass sie dem zu erwartenden Explosionsüberdruck standhalten, ohne aufzureissen.

## **Explosionsschutzschieber (Schnellschlussschieber)**

Einrichtung, die in sehr kurzer Zeit eine Rohrleitung verschliesst, so dass die Explosionsausbreitung in der Rohrleitung abgebrochen wird. Der Schliessvorgang wird durch Druck- und/oder Flammenerkennung ausgelöst.

## **Explosionsschutzventil (Schnellschlussventil)**

Einrichtung, die - ausgelöst durch die Explosionsdruckwelle - eine Rohrleitung verschliesst, so dass die Explosionsausbreitung in der Rohrleitung abgebrochen wird.

## **Explosionstechnische Entkopplung**

Schutzmassnahme, bei der durch Einsatz spezieller Entkopplungseinrichtungen eine Explosionsübertragung aus einer Apparatur usw. in angeschlossene Apparaturen oder in die Umgebung verhindert oder begrenzt wird.

## **Funkenentladung**

Art einer elektrostatischen Entladung, die zwischen zwei leitfähigen Objekten unterschiedlichen Potentials auftreten kann.

## **Funkenlöschanlage**

Einrichtung, die in sehr kurzer Zeit Funken und glühende Partikel erkennt und automatisch mittels einer Löschanlage die Ausbreitung über den Transportweg verhindert.

## **Gebäudeentkopplung**

Massnahmen, die eine Explosionsübertragung von einem Gebäude in benachbarte Gebäude durch spezielle Entkopplungseinrichtungen, z. B. Brandabschnittsbildung, gasdichte Durchführungen, Explosionsklappen, verhindern.

## **Glimmnest**

Glimmende, d. h. flammenlos oxidierende Teilmenge eines abgelagerten brennbaren Staubes. Glimmnester können durch Selbsterhitzung oder durch äussere Zündquellen entstehen.

## **Instandhaltung**

Gesamtheit der Massnahmen an Anlagen zur Bewahrung und Wiederherstellung des Soll-Zustandes sowie zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes. Dazu gehören die Inspektion (Kontrollieren), Wartung (Reinigen, Schmieren, Regulieren) und Instandsetzung (Reparieren).

## **Mindestzündenergie**

Unter vorgeschriebenen Versuchsbedingungen ermittelte, kleinste, in einem Kondensator gespeicherte elektrische Energie, die bei Entladung ausreicht, das zündwilligste Gemisch eines explosionsfähigen Staub/Luft-Gemisches zu entzünden.

## **Polizeifilter**

Einrichtung, die im Falle einer unzulässig hohen Staubkonzentration (z. B. Filterdurchbruch) auf der Reinluftseite einer Filteranlage eine Staubbelastung der nachgeschalteten Bereiche (z. B. Ventilator) verhindert.

## **Reinluft**

Luft, die aus dem Abscheidesystem (z. B. Filter) mittels Ventilator weggeführt wird.

## **Rohluft**

Staubbelastete Luft, die dem Abscheidesystem (z. B. Filter) zugeführt wird.

## **Zellenradschleuse**

Einrichtung, die aufgrund ihrer speziellen Bauart (Anzahl der Stege sowie Abmessungen der Spaltweiten und -längen) eine Explosionsausbreitung über den Transportweg verhindert. Um einen Weitertransport von brennendem Material zu vermeiden, muss über eine Branderkennung die Zellenradschleuse automatisch stillgesetzt werden.



**IVSS** Sektion für die chemische Industrie  
Arbeitsgruppe „Explosionsschutz“

Sicherheit von Flüssiggasanlagen (Propan und Butan) (dt./engl./fr./it./span.)  
(1992)

Statische Elektrizität - Zündgefahren und Schutzmassnahmen (dt./engl./fr./it.)  
(1995)

Schutz vor Explosionen durch brennbare Gase, Dämpfe oder Nebel im Gemisch mit  
Luft (dt./engl./it.)  
(1999), (2000)

Schutz vor Staubexplosionen (dt./engl./it.)  
(2002)

Staubexplosionsereignisse (dt./engl.)  
(2005)

Zündquellen (in Vorbereitung)

Bestelladresse: IVSS Sektion Chemie  
Kurfürsten Anlage 62  
69115 HEIDELBERG  
DEUTSCHLAND

**IVSS** Sektion Maschinen- und Systemsicherheit  
Arbeitskreis „Staubexplosionen“

Staubexplosionsschutz an Maschinen und Apparaten

- Grundlagen (dt./engl.)  
(1998/2003)
- Beispielsammlung (dt./engl./fr.)  
(1990)

Explosionsunterdrückung (dt./engl./fr.)  
(1990)

Bestimmen der Brenn- und Explosionskenngrossen von Stäuben (dt./engl.)  
(1995)

Praxishilfen zur Erstellung des Explosionsschutzdokumentes (dt./engl./it.)  
(2005)

Explosionstechnische Entkopplung (dt./engl.)  
(in Vorbereitung)

Bestelladresse: IVSS Sektion Maschinen- und Systemsicherheit  
Dynamostr. 7-11  
68165 MANNHEIM  
DEUTSCHLAND



## **DIE IVSS UND DIE VERHÜTUNG VON ARBEITSUNFÄLLEN UND BERUFSKRANKHEITEN**

Der ständige Fachausschuss der IVSS für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten bringt Arbeitsschutzspezialisten aus aller Welt zusammen. Er fördert das internationale Vorgehen in diesem Bereich und unternimmt Sonderstudien über Themen wie die Rolle von Presse, Rundfunk und Fernsehen im Arbeitsschutz und integrierte Sicherheitsstrategien für den Arbeitsplatz, den Strassenverkehr und den häuslichen Bereich. Er koordiniert ferner die Tätigkeiten der sieben internationalen Sektionen für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten, die in verschiedenen Industrien und der Landwirtschaft tätig sind und ihre Sekretariate in verschiedenen Ländern haben. Zwei weitere Sektionen befassen sich mit Informationstechniken im Bereich des Arbeitsschutzes und mit der einschlägigen Forschung.

Die Tätigkeiten der internationalen Sektionen der IVSS bestehen aus

- dem Austausch von internationalen Informationen zwischen den an der Verhütung von Berufsgefahren interessierten Gremien,
- der Organisation der Tagungen von Fachausschüssen und Arbeitsgruppen, Rundtischgesprächen und Kolloquien auf internationaler Ebene,
- der Durchführung von Erhebungen und Untersuchungen,
- der Förderung der Forschungsarbeit,
- der Veröffentlichung einschlägiger Informationen.

Weitere Informationen über diese Tätigkeiten und die allgemeine Arbeit der IVSS auf dem Gebiet des Arbeitsschutzes finden Sie in dem Faltblatt «Sicherheit weltweit». Es ist in deutscher, englischer, französischer und spanischer Fassung beim Sekretariat der Sektion erhältlich.

## **DIE MITGLIEDER DER INTERNATIONALEN SEKTIONEN**

Jede internationale Sektion der IVSS hat drei Kategorien von Mitgliedern:

- **Vollmitglied:** Vollmitglieder und assoziierte Mitglieder der IVSS, Genf, und andere Organisationen ohne Gewinnstreben können die Aufnahme als Vollmitglied beantragen.
- **Assoziiertes Mitglied:** Andere Organisationen und gewerbliche Unternehmen können assoziierte Mitglieder einer Sektion werden, wenn sie über Sachkenntnisse im Aufgabenbereich der Sektion verfügen.
- **Korrespondent:** Individuelle Experten können korrespondierende Mitglieder einer Sektion werden.

Weitere Informationen und Aufnahmeformulare sind direkt beim Sekretariat der einzelnen Sektion erhältlich.

**MINDESTENS EINE DIESER ARBEITSSCHUTZSEKTIONEN DER IVSS  
ENTSPRICHT AUCH IHREM EIGENEN FACHBEREICH: ZÖGERN SIE NICHT,  
MIT IHR KONTAKT AUFZUNEHMEN**



INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS  
für die LANDWIRTSCHAFT  
Bundesverband der landwirtschaftlichen  
Berufsgenossenschaften (BLB)  
Weissensteinstrasse 72  
34131 KASSEL-WILHELMSHÖHE  
Deutschland



INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS  
für MASCHINEN- UND  
SYSTEMSICHERHEIT  
Berufsgenossenschaft  
Nahrungsmittel und Gaststätten (BGN)  
Dynamostr. 7-11  
68165 MANNHEIM  
Deutschland



INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS  
für die CHEMISCHE INDUSTRIE  
Berufsgenossenschaft der chemischen  
Industrie (BG Chemie)  
Kurfürsten Anlage 62  
69115 HEIDELBERG  
Deutschland



INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS  
für den BERGBAU  
Bergbau-Berufsgenossenschaft (BBG)  
Hunscheidtstrasse 18  
44789 BOCHUM  
Deutschland



INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS  
für den HOCH- UND TIEFBAU  
Caisse régionale d'assurance-maladie  
d'Île de France (CRAMIF)  
17-19, place de l'Argonne  
75019 PARIS  
Frankreich



INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS  
für FORSCHUNG  
Institut National de Recherche et de  
Sécurité (INRS)  
30, rue Olivier - Noyer  
75680 PARIS CEDEX 14  
Frankreich



INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS  
für ELEKTRIZITÄT - GAS -  
FERNWÄRME -WASSER  
Berufsgenossenschaft der Feinmechanik  
und Elektrotechnik (BGFE)  
Gustav-Heinemann-Ufer 130  
50968 KÖLN  
Deutschland



INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS  
für ERZIEHUNG UND AUSBILDUNG  
Commission de la Santé et de la Sécurité  
du Travail du Québec (CSST)  
1199, rue De Bleury  
MONTREAL, QUEBEC H3C 4E1  
Kanada



INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS  
für INFORMATION  
Institut pour la prévention, la protection et le  
bien-être au travail (PREVENT)  
88, rue Gachard, Boîte 4  
1050 BRUXELLES  
Belgien



INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS  
für das GESUNDHEITSWESEN  
Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst  
und Wohlfahrtspflege (BGW)  
Pappelallee 35-37  
22089 HAMBURG  
Deutschland



INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS  
für die EISEN- UND METALLINDUSTRIE  
Allgemeine Unfallversicherungsanstalt  
(AUVA)  
Adalbert-Stifter-Strasse 65  
1200 WIEN XX  
Österreich