



Staub- explosionen

***Schutz vor Explosionen
durch brennbare
Stäube***



suva

**Schweizerische
Unfallversicherungsanstalt
Postfach 4358
CH-6002 Luzern
Schweiz**



DIE INTERNATIONALE VEREINIGUNG FÜR SOZIALE SICHERHEIT (IVSS)

hat über 300 Mitglieder (Regierungsbehörden und Anstalten) in mehr als 120 Staaten, von denen sich die Hälfte mit der Arbeitssicherheit befassen. Sitz der IVSS ist 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, D-69115 Heidelberg.

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



INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS FÜR MASCHINENSICHERHEIT

gegründet. Sie behandelt Fragen zur Sicherheit von Maschinen, Anlagen und Systemen. Vorsitz und Sekretariat: Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten, D-68165 Mannheim.

Staubexplosionen

Schutz vor Explosionen durch brennbare Stäube

Kompendium für die Praxis

2. überarbeitete Auflage, 2002

Herausgeber

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

Vorwort

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 machen.

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 Maschinensicherheit» der IVSS erarbeitet wurde, soll Betriebsleitern, Sicherheitsfachkräften usw. die Möglichkeit geben, ohne spezielle Kenntnisse auf dem Gebiet des Explosionsschutzes im eigenen Betrieb zu beurteilen, ob Staubexplosionsgefahren bestehen können. Zur Lösung der Frage, ob Explosionsschutzmassnahmen erforderlich und möglich sind, ist das Kompendium nicht gedacht, hierfür ist das Wissen der Experten erforderlich.

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

Unter Mitarbeit von

Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA), Wien (A)
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit (BIA), Sankt Augustin (D)
Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie, Heidelberg (D)
Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten (BGN), Mannheim (D)
European Commission, Occupational accident and injuries, Luxembourg (L)
Inburex GmbH, Hamm (D)
Institut national de recherche et de sécurité (INRS), Paris (F)
Pellmont Explosionsschutz, Binningen/Basel (CH)
Sicherheitsinstitut, Basel (CH)
Slovenian Institute of Quality and Metrology (SIQ), Ljubljana (SI)
Stazione Sperimentale per i Combustibili (SSC), San Donato Milanese (I)
Suva (Schweizerische Unfallversicherungsanstalt), Luzern (CH)

Autoren

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

Gestaltung und Grafik

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

Inhalt

Voraussetzungen für das Auftreten von Staubexplosionen	S. 10
Schutzmassnahmen	S. 18
Verhindern von Staubexplosionen	S. 19
Vermeiden gefährlicher Auswirkungen von Staubexplosionen	S. 23
Organisatorische Massnahmen	S. 32
Bauliche Massnahmen	S. 36
Sicherheitstechnische Kenngrössen	S. 37
Weiterführende Literatur	S. 40
Schriftenreihe IVSS-Explosionsschutz	S. 42

Voraussetzungen für das Auftreten von Staubexplosionen

Was ist eine Explosion?

Eine Explosion ist eine sehr schnell ablaufende chemische Reaktion eines brennbaren Stoffes, bei der grosse Energiemengen freigesetzt werden.

Was ist eine Detonation?

Eine Detonation ist eine Explosion, bei der die Ausbreitung der chemischen Reaktion bzw. der Flamme durch das Reaktionsgemisch zu einer Geschwindigkeit über der Schallgeschwindigkeit beschleunigt wird. Eine Explosion kann sich z. B. in einer langen Rohrleitung zu einer Detonation entwickeln.

Wann kann in meinem Betrieb Staubexplosionsgefahr bestehen? ¹⁾

Eine solche Gefahr kann bestehen, wenn im Betrieb brennbarer Staub (Pulver, Puder, Mehl) hergestellt oder damit umgegangen wird oder wenn brennbare feste Stoffe be- oder verarbeitet werden und dabei Staub entsteht.

Was sind feste brennbare Stoffe?

Dies sind Materialien, die unter Wärmeentwicklung mit Sauerstoff, wie er z. B. in Luft vorkommt, reagieren (verbrennen) können. Hierzu zählen viele bekannte Produkte wie Holz, Kohle, Getreide, Kunststoffe, aber auch zahlreiche Metalle, wenn sie in feiner Form vorliegen, z. B. als Stahlwolle.

¹⁾ Explosionsgefahren durch brennbare Gase, Dämpfe oder Nebel vergleiche IVSS-Broschüre: «Schutz vor Gasexplosionen».

Was ist Staub?

Als Staub werden Feststoffe bezeichnet, deren Teilchen kleiner als 0,5 mm sind. Werden solche Materialien gezielt hergestellt, spricht man von Pulver, Puder oder Mehl. Staub kann aber auch als Abrieb beim Transport von grobkörnigem Gut (z. B. Getreide) oder beim Be- und Verarbeiten von Feststoffen (z. B. als Sägespäne oder Schleifstaub) entstehen. Auch geringe Staubanteile im Grobgut müssen berücksichtigt werden.

Was ist der Unterschied zwischen einem Staubbrand und einer Staubexplosion?

Wird eine Staubschicht entzündet, entsteht ein Brand. Ein Staubbrand kann sich zu einer Staubexplosion entwickeln. Wird eine Staubwolke entzündet, so kann eine Explosion erfolgen, die im Gegensatz zum Brand mit schlagartiger Hitzeentwicklung und sehr schnellem Druckanstieg verbunden ist. Diese aussergewöhnlich heftige Reaktion bedingt die besonderen Gefahren einer Staubexplosion.

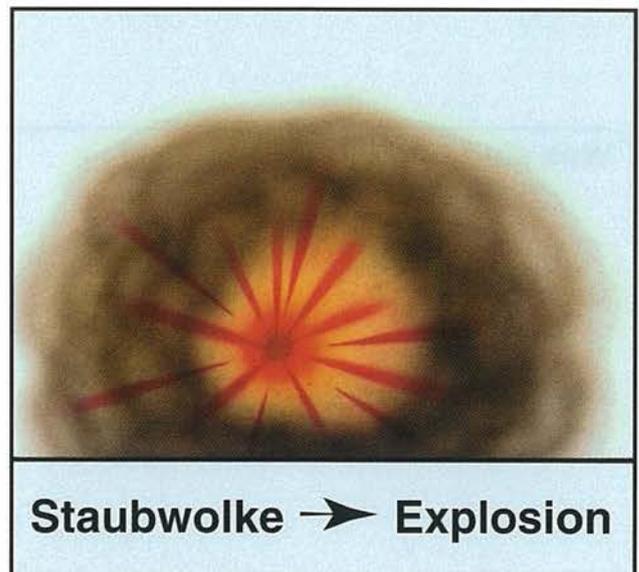
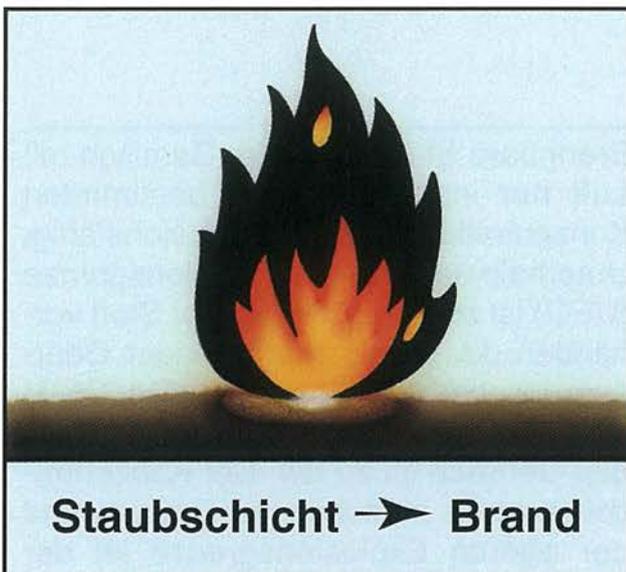


Bild 1: Unterschied zwischen Brand und Explosion

**Kommt im Betrieb brennbarer Staub vor,
kann Explosionsgefahr bestehen!**

Was ist eine explosionsfähige Staubatmosphäre?

Eine explosionsfähige Staubatmosphäre liegt dann vor, wenn brennbarer Staub in solchen Mengen (Konzentrationen) in Luft vorhanden ist (innerhalb der Explosionsgrenzen), dass sich nach erfolgter Entzündung eine Verbrennungsreaktion selbstständig fortpflanzt.

Wann kommt es zu einer Staubexplosion?

Damit es zu einer Staubexplosion kommen kann, müssen zur selben Zeit und am selben Ort folgende Voraussetzungen vorliegen (vgl. Bild 2):

- feiner brennbarer Feststoff im Gemisch mit Luft (Staubwolke) innerhalb der Explosionsgrenzen, d. h.
 - ausreichender Staubanteil und
 - ausreichender Sauerstoffanteilsowie
- eine wirksame Zündquelle.

Was sind Explosionsgrenzen?

Brennbare Stäube sind im Gemisch mit Luft nur innerhalb eines bestimmten Konzentrationsbereichs explosionsfähig. Unterhalb der unteren Explosionsgrenze (UEG) ist zu wenig brennbarer Stoff vorhanden: das Gemisch ist zu mager. Oberhalb der oberen Explosionsgrenze (OEG) ist zu viel brennbarer Stoff vorhanden: das Gemisch ist zu fett. Der Konzentrationsbereich zwischen der unteren und der oberen Explosionsgrenze ist der Explosionsbereich. In diesem Konzentrationsbereich ist ein Gemisch explosionsfähig, d. h. es herrscht Explosionsgefahr. Die Explosionsgrenzen sind stoffbezogene Werte und werden in g/m^3 angegeben. Die untere Explosionsgrenze (UEG) kann experimentell ermittelt werden.

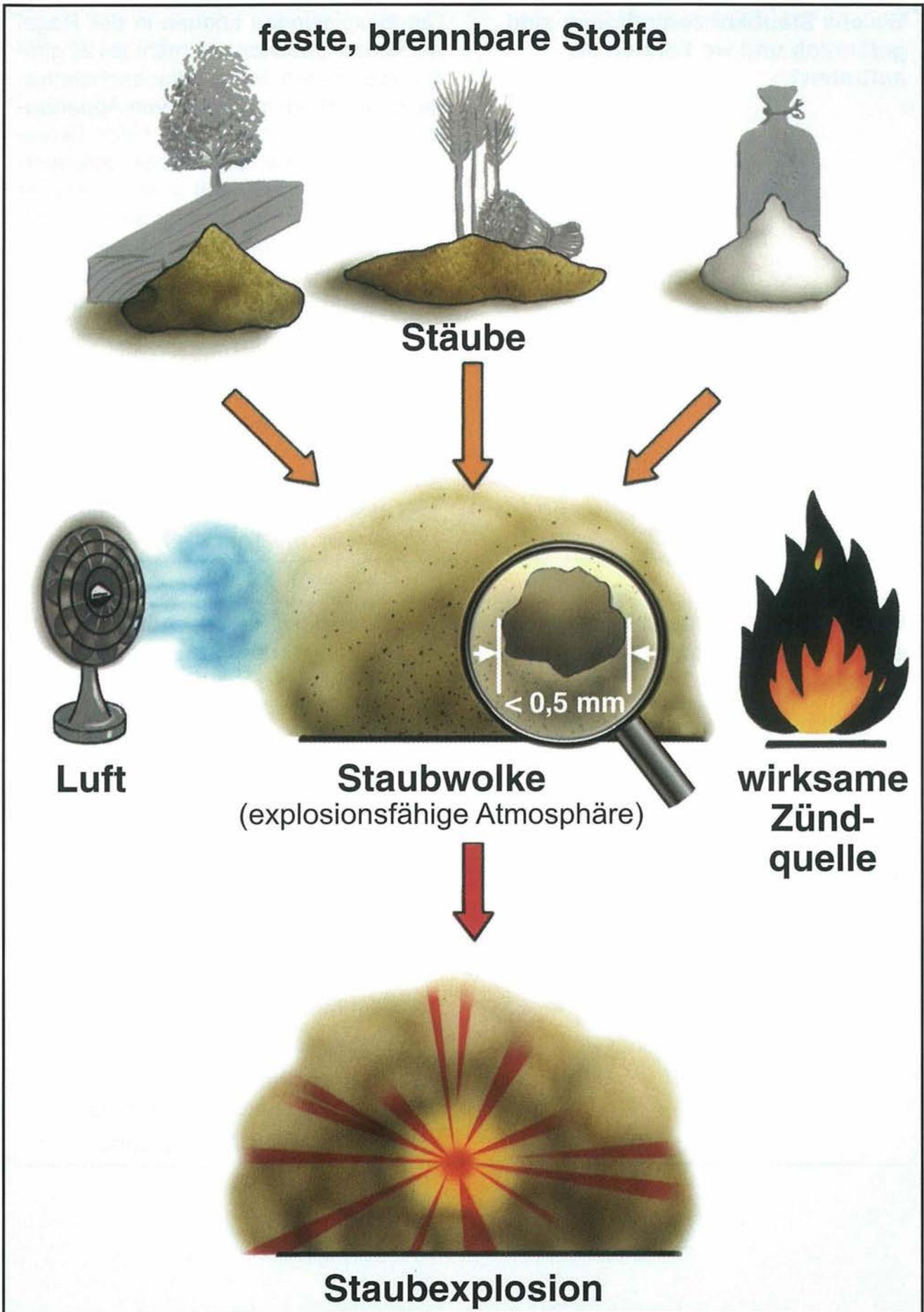


Bild 2: Voraussetzungen für das Zustandekommen von Staubexplosionen

Welche Staubkonzentrationen sind gefährlich und wo können sie auftreten?

Staubexplosionen können in der Regel bei Konzentrationen von mehr als 20 g/m^3 in Luft auftreten. Solche Staubkonzentrationen kommen innerhalb von Apparaturen (z. B. Mühlen, Mischer, Filter, Elevatoren) häufig vor. Sie können gelegentlich durch Staubaustritt in unmittelbarer Umgebung betriebsmässig offener Stellen staubführender Apparaturen (z. B. Abfüllstellen) entstehen.

Bei Staubablagerungen im Raum (z. B. in der Umgebung von Abfüllstellen oder bei Undichtigkeiten der Apparaturen) können kurzzeitig explosionsfähige Staub-Luft-Gemische durch Aufwirbeln auftreten.

Selbst bei Konzentrationen von einigen $1000 \text{ g Staub pro m}^3 \text{ Luft}$ sind noch Staubexplosionen möglich.

Welche Sauerstoffkonzentrationen sind für eine Staubexplosion ausreichend?

Der Sauerstoffgehalt der Luft - ungefähr 21 Vol.-% - ist als ausreichend zu betrachten. Manche Stäube sind auch noch bei Konzentrationen von weniger als 10 Vol.-% Sauerstoff explosionsfähig. Bei höherem Sauerstoffanteil als in der Luft kommt es zu heftigeren Explosionen.

Was sind Zündquellen?

Von vielen Möglichkeiten haben in der betrieblichen Praxis folgende Zündquellen¹⁾ eine grosse Bedeutung:

- Heisse Oberflächen,
- Flammen, Glimmnester,
- Mechanisch erzeugte Funken,
- Elektrische Betriebsmittel (elektrisch erzeugte Funken),
- Elektrostatische Entladungen

¹⁾ Vgl. IVSS-Broschüre «Zündquellen».

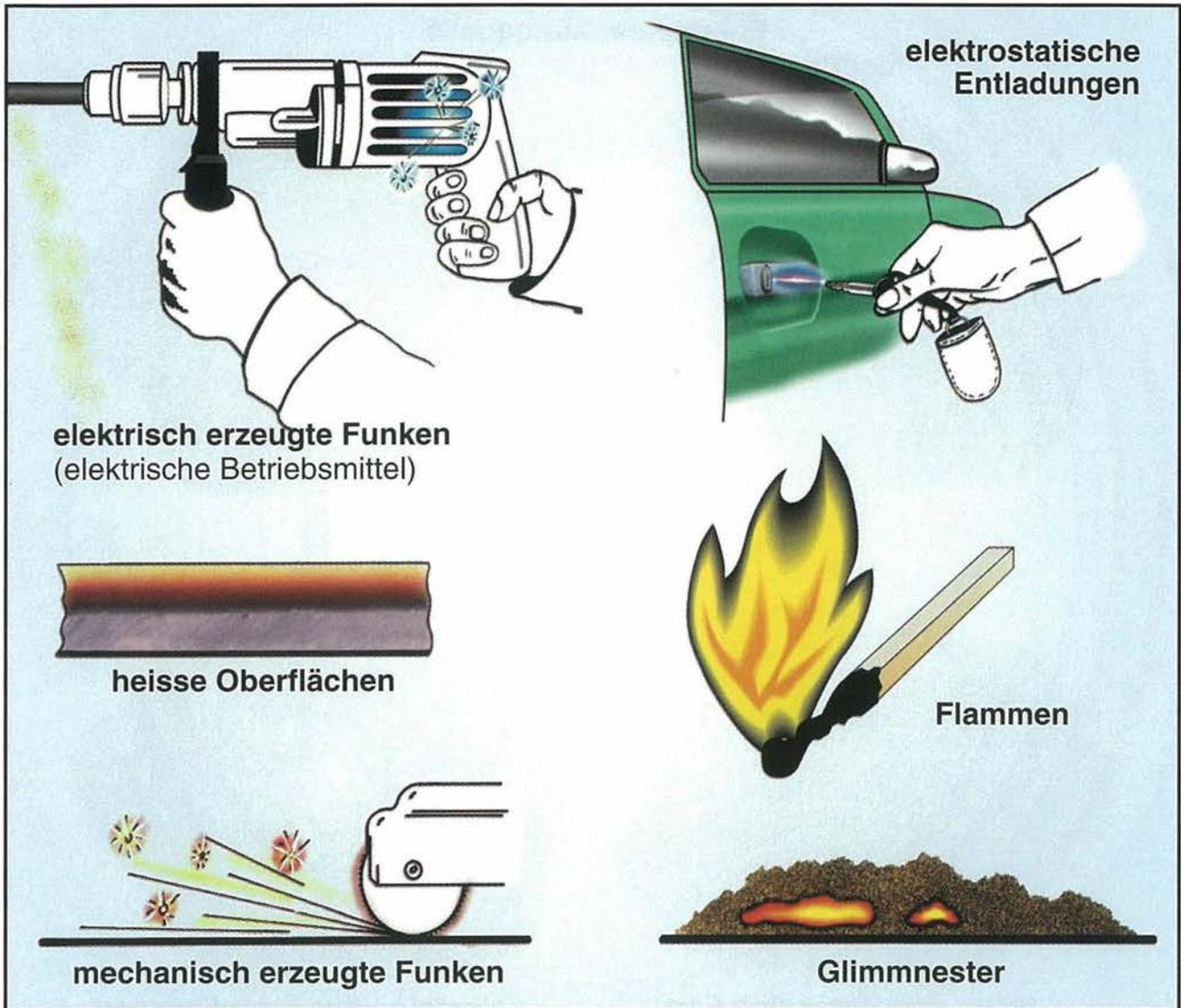


Bild 3: Mögliche Zündquellen

Was ist eine wirksame Zündquelle?

Nicht jede Zündquelle ist energiereich genug, um alle Arten explosionsfähiger Gemische zu entzünden, d. h. nicht jede Zündquelle ist in einer gegebenen Situation auch eine wirksame Zündquelle. Eine wirksame Zündquelle liegt dann vor, wenn sie so viel Energie an die explosionsfähige Atmosphäre abgeben kann, dass eine selbstständige Fortpflanzung der Verbrennung eintritt.

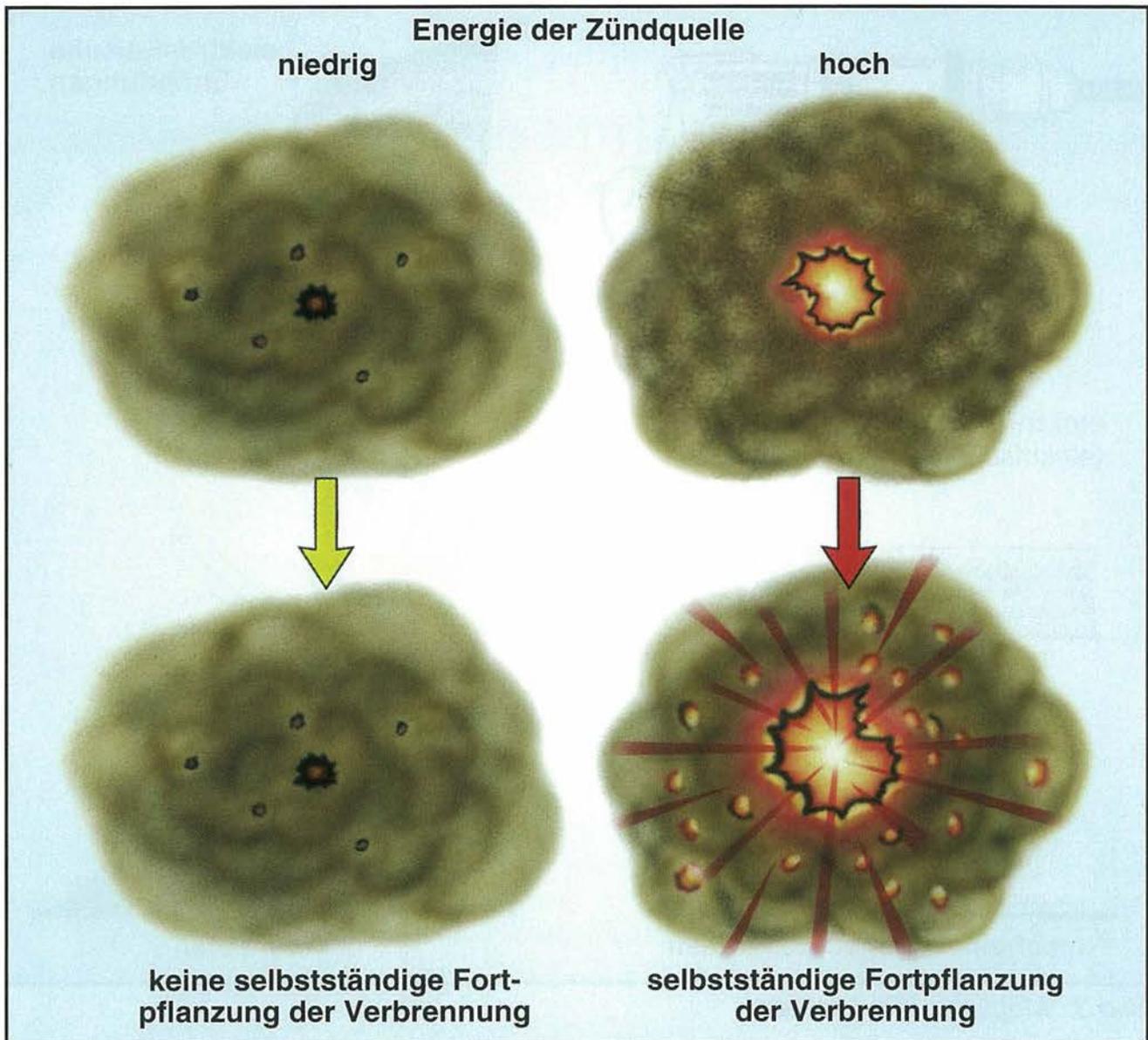


Bild 4: Wirksamkeit von Zündquellen

**Sicheres Vermeiden einer der drei Voraussetzungen:
Staubwolke, Luft (Sauerstoff) oder Zündquelle kann Staubexplosionen verhindern.**

Wie oft kommt es zu Staubexplosionen und welche Auswirkungen können sie haben?

Staubexplosionen ereignen sich häufiger als allgemein angenommen. Durchschnittlich kommt es in Europa pro Tag mindestens zu einer Staubexplosion. Staubexplosionen sind oft mit grossen Sachschäden in Millionenhöhe, aber auch mit Verletzten und zum Teil sogar mit Toten verbunden.

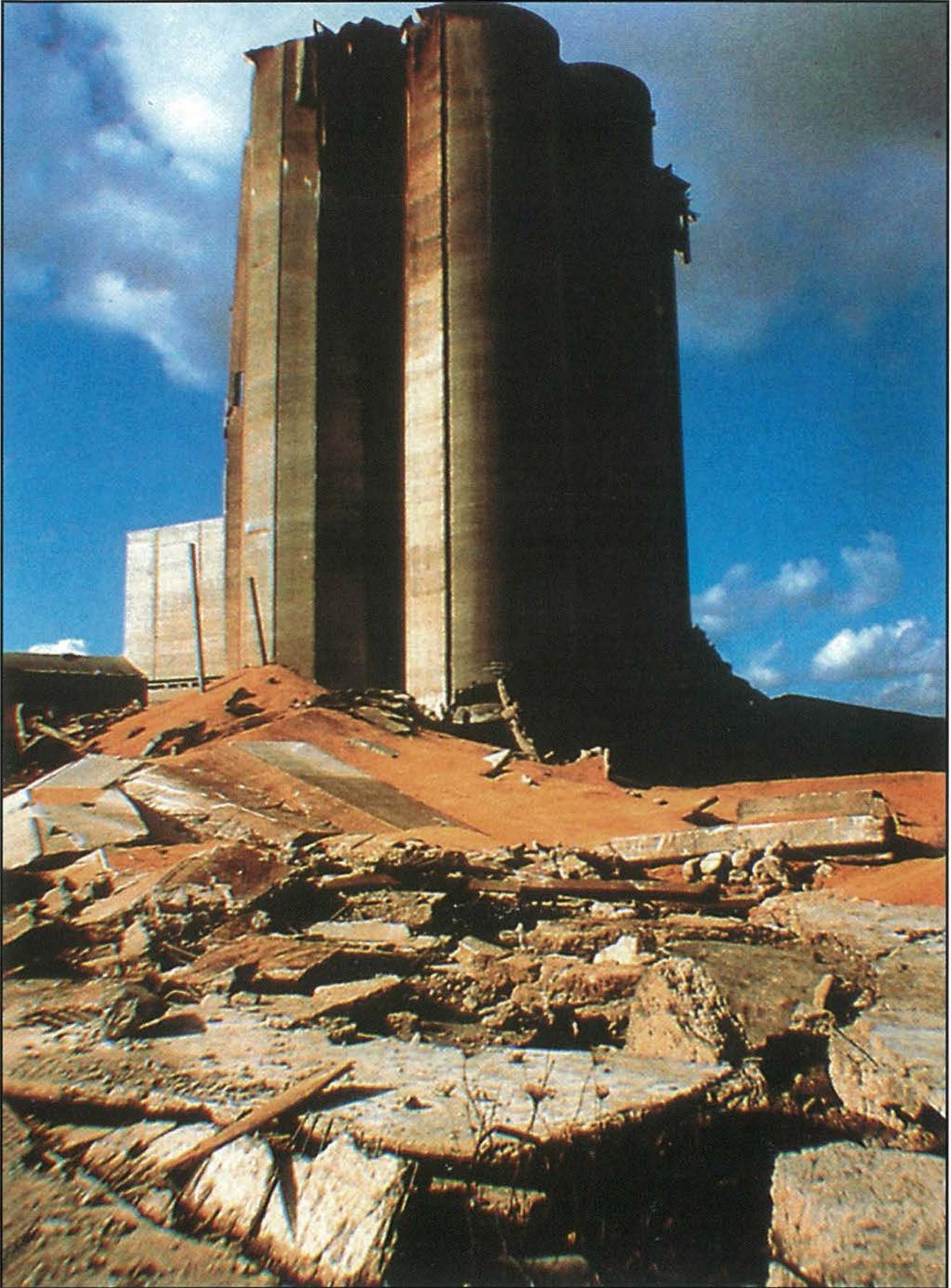


Bild 5: Auswirkungen einer Staubexplosion: Von 16 Silozellen einer Mälzerei standen nach dem Explosionsereignis nur noch wenige, jedoch schwer beschädigte Zellen.

Schutzmassnahmen

Muss aufgrund der angestellten Überlegungen (z. B. Sicherheitsbetrachtung) davon ausgegangen werden, dass eine Staubexplosion möglich ist, sind Massnahmen zu treffen. Hierzu bieten sich folgende Möglichkeiten an:

- Verhindern einer Explosion
(«**Vorbeugender Explosionsschutz**»)
 - Vermeiden oder Einschränken der Bildung explosionsfähiger Atmosphäre.
 - Vermeiden wirksamer Zündquellen.
- Vermeiden von gefährlichen Auswirkungen einer Explosion
(«**Konstruktiver Explosionsschutz**»).

Kombinationen dieser Möglichkeiten können sinnvoll oder sogar erforderlich sein. Vorbeugende und konstruktive Explosionsschutzmassnahmen sollen stets von organisatorischen und gegebenenfalls baulichen Massnahmen begleitet werden.

Verhindern von Staubexplosionen

Wie können Staubexplosionen verhindert werden?

Staubexplosionen lassen sich insbesondere verhindern, wenn

- der brennbare Staub durch einen unbrennbaren ersetzt werden kann oder
- die Staubkonzentration so niedrig gehalten werden kann, dass das Staub-Luft-Gemisch für eine fortschreitende Verbrennung zu mager ist oder
- der zur explosionsartigen Verbrennung des Staubes notwendige Sauerstoff nicht vorhanden ist oder
- wirksame Zündquellen sicher ausgeschlossen werden können.

Ersatz von brennbaren durch unbrennbare Stoffe

Diese Massnahme ist nur begrenzt anwendbar und beschränkt sich im Wesentlichen auf den Austausch brennbarer durch unbrennbare Füllstoffe. Die Zumischung von Inertstaub ist im Allgemeinen erst dann wirksam, wenn dessen Anteil in der Mischung mehr als die Hälfte beträgt.

Begrenzen der Staubkonzentrationen

Im Gegensatz zu Gasen und Dämpfen ist diese Massnahme bei Stäuben nur bedingt anwendbar. Das hängt damit zusammen, dass sich Staubkonzentrationen sehr schnell ändern können:

- Verringern durch Absetzen (Sedimentieren),
- Erhöhen durch Aufwirbeln.

Benetzen mit Flüssigkeiten oder Verwenden von grobkörnigem Material kann der Bildung hoher Staubkonzentrationen entgegenwirken.

Beschränken der Sauerstoffkonzentration (Inertisierung)

Durch nichtbrennbare Gase wie Stickstoff oder Kohlendioxid wird der Sauerstoff soweit verdrängt, dass die Sauerstoffgrenzkonzentration unterschritten wird und somit keine Explosion mehr stattfinden kann. Diese Massnahme ist sehr sicher, aber meist nur in geschlossenen Anlagenteilen anwendbar. Sie erfordert einen hohen apparativen Aufwand, muss messtechnisch überwacht werden und verursacht in Abhängigkeit von Grösse und Dichtigkeit der Anlage unter Umständen hohe Folgekosten (Inertgasverbrauch).

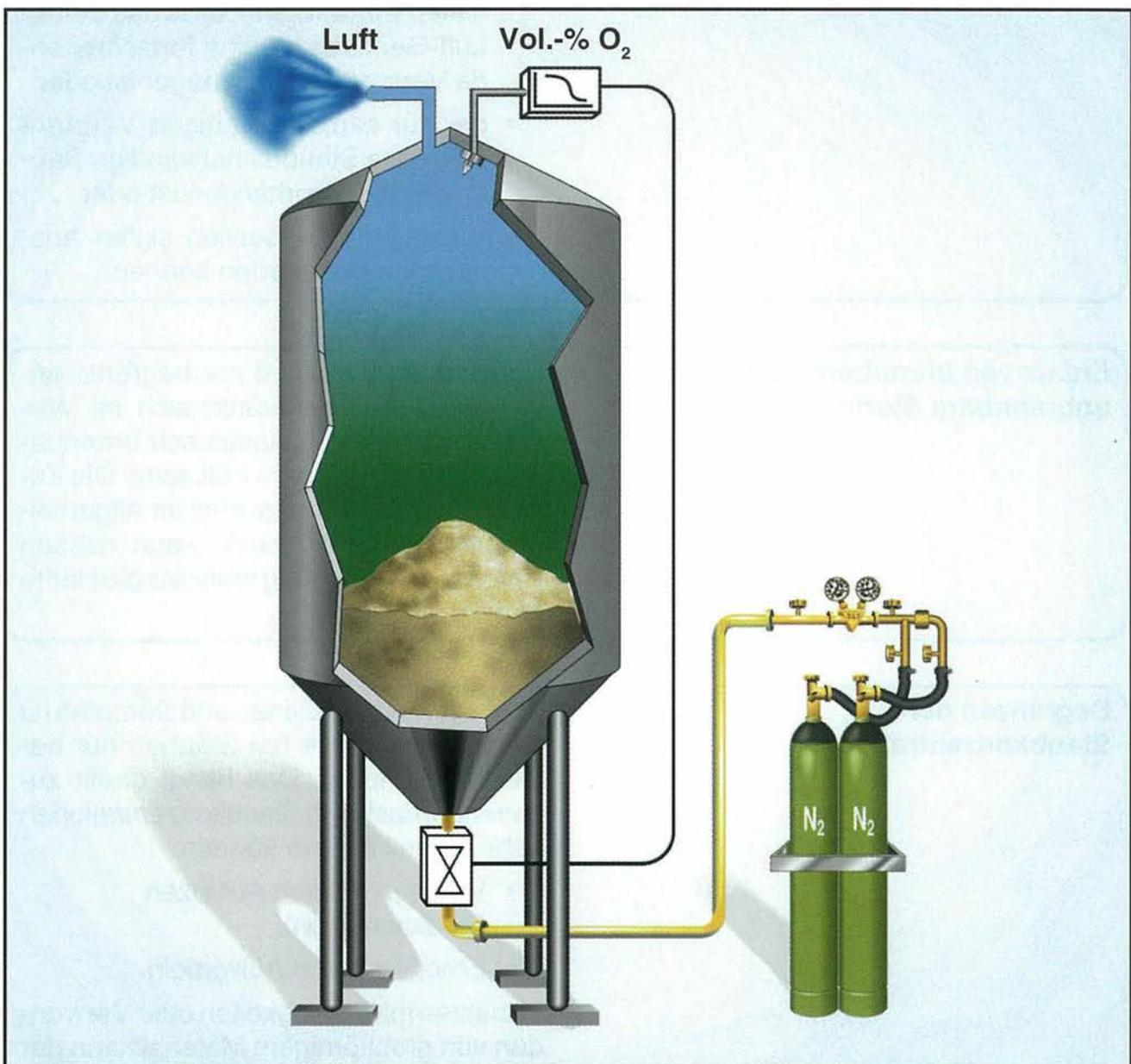


Bild 6: Inertisierung mit Stickstoff und Messen/Überwachen der Sauerstoffkonzentration

Vermeiden von wirksamen Zündquellen

Diese Massnahme soll stets angewendet werden, auch bei den später zu beschreibenden konstruktiven Massnahmen. Sie ist jedoch in der Praxis als alleinige Massnahme häufig nicht sicher genug.

Was sind Zonen?

Explosionsgefährdete Bereiche werden aufgrund der Häufigkeit und der Dauer des Auftretens bzw. Vorhandenseins explosionsfähiger Atmosphäre in Zonen¹⁾ eingeteilt.

Zonen dienen zur Bestimmung des Umfangs der zum Vermeiden von wirksamen Zündquellen erforderlichen Massnahmen.



Bild 7: Vermeiden von wirksamen Zündquellen

¹⁾ Vgl. IVSS-Broschüre «Zündquellen».



Bild 8: Vermeiden von Staubaufwirbelungen durch Absaugen

Explosionen werden verhindert durch Vermeiden von explosionsfähiger Atmosphäre oder von Zündquellen!

Das Vermeiden von wirksamen Zündquellen als alleinige Schutzmassnahme erfordert eine entsprechende Risikoanalyse.

Vermeiden gefährlicher Auswirkungen von Staubexplosionen

Lässt sich eine Staubexplosion nicht sicher ausschliessen, sind Massnahmen zu treffen, die sicherstellen, dass durch die Staubexplosion keine gefährlichen Auswirkungen auftreten. Diese Massnahmen werden auch «konstruktive Explosionsschutzmassnahmen» genannt, weil Behälter und Anlageteile konstruktiv so ausgelegt oder ausgerüstet sein müssen, dass durch die Explosion keine Menschen zu Schaden kommen und möglichst wenig Schäden an Gebäuden und Anlagen auftreten.

Wann können konstruktive Massnahmen getroffen werden?

In jedem Fall sollen diese bei Neuanlagen berücksichtigt werden. Aber auch Altanlagen können meist so nachgerüstet werden, dass sie eine höhere Sicherheit aufweisen. Hierbei müssen jedoch besondere Überlegungen angestellt werden.

Welche Massnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes bieten sich an?

Die Auswirkungen einer Staubexplosion lassen sich beschränken durch:

- explosionsfeste Bauweise,
- Explosionsdruckentlastung,
- Explosionsunterdrückung,
- explosionstechnische Entkopplung.

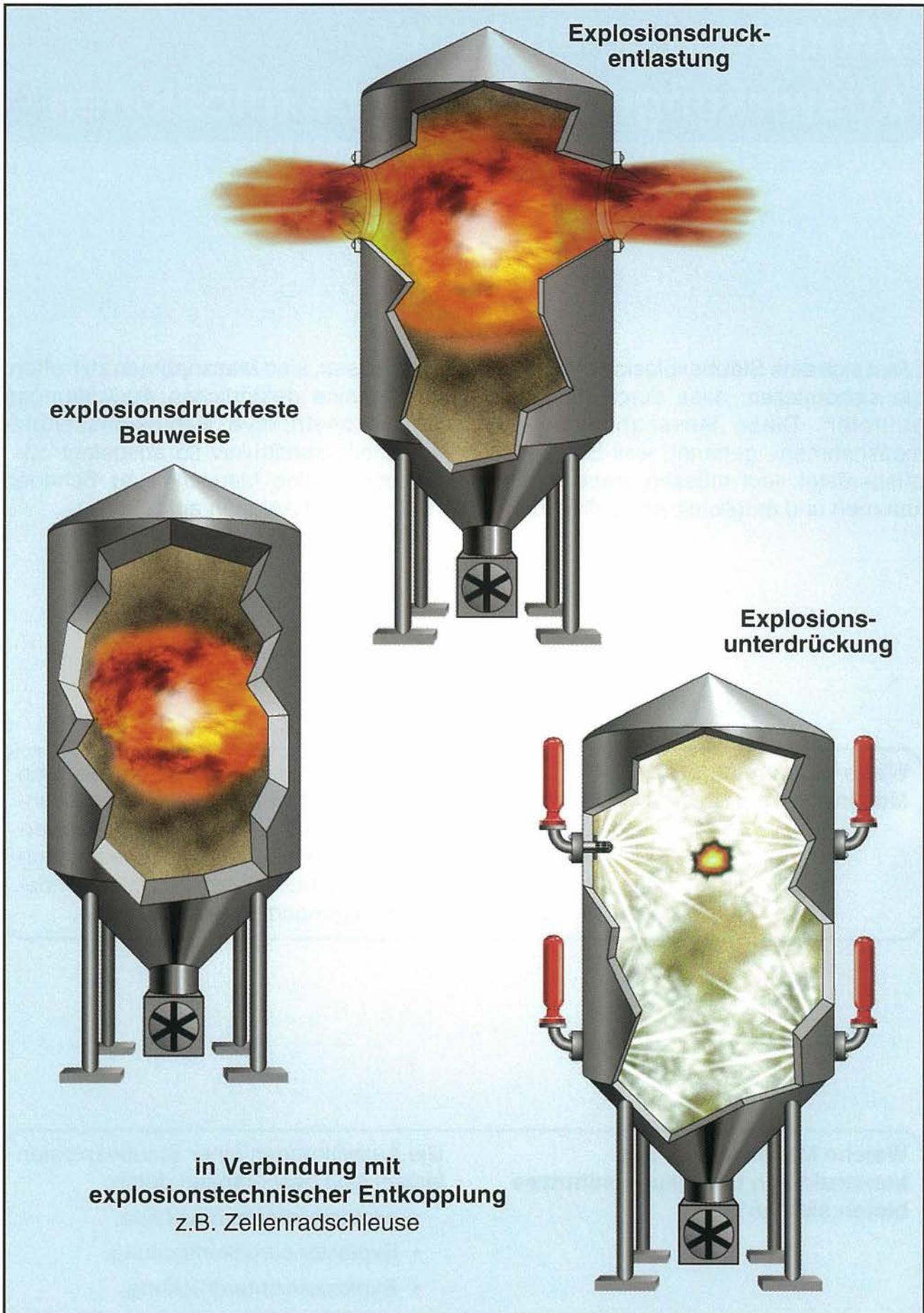


Bild 9: Beispiele von konstruktiven Massnahmen

Explosionsfeste Bauweise

Explosionsfeste Behälter und Anlagen, einschliesslich verbindender Rohrleitungen, Armaturen usw., müssen dem zu erwartenden Explosionsüberdruck standhalten, ohne aufzureissen.

Dabei wird unterschieden zwischen der

- explosionsdruckfesten Bauweise, bei der die Apparaturen ähnlich wie Druckbehälter ausgelegt werden, so dass infolge einer Explosionsdruckbelastung keine bleibenden Verformungen auftreten und der
- explosionsdruckstossfesten Bauweise bei der bleibende Verformungen durchaus noch zugelassen werden und die Apparaturen nach der Explosion gegebenenfalls repariert oder ersetzt werden müssen.



Bild 10 : Beispiele von explosionsfesten Behältern - A: explosionsdruckfeste Bauweise; B: explosionsdruckstossfeste Bauweise, vor und nach dem Explosionsereignis

Explosionsdruckentlastung

Bei der Explosionsdruckentlastung wird ein zu schützender Behälter mit einer Entlastungseinrichtung versehen, die bei einem definierten Druck, der deutlich unterhalb der Behälterfestigkeit liegen muss, öffnet. Einrichtungen hierfür sind z. B. Berstscheiben oder Explosionsklappen.



Bild 11: Beispiele von Einrichtungen zur Explosionsdruckentlastung
(Berstscheiben und Explosionsklappen)

**Druckentlastung immer in «ungefährliche»
Richtung, nicht in den Arbeitsraum!**

Explosionsunterdrückung

Eine Explosionsunterdrückungsanlage erkennt eine anlaufende Explosion mittels Flammen- oder Drucksensoren und unterdrückt die Explosion in der Anlaufphase durch schnelles Einblasen von Löschmitteln.

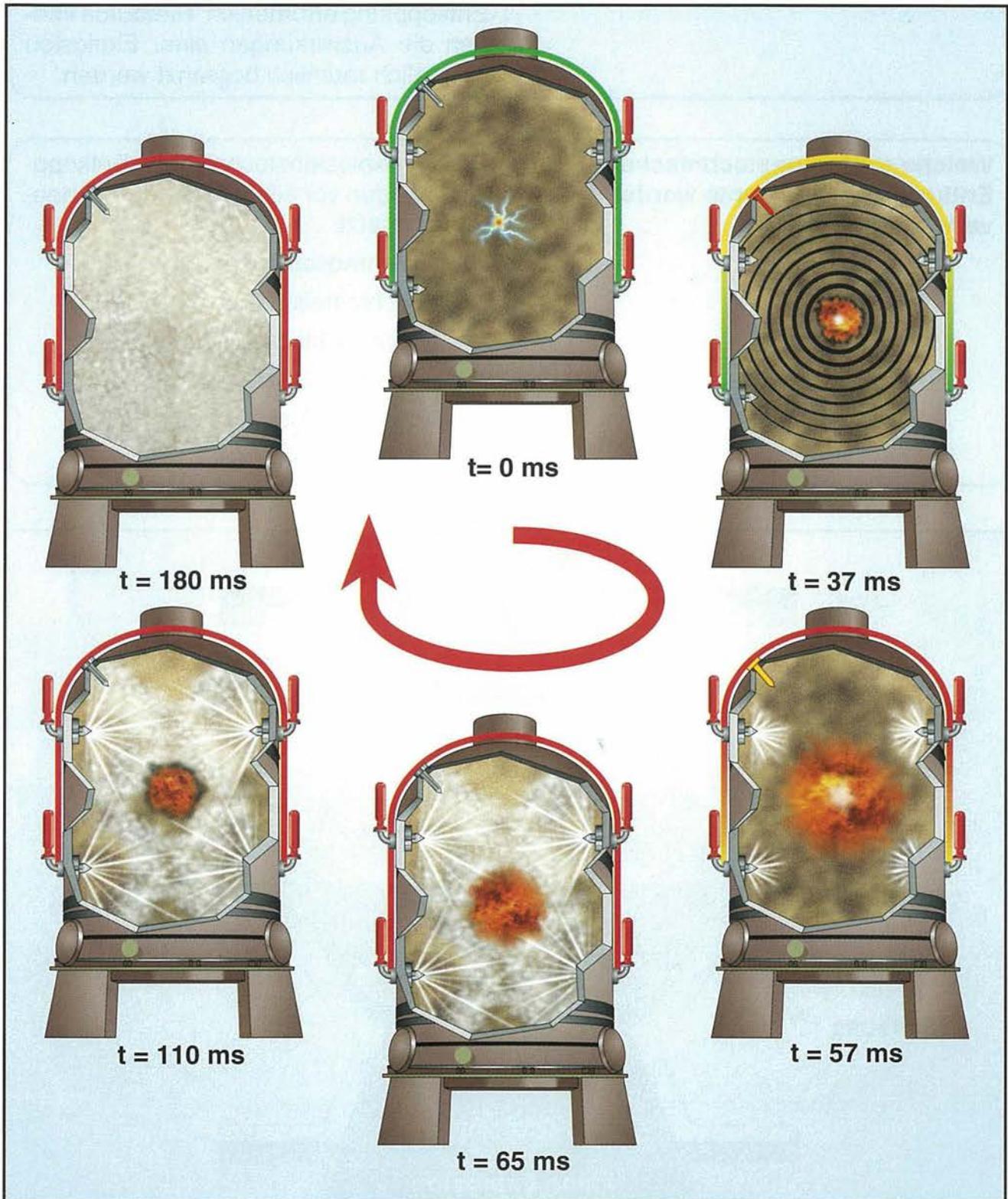


Bild 12: Prinzip der Explosionsunterdrückung (zeitlicher Ablauf in einem 5-m³-Behälter)

Explosionstechnische Entkopplung

Um die Übertragung einer Explosion aus durch konstruktive Schutzmassnahmen geschützten Anlagenteilen in andere (geschützte oder ungeschützte) Anlagenteile - oder in Arbeitsräume hinein zu verhindern, sind im Allgemeinen Massnahmen der explosionstechnischen Entkopplung erforderlich. Hierdurch können die Auswirkungen einer Explosion zusätzlich räumlich begrenzt werden.

Welche explosionstechnischen Entkopplungselemente werden verwendet?

Bei der explosionstechnischen Entkopplung werden vor allem folgende Elemente eingesetzt:

- Zellenradschleusen,
- Löschmittelsperren,
- Schnellschlussschieber,
- Schnellschlussklappen,
- Schnellschlussventile,
- Entlastungsschote.

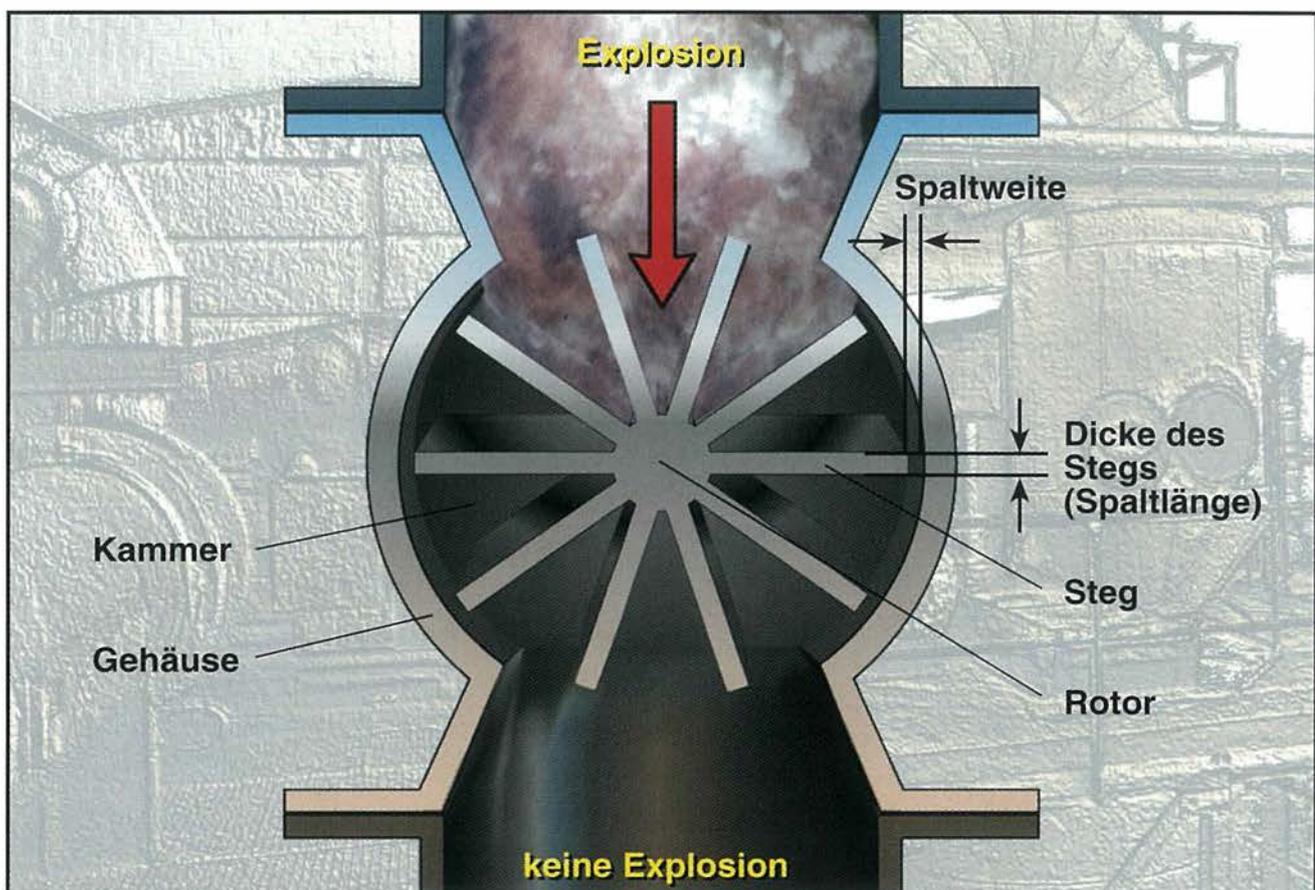


Bild 13: Explosionstechnische Entkopplung durch Zellenradschleuse

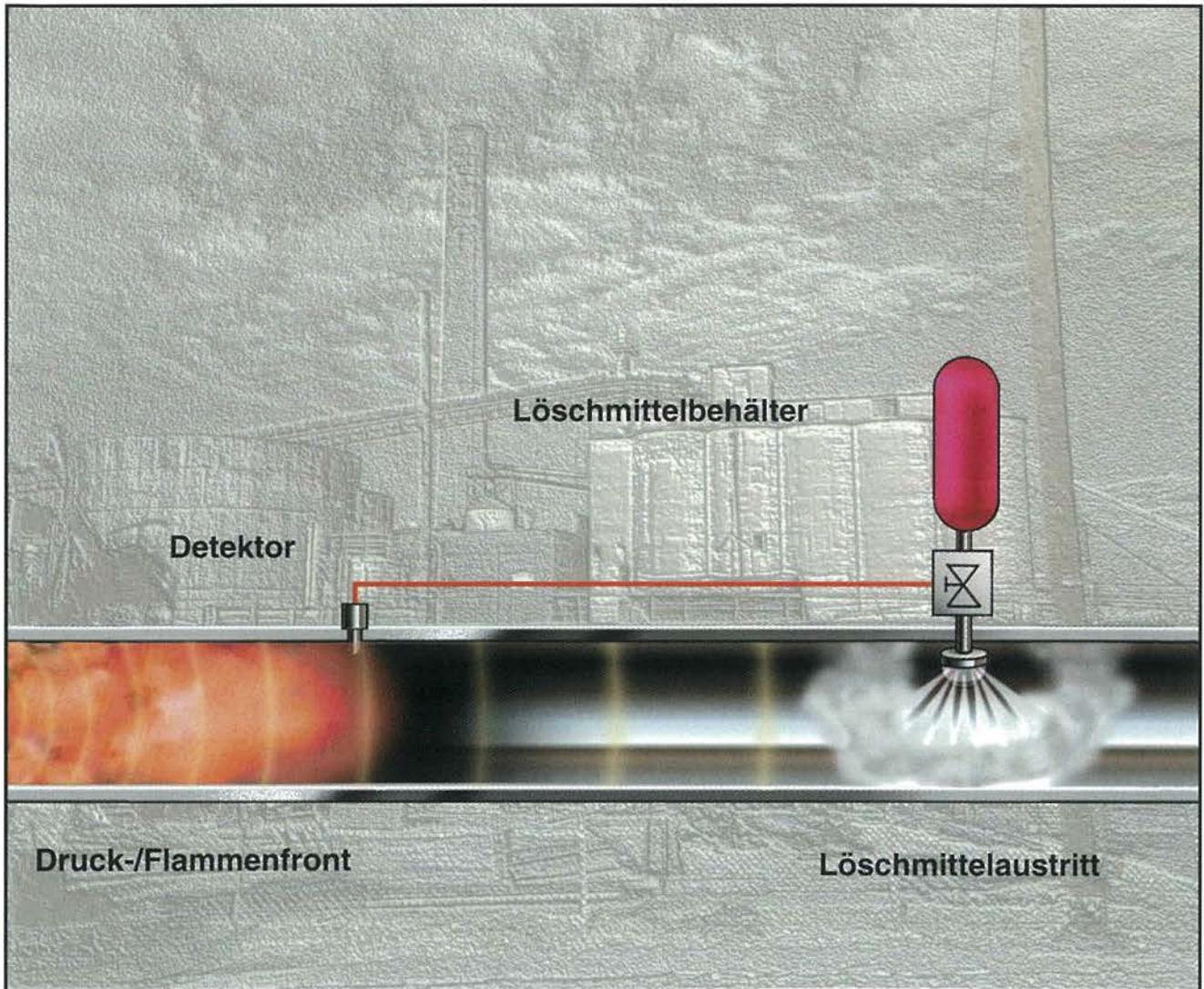


Bild 14: Explosionstechnische Entkopplung durch Löschmittelsperre

Bei der Entscheidung über die Wahl der Massnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes sind verschiedene Einflussgrössen zu berücksichtigen.

Für deren Dimensionierung ist im Allgemeinen Expertenwissen notwendig.

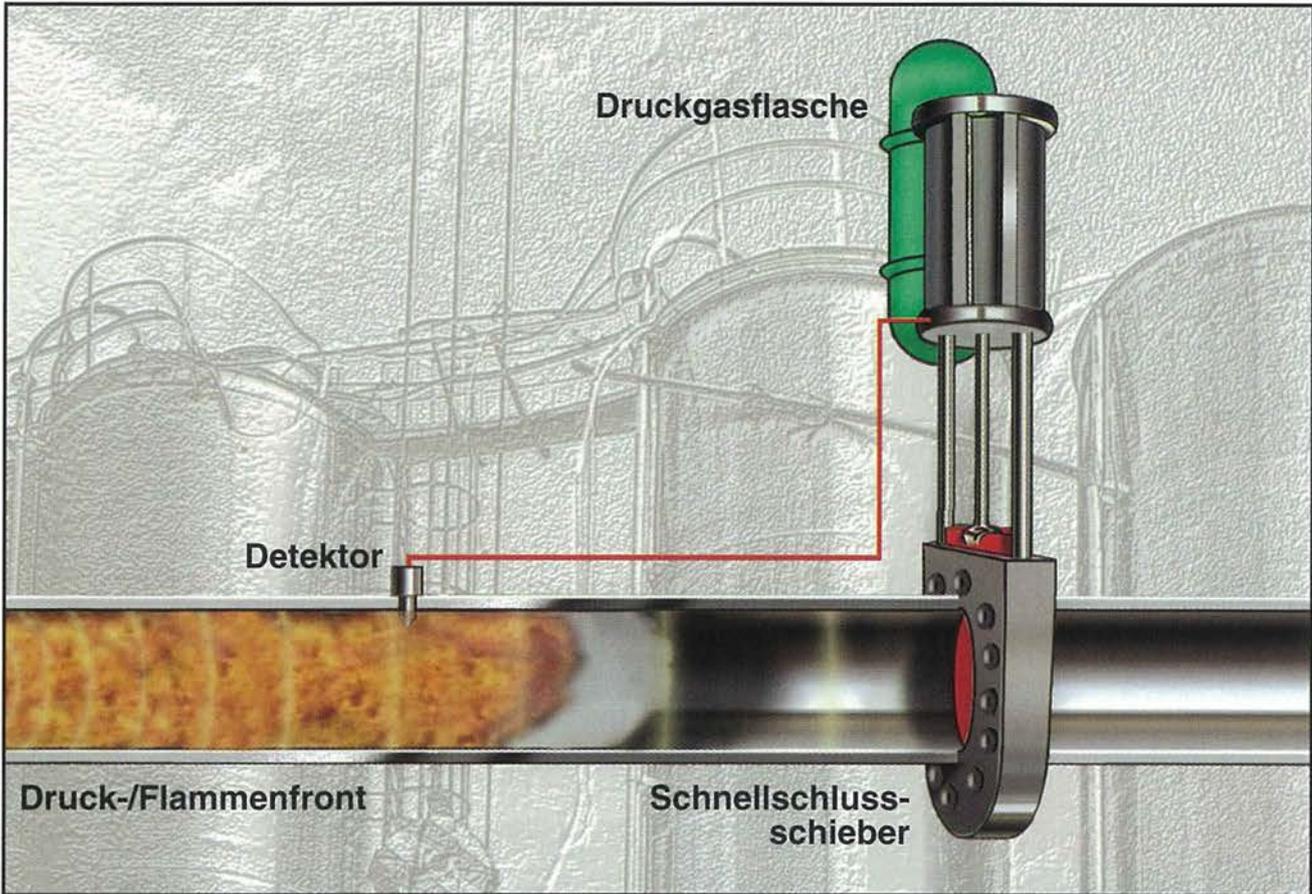


Bild 15.: Explosionstechnische Entkopplung durch Schnellschlussschieber

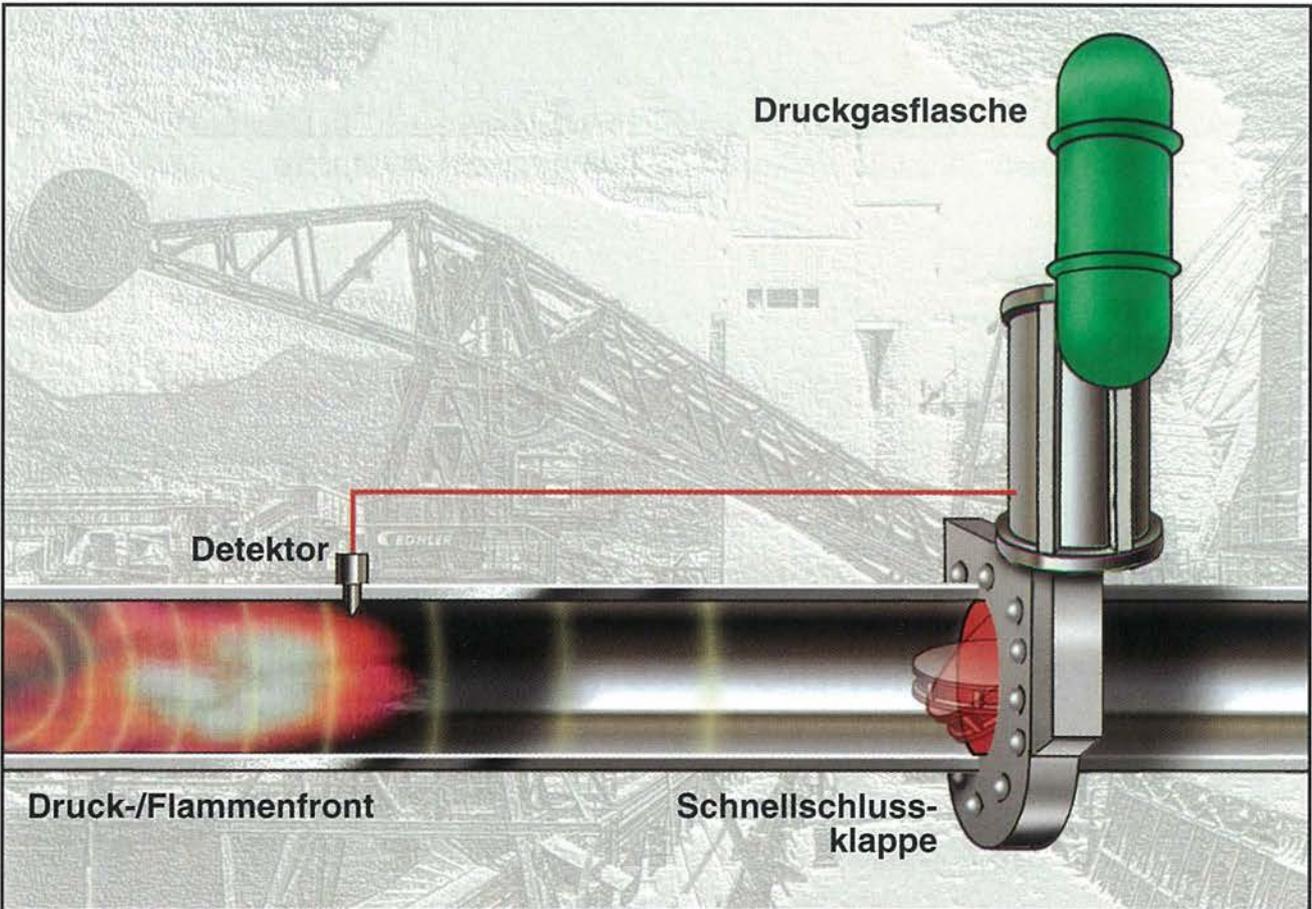


Bild 16.: Explosionstechnische Entkopplung durch Schnellschlussklappe

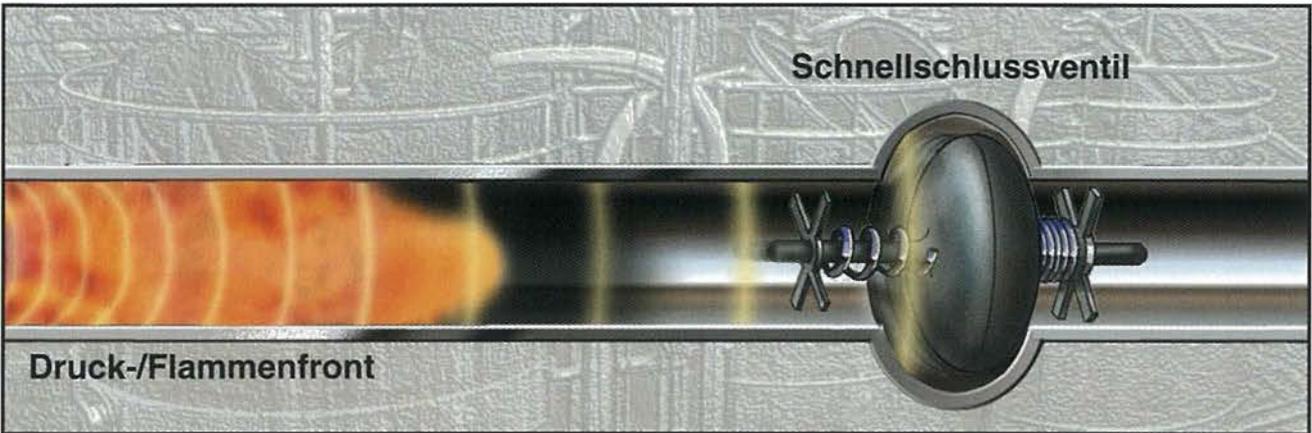


Bild 17: Explosionstechnische Entkopplung durch Schnellschlussventil

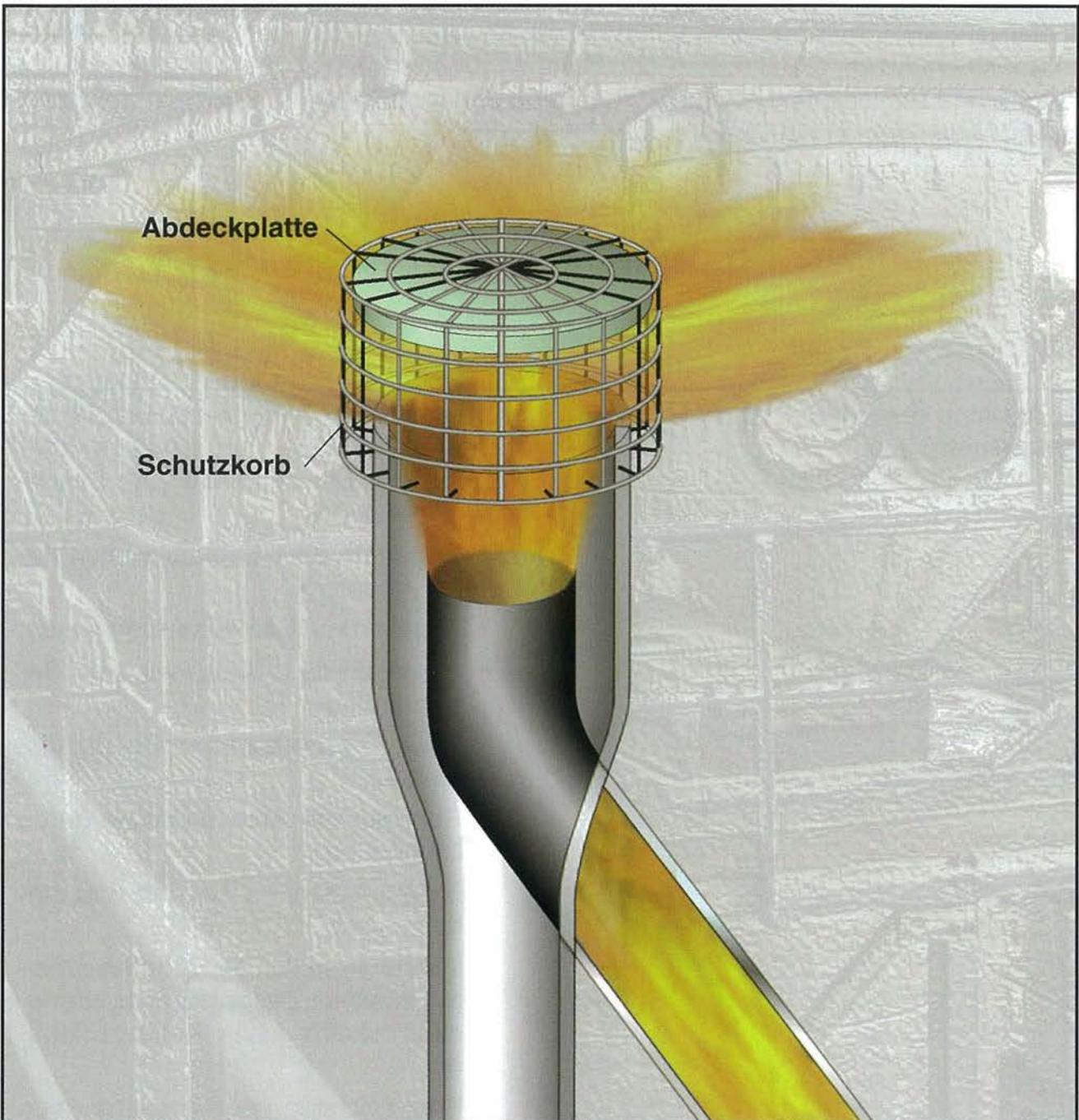


Bild 18: Explosionstechnische Entkopplung durch Entlastungsschlot

Organisatorische Massnahmen

Ergänzend zu den vorbeugenden und konstruktiven Explosionsschutzmassnahmen müssen organisatorische Massnahmen (z. B. Anweisungen für Inbetriebnahme, Warten und Instandsetzen, Qualifikation und Schulung) getroffen werden, um einerseits das Brand- und Explosionsrisiko zu verringern und andererseits die Wirksamkeit der technischen Massnahmen auf Dauer zu gewährleisten.

Organisatorische Massnahmen im Sicherheits-Management-System festlegen.

Was sind organisatorische Massnahmen?

Von vielen Möglichkeiten haben in der betrieblichen Praxis u. a. folgende organisatorische Massnahmen eine besondere Bedeutung:

- Erstellen des Explosionsschutzdokumentes,
- Erstellen von Betriebsanweisungen,
- Regelmässiges Unterweisen der Beschäftigten,
- Tragen der persönlichen Schutzausrüstung,
- Reinigen der Anlagen sowie deren Umgebung,
- Instandhalten der Anlagen und Einrichtungen,
- Durchführen von besonderen Arbeiten in explosionsgefährdeten Bereichen nur mit entsprechender Erlaubnis,
- Kennzeichnen oder Absperrern von gefährdeten Bereichen.

**Erstellen eines
Explosionsschutzdokumentes**

Das Explosionsschutzdokument enthält Angaben wie

- Beschreibung des Betriebsbereiches, des Verfahrens, der Tätigkeiten und der Stoffmengen,
- Stoffdaten (sicherheitstechnische Kenngrössen),
- Risikobeurteilung,
- Zoneneinteilung,
- technische und organisatorische Schutzmassnahmen,
- Notfallmassnahmen sowie Betriebsanweisungen und Arbeitsfreigabe.

Erstellen von Betriebsanweisungen

Die Betriebsanweisungen müssen sowohl das Verhalten der Beschäftigten im Normalbetrieb als auch im Fall von Störungen regeln. Die Verantwortlichkeiten für das Durchführen der Massnahmen müssen klar festgelegt werden.

**Regelmässiges Unterweisen der
Beschäftigten**

In regelmässigen Abständen sind die Beschäftigten zu unterweisen, insbesondere über mögliche Gefahren zu informieren und auf das richtige Verhalten hinzuweisen.

**Tragen der persönlichen
Schutzausrüstung**

Die erforderliche persönliche Schutzausrüstung, z. B. leitfähige Schuhe, ist bereitzustellen, zu benutzen und funktionsfähig zu erhalten.

**Reinigen der Anlagen sowie deren
Umgebung**

Der Reinigung der Anlagen und insbesondere dem Entfernen von Staubablagerungen in deren Umgebung kommt eine sehr grosse Bedeutung zu, weil beispielsweise schon eine 1 Millimeter dicke Staubschicht genügt, um bei Aufwirbelung z. B. durch die Druckwelle einer Primärexplosion, ein explosionsfähiges Staub-Luft-Gemisch zu bilden. Es muss deshalb nicht nur in regelmässigen Abständen, sondern besonders während oder nach Arbeiten mit hohem Staubanfall gereinigt werden.

Instandhalten der Anlagen und Einrichtungen

Auf eine regelmässige Instandhaltung (Warten, Kontrollieren und Instandsetzen) der Anlagen, insbesondere der sicherheitstechnischen Einrichtungen ist zu achten. Dazu gehören z. B. Schnellschlussklappen, Schnellschlusschieber, Mess-Sonden, und diejenigen Einrichtungen/Anlageteile, die zu Zündquellen werden können, wie Lager oder Elevatorgurte. Die Einführung eines «Sicherheits-Wartungs-Kontroll-Programms» (Checkliste) hat sich in der Praxis gut bewährt.

Durchführen von besonderen Arbeiten in explosionsgefährdeten Bereichen nur mit entsprechender Erlaubnis

Für besondere Arbeiten wie Schweiessen, Schleifen, Instandsetzen von elektrischen Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen sind Freigabebescheine (Feuer-, Schweiss- und Befahrerlaubnisschein) auszustellen.

Kennzeichnen oder Absperren von gefährdeten Bereichen

Explosionsgefährdete Bereiche (Zonen) wie die Umgebung von Befüll- und Entleerungsöffnungen, Füllanlagen, Schiebern, müssen gekennzeichnet werden. Bereiche, in denen Gefahren durch Explosionsdruckentlastungsvorgänge (Druck- und Flammenwirkungen) oder durch den Einsatz von Inertgasen (Erstickungsgefahr) bestehen, sind zu kennzeichnen und abzusperren.

Organisatorische Massnahmen erhöhen und ergänzen die Wirksamkeit der vorbeugenden und konstruktiven Explosionsschutzmassnahmen.

**Betriebs-
anweisungen**



Instandhalten



**Kennzeichnen
und Absperren**



Reinigen

**Informieren und
Unterweisen**



Bild 19: Organisatorische Massnahmen

Bauliche Massnahmen

Durch bauliche Massnahmen können einerseits Gefährdungen durch Staubexplosionen begrenzt und andererseits deren Auswirkungen auf das Gebäude vermindert werden.

Wie kann die Sicherheit durch bauliche Massnahmen erhöht werden?

Bauliche Massnahmen zur Erhöhung der Sicherheit sind z. B.:

- Brandabschnitte,
- Trennen staubemittierender Anlagenteile (wie Absackstationen, Überwurfstellen bei Förderbändern) von geschlossenen und deshalb nicht staubemittierenden Anlagenteilen. Dies kann z. B. durch Zwischenwände, Abdichten von Durchführungen erfolgen.
- Auftragen von glatten Oberflächen (z. B. auf Wände)
und
Anbringen von schrägen Flächen (z. B. auf Trägern, Fenstersimsen) um Staubablagerungen zu verringern.

Durch bauliche Massnahmen kann die Sicherheit wesentlich erhöht werden.

Sicherheitstechnische Kenngrößen

Zum Anwenden der genannten Schutzmassnahmen ist die Kenntnis von brenn- und explosionstechnischen Kenngrößen¹⁾ des vorkommenden Staubes notwendig. Diese Kenngrößen sind keine physikalischen Konstanten, sondern vom Staubzustand und dem Untersuchungsverfahren abhängig. Für das Auslegen der einzelnen Schutzmassnahmen müssen jeweils die auf der nachstehenden Seite genannten Kenngrößen bekannt sein. Im nachfolgenden Bild ist als Beispiel einer Prüfapparatur der 1-m³-Behälter zum Bestimmen der Staubexplosionsfähigkeit und der Explosionskenngrößen schematisch dargestellt.

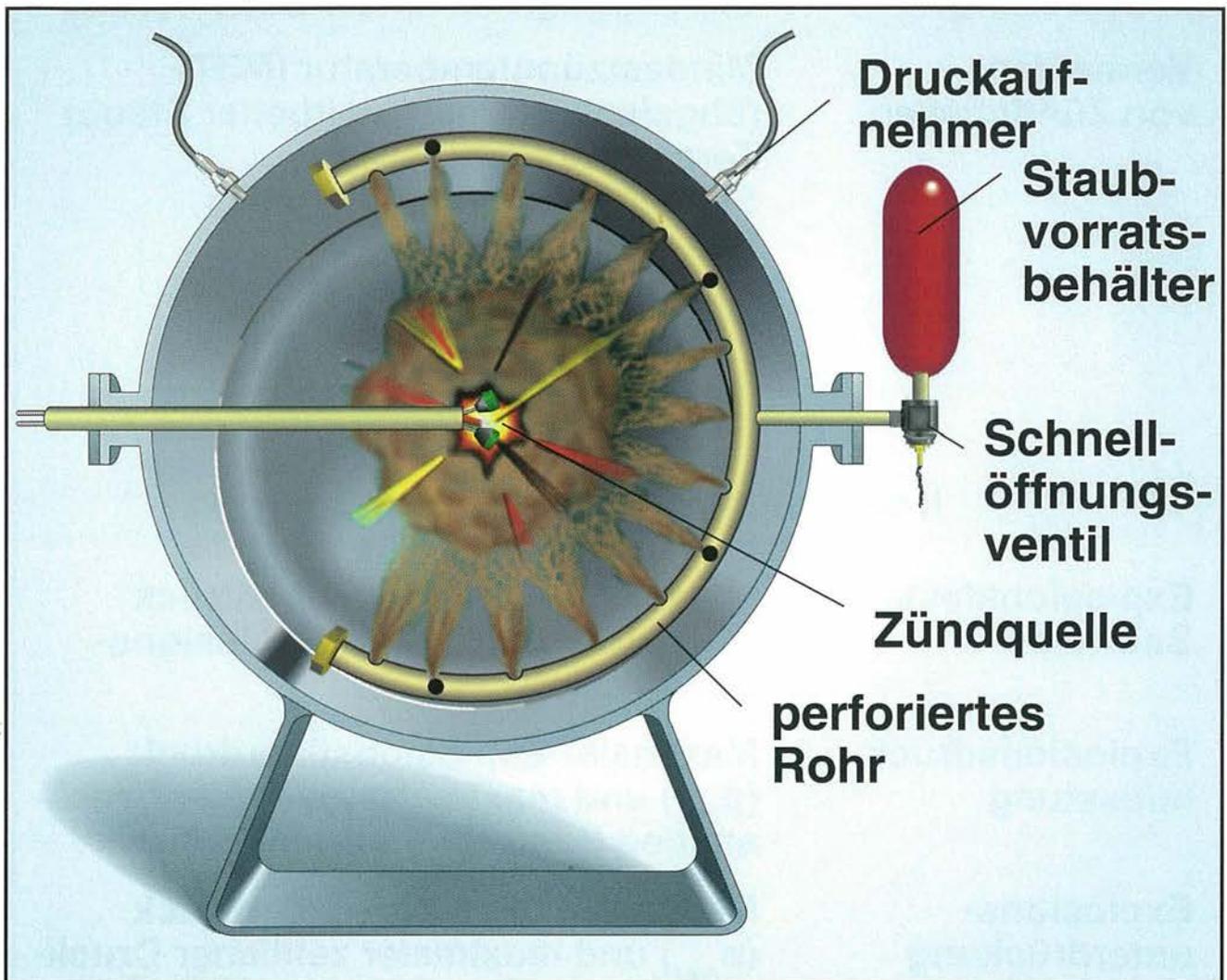


Bild 20: Prüfapparatur zum Bestimmen der explosionstechnischen Kenngrößen von Stäuben (1-m³-Behälter)

**Die Bewertung
sicherheitstechnischer Kenngrößen muss dem
Experten vorbehalten bleiben.**

¹⁾ Vgl. IVSS-Broschüre «Bestimmen der Brenn- und Explosionskenngrößen von Stäuben».

Schutzmassnahmen	Für die Auslegung der Schutzmassnahmen erforderliche Kenngrössen
Vorbeugender Explosionsschutz	
Ersatz brennbaren Materials	Brennbarkeit, Explosionsfähigkeit
Konzentrationsbegrenzung	Untere Explosionsgrenze (UEG)
Inertisierung	Sauerstoffgrenzkonzentration (SGK)
Vermeiden von Zündquellen	Mindestzündtemperatur (MZT) (abgelagerter, aufgewirbelter Staub) Zersetzungstemperatur Selbstentzündungsverhalten Schwelpunkt Mindestzündenergie (MZE) Schlagempfindlichkeit Elektrostatisches Verhalten (spezifischer Widerstand)
Konstruktiver Explosionsschutz	
Explosionsfeste Bauweise	Maximaler Explosionsüberdruck (p_{max}) oder reduzierter Explosionsüberdruck (p_{red})
Explosionsdruckentlastung	Maximaler Explosionsüberdruck (p_{max}) und maximaler zeitlicher Druckanstieg ($(dp/dt)_{max}$) bzw. K_{St}-Wert
Explosionsunterdrückung	Maximaler Explosionsüberdruck (p_{max}) und maximaler zeitlicher Druckanstieg ($(dp/dt)_{max}$) bzw. K_{St}-Wert
Explosions-technische Entkopplung	Grenzspaltweite Mindestzündtemperatur (MZT) der Staubwolke Mindestzündenergie (MZE)

Weiterführende Literatur

- [1] Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Richtlinie 94/9/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. März 1994 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten *für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemässen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen*, Amtsblatt der EG Nr. L 100 vom 19. April 1994, S. 1-29 (ATEX 100a, neu ATEX 95).
- [2] Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Richtlinie 99/92/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 1999 *über Mindestvorschriften zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können* (Fünfzehnte Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG), Amtsblatt der EG Nr. L 023 vom 28. Januar 2000, S. 57-64 (ATEX 118a, neu ATEX 137).
- [3] EN (Europäische Norm), *Explosionsfähige Atmosphäre - Explosionsschutz - Teil 1: Grundlagen und Methodik*, EN 1127-1, August 1997.
- [4] Bartknecht W., *Explosionsschutz, Grundlagen und Anwendung*, Springer Verlag, D-10969 Berlin, 1993.
- [5] VDI (Verein Deutscher Ingenieure), *Staubbrände und Staubexplosionen, Gefahren - Beurteilung - Schutzmassnahmen*, VDI-Richtlinie 2263, VDI Verlag, D-40239 Düsseldorf, 1992.
- [6] ESCIS (Expertenkommission für Sicherheit in der chemischen Industrie der Schweiz), *Sicherheitstests für Chemikalien*, ESCIS-Heft 1, Suva Bereich Chemie, CH-6002 Luzern, 1998.
- [7] VDI, *Staubbrände und Staubexplosionen, Gefahren - Beurteilung - Schutzmassnahmen, Untersuchungsmethoden zur Ermittlung von sicherheitstechnischen Kenngrössen von Stäuben*, VDI-Richtlinie 2263 - Blatt 1, VDI Verlag, D-40239 Düsseldorf, 1990.
- [8] VDI, *Staubbrände und Staubexplosionen, Gefahren - Beurteilung - Schutzmassnahmen, Inertisierung*, VDI-Richtlinie 2263 - Blatt 2, VDI Verlag, D-40239 Düsseldorf, 1992.
- [9] ESCIS, *Inertisierung*, ESCIS-Heft 3, Suva Bereich Chemie, CH-6002 Luzern, 1995.

- [10] ESCIS, *Statische Elektrizität - Regeln für die betriebliche Sicherheit*, ESCIS-Heft 2 Suva Bereich Chemie, CH-6002 Luzern, 1997.
- [11] ESCIS, *Statische Elektrizität - Zündgefahren und Massnahmen*, ein interaktives Lernprogramm, CD-ROM V1.1d, Suva Bereich Chemie, CH-6002 Luzern, 2000.
- [12] VDI, *Staubbrände und Staubexplosionen, Gefahren - Beurteilung - Schutzmassnahmen, Explosionsdruckstossfeste Behälter und Apparate - Berechnung, Bau und Prüfung*, VDI-Richtlinie 2263 - Blatt 3, VDI Verlag, D-40239 Düsseldorf, 1979.
- [13] VDI, *Staubbrände und Staubexplosionen, Gefahren - Beurteilung - Schutzmassnahmen, Unterdrückung von Staubexplosionen*, VDI-Richtlinie 2263 - Blatt 4, VDI Verlag, D-40239 Düsseldorf, 1992.
- [14] VDI, *Druckentlastung von Staubexplosionen*, VDI-Richtlinie 3673 - Blatt 1, VDI Verlag, D-40239 Düsseldorf, 1995.
- [15] ESCIS, *Mahlen brennbarer Feststoffe*, ESCIS-Heft 5, Suva Bereich Chemie, CH-6002 Luzern, 1993.
- [16] ESCIS, *Schutz gegen Stoffaustritt als Folge notfallmässiger Druckentlastung*, ESCIS-Heft 12, Suva Bereich Chemie, CH-6002 Luzern, 1996.
- [17] Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), *Dokumentation Staubexplosionen - Analyse und Einzelfalldarstellung, BIA-Report 11/97*, HVBG, D-53754 Sankt Augustin, 1997.
- [18] Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), *Brenn- und Explosionskenngrössen von Stäuben, BIA-Report 12/97*, HVBG, D-53754 Sankt Augustin, 1997.
- [19] Steen H., *Handbuch des Explosionsschutzes*, Wiley-VCH Verlag, D-69469 Weinheim, 2000.
- [20] ESCIS, *Explosionsschutz*, Video-Reihe Teil 1-4, Suva Bereich Chemie, CH-6002 Luzern, 1998.

Schriftenreihe IVSS - Explosionsschutz

IVSS Sektion für die chemische Industrie
Arbeitsgruppe «Explosionsschutz»

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

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

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

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

Zündquellen (in Vorbereitung)

Bestelladresse: IVSS Sektion Chemie
Kurfürsten Anlage 62
D-69115 Heidelberg
Deutschland

IVSS Sektion Maschinensicherheit
Arbeitskreis «Staubexplosionen»

Staubexplosionsschutz an Maschinen und Apparaten

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

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

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

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

Bestelladresse: IVSS Sektion Maschinensicherheit
Dynamostr. 7-11
D-68165 Mannheim
Deutschland

DIE IVSS UND DIE VERHÜTUNG VON ARBEITSUNFÄLLEN UND BERUFSSKRANKHEITEN

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, Runder Tischgesprächen 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
Weissensteinstrasse 72
D-34131 KASSEL-WILHELMSHÖHE
Deutschland



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



INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS
für die CHEMISCHE INDUSTRIE
Berufsgenossenschaft
der chemischen Industrie
Kurfürsten Anlage 62
D-69115 HEIDELBERG
Deutschland



INTERNATIONALE SEKTION DER
IVSS für den BERGBAU
Bergbau-Berufsgenossenschaft
Hunscheidtstrasse 18
D-44789 BOCHUM
Deutschland



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



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



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



INTERNATIONALE SEKTION DER
IVSS für ERZIEHUNG und
AUSBILDUNG
Institut national de recherche et de
sécurité (INRS)
30, rue Olivier-Noyer
F-75680 PARIS CEDEX 14
Frankreich



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



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



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