

Leitfaden zur Vermeidung von Staubexplosionen bei der Gewinnung und Verarbeitung von Zucker



Anmerkungen:

Die Texte und Abbildungen in dieser Publikation wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Für Fehler kann jedoch keine Verantwortung übernommen werden. Letztendlich maßgebend sind im Einzelfall immer die Anordnungen der zuständigen staatlichen Stellen und der Präventionsabteilung der Berufsgenossenschaft.

Die Weitergabe des Leitfadens zu Planungs- und Schulungszwecken ist zulässig und erwünscht.

Der Leitfaden ist auch in elektronischer Form erhältlich.

Bei diesem Leitfaden handelt es sich um eine mit dem

**Fachbereich Rohstoffe und chemische Industrie der DGUV
Sachgebiet Explosionsschutz**

abgestimmte Schrift.

**Dieser Leitfaden wird in der Beispielsammlung der
DGUV-Regel 113-001 (BG-Regel 104)
„Beispielsammlung zur Einteilung explosionsgefährdeter Bereiche in
Zonen nach TRBS 2152 Teil 2, Anlage Pkt. 2“ unter der Ziffer 5.25
geführt.**



Forschungsgesellschaft für angewandte Systemsicherheit und Arbeitsmedizin
www.fsa.de



Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe
www.bgn.de



Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie
www.bgrci.de

Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkung	5
2	Grundsätzliche Betrachtungen	6
3	Voraussetzungen für eine Staubexplosion	8
4	Zonendefinitionen und -einteilung	9
4.1	Definitionen	9
4.2	Beispiele für Zoneneinteilung	10
5	Auswahl von Geräten und Schutzsystemen	12
6	Gefährdungsbeurteilung	15
7	Schutzmaßnahmen gegen Staubexplosionen	20
7.1	Vermeiden von explosionsfähigen Atmosphären	21
7.2	Vermeiden wirksamer Zündquellen	22
7.2.1	Heiße Oberflächen	22
7.2.2	Flammen und heiße Gase, einschl. heißer Partikel	23
7.2.3	Mechanisch erzeugte Funken	24
7.2.4	Elektrische Anlagen	25
7.2.5	Statische Elektrizität	26
7.2.6	Beispiele für Maßnahmen zur Vermeidung von Zündquellen	29
7.2.6.1	Pneumatische Förderanlagen	29
7.2.6.1.1	Flugförderung	29
7.2.6.1.2	Dichtstromförderung	29
7.2.6.1.3	Pfropfenförderung	30
7.2.6.2	Mechanische Förderung	30
7.2.6.2.1	Elevatoren	30
7.2.6.2.2	Schneckenförderer	31
7.2.6.2.2.1	Schneckenförderer für Kristallzucker	31
7.2.6.2.2.2	Schneckenförderer für Puderzucker	31
7.2.6.2.3	Bandförderer	31
7.2.6.2.4	Flexible Schüttgutbehälter (FIBC, Big Bags)	31
7.3	Konstruktiver Explosionsschutz	33
7.3.1	Explosionsfeste Bauweise	33
7.3.2	Explosionsdruckentlastung	34
7.3.3	Explosionsunterdrückung	35
7.3.4	Explosionsentkopplung	35
7.3.5	Beispiele für Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes	36
7.3.5.1	Aspirationsleitungen	36
7.3.5.2	Filter	37
7.3.5.3	Stationäre Staubsaugeranlage	37
7.3.5.4	Pudermühle	38
8	Bauliche Maßnahmen	39

9	Organisatorische Maßnahmen	40
9.1	Kennzeichnung	40
9.2	Reinigung und Wartung	40
9.3	Instandsetzung und Prüfung	41
9.3.1	Prüfung vor Inbetriebnahme einer Überwachungsbedürftigen Anlage	42
9.3.1.1	Die Prüfung der Anlage (BetrSichV §14 Zif. 1-3)	42
9.3.1.2	Prüfung der Explosionssicherheit von Arbeitsplätzen (Konzeptprüfung, BetrSichV Anh. 4 A Zif. 3.8)	43
9.3.2	Prüfung nach Instandsetzung (BetrSichV §14 Abs. 6)	44
9.3.3	Wiederkehrende Prüfungen (BetrSichV §15 Abs. 15)	44
9.4	Betriebsanweisung, Unterweisung	44
9.5	Arbeitsfreigabe	45
9.6	Explosionsschutzdokument	45
10	Anhang (allgemein)	47
10.1	Begriffsbestimmungen, Kenngrößen (für brennbaren Staub)	47
10.2	Explosionsereignisse (Zündquellenschwerpunkte)	52
10.3	Explosionsereignisse (Anlagenschwerpunkte)	53
10.4	Explosionsentkopplung in Aspirationsleitungen	54
10.5	Druckverlauf beim Einsatz der Explosionsunterdrückung	55
10.6	Schnellschlussschieber zur Explosionsentkopplung	56
10.7	Zellenradschleuse zur Explosionsentkopplung	57
10.8	Entlastungsschlot zur Explosionsentkopplung	58
10.9	Explosionsdruckfeste und explosionsdruckstoßfeste Konstruktion	59
10.10	Erlaubnisschein für Arbeiten in explosionsgefährdeten Bereichen	60
10.11	Muster-Gliederung Explosionsschutzdokument	61
10.12	Zusammenfassendes Explosionsschutzdokument	65
11	Anhang (Zuckerstaub)	66
11.1	Brenn- und Explosionskenngrößen von Zuckerstaub	66
11.2	Übliche Zoneneinteilungen für Zuckerstaub	69
12	Anhang (Schnitzel- und Pelletstaub)	71
12.1	Brenn- und Explosionskenngrößen von Schnitzel- und Pelletstaub	71
12.2	Übliche Zoneneinteilungen für Schnitzel- und Pelletstaub	72
13	Literaturverzeichnis	74
13.1	Vorschriften, Regeln und Informationen der Unfallversicherungsträger	74
13.2	Europäische Richtlinien	75
13.3	Gesetze	76
13.4	Verordnungen	77
13.5	Technische Regeln	78
13.6	Normen	80
13.7	Sonstige Schriften	81
13.8	Datenbanken und andere Informationsquellen im Internet	83
13.9	Weitere für die Erarbeitung des Kataloges verwendete Quellen	84
14	Bezugsquellen	86

1 Vorbemerkung

Dieser Leitfaden wurde von einem von der BG Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI) gebildeten Arbeitskreis, zusammen mit Vertretern der Zuckerindustrie und der BG Nahrungsmittel und Gastgewerbe (BGN), erstellt. Dabei wurden die Erkenntnisse vieler bekannt gewordener Zuckerstaubexplosionen im In- und Ausland, die Forschungsergebnisse über Staubexplosionen und die Anforderungen an Explosionsschutzmaßnahmen aufgrund staatlicher und berufsgenossenschaftlicher Vorschriften sowie weiterer anerkannter Regeln der Technik berücksichtigt.

Mit dieser Zusammenstellung soll Planern, Herstellern und Betreibern von Maschinen, Anlagen und Einrichtungen für die Zuckerindustrie eine Hilfe bei der Beurteilung einer Staubexplosionsgefahr und bei der Auswahl geeigneter Explosionsschutzmaßnahmen gegeben werden.

Hinweis: Für das Inverkehrbringen von Geräten und Schutzsystemen im Sinne der Richtlinie 94/9/EG ist ein Konformitätsbewertungsverfahren nach dieser Richtlinie durchzuführen. Dieser Leitfaden bietet eine Hilfestellung für die Bewertung, kann das Verfahren aber nicht ersetzen.

Der Leitfaden befasst sich mit den Explosionsgefahren durch Zucker-, Schnitzel- und Pelletstaub.

Der Leitfaden erhebt nicht den Anspruch, Patentlösungen für alle Fälle der Praxis zu bieten. Vielmehr soll er die Systematik bei der Beurteilung von Gefahren und dem Abschätzen von Risiken verdeutlichen und Lösungsansätze für Schutzkonzepte aufzeigen. Dort, wo hinreichende Erkenntnisse für zulässige Verallgemeinerungen zu den Schutzmaßnahmen vorliegen, wird dies berücksichtigt.

2 Grundsätzliche Betrachtungen

Der Staubexplosionsschutz stellt für die Zuckerindustrie eine elementare Voraussetzung für den sicheren Betrieb der zuckerherstellenden Produktionsanlagen dar. Explosionsereignisse haben oft schwerwiegende Konsequenzen für die Anlagen und die direkt oder indirekt betroffenen Mitarbeiter. Daher muss diesem Aspekt des vorbeugenden Arbeitsschutzes besondere Bedeutung beigemessen werden. Auch auf diesem Gebiet gilt die alte Erfahrung, dass Versäumnisse, die in der Planungsphase gemacht werden, später mit einem ungleich größeren finanziellen und personellen Aufwand wieder wettgemacht werden müssen. Dieser Erkenntnis trägt auch die rechtliche Konzeption des Arbeitsschutzes in Deutschland Rechnung.

Der Explosionsschutz wird in Deutschland maßgeblich durch folgende Verordnungen geregelt:

Die Explosionsschutzverordnung (11. ProdSV) regelt das Inverkehrbringen von Geräten, Schutzsystemen, Komponenten, Sicherheits-, Kontroll- und Regelvorrichtungen für explosionsgefährdete Bereiche und enthält Beschaffenheitsanforderungen, die vom Hersteller zu erfüllen sind. Rechtliche Grundlage der Explosionsschutzverordnung ist das Produktsicherheitsgesetz (ProdSG). /401/

Die Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) regelt u. a. die Bereitstellung und die Benutzung von Arbeitsmitteln, wie z. B. Geräten und Schutzsystemen zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen und enthält vorrangig Betriebsbestimmungen, die vom Arbeitgeber und / oder vom Betreiber zu erfüllen sind. Rechtliche Grundlage der Betriebssicherheitsverordnung ist das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG). /402/

Dazu kommen noch die ergänzenden Bestimmungen zum Explosionsschutz in der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV). /404/

Die Explosionsschutz-Regeln – EX-RL, Sammlung technischer Regeln für das Vermeiden der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung zur Einteilung explosionsgefährdeter Bereiche in Zonen (BGR 104) beinhalten u. a. folgende technische Regeln für Betriebssicherheit:

TRBS 1112 »Instandhaltung«

TRBS 1112 Teil 1 »Explosionsgefährdungen bei und durch Instandhaltungsarbeiten - Beurteilungen und Schutzmaßnahmen

TRBS 1201 »Prüfung von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen¹«

TRBS 1201 Teil 1 »Prüfung von Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen und Überprüfung von Arbeitsplätzen in explosionsgefährdeten Bereichen«

TRBS 1201 Teil 3 »Instandsetzung an Geräten, Schutzsystemen, Sicherheits-, Kontroll- und Regelvorrichtungen im Sinne der Richtlinie 94/9/EG – Ermittlung der Prüfnötwendigkeit gemäß §14 Abs. 6 BetrSichV«

TRBS 2152 / TRGS 720 »Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Allgemeines«

¹ Der Begriff „überwachungsbedürftige Anlage“ ist eine Besonderheit in der Gesetzgebung der Bundesrepublik Deutschland.

TRBS 2152 Teil 1 / TRGS 721 »Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Beurteilung der Explosionsgefährdung«

TRBS 2152 Teil 2 / TRGS 722 »Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre«

TRBS 2152 Teil 3 »Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre«

TRBS 2152 Teil 4 »Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes, welche die Auswirkung einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken«

TRBS 2153 »Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen«

Weitere Schriften, wie z. B. Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS), Berufsgenossenschaftliche Regeln (BGR), Grundsätze (BGG) und Informationen (BGI), dienen der Konkretisierung der gestellten Forderungen.

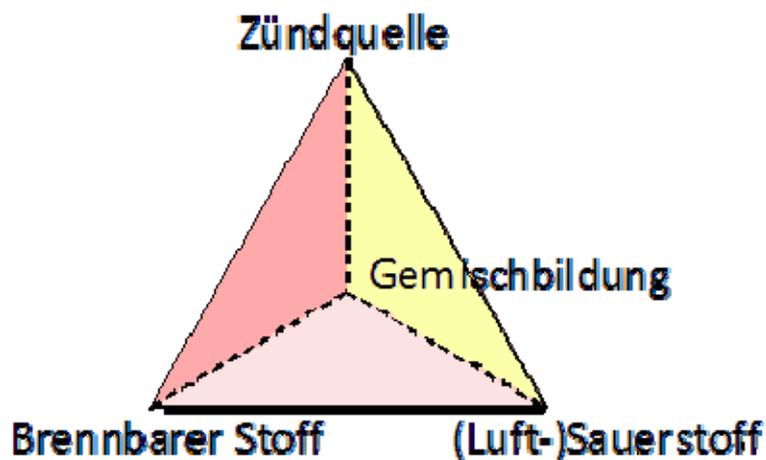
3 Voraussetzungen für eine Staubexplosion

Für das Zustandekommen einer Staubexplosion müssen folgende Bedingungen gegeben sein:

- brennbarer (exotherm oxidierbarer) Staub hinreichender Feinheit
- ausreichender Sauerstoff (im Allgemeinen in Form von Luftsauerstoff vorhanden)
- Konzentration des Staubes in Luft innerhalb der Explosionsgrenzen
- wirksame Zündquelle

Alle diese Voraussetzungen müssen zur selben Zeit und am selben Ort gegeben sein.

Dann und nur dann kommt es zur Staubexplosion.



Welche Auswirkungen eine Explosion hat, hängt vor allem ab von

- den Kenngrößen des Staubes,
- der Ausdehnung und Turbulenz der Staubwolke,
- der technischen Ausführung der Anlagen und
- den vorhandenen Raumverhältnissen, z. B. Abmessungen, Entlastungsflächen, Verbindungen zu anderen Räumen.

4 Zonendefinitionen und -einteilung

4.1 Definitionen

Bereiche, in denen mit dem Auftreten gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre (g. e. A.) zu rechnen ist, sind "explosionsgefährdete Bereiche". Sie werden nach der Auftrittswahrscheinlichkeit des Vorhandenseins der explosionsfähigen Atmosphären in Zonen eingeteilt.

Normalbetrieb ist der Zustand, in dem die Arbeitsmittel oder Anlagen und deren Einrichtungen innerhalb ihrer Auslegungsparameter benutzt oder betrieben werden.²

Inspektion und Wartung sowie die Freisetzung geringer Mengen brennbarer Stoffe, z. B. bei betriebsüblichen Störungen (z. B. Abrutschen eines Sackes von einer Füllereinrichtung) können zum Normalbetrieb gehören.

Störungen, z. B. das Versagen von Dichtungen, von Pumpen oder Flanschen oder die Freisetzung von Stoffen infolge von Unfällen, die z. B. Instandsetzung oder Abschaltung erfordern, werden nicht als Normalbetrieb angesehen.

Die RL 1999/92/EG beschreibt folgende Zonen für den Staubexplosionsschutz:

Zone 20

"ist ein Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist."

Anmerkung:

Der Begriff „häufig“ ist im Sinne von „zeitlich überwiegend“ zu verwenden. Als Betrachtungseinheit ist hier die tatsächliche Betriebsdauer einer Anlage anzuwenden. Explosionsgefährdete Bereiche sind Zone 20 zuzuordnen, wenn mehr als 50 % während der Betriebsdauer der betrachteten Anlage oder eines Anlagenteils explosionsfähige Atmosphäre vorherrscht.³ Diese Bedingungen treten im Allgemeinen nur im Inneren von Behältern, Aspirationsleitungen, Apparaturen usw. auf. /103/

Zone 21

"ist ein Bereich, in dem sich bei Normalbetrieb gelegentlich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub bilden kann."

Anmerkung:

Der Begriff „gelegentlich“ ist im Sinne von „deutlich zeitlich nicht überwiegend“ zu verwenden. Überschreitet das Vorhandensein explosionsfähiger Atmosphäre eine Zeitdauer von etwa 30 Minuten oder tritt diese gelegentlich, z. B. täglich, auf, ist aber kleiner als 50 % der Betriebsdauer der Anlage, so liegt die Zone 21 vor.⁴ Diese Bedingungen können z. B. bei

² TRBS 2152 Zif. 2.1 (2)

³ Kompendium Explosionsschutz 5.1.2

⁴ Kompendium Explosionsschutz 5.1.4

gesteuerten An- oder Abfahrvorgängen, Befüllungen von Lagersilos oder im Inneren von Schneckenförderern auftreten.

Zone 22

“ist ein Bereich, in dem bei Normalbetrieb eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbarem Staub normalerweise nicht oder aber nur kurzfristig auftritt.“

Anmerkung:

Unter vielen Experten besteht allgemeiner Konsens darin, dass der Begriff »kurzzeitig« einer Zeitdauer von ca. 30 Minuten entspricht und dass explosionsfähige Atmosphäre bei Normalbetrieb normalerweise nicht oder nur wenige Male pro Jahr zu erwarten ist.⁵ Dies sind u. a. Bereiche mit Staubablagerungen, die durch das Aufwirbeln gefährliche explosionsfähige Atmosphäre bilden können.⁶

4.2 Beispiele für Zoneneinteilung

Mit gefährlichen explosionsfähigen Atmosphären ist erfahrungsgemäß z. B. zu rechnen:

ständig, über lange Zeiträume oder häufig (Zone 20)

- in Entstaubungsfiltren auf der Rohgasseite,
- in Pudermühlen im Mahlwerk und im Mühlennachbehälter,
- in Puderconditionieranlagen,

gelegentlich (Zone 21)

- in Siebmaschinen,
- in Elevatoren,
- in Sortenbunkern für feinen Zucker (< 250 µm),
- in Puder- und Staubschnecken mit höheren Umfangsgeschwindigkeiten ($v > 1$ m/s),

normalerweise nicht oder aber **nur kurzzeitig** (Zone 22)

- in Kristallzuckersilos,
- in Sortenbunkern mit grobem Zucker (> 250 µm),
- in langsam laufenden Puder- und Staubschnecken ($v < 1$ m/s),
- in Zuckertrocknern (Kristallzucker),
- in Wirbelschichttrocknern (Kristallzucker),

⁵ Kompendium Explosionsschutz 5.1.3 und IVSS-Broschüre „Gefährdungen durch Explosionen S.8

⁶ Kompendium Explosionsschutz 5.1.3

- in Bereichen mit signifikanten Staubablagerungen
z. B. in der näheren Umgebung offener Bandanlagen (Silokeller)

Dabei ist in allen Fällen den besonderen Problemen durch abgelagerten Staub Rechnung zu tragen.

- Abgelagerter Staub ist eine ständige Quelle für mögliche Staubwolken. Eine gleichmäßig über die gesamte Bodenfläche verteilte Staubablagerung von weniger als 1 mm Schichtdicke reicht aus, um beim Aufwirbeln einen Raum normaler Höhe mit explosionsfähigem Staub/Luft-Gemisch vollständig auszufüllen. Infolge einer ersten Explosion kann abgelagerter Staub aufgewirbelt werden und zu Folgeexplosionen führen. In der Gefährdungsbeurteilung ist dies besonders zu beachten, weil in diesem Fall explosionsfähige Staub/Luft-Gemische und wirksame Zündquellen gleichzeitig auftreten.
- Größere Schichtdicken abgelagerten Staubes auf energieumsetzenden Betriebsmitteln (z. B. Kühlrippen eines Motors nicht mehr deutlich zu erkennen) führen infolge der wärmedämmenden Eigenschaften zu verschiedenen Effekten (z. B. Temperaturerhöhung des Betriebsmittels), die im Gegensatz zu "staubfreien Situationen" wirksame Zündquellen hervorrufen können.
- Die Möglichkeit der Bildung von Glimmnestern spielt bei Zucker, aufgrund seines niedrigen Schmelzpunktes, nur eine ganz untergeordnete Rolle.

Anmerkungen:

Zuckerstaub entsteht produktionsbedingt beim Mahlen von Kristallzucker zu Puderzucker in Pudermühlen, aber auch unerwünscht z. B. durch Abrieb beim Transport von Zucker.

Zu einem Freisetzen des Staubes bzw. zu einer solchen Anreicherung kommt es in erster Linie durch Trenn- und Sichtvorgänge beim Bewegen und Handhaben des Zuckers

- an Übergabestellen von Förderwegen,
- in Silos und Bunkern beim Ein- und Auslagern und
- in Elevatoren.

Hinweis:

Die obenstehende Auflistung von Beispielen ist nicht abschließend und dient nur zur Orientierung. Eine Einzelfallbetrachtung ist jeweils durchzuführen.

5 Auswahl von Geräten und Schutzsystemen

Die richtige Auswahl der zum Einsatz kommenden Geräte, Schutzsysteme, Komponenten, Sicherheits-, Kontroll- und Regelvorrichtungen stellt eine Grundvoraussetzung zur Realisierung des Explosionsschutzes dar. Vorausgesetzt wird immer die bestimmungsgemäße Verwendung der Geräte und Schutzsysteme.

Die Richtlinie 94/9/EG des Europäischen Parlaments und des Rates für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen regelt das Inverkehrbringen von Geräten, Schutzsystemen, Komponenten, Sicherheits-, Kontroll- und Regelvorrichtungen für explosionsgefährdete Bereiche und enthält Beschaffenheitsanforderungen, die vom Hersteller zu erfüllen sind. Dabei hat der Hersteller die im Anhang II der Richtlinie 94/9/EG enthaltenen grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen für die Konzeption und den Bau einzuhalten.

Das Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) setzt zusammen mit der 11. ProdSV (Explosionsschutzverordnung) die Richtlinie 94/9/EG um.

Weitere Hinweise können dem „Handlungsleitfaden Maschinen- und Anlagensicherheit“ der BGN entnommen werden.

Produkte (lt. 11. ProdSV)	Grundl. Sicherheitsanforderungen	Ex-Kennzeichnung	CE-Kennzeichnung	Konformitätserklärung	Herstellererklärung	Betriebsanleitung
Geräte	X	X	X	X		X
Schutzsysteme	X	X	X	X		X
Sicherheitsvorrichtungen	X	X	X	X		
Kontrollvorrichtungen	X	X	X	X		
Regelvorrichtungen	X	X	X	X		X
Komponenten					X	

Abb. 1: Formale und technologische Voraussetzungen

Entsprechend der Explosionsschutzverordnung (11. ProdSV) werden in der zuckergewinnenden und -verarbeitenden Industrie die Geräte und Schutzsysteme zur Verwendung in staubexplosionsgefährdeten Bereichen der Gerätegruppe II zugeordnet. In Abhängigkeit von den Einsatzbedingungen (bestimmungsgemäße Verwendung) werden die Geräte in drei Kategorien aufgeteilt.

Verwendbare Geräte mit Kennzeichnung	Geeignet für	in Zone
II 1 G	Gas/Luft-Gemisch bzw. Dampf/Luft-Gemisch bzw. Nebel	0
II 1 G oder 2 G	Gas/Luft-Gemisch bzw. Dampf/Luft-Gemisch bzw. Nebel	1
II 1 G oder 2 G oder 3 G	Gas/Luft-Gemisch bzw. Dampf/Luft-Gemisch bzw. Nebel	2
II 1 D	Staub/Luft-Gemisch	20
II 1 D oder 2 D	Staub/Luft-Gemisch	21
II 1 D oder 2 D oder 3 D	Staub/Luft-Gemisch	22

Abb. 2: Zuordnung Gerätekategorie - Zonen

Kategorie 1D:

Sie umfasst Geräte, die konstruktiv so gestaltet sind, dass sie in Übereinstimmung mit den vom Hersteller angegebenen Kenngrößen betrieben werden können und ein sehr hohes

Maß an Sicherheit gewährleisten. Geräte dieser Kategorie sind zur Verwendung in Bereichen bestimmt, in denen eine explosionsfähige Atmosphäre ständig oder langfristig oder häufig vorhanden ist (für Stäube entspricht das Zone 20).

Geräte dieser Kategorie müssen selbst bei selten auftretenden Gerätestörungen das erforderliche Maß an Sicherheit gewährleisten. Sie weisen Explosionsschutzmaßnahmen auf, so dass beim Versagen einer apparativen Schutzmaßnahme mindestens eine zweite unabhängige apparative Schutzmaßnahme die erforderliche Sicherheit gewährleistet bzw. beim Auftreten von zwei unabhängigen Fehlern die erforderliche Sicherheit gewährleistet wird.

Kategorie 2D:

Sie umfasst Geräte, die konstruktiv so gestaltet sind, dass sie in Übereinstimmung mit den vom Hersteller angegebenen Kenngrößen betrieben werden können und ein hohes Maß an Sicherheit gewährleisten. Geräte dieser Kategorie sind zur Verwendung in Bereichen bestimmt, in denen damit zu rechnen ist, dass eine explosionsfähige Atmosphäre gelegentlich auftritt (für Stäube entspricht das Zone 21).

Die apparativen Explosionsschutzmaßnahmen dieser Kategorie gewährleisten selbst bei häufigen Gerätestörungen oder Fehlerzuständen, die üblicherweise zu erwarten sind, das erforderliche Maß an Sicherheit.

Kategorie 3D:

Sie umfasst Geräte, die konstruktiv so gestaltet sind, dass sie in Übereinstimmung mit den vom Hersteller angegebenen Kenngrößen betrieben werden können und ein Normalmaß an Sicherheit gewährleisten. Geräte dieser Kategorie sind zur Verwendung in Bereichen bestimmt, in denen nicht damit zu rechnen ist, dass eine explosionsfähige Atmosphäre auftritt; wenn sie dennoch auftritt, dann aller Wahrscheinlichkeit nach nur selten und während eines kurzen Zeitraums (für Stäube entspricht das Zone 22).

Geräte dieser Kategorie gewährleisten bei normalem Betrieb das erforderliche Maß an Sicherheit.

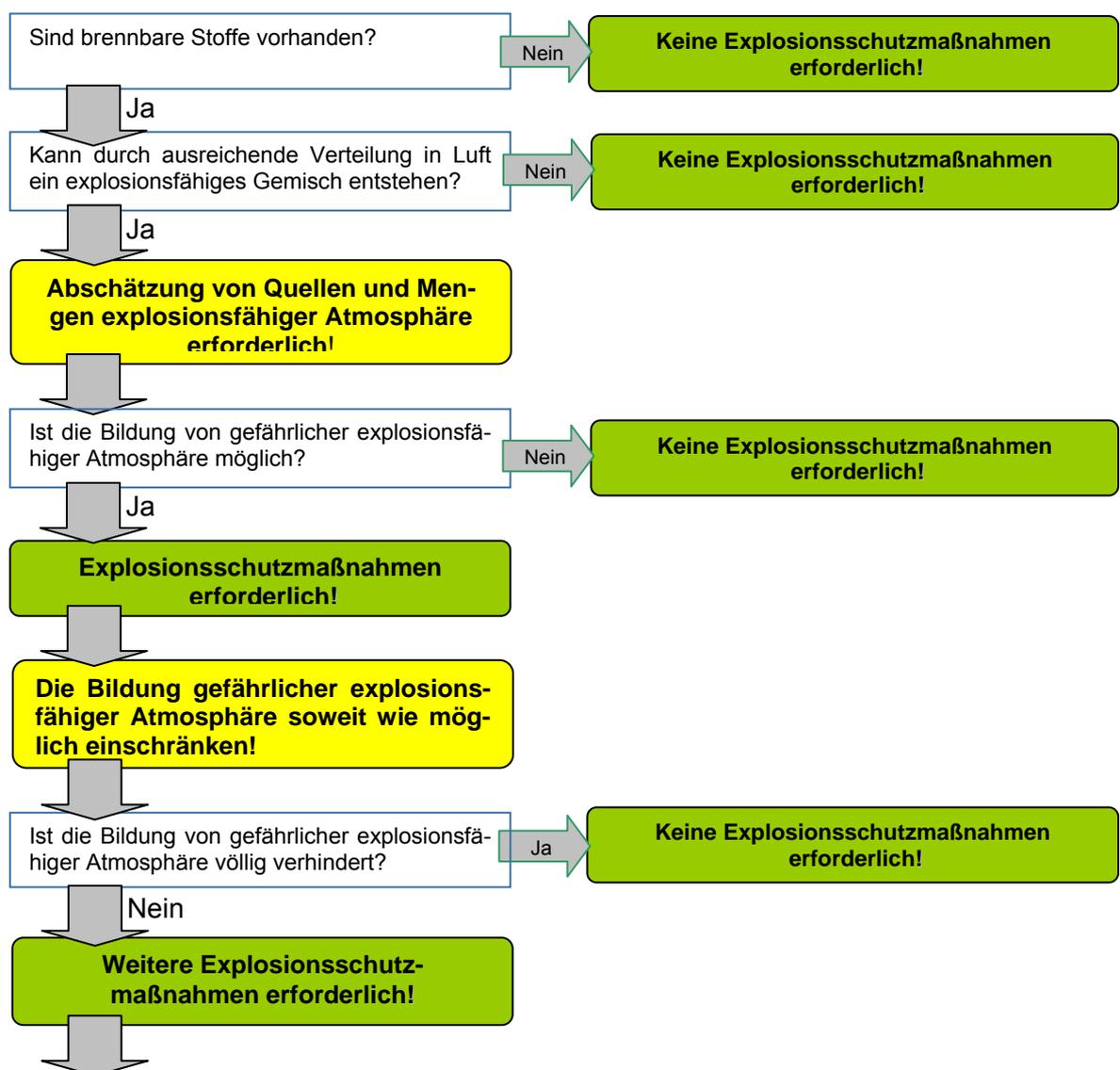
Vielfach kommen in der Zuckerindustrie noch Altgeräte zur Anwendung, die ursprünglich zur Verwendung in den ehemaligen Zonen 10 und 11 (bzw. in gasexplosionsgefährdeten Bereichen der Zonen 0,1 oder 2) gedacht waren. Diese Geräte dürfen in der Regel weiterverwendet werden, es sei denn im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung wurde Nachrüstbedarf festgestellt.⁷ Die Eignung der Altgeräte ist im Explosionsschutzdokument zu begründen.

⁷ Siehe auch „Kriterien zur Weiterverwendung älterer elektrischer Betriebsmittel gemäß Betriebssicherheitsverordnung“ von M. Wittler, Bochum (VDI-Berichte Nr 1873, 2005).

6 Gefährdungsbeurteilung

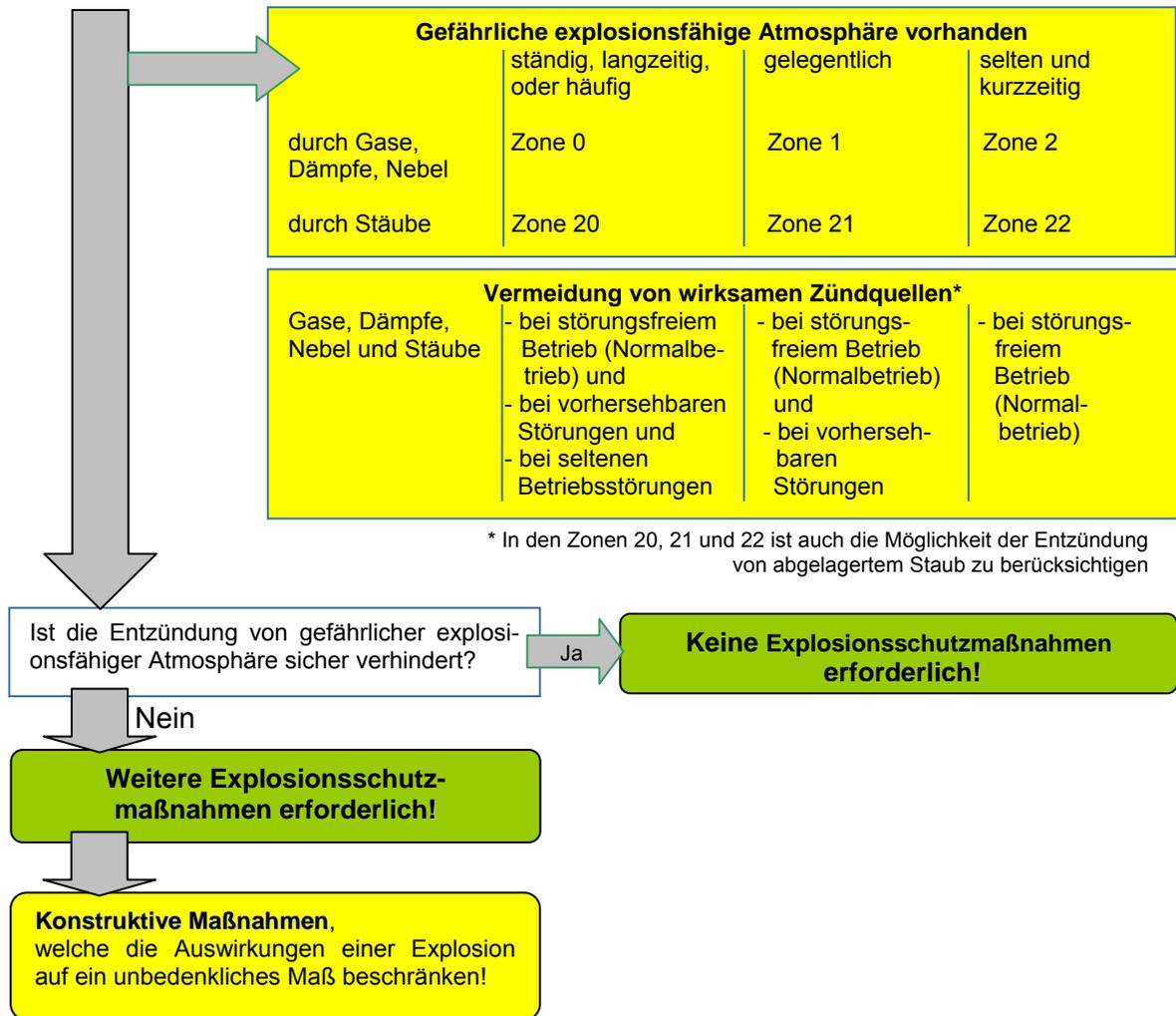
Nach den Vorgaben der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) hat der Arbeitgeber, in der Regel ist dies auch der Betreiber von Anlagen in denen mit dem Auftreten von explosionsfähiger Atmosphäre zu rechnen ist, eine Gefährdungsbeurteilung zur Bewertung der Explosionsgefahren durchzuführen und auf deren Grundlage die notwendigen Schutzmaßnahmen, die die Sicherheit der Beschäftigten gewährleisten, zu ermitteln. Diese Anforderungen sind sowohl bei der Planung einer neuen Anlage wie auch beim Umbau einer bestehenden Anlage zu berücksichtigen.⁸

Zur Gefährdungsermittlung im Explosionsschutz hat sich das „Abfrageschema zum Erkennen und Vermeiden von Explosionsgefährdungen“⁹ als geeignetes Hilfsmittel bewährt.



⁸ TRBS 1111

⁹ TRBS 2152, Seite 9, Bild 1



Somit sind folgende Fragen, bezogen auf das Innere und das Äußere von Anlagen in der vorgegebenen Reihenfolge zu beantworten:

Sind brennbare Stoffe vorhanden, bzw. können sie entstehen?

Es ist vom Arbeitgeber zu prüfen ob Zuckerstaub betriebsmäßig vorhanden ist oder betriebsbedingt gebildet werden kann, z. B. auf der Rohgasseite von Entstaubungsfiltern oder in Puderzuckerconditionierungsanlagen.

Dabei sind z. B. auch die Produktionsschritte zu betrachten, bei denen der Zucker mechanischen Belastungen ausgesetzt wird und es zu Kornzerstörungen kommt. Das ist häufig der Fall in Schneckenförderern und Elevatoren, in Siebmaschinen, an Übergabestellen von Bandförderern oder an den Auslassöffnungen von Bunkern oder Silos.

Anmerkungen:

Detaillierte Aussagen enthält auch die TRBS 2152 Teil 1. /504/

→ Kann diese Frage sicher verneint werden, sind keine Explosionsschutzmaßnahmen erforderlich, andernfalls ist auch die folgende Frage zu beantworten.

Kann durch ausreichende Verteilung des Staubes in der Luft eine explosionsfähige Atmosphäre entstehen?

Es ist eine erste Abschätzung von Quellen und Mengen explosionsfähiger Atmosphäre aus Zuckerstaub erforderlich.

Dabei ist zu prüfen, ob der Staub so aufgewirbelt wird oder so fein verteilt sein kann, dass mit der Bildung explosionsfähiger Atmosphäre zu rechnen ist.

Anmerkungen:

Detaillierte Aussagen enthält auch die TRBS 2152 Teil 2. /505/

→ Kann diese Frage sicher verneint werden, endet die Gefährdungsbeurteilung mit diesem Schritt, andernfalls ist auch die folgende Frage zu beantworten.

Ist die Bildung von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre möglich?

Nun ist zu prüfen, ob die zu erwartende Menge explosionsfähiger Atmosphäre aufgrund der örtlichen und betrieblichen Verhältnisse gefahrdrohend ist. Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre liegt auf jeden Fall dann vor, wenn im Falle einer Entzündung die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten und Dritter beeinträchtigt werden kann. Dann sind auch besondere Schutzmaßnahmen erforderlich.

Mehr als 10 Liter zusammenhängende explosionsfähige Atmosphäre muss in geschlossenen Räumen unabhängig von der Raumgröße grundsätzlich als gefährliche explosionsfähige Atmosphäre angesehen werden. Auch kleinere Mengen können bereits gefahrdrohend sein, wenn sie sich in unmittelbarer Nähe von Menschen befinden. In Räumen von weniger als etwa 100 m³ kann bereits eine kleinere Menge als 10 Liter gefahrdrohend sein. Eine grobe Abschätzung ist mit Hilfe der Faustregel möglich, dass in solchen Räumen explosionsfähige Atmosphäre von mehr als einem Zehntausendstel des Raumvolumens gefahrdrohend sein kann, also z. B. in einem Raum von 80 m³ bereits 8 Liter. Hieraus darf aber nicht gefolgert werden, dass dann der gesamte Raum als explosionsgefährdeter Bereich gilt. Nur der Teilbereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre auftreten kann, gilt als explosionsgefährdeter Bereich. Die Auswirkungen einer Explosion können jedoch darüber hinaus gehen und sind zu betrachten.¹⁰

Aussagen zum Gefahrenpotenzial einer explosionsfähigen Atmosphäre im Freien lassen sich nur im Einzelfall treffen, dürften aber im Zusammenhang mit Zuckerstaub auch nur eine untergeordnete Rolle spielen.

→ Kann diese Frage sicher verneint werden, endet die Gefährdungsbeurteilung mit diesem Schritt, andernfalls ist auch die folgende Frage zu beantworten.

¹⁰ TRBS 2152 Teil 1 Zif. 3.4.1

Wird die Bildung von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre durch Explosionsschutzmaßnahmen völlig verhindert?

Vorrangig ist zu prüfen, ob die Bildung explosionsfähiger Atmosphäre durch technische Maßnahmen einzuschränkt oder verhindert werden kann.

Dazu eignen sich insbesondere Absauganlagen zur Entstaubung der Produktionsanlagen und der Förderwege. Aber auch organisatorische Maßnahmen können geeignet sein, wenn sie konsequent umgesetzt werden.

Anmerkungen:

Detaillierte Aussagen enthält auch die TRBS 2152 Teil 2 /505/

→ Kann die vorstehende Frage sicher bejaht werden, endet die Gefährdungsbeurteilung mit diesem Schritt, andernfalls sind die Bereiche mit gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre in Zonen einzuteilen (siehe Kap. 4).

Diese Zoneneinteilung kann sowohl Bereiche außerhalb von Anlagen als auch innerhalb von Maschinen, Behältnissen und Anlagen betreffen.

In der Zuckerindustrie sind erfahrungsgemäß oftmals die folgenden Arbeitsmittel und Bereiche (siehe Kap. 11.2 und 12.2) betroffen:

- Pudermühlen / Mahlanlagen;
- Konditionieranlagen;
- Fördereinrichtungen / Elevatoren;
- Trockner;
- Entstauber / Abscheider / Filter;
- Silos / Bunker;
- Erfassungselemente und Rohrleitungen (Entstaubung / Aspiration);
- Siebmaschinen;
- in Aufstellungsräumen oder anderen Einrichtungen, wenn Staubablagerungen nicht auszuschließen sind.

Ist die Entzündung von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre sicher verhindert?

In den Bereichen, die in Zonen eingeteilt wurden, müssen wirksame Zündquellen vermieden werden. Eine wirksame Zündquelle ist eine Zündquelle, die in der zu betrachtenden explosionsfähigen Atmosphäre eine Entzündung auslösen kann.¹¹ Dazu gehört u. a. die

¹¹ TRBS 2152 Teil 3 Zif. 2

Auswahl geeigneter Gerätekategorien nach Anhang 4 Abs. B BetrSichV für Arbeitsmittel, Maschinen und Anlagenkomponenten entsprechend der Zone sowie die in der TRBS 2153 Teil 3 beschriebenen Maßnahmen zur Vermeidung betrieblicher Zündquellen, z. B. Potentialausgleich, Erdung, Blitzschutz usw.

Es ist also zu prüfen, ob wirksame Zündquellen vorhanden sind und wirksam werden können (siehe Kap. 7.2).

Anmerkungen:

Detaillierte Aussagen enthält auch die TRBS 2152 Teil 3 /506/

→ Ist die Entzündung von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre sicher verhindert, endet die Gefährdungsbeurteilung hier, andernfalls sind auch noch konstruktive Maßnahmen zu ergreifen, welche die Auswirkungen einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken.

Ansonsten wird der Eintritt einer Explosion als möglich angesehen, so dass weitere technische Schutzmaßnahmen zu ergreifen sind (siehe Kap. 7.3).

Anmerkungen:

Detaillierte Aussagen enthält auch die TRBS 2152 Teil 4 /507/

Abschluss der Gefährdungsbeurteilung:

Die Ergebnisse der Gefährdungsbeurteilung und die getroffenen technischen und organisatorischen Maßnahmen sind nach der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) in dem Explosionsschutzdokument (siehe Kap. 9.6) zu dokumentieren. /402/

7 Schutzmaßnahmen gegen Staubexplosionen

Grundsätzlich ist zunächst zu prüfen, ob brennbare Stoffe ersetzt werden können oder ob das Auftreten explosionsfähiger Atmosphäre durch Begrenzen der Konzentration des Staubes oder durch Inertisieren verhindert werden kann.

Anmerkung:

Im Bereich von Zucker- und Pelletstäuben ist die Inertisierung keine gängige Praxis.

Der Maßnahme "Konzentrationsbegrenzung" kommt dabei besondere Bedeutung zu, da sie die Bildung explosionsfähiger Atmosphäre verhindern oder zumindest einschränken kann.

Häufig ist bei einer geeigneten Kombination von Maßnahmen (das betrifft sowohl technische als auch organisatorische Maßnahmen) bereits eine deutliche Verbesserung der Gefahrensituation erreichbar.

Abhängig von den jeweiligen Stoffeigenschaften, sowie von den anlagen- und verfahrensspezifischen Gegebenheiten ist dann zu prüfen, ob als weitere Maßnahme das Vermeiden wirksamer Zündquellen ausreichend ist oder ob letztendlich mögliche Auswirkungen einer Explosion mittels konstruktiver Explosionsschutzmaßnahmen auf ein unbedenkliches Maß begrenzt werden müssen.

Vorbeugende Schutzmaßnahmen haben zum Ziel, durch Beseitigen mindestens einer der Explosionsvoraussetzungen (siehe Kap. 3) das Eintreten von Explosionen zu verhindern.

Schutzmaßnahmen	Zu beachtende Kenngrößen
Vermeiden brennbarer Stäube	Brennbarkeit, Explosionsfähigkeit
Konzentrationsbegrenzung	Explosionsgrenzen
Inertisierung	Sauerstoffgrenzkonzentration
Vermeiden von Zündquellen	Glimmtemperatur, Zündtemperatur, exotherme Zersetzung, Selbstentzündungsverhalten, Schwelppunkt, Mindestzündenergie, Schlagempfindlichkeit, elektrostatisches Verhalten

Konstruktive Schutzmaßnahmen sollen die Auswirkungen einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß begrenzen. /507/

Schutzmaßnahmen	Zu beachtende Kenngrößen
Explosionsfeste Bauweise	Maximaler Explosionsüberdruck
Explosionsdruckentlastung	K_{St} -Wert und maximaler Explosionsüberdruck
Explosionsunterdrückung	K_{St} -Wert und maximaler Explosionsüberdruck

Abb. 3: Zuordnung von Kenngrößen zu Schutzmaßnahmen

7.1 Vermeiden von explosionsfähigen Atmosphären

Als erste Maßnahme des vorbeugenden Explosionsschutzes ist immer das Vermeiden von explosionsfähigen Atmosphären anzustreben. Bei der Konzentrationsbegrenzung ist nicht nur der verfahrensbedingte Staubanfall innerhalb der Apparaturen zu beachten. Auch der in Betriebsräumen abgelagerte Staub stellt ein erhebliches – und für die Beschäftigten häufig noch viel bedrohlicheres – Gefahrenpotential dar. Bereits eine Staubschicht von 1 mm Dicke auf dem Fußboden reicht aus, einen normal hohen Raum ganz mit einer explosionsfähigen Atmosphäre auszufüllen. In der Praxis kommen oft zahlreiche weitere Ablagerungsflächen, wie z. B. Apparateoberflächen, T-Träger, Kabelbahnen, Rohrleitungen usw. hinzu.

Bei vorhandenen Staubablagerungen kann ein erstes Explosionsereignis (und sei es auch nur eine sogenannte Verpuffung) abgelagerten Staub aufwirbeln und erneut entzünden. Dieser Vorgang kann sich kettenreaktionsartig wiederholen, so dass es auf diese Weise zu äußerst heftigen und sich über weite Betriebsbereiche ausdehnenden Folgeexplosionen (Raumexplosionen) mit verheerenden Wirkungen kommen kann. Innerhalb von Anlagen, Apparaten, Silos und Bunkern sind neben dem betriebsmäßig aufgewirbelten Staub auch abgelagerter Staub und Staubanbackungen zu berücksichtigen. Abgelagerter Staub und Staubanbackungen können durch Erschütterungen oder durch Luftbewegungen aufgewirbelt werden und so kurzzeitig gefährliche explosionsfähige Atmosphären bilden.

Maßnahmen, die die Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre vermeiden oder einschränken, können sein:

- Mengenbegrenzung in Verbindung mit Lüftungstechnischen Maßnahmen;
- Vermeiden der Staubentstehung durch schonende Handhabung (Bandförderer usw.);
- Vermeiden der Stauffreisetzung durch Begrenzen der Fallhöhen (Einsatz von Teleskopfallrohren, usw.);
- Vermeiden von Ablagerungsflächen innerhalb von staubführenden Anlagen;
- Vermeiden von Staubablagerungen innerhalb entstaubungstechnischer Einrichtungen durch optimales Gestalten der Erfassungselemente, durch strömungstechnisch einwandfreie Leitungsführungen und hinreichende Strömungsgeschwindigkeiten;
- Vermeiden des Staubaustritts in die Arbeitsräume durch staubdichte Bauweise;
- Vermeiden des Staubaustritts in die Arbeitsräume durch entstaubungstechnische Maßnahmen (Objektabsaugung);
- Vermeiden von Ablagerungsflächen in den Arbeitsräumen (gegebenenfalls auch durch nachträgliches Abschrägen oder Verkleiden und Anbringen glatter Anstriche, usw.);

- Beseitigen unvermeidbarer Staubablagerungen durch regelmäßiges Reinigen, vorzugsweise mit saugenden Verfahren, im Rahmen eines Reinigungsplanes.

7.2 Vermeiden wirksamer Zündquellen

Das Vermeiden von wirksamen Zündquellen ist eine weitere Maßnahme des vorbeugenden Explosionsschutzes. Dies setzt aber genaue Kenntnisse über die Eigenschaften der verwendeten Produkte, über die Anlagen und das Verfahren voraus (siehe Abb. 9).

Sowohl in der TRBS 2152 Teil 3, BGR 104 als auch in der DIN EN 1127-1 werden die 13 Zündquellenarten hinsichtlich ihrer Zündmechanismen und der möglichen bzw. erforderlichen Maßnahmen zum Vermeiden der jeweiligen Zündquellen ausführlich dargestellt (siehe Abb. 8). Für den Bereich des Staubexplosionsschutzes in der Zuckerindustrie sind vor allem die fett hervorgehobenen Zündquellen von Bedeutung.

- **Heiße Oberflächen (siehe Kap. 7.2.1)**
- **Flammen und heiße Gase, (einschl. heißer Partikel) (siehe Kap. 7.2.2)**
- **Mechanisch erzeugte Funken (siehe Kap. 7.2.3)**
- **Elektrische Anlagen (siehe Kap. 7.2.4)**
- Elektrische Ausgleichsströme, kathodischer Korrosionsschutz
- **Statische Elektrizität (siehe Kap. 7.2.5)**
- Blitzschlag¹²
- Elektromagnetische Wellen (Hochfrequenzbereich)
- Elektromagnetische Wellen („optischer“ Frequenzbereich)
- Ionisierende Strahlung
- Ultraschall
- Adiabatische Kompression und Stoßwellen
- Exotherme Reaktion

7.2.1 Heiße Oberflächen

Kommt explosionsfähige Atmosphäre mit heißen Oberflächen in Berührung, kann es zu einer Entzündung kommen. Dabei kann nicht nur die heiße Oberfläche an sich als Zündquelle wirken, sondern auch eine Staubschicht oder ein brennbarer Feststoff kann durch Kontakt mit der heißen Oberfläche entzündet werden und dadurch seinerseits zur Zündquelle für eine explosionsfähige Atmosphäre werden.

¹² Blitzschlag ist als relevante Zündquelle zu sehen. Bei Vorhandensein einer Blitzschutzanlage nach den Regeln der Technik wird ein Wirksamwerden ausgeschlossen.

Die Zündwirksamkeit einer erhitzten Oberfläche hängt von der Art und der Konzentration des jeweiligen Stoffes im Gemisch mit Luft ab. Sie erhöht sich grundsätzlich mit zunehmender Temperatur und mit zunehmender Oberfläche des erhitzten Körpers.

Weiterhin hängt die eine Entzündung auslösende Temperatur von Größe und Gestalt des erhitzten Körpers, vom Konzentrationsgefälle im Bereich der Wand und zum Teil auch vom Wandmaterial ab.

Neben leicht erkennbaren heißen Oberflächen wie Beleuchtungseinrichtungen, Heizkörpern usw. können auch mechanische Vorgänge und spanabhebende Bearbeitung von Werkstoffen zu gefährlichen Temperaturen führen.

Außerdem sind Maschinen, Geräte und Anlagen zu berücksichtigen, die mechanische Energie in Wärme überführen, z. B. Lager, Tragrollen. Weiterhin können alle sich drehenden Teile in Lagern, Wellendurchführungen, Stopfbuchsen usw. bei ungenügender Schmierung zu Zündquellen werden. In engen Gehäusen bewegte Teile können auch durch das Eindringen von Fremdkörpern oder Verlagerungen von Achsen zu Reibvorgängen führen, die wiederum unter Umständen schon in kurzer Zeit hohe Oberflächentemperaturen hervorrufen (z. B. in Elevatoren).

Die Temperaturen sämtlicher Oberflächen, die mit Staubwolken in Berührung kommen können, dürfen 2/3 der Mindestzündtemperatur in °C der betreffenden Staubwolke nicht überschreiten.

Für Zuckerstaub beträgt die Mindestzündtemperatur 350°C, dies bedeutet, dass eine Oberflächentemperatur von 233°C nicht überschritten werden darf.

Für Zuckerstaub ist eine höchstzulässige Oberflächentemperatur bei geringen Staubablagerungen (< 5 mm) von 233°C als ausreichend anzusehen. Da die Glimmtemperatur von Zuckerstaub (420°C) höher ist als die Mindestzündtemperatur (350°C), ist der niedrigere Wert aus der Berechnung der maximalen Oberflächentemperatur bei Vorhandensein einer Staubwolke anzunehmen.

Für Pelletstaub beträgt die Mindestzündtemperatur 420°C, dies bedeutet, dass eine Oberflächentemperatur von 280°C nicht überschritten werden darf.

Für Pelletstaub ist eine höchstzulässige Oberflächentemperatur bei geringen Staubablagerungen (< 5 mm) von 195°C als ausreichend anzusehen. Diese leitet sich ab aus der Glimmtemperatur (270°C) abzüglich 75K.

Anmerkung:

Für die Geräte, Schutzsysteme und Komponenten aller Kategorien gilt, dass in besonderen Fällen die oben genannten Temperaturgrenzen überschritten werden dürfen, wenn nachgewiesen wird, dass keine Entzündung zu erwarten ist.

7.2.2 Flammen und heiße Gase, einschl. heißer Partikel

Flammen treten im Zusammenhang mit Verbrennungsreaktionen bei Temperaturen von mehr als 1000°C auf. Sowohl die Flammen selbst als auch die heißen Reaktionsprodukte (heiße Gase, bei Staubflammen und/oder rußenden Flammen auch glühende Feststoffpartikel) oder andere stark erhitzte Gase können explosionsfähige Atmosphäre entzünden. Flammen, auch solche sehr kleiner Abmessungen, zählen zu den wirksamsten Zündquellen.

Jegliche Art offener Flammen ist grundsätzlich in Bereichen, in denen explosionsfähige Atmosphäre auftreten kann, unzulässig.

Beim Schweißen und Schneiden entstehende Schweißperlen sind Funken mit sehr großer Oberfläche, die ebenfalls sehr wirksame Zündquellen darstellen.

Maßnahmen zur Vermeidung offener Flammen sind überwiegend organisatorische Maßnahmen wie z. B. das Verbot von Rauchen, Feuer und offenem Licht in staubexplosionsgefährdeten Bereichen und Erlaubnisscheinverfahren. So bedürfen Brenn-, Schweiß- und Schleifarbeiten der schriftlichen Erlaubnis mit Festlegung der nötigen Maßnahmen (Arbeits- und Umgebungsbedingungen, Werkzeugauswahl) durch den jeweilig verantwortlichen Vorgesetzten. Schweißperlen, die unkontrolliert wegfliegen, können sehr weite Strecken (10 Meter und mehr) überbrücken. Ähnlich sind Funkengarben von Trennschleifmaschinen zu bewerten (siehe Abb. 4). Bei solchen Arbeiten ist es daher unumgänglich, dass die Arbeitsstelle großflächig staubfrei gemacht wird und gegebenenfalls Wand- und Bodenöffnungen abgedeckt werden.

Da nach Abschluss von Brenn-, Schweiß- und Schleifarbeiten die Entstehung von Bränden nicht vollständig ausgeschlossen werden kann, ist während und nach solchen Arbeiten in explosionsgefährdeten Bereichen eine Brandwache zu stellen.

7.2.3 Mechanisch erzeugte Funken

Durch Schleif-, Reib-, und Schlagvorgänge können aus festen Materialien Teilchen abgetrennt werden, die aufgrund der beim Trennvorgang aufgewendeten Energie eine erhöhte Temperatur annehmen. Bestehen die Teilchen aus oxidierbaren Stoffen, z. B. Eisen oder Stahl, können sie einen Oxidationsprozess durchlaufen, wobei sie noch höhere Temperaturen erreichen. Diese Teilchen (Funken) können ggf. eine explosionsfähige Atmosphäre entzünden.

Das Eindringen von Fremdmaterialien, z. B. von Metallstücken, in Maschinen, Geräten und Anlagen muss als eine mögliche Ursache von Funken berücksichtigt werden.

Reibung, sogar zwischen einander ähnlichen Eisenmetallen und zwischen bestimmten keramischen Materialien, kann örtliche Erhitzung und Funken ähnlich den Schleiffunken verursachen. Auch dadurch können gegebenenfalls explosionsfähige Atmosphären entzündet werden.

Schlagvorgänge, bei denen Rost und Leichtmetalle (z. B. Aluminium oder Magnesium) und ihre Legierungen beteiligt sind, können eine Thermitreaktion auslösen, durch die explosionsfähige Atmosphären entzündet werden können.

Analysen von Ereignissen in der Industrie und Ergebnisse von Untersuchungen haben gezeigt, dass bei niedrigen Umfangsgeschwindigkeiten (Geschwindigkeit < 1 m/s) eine Entzündung von explosionsfähiger Atmosphäre durch mechanisch erzeugte Funken nicht zu erwarten ist.¹³

Durch das Begrenzen der Relativgeschwindigkeiten gegeneinander bewegter Anlagenteile auf $v < 1$ m/s und der jeweiligen Antriebsleistungen auf $P < 4$ kW können in der Regel gefährliche Reib- und Schleifvorgänge und damit ggf. verbundene mechanisch erzeugte Funken und heiße Oberflächen vermieden werden.

¹³ DIN EN 1127-1 Abs. 6.4.4

Bei höheren Fördergeschwindigkeiten bzw. größeren Antriebsleistungen sind, z. B. bei Elevatoren, Schieflaufsicherungen und Schlupfwächter vorzusehen. Lassen sich die möglichen Reib- und Schleifstellen eindeutig lokalisieren, kann durch eine geeignete Materialkombination die Gefahrenstelle beseitigt werden (z. B. ein Reib- oder Schleifpartner aus thermoplastischem Kunststoff, der vor Erreichen kritischer Temperaturen erweicht).

Innenliegende Lager sind zu vermeiden. Ist dies nicht möglich, so sollten sie mit einer Temperaturüberwachung versehen sein.

Werkzeuge, die höchstens zu einzelnen Funken führen können, z. B. Schraubendreher		Werkzeuge, die zu Funkenregen führen können, z. B. Trennschleifer	alle funkenerzeugenden Werkzeuge, z. B. Schraubendreher, Trennschleifer
in Zone 22 erlaubt	in Zone 21 erlaubt	in Zone 22 und 21 nicht erlaubt, es sei denn: <ul style="list-style-type: none"> • Arbeitsstelle ist zur Zone abgeschirmt; • Staubablagerungen sind entfernt oder feucht gehalten (Freigabeschein); 	in Zone 20 nicht erlaubt

Abb. 4: Werkzeuge zum Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen

7.2.4 Elektrische Anlagen

Bei elektrischen Betriebsmitteln können elektrische Funken und heiße Oberflächen als Zündquellen auftreten. Elektrische Funken können erzeugt werden, z. B. /604/

- beim Öffnen und Schließen elektrischer Stromkreise,
- durch Wackelkontakte und
- durch Ausgleichsströme.

Anmerkungen:

Schutzkleinspannung (z. B. kleiner als 50 V) bietet lediglich Schutz gegen den elektrischen Schlag und ist keinesfalls eine Maßnahme des Explosionsschutzes. Auch bei kleineren Spannungen kann immer noch genügend Energie erzeugt werden, um eine explosionsfähige Atmosphäre zu entzünden.

Elektrische Anlagen müssen gemäß den Bestimmungen der BGV A3, der BetrSichV und den einschlägigen VDE-Bestimmungen entworfen, ausgeführt, installiert und instand gehalten werden.

Bei Einsatz elektrischer Betriebsmittel wie Antriebsmaschinen, Schalter oder Steckverbindungen sind, je nach Einsatzort, entsprechend der jeweiligen Zone und in Abhängigkeit von den Stoffeigenschaften, unterschiedliche Anforderungen zu erfüllen: /401/

Für den Einsatz in Zonen sind nur Betriebsmittel (z. B. Füllstandsmelder, Temperatursensoren) einzusetzen, welche die Anforderungen an die jeweiligen zugehörigen Kategorien erfüllen.

Für elektrische Altgeräte sind die Bedingungen für den Einsatz in Zone 22 mit den bisher für die Zone 11 geltenden Bedingungen erfüllt. Diese waren in DIN VDE 0165 festgelegt. /699/ Die wesentlichen Anforderungen sind die Schutzart IP 54 (bei Motoren mit Käfigläufer genügt, mit Ausnahme des Anschlusskastens, die Schutzart IP 44) und die Oberflächentemperatur, die 2/3 der Zündtemperatur bzw. einen um 75°C unter der Glimmtemperatur liegenden Wert nicht überschreiten darf. Das ergibt im Falle von Zucker eine höchstzulässige Oberflächentemperatur von 233°C. Diese Temperaturbegrenzung ist auch auf alle anderen heißen Oberflächen zu übertragen.

Bei einem Austausch von Altgeräten, z. B. nach einem Defekt, dürfen nur Geräte eingesetzt werden, die den Anforderungen der Richtlinie 94/9/EG entsprechen.

Beim Verwenden von Leuchten ist zu beachten, dass diese ggf. auch gegen mechanische Einwirkung zu schützen sind.

7.2.5 Statische Elektrizität

Es gibt verschiedene Formen elektrostatischer Entladungen mit unterschiedlichen Zündwirksamkeiten. /508/ Für Zuckerstaub relevant sind Funkenentladungen, Gleitstielbüschelentladungen und Schüttkegelentladungen.

Zur Vermeidung von Funkenentladungen ist die wichtigste Maßnahme das elektrostatische Erden aller elektrisch leitfähigen Anlagenteile. Der Ableitwiderstand R_E gegen Erde muss dabei $< 10^6 \Omega$ betragen. Darüber hinaus ist es sinnvoll, möglichst alle benachbarten leitfähigen Teile miteinander leitend zu verbinden.

Sehr zündwirksame elektrostatische Entladungsvorgänge sind in der Praxis dann zu erwarten, wenn elektrisch leitfähige Anlagenteile isoliert eingebaut sind und sich hoch aufladen können (Funkenentladungen). Als Beispiele seien hier durch Dichtungen oder Anstriche isolierte Rohrleitungsteile in Förder- oder Entstaubungswegen, Stützkörbe in Filtern oder Becher in Elevatoren, die nicht in die Erdung eingebunden sind, genannt.

Neben diesen Funkenentladungen ist als weitere zündwirksame Entladungsform die Gleitstielbüschelentladung zu nennen. Diese tritt in der Regel dann auf, wenn isolierende Oberflächen mit leitfähigen Schichten hinterlegt sind und die isolierende Schicht sehr hoch aufgeladen wird. Erfahrungsgemäß sind folgende Voraussetzungen für eine Gleitstielbüschelentladung erforderlich:¹⁴

- ein stark ladungserzeugender Prozess liegt vor (dieser kann z. B. durch eine pneumatische Förderung gegeben sein),
- Dicke der isolierenden Schicht $D < 9$ mm,
- Durchschlagsspannung $U_D > 4$ kV und $U_D > 6$ kV bei textilem Gewebe, wie z. B. bei FIBC.

Solche Voraussetzungen können z. B. dann erfüllt sein, wenn Silos aus Metall oder Beton bestehen, die Innenwände mit einer isolierenden Beschichtung versehen sind und der Zucker tangential eingeblasen wird.

¹⁴ TRBS 2153 Anhang A 3.4

Häufig treten Gleitstielbüschelentladungen in innenbeschichteten Förderrohren und in ungeeigneten Förderschläuchen auf¹⁵. Insbesondere leit- bzw. ableitfähige Förderschläuche mit isolierender Innenbeschichtung (z. B. weiße Seele) sind für den pneumatischen Transport von explosionsfähigen Produkten, wie z. B. Zucker im Allgemeinen, ungeeignet.

Weiterhin sind Gleitstielbüschelentladungen im Inneren von nicht leitfähig ausgekleideten Strahlmühlen und Zyklonen beobachtet worden.

Anmerkungen:

Die Isolationswirkung üblicher Produkthanbackungen reicht zur Entstehung von Gleitstielbüschelentladungen in der Regel nicht aus.

Gleitstielbüschelentladungen lassen sich durch den Einsatz ausschließlich leitfähiger Materialien vermeiden. Nicht leitfähige Auskleidungen oder Beschichtungen in leitfähigen Anlagenteilen (Silos) sind insbesondere an den Stellen zu vermeiden, an denen sehr hohe elektrostatische Aufladungen zu erwarten sind.

Im elektrostatischen Sinn hinreichend poröse Beschichtungen ($U_D < 4$ kV) führen nicht zu einer gefährlichen Entladung.

Eine weitere Entladungsform, die bei der Förderung von Zucker auftreten kann, ist die sogenannte Schüttkegelentladung. Diese tritt beim Befüllen von Silos und großen Behältern mit Schüttgut eines hohen spezifischen Widerstandes auf. Ob Schüttkegelentladungen tatsächlich auftreten und welche Energien sie aufweisen können, wird im Wesentlichen vom spezifischen Widerstand und der Korngröße des Schüttgutes, dem Förderstrom und der Behältergröße bestimmt.

Inwieweit diese im konkreten Anwendungsfall zündwirksam sind, hängt davon ab, ob die maximal mögliche Energie einer solchen Entladung die Mindestzündenergie der Stäube (gemessen ohne Induktivität im Messsystem) überschreitet. Schüttkegelentladungen ereignen sich entlang des Schüttkegels und enden in der Regel an der Silowandung. Die Energie einer einzelnen Schüttkegelentladung (W_{SKE}) lässt sich durch

$$W_{SKE}=5,22 D^{3,36} * d^{1,46}$$

abschätzen. Die Formel gilt für Durchmesser bis 3 m, für „D“ ist bei metallischen Silos der Silodurchmesser, für nichtmetallische Silos der doppelte Durchmesser in „m“ einzusetzen. Als Wert „d“ ist der Medianwert des Staubes in „mm“ einzusetzen. Der Wert für W_{SKE} ergibt sich in „mJ“.

Beispielhaft ergibt sich für einen Kristallzucker mit einem Median-Wert von 0,35 mm in einem Stahlsilo mit 2 m Durchmesser eine Schüttkegelentladung mit einer Energie von 11,5 mJ. Diese liegt oberhalb der Mindestzündenergie des Feinstaubanteils. Eine Zündung kann somit nicht ausgeschlossen werden.

¹⁵ TRBS 2153

Werden Gefährdungen durch statische Elektrizität festgestellt, dann müssen folgende Anforderungen erfüllt werden: /508, 701/

Zone 20:

Zündwirksame Entladungen müssen auch unter Berücksichtigung selten auftretender Betriebsstörungen ausgeschlossen werden.

Zone 21:

Zündwirksame Entladungen dürfen bei bestimmungsgemäßem Betrieb der Anlagen, einschließlich Wartung und Reinigung und bei Betriebsstörungen mit denen man üblicherweise rechnen muss, nicht auftreten.

Zone 22:

Andere Maßnahmen als das Erden leitfähiger Teile sind in der Regel nicht erforderlich, sofern keine stark ladungserzeugenden Prozesse auftreten.

Anmerkung:

Nach dem heutigen Kenntnisstand ist ein Entzünden von explosionsfähigen Zuckersaub/Luft-Gemischen durch Büschelentladungen nicht zu erwarten. Daher sind auch leitfähige Filtermedien aus staubexplosionstechnischen Gründen nicht erforderlich.

Wichtigste Maßnahme ist das elektrostatische Erden aller elektrisch leitfähigen Anlagenteile. Der Ableitwiderstand gegen Erde soll dabei $< 10^6 \Omega$ betragen. Darüber hinaus ist es sinnvoll, möglichst alle benachbarten leitfähigen Teile miteinander leitend zu verbinden.

Erfahrungsgemäß sind folgende Voraussetzungen für eine Gleitstielbüschelentladung erforderlich:¹⁶

$$\text{Schichtdicke } D < 9 \text{ mm,}$$

$$\text{Oberflächenladungsdichte } \sigma > 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ C/m}^2$$

und

Durchschlagspannung $U_D > 4 \text{ kV}$ und $U_D > 6 \text{ kV}$ bei textilem Gewebe, wie z. B. bei FIBC.

Gleitstielbüschelentladungen sind beobachtet worden im Inneren von nicht leitfähig ausgekleideten Strahlmühlen, Zyklonen und Förderrohren. Sie entstehen nur, wenn die nicht leitfähige Beschichtung porenfrei ist.

Anmerkungen:

Die Isolationswirkung üblicher Produkthanbackungen reicht zur Entstehung nicht aus.

Gleitstielbüschelentladungen lassen sich durch den Einsatz ausschließlich leitfähiger Materialien vermeiden. Nichtleitfähige Auskleidungen oder Beschichtungen in leitfähigen Anlagenteilen (Silos) sind insbesondere an den Stellen zu vermeiden, an denen sehr hohe elektrostatische Aufladungen zu erwarten sind.

¹⁶ TRBS 2153 Anhang A 3.4

7.2.6 Beispiele für Maßnahmen zur Vermeidung von Zündquellen

Beim Einsatz von Arbeitsmitteln sowie beim Betrieb von Anlagen innerhalb explosionsgefährdeter Bereiche, sind Maßnahmen zur Vermeidung von Zündquellen zu treffen, wenn die Entstehung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphären nicht sicher ausgeschlossen werden kann.

In Bereichen, die durch Stäube explosionsgefährdet sind, sind

- in Zone 22 zum Verhindern der Entzündung einer Staubwolke oder einer Staubschicht alle ständig oder häufig auftretenden Zündquellen (z. B. beim Normalbetrieb der Arbeitsmittel),
- in Zone 21 zum Verhindern der Entzündung von abgelagertem und von aufgewirbeltem Staub zusätzlich zu den für Zone 22 genannten Zündquellen nur selten auftretende Zündquellen (z. B. infolge von Störungen der Arbeitsmittel) und
- in Zone 20 zum Verhindern der Entzündung von abgelagertem und von aufgewirbeltem Staub zusätzlich zu den für Zone 21 genannten Zündquellen sogar nur sehr selten auftretende Zündquellen (z. B. infolge von Störungen der Arbeitsmittel),

zu vermeiden.

Anmerkung:

Lässt sich die Wahrscheinlichkeit des Wirksamwerdens einer Zündquelle nicht abschätzen, ist die Zündquelle als dauernd wirksam zu betrachten.

7.2.6.1 Pneumatische Förderanlagen

Pneumatische Förderanlagen arbeiten in der Regel vollständig geschlossen. Daher sind nur Maßnahmen zur Vermeidung von Zündquellen zu treffen, die eventuell im Inneren der Anlage auftreten könnten. Nur hier muss, je nach Verfahren, mit der Entstehung von gefährlichen explosionsfähigen Atmosphären gerechnet werden.

7.2.6.1.1 Flugförderung

g. e. A.: möglich in Sendebehälter, Leitung und Empfangsbehälter

Maßnahmen:

- Elektrostatisches Erden aller elektrisch leitfähigen Anlagenteile. Der Ableitwiderstand gegen Erde soll dabei $< 10^6 \Omega$ betragen.
- Darüber hinaus ist es sinnvoll, möglichst alle benachbarten leitfähigen Teile miteinander leitend zu verbinden (siehe Kap. 7.2.5).

7.2.6.1.2 Dichtstromförderung

g. e. A.: möglich in Sendebehälter und Empfangsbehälter

Maßnahmen:

- siehe Kap. 7.2.4

7.2.6.1.3 Pfpfenförderung

g. e. A.: möglich in Sendebehälter und Empfangsbehälter

Maßnahmen:

- siehe Kap. 7.2.5

7.2.6.2 Mechanische Förderung

Bei der mechanischen Förderung von kristallinem Zucker entsteht zusätzlicher Staub durch die Kornzerstörung.

7.2.6.2.1 Elevatoren

g. e. A.: In Elevatoren für kristallinen Zucker muss mit der Entstehung gerechnet werden, z. B. durch das Abrieseln von überschüssigem Zucker und dem damit verbundenen Anreichern der Luft mit schwebenden Staubanteilen. Durch die Luftbewegung können diese Staubanteile länger als üblich in der Luft verbleiben.

Die im Folgenden beschriebenen Maßnahmen zur Vermeidung von Zündquellen sind nur dann als ausreichend anzusehen, wenn gleichzeitig der Eintrag von Zündquellen sicher ausgeschlossen ist.

Maßnahmen:

- Schieflaufüberwachung
- Drehzahlüberwachung
- Schlupfüberwachung (meist in Verbindung mit der Drehzahlüberwachung)
- Becherwerke und Schacht aus geeigneten Materialkombinationen
- Kunststoff, z. B. für Gurtmaterial, Becher aus ableitfähigem Material

Anmerkungen:

Die Schieflaufüberwachung muss gewährleisten, dass weder die Becher noch der Gurt am Gehäuse anschlagen. Das Schleifen stellt in der Regel nicht die wirksame Zündquelle dar. Die größere Gefahr geht von dem möglichen Ausreißen eines Bechers oder dem Riss des gesamten Gurtes und dem damit verbundenen Absturz mit der Gefahr der Bildung von Schlagfunken aus.

Es gibt keine Grenzwerte für den zulässigen Mindestabstand zum Elevatorgehäuse. Die Einstellung muss in Abhängigkeit von den technischen und organisatorischen Möglichkeiten vor Ort gewählt werden.

Üblicherweise werden Schieflaufwächter paarweise, je zwei an der Antriebs- und an der Umlenktrummel, installiert.

Als nicht zündwirksame Materialkombinationen einzustufen sind z. B. Edelstahl-Edelstahl und Edelstahl-Schwarzstahl Kombinationen. Zu vermeiden sind Kombinationen aus Schwarzstahl und Aluminium.

7.2.6.2.2 Schneckenförderer

7.2.6.2.2.1 Schneckenförderer für Kristallzucker

g. e. A.: ist nicht zu erwarten, wenn der Feinstaubanteil < 3% ist

Maßnahmen: keine

7.2.6.2.2.2 Schneckenförderer für Puderzucker

g. e. A.: ist zu erwarten

Maßnahmen:

- Eintragen von Fremdkörpern vermeiden
- Drehzahlüberwachung an der nicht angetriebenen Seite
- Außenliegende Lager oder Temperaturüberwachung innenliegender Lager
- Begrenzung der Drehzahl auf 1m/s Umfangsgeschwindigkeit

Anmerkung:

Höhere Umfangsgeschwindigkeiten können dazu führen, dass eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre dauerhaft anzunehmen ist (-> Zone 20)

7.2.6.2.3 Bandförderer

g. e. A.: an den Übergabestellen von Bandförderern kann sich bei größeren Fallhöhen und ungesichtetem Zucker eine örtlich eng begrenzte explosionsfähige Atmosphäre bilden.

Maßnahmen:

- Elektrostatisches Erden aller elektrisch leitfähigen Anlagenteile. Der Ableitwiderstand R_E gegen Erde soll dabei < $10^6 \Omega$ betragen.
- Darüber hinaus ist es sinnvoll, möglichst alle benachbarten leitfähigen Teile miteinander leitend zu verbinden (siehe Kap. 7.2.5)

Anmerkungen:

In der Umgebung von offenen Förderanlagen sind Staubablagerungen im Rahmen des Reinigungsmanagements regelmäßig zu beseitigen.

Fallhöhen sind auf das unbedingt notwendige Mindestmaß zu begrenzen, um eine Entmischung des Produktes zu verhindern. Mögliche Maßnahmen zur Vermeidung von Entmischungsvorgängen bei größeren Fallhöhen sind Aufgabevorrichtungen wie Rutschen, Schurren usw.

7.2.6.2.4 Flexible Schüttgutbehälter (FIBC, Big Bags)

g. e. A.: nur beim schnellen Befüllen mit ungesichtetem Zucker oder bei sehr feinkörnigem Zucker (aus Entstaubungsanlagen, Puderzucker) kann sich im Innenraum eine explosions-

fähige Atmosphäre bilden. Beachtet werden muss zudem das Umfeld, in dem der flexible Schüttgutbehälter betrieben wird.¹⁷

Anmerkungen:

Elektrische Entladungen können sowohl während des Befüllens als auch während des Entleerens erzeugt werden. Von aufgeladenen flexiblen Schüttgutbehältern können durch Influenz weitere Gegenstände oder Personen aufgeladen werden.

Flexible Schüttgutbehälter (FIBC, Big Bags) werden in vier Typen (A, B, C und D) unterschieden. /508/

Typ A kann überwiegend nur in Bereichen ohne explosionsfähige Atmosphäre eingesetzt werden.

Mindestzündenergie (MZE) des Schüttgutes	Befüll – und Entleereinrichtung befindet sich im		
	nicht explosionsgefährdeten Bereich	explosionsgef. Bereich (Zone 22)	explosionsgef. Bereich (Zone 21)
MZE > 1000 mJ oder nicht staubexplosionsfähig	Keine Einschränkungen	Keine Einschränkungen	Keine Einschränkungen
1000 mJ ≥ MZE > 3 mJ	B, C, D	B, C, D	B, C, D
3 mJ ≥ MZE	C, D	C, D	C, D

Abb. 5: Auswahl geeigneter Typen Flexible Schüttgutbehälter (FIBC)

Übliche Verwendung für

g. e. A.: für Kristallzucker in der Regel nicht zu erwarten, daher Typ A ausreichend

g. e. A.: für Puderzucker und Staubzucker aus Aspiration zu erwarten, daher mind. Typ B erforderlich

Maßnahmen:

- Verwendung geeigneter flexibler Schüttgutbehälter.
- Elektrostatisches Erden aller elektrisch leitfähigen Anlagenteile. Der Ableitwiderstand R_E gegen Erde soll dabei $< 10^6 \Omega$ betragen.

Anmerkung:

Sollten auch Sonderprodukte, wie Fructose oder Gelierzucker in flexible Schüttgutbehälter abgefüllt werden, so sind deren Kenngrößen gegebenenfalls zu ermitteln und im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen.

¹⁷ TRBS 2153

7.3 Konstruktiver Explosionsschutz

Wenn die Maßnahmen des vorbeugenden Explosionsschutzes keine ausreichende Sicherheit vor Staubexplosionen gewährleisten, d. h. das Auftreten von gefährlicher Atmosphäre kann nicht verhindert werden und die Vermeidung von wirksamen Zündquellen kann nicht sicher gewährleistet werden, dann müssen konstruktive Schutzmaßnahmen angewendet werden. /507/

Für den konstruktiven Explosionsschutz bieten sich folgende Maßnahmen an:

- explosionsfeste Bauweise (siehe Kap. 7.3.1),

ggf. in Verbindung mit,

- Explosionsdruckentlastung oder Explosionsunterdrückung (siehe Kap. 7.3.2 und 7.3.3).

Besonders zu beachten ist auch die mögliche Übertragung von Explosionen auf andere Anlagenteile oder in Betriebsräume hinein. Eine Explosionsübertragung kann durch eine geeignete

- explosionstechnische Entkopplung (siehe Kap. 7.3.4)

verhindert werden.

Konstruktiver Explosionsschutz ist vor allem in Bereichen und Anlagen vorzusehen, in denen betriebsmäßig mit einer entsprechenden Auftrittswahrscheinlichkeit explosionsfähiger Staub/Luft-Gemische zu rechnen ist. Die Zoneneinteilung kann hier als Orientierung dienen, um entsprechend gefährdete Bereiche zu identifizieren. Bei dieser Form von Explosionsschutzmaßnahmen werden die Auswirkungen von Staubexplosionen dadurch begrenzt, dass die betreffenden Anlagen für den jeweils zu erwartenden Explosionsdruck ausgelegt werden. Es besteht die Möglichkeit, die Apparate entweder explosionsdruckfest oder explosionsdruckstoßfest zu bauen.

Wird die Anlage für den max. Explosionsdruck ausgelegt, entspricht dies gleichzeitig dem zu erwartenden Explosionsdruck. Im Falle einer Explosion beschränkt sich diese ausschließlich auf das Anlageninnere. Die Anlage widersteht dabei dem auftretenden maximalen Explosionsdruck.

Wird die Anlage mit einer Explosionsdruckentlastung ausgerüstet, entspricht der zu erwartende Explosionsdruck dem reduzierten Explosionsdruck. Im Falle einer Explosion erfolgt ein Druckanstieg höchstens bis zum reduzierten Explosionsdruck. Der darüber hinaus entstehende Druck wird über die Druckentlastungseinrichtung in ungefährdete Bereiche im Freien abgeleitet.

7.3.1 Explosionsfeste Bauweise

Bei der explosionsfesten Bauweise wird zwischen der explosionsdruckfesten und der explosionsdruckstoßfesten Bauweise unterschieden. In der Praxis kommt üblicherweise eine explosionsdruckstoßfeste Ausführung zur Anwendung. /704/

Explosionsdruckfeste Bauweise

Explosionsdruckfest sind Behälter, Apparate oder Rohrleitungen, wenn sie für den zu erwartenden Explosionsüberdruck ausgelegt sind und auch mehrfach diesem ohne bleibende Verformung standhalten (siehe Kap. 10.1).

Anmerkung:

Explosionsdruckfeste Behälter, Apparate oder Rohrleitungen sind unter Anwendung der anerkannten Regeln der Technik für Druckbehälter, wie z. B. AD 2000 Regelwerk in Deutschland, zu berechnen und zu bauen. (Nach nationalen Regelwerken anderer Länder gebaute Behälter, Apparate oder Rohrleitungen ziehen in der Regel abweichende, kürzere Prüfzeiten nach sich.)

Explosionsdruckstoßfeste Bauweise

Explosionsdruckstoßfeste Behälter, Apparate oder Rohrleitungen müssen so gebaut sein, dass sie dem zu erwartenden Explosionsüberdruck standhalten, ohne aufzureißen. Hierbei ist jedoch eine bleibende Verformung zulässig (siehe Kap. 10.1).

Anmerkung:

Für Zuckerstaub beträgt der maximale Explosionsüberdruck 9 bar (siehe Abb. 11.1). Ein typischer Wert für den reduzierten Explosionsüberdruck bei Anwendung der Schutzmaßnahme Explosionsdruckentlastung ist $p_{red} = 0,4$ bar.

7.3.2 Explosionsdruckentlastung

Um den Aufbau eines unzulässig hohen Druckes zu verhindern werden bei der Explosionsdruckentlastung Behälter oder Apparate im Falle einer Explosion über eine Entlastungsfläche (z. B. eine Berstscheibe) in einen Bereich entlastet, in dem keine Gefährdung von Personen und Sachwerten zu erwarten ist.

Für die Berechnung der erforderlichen Entlastungsfläche müssen zunächst die explosions-technischen Kenngrößen des brennbaren Staubes ermittelt worden sein. Für die Auslegung müssen der maximale Explosionsdruck (p_{max}) und der maximale Druckanstieg K_{ST} bekannt sein. Weiterhin gehen das Volumen und die Druckstoßfestigkeit (reduzierter Explosionsüberdruck (p_{red})) in die Berechnung der Entlastungsfläche ein.

Als Druckentlastungseinrichtungen werden z. B. Berstscheiben, Explosionsklappen oder auch flammenlose Druckentlastungseinrichtungen verwendet.

Die Explosionsdruckentlastung mit und ohne Druckentlastungskanal ist so auszuführen, dass sie in ungefährdete Bereiche erfolgt. Insbesondere dürfen sich im Wirkungsbereich der Entlastungsöffnung keine Verkehrswege befinden. Weiterhin ist auch ein ausreichender Abstand zu benachbarten Einrichtungen und Gebäuden einzuhalten.

Werden Entlastungsöffnungen über Entlastungskanäle ins Freie geführt, so erhöht sich der reduzierte Explosionsdruck in Abhängigkeit von der Länge des Entlastungskanals erheblich. Die Länge des Entlastungskanals muss daher bei der Auslegung berücksichtigt werden. /710/

Anmerkung:

Die Explosionsdruckentlastung ist eine sehr einfache und doch wirkungsvolle Maßnahme des konstruktiven Explosionsschutzes, die möglichst frühzeitig in die Anlagenplanung einzubeziehen ist.

7.3.3 Explosionsunterdrückung

Bei der Explosionsunterdrückung wird eine anlaufende Explosion mittels Druck- oder Infrarotdetektoren erkannt und durch schnelles Einblasen von Löschmittel ($t \leq 5\text{ms}$) so rasch eingedämmt, dass sie sich nicht voll entwickeln kann. Durch die Explosionsunterdrückung wird der entstehende Druckanstieg auf den reduzierten Explosionsüberdruck (p_{red}) begrenzt, für den die Apparatur entsprechend explosionsdruckstoßfest auszulegen ist.

Als geeignetes Löschmittel gegen Staubexplosionen hat sich in vielen Bereichen Natriumbikarbonat bewährt.

Anmerkung:

Da bei der Schutzmaßnahme Explosionsunterdrückung die Explosion auf das Innere der jeweiligen Apparatur beschränkt bleibt, ergibt sich als ein wesentlicher Vorteil dieser Maßnahme die "Standortunabhängigkeit". Auch ist ein Nachrüsten bestehender Anlagen vielfach eher möglich, als mit anderen konstruktiven Explosionsschutzmaßnahmen. /705/

7.3.4 Explosionsentkopplung

Grundsätzlich ist bei der Anwendung von konstruktiven Explosionsschutzmaßnahmen immer zu prüfen, ob zusätzliche Maßnahmen zur explosionstechnischen Entkopplung erforderlich sind. In der Regel ist davon auszugehen, dass konstruktiv geschützte Anlagenteile auch explosionstechnisch zu entkoppeln sind. Dies geschieht z. B. durch Einbau von

- Zellenradschleusen,
- Schnellschlussschiebern, -klappen,
- Löschmittelsperren,
- Schnellschlussventilen oder
- Entlastungsschloten.

Zellenradschleusen verhindern das Durchschlagen der Flammenfront und der Druckwelle. Im Explosionsfall ist die Schleuse automatisch stillzusetzen, damit das Austragen von brennendem oder glimmendem Produkt verhindert wird.

Beim Einsatz von **Schnellschlussschiebern, -klappen** wird eine anlaufende Explosion mittels Detektoren erkannt und ein Auslösemechanismus schließt den Schieber bzw. die Klappe innerhalb von Millisekunden. Sie kommen vorwiegend in Rohrleitungen zur Anwendung. Auf diese Weise wird die Rohrleitung hermetisch abgeschlossen, so dass weder Flammen noch Druck die Entkopplungseinrichtung passieren können.

Beim Einsatz von **Löschmittelsperren** wird eine Explosion bzw. eine Flammenfront von Detektoren erkannt und die sich ausbreitende Flamme durch eingedüstes Löschmittel gelöscht.

Anmerkung:

Im Gegensatz zu den vorgenannten Entkopplungseinrichtungen haben Löschmittelsperren keinen Einfluss auf den Explosionsdruck, so dass auch hinter der Löschmittelsperre die Rohrleitung und die übrigen Apparaturen für den zu erwartenden Explosionsdruck ausgelegt sein müssen.

Schnellschlussventile (Explosionsschutzventile) schließen bei Überschreiten einer bestimmten Strömungsgeschwindigkeit (Explosionsdruckwelle) automatisch den Rohrquerschnitt hermetisch ab. Die für das Schließen notwendige Strömung kann gegebenenfalls auch aktiv durch eine detektorgesteuerte Hilfsströmung erzeugt werden.

Der **Entlastungsschlot** ist die in den Entstaubungsanlagen der Zuckerindustrie am häufigsten anzutreffende Entkopplungsmaßnahme. Eine Explosionsübertragung wird hierbei durch eine Entlastung im Umlenkpunkt verhindert. Durch diese Konstruktion kann die Explosionsübertragung jedoch nicht immer zuverlässig verhindert werden. In jedem Fall wird die Ausbreitung der Flammenfront so gestört, dass in dem nachfolgenden Leitungsteil nur mit dem langsamen Anlaufen einer neuen Explosionsfront zu rechnen ist.

Der Entlastungsschlot kann als ausreichende Entkopplungsmaßnahme angesehen werden, wenn er zum Vermeiden einer Explosionsübertragung vom Filter einer Entstaubungsanlage zu den Erfassungsbereichen eingesetzt wird. Voraussetzung ist, dass in den Entstaubungsrohrleitungen betriebsmäßig keine gefährlichen explosionsfähigen Atmosphären zu erwarten sind. Darüber hinaus müssen die Rohrleitungen frei von Staubablagerungen sein. Dieses kann durch strömungstechnisch einwandfreie Leitungsführung und hinreichende Strömungsgeschwindigkeit ($> 18 \text{ m/s}$) erreicht werden.

Anmerkungen:

In Entstaubungsrohrleitungen liegen die Staubkonzentrationen üblicherweise weit unterhalb der unteren Explosionsgrenze, wenn die Anlage entsprechend der Auslegung des Anlagenbauers betrieben wird. Das setzt u. a. voraus, dass die Einhaltung der Mindestströmungsgeschwindigkeit ($> 18 \text{ m/s}$) betrieblich kontrolliert und eingehalten wird.

Bei den als Entkopplungseinrichtungen dienenden Zellenradschleusen, Schnellschlusschiebern, -klappen, -ventilen und auch Entlastungsschloten handelt es sich um Schutzsysteme im Sinne der EG-RL 94/9/EG. Für diese Schutzeinrichtungen ist der Nachweis der Eignung über eine EG-Baumusterprüfung zu erbringen (siehe Kap. 5).

7.3.5 Beispiele für Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes

Lösungen für konstruktive Explosionsschutzmaßnahmen können für die einzelnen Anlagenteile wie folgt aussehen.

7.3.5.1 Aspirationsleitungen

Aspirationsleitungen sind im Falle einer Explosion unterschiedlichen Belastungen ausgesetzt, je nachdem wo das Ereignis ausgelöst wird und in welche Richtung die Druckwelle mit der Flammenfront das System durchlaufen wird.

Aspirationsleitungen zwischen Entlastungsschlot und Filter werden druckstoßfest in Anlehnung an die Druckstoßfestigkeit des Filters gebaut. Auch der Entlastungsschlot zur Explosionsentkopplung sollte daher mindestens diese Festigkeit aufweisen.

Anmerkungen:

Voraussetzung ist, dass keine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre abgesaugt und keine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre im Rohrleitungssystem vorhanden ist. Triviale Zündquellen, wie z. B. das Rauchverbot werden organisatorisch ausgeschlossen. Der Entlastungsschlot sichert das Leitungssystem nur gegen eine Explosion im Filter. Besonders kritische Anlagen, z. B. Mühlen, werden nicht im gleichen System abgesaugt.

Es ist empfehlenswert, die weiteren Aspirationsleitungen, soweit sie als Sammelleitungen fungieren, druckstoßfest auszulegen. Dies gilt insbesondere für Sammelleitungen, die z. B. durch weitere Brandabschnitte führen und bei ihrer Zerstörung zur Verbreitung des Explosionsereignisses in diese Bereiche führen würden. In der direkten Nähe zu den eigentlichen Absaugstellen macht das aber keinen Sinn mehr, da sich eine eventuell einlaufende Druckwelle mit der Flammenfront hier sowieso ungebremst ins Freie entlasten würde.

7.3.5.2 Filter

- Filter sind druckstoßfest für einen reduzierten Explosionsüberdruck von z. B. 0,4 bar /704/
- Entkopplung erfolgt mittels durchschlagsicherer Zellenradschleuse im Produktaustrag
- Entkopplung erfolgt über einen Entlastungsschlot oder mittels Löschmittelsperre im Rohlufteintritt
- Explosionsdruckentlastung erfolgt unmittelbar ins Freie / oder über eine flammenlose Druckentlastung z. B. "Q-Rohr"

alternativ ist der Filterraum mit Explosionsunterdrückung ausgerüstet. /705/ /706/

Beispiel für eine Filteranlage ohne konstruktiven Explosionsschutz

Ergibt die Gefährdungsbeurteilung, dass der Eintrag wirksamer Zündquellen, auch statische Elektrizität, sicher ausgeschlossen ist, kann auf konstruktive Explosionsschutzmaßnahmen verzichtet werden. Sofern nicht ausgeschlossen werden kann, dass aus den nachfolgenden Anlagenteilen gegen den Produktstrom eine Zündquelle eingetragen werden kann, ist eine Entkopplung, z. B. mittels durchschlagsicherer Zellenradschleuse im Produktaustrag, erforderlich.

Anmerkungen:

An einen Filter für die Silokonditionierung (Großsilo für Kristallzucker) können geringere Anforderungen als an die Förderwegeentstaubung gestellt werden, da die Luft üblicherweise im geschlossenen Kreislauf bewegt wird und die Gefahr des unbeabsichtigten Eintragens von Zündquellen nicht besteht.

Des Weiteren haben Messungen ergeben, dass sowohl im Silo als auch in den Leitungen der Silokonditionierung selbst gefährliche explosionsfähige Atmosphären nur sehr selten durch plötzliches Lösen von Staubablagerungen auftreten (Zone 22).

7.3.5.3 Stationäre Staubsauganlage

- Filtergehäuse ist konstruktiv geschützt, z. B. druckfest oder druckstoßfest mit Druckentlastung für den zu erwartenden Explosionsdruck. /704/

- Festverlegte Rohgasleitungen sind druckstoßfest für den zu erwartenden Explosionsdruck.
- Es sind ableitfähige Schläuche einzusetzen.
- Rohgassammelleitung ist vor dem Eintritt ins Filtergehäuse entkoppelt, z. B. mit einem Schnellschlussventil
- Entkopplungseinrichtung in der Reinfluftleitung, z. B. über ein Ventexventil.

Anmerkung:

An die technische Ausführung einer stationären Staubsaugeranlage zur Gebäude- und Anlagenreinigung mit ihren vielen Anschlussmöglichkeiten im Gebäude sind erhöhte Anforderungen zu stellen, da durch die flexible Handhabung der Anlage durch die Mitarbeiter vor Ort die Einhaltung des Schutzkonzeptes „Vermeidung von Zündquellen“ nicht garantiert werden kann. Mit der Möglichkeit des Einsaugens von wirksamen Zündquellen muss immer gerechnet werden.

7.3.5.4 Pudermühle

- Mühlengehäuse ist druckfest für den maximalen Explosionsüberdruck gebaut.
/704/
- Mühlennachbehälter ist druckstoßfest für reduzierten Explosionsüberdruck von z. B. 0,4 bar und druckentlastet.
- Zu- und Abläufe, einschließlich Luftzufuhr zur Mühle, sind explosionstechnisch entkoppelt.

Anmerkung:

Im Mahlraum des Mühlengehäuses besteht ständig die Gefahr, dass eine wirksame Zündquelle entsteht (z. B. durch Stiftbruch bei einer Stiftmühle). Somit ist insbesondere im Fall von Störungen mit einem erhöhten Explosionsrisiko zu rechnen. Diesem Aspekt ist insbesondere auch bei Altanlagen Rechnung zu tragen.

8 Bauliche Maßnahmen

- Die brandschutztechnische Entkopplung durch Aufteilung des Gebäudes in Brandabschnitte muss vorgenommen werden. Maßgebliche Ansprechpartner sind hierfür die Genehmigungsbehörden, z. B. Bauaufsichtsbehörde und der Sachversicherer.
- Eine sorgfältige Oberflächengestaltung ist zur Vermeidung von Staubablagerungen unabdinglich. Dies wird insbesondere durch das Vermeiden von Ablagerungsflächen gewährleistet. Flächen mit einer Neigung von 60° und mehr gegen die Waagerechte verhindern Ablagerungen weitestgehend. Unvermeidbare potentielle Ablagerungsflächen sind so zu gestalten, dass abgelagerter Staub problemlos beseitigt werden kann.
- Die Druckentlastung von Räumen (z. B. Pudermühlenraum) ist erforderlich, wenn andere konstruktive Schutzmaßnahmen nicht anwendbar sind und der Personenschutz auf andere Weise, z. B. durch Einrichtung als Sperrbereich ohne Arbeitsplatz und hinreichende Festigkeit des Mauerwerkes, sichergestellt ist. /706/
- Die Blitzschutzmaßnahmen nach DIN V ENV 61024-1/VDE 0185 sind erforderlich. Maßgebliche Ansprechpartner sind hierfür z. B. die Bauaufsichtsbehörde und der Sachversicherer. /606/
- Die Gebäudeentkopplung durch Entkopplungseinrichtungen in verbindenden Fördereinrichtungen, z. B. bei Bandförderern, ist in besonderen Einzelfällen ebenfalls erforderlich. Maßgebliche Ansprechpartner sind hierfür z. B. die Bauaufsichtsbehörde und der Sachversicherer.
- Einrichtungen zur Erdung der Maschinen und Anlagen, die die gefahrlose Ableitung elektrostatischer Aufladungen ermöglichen, sind ebenfalls durchgängig einzuplanen. /508/
- Die elektrische Ausrüstung der Rauminstallation ist den Anforderungen an die Umgebung anzupassen. Die Auswahl der Schutzklassen für die Installation muss auf Basis der Zoneneinteilung erfolgen, wenn ganze Räume, z. B. der komplette Silokeller, als explosionsgefährdete Bereiche ausgewiesen wurden. /603/
- Fest montierte Steckvorrichtungen wie Wandsteckdosen sind so anzuordnen, dass die Einführöffnung für den Stecker nach unten weist (maximale Abweichung von der Senkrechten 30°) und bei nicht eingeführtem Stecker durch einen unverlierbaren Deckel derart verschlossen ist, dass die Schutzart eingehalten wird. Sie müssen im spannungslosen Zustand koppel- und trennbar sein. /699/

9 Organisatorische Maßnahmen

9.1 Kennzeichnung

Die Kennzeichnung der explosionsgefährdeten Bereiche muss entsprechend der ASR A 1.3 /515/ erfolgen. Auf das Verbot des Betretens von explosionsgefährdeten Bereichen durch unbefugte Personen ist ebenfalls deutlich erkennbar und dauerhaft durch Kennzeichnung¹⁸ hinzuweisen. /402/

9.2 Reinigung und Wartung

Der Staubfreiheit von Betriebsräumen kommt ein hoher Stellenwert zu. Es sind daher Reinigungspläne zu erstellen, in denen Art, Umfang und Häufigkeit der Reinigungsmaßnahmen sowie die jeweiligen Verantwortlichkeiten festgelegt sind.

Zum Beseitigen von Staubablagerungen sollten bevorzugt saugende Verfahren eingesetzt werden (stationäre Staubsaugeranlage, mobile Industriestaubsauger).

Art der Reinigungsmaßnahmen	Umfang	Häufigkeit	Verantwortlich
Saugen	Siloboden	nach Schichtende	Herr S.
Wischen	Mühlenraum*)	bei Bedarf, mind. jedoch wöchentlich	Frau W.

*) Anlage darf dabei nicht in Betrieb sein!

Abb. 6: Beispiel für einen Reinigungsplan

Anmerkungen:

Eine stationäre Staubsaugeranlage (siehe Kap. 7.3.5.3) mit vielen Anschlussmöglichkeiten vor Ort in den staubbelasteten Bereichen, erleichtert ein rationelles und gründliches Entfernen von Staubablagerungen auch an schlecht zugänglichen Arbeitsbühnen (z. B. mit Zugang über eine Steigleiter). Mobile Staubsaugeranlagen können hier oft nicht vor Ort gebracht werden, um versteckte Staubablagerungen zu beseitigen.

Mobile Industriestaubsauger müssen für den Einsatz mit brennbaren Stäuben geeignet sein. Die Staubsauger dürfen keine eigene Zündquelle aufweisen. Dies ist z. B. erfüllt, wenn Staubsauger die Anforderungen der Norm DIN EN 60335-2-69 Anhang CC bzw. der ehemaligen Bauart B1 erfüllen.

Bei den Wartungsarbeiten sind neben den aus produktionstechnischen Gründen erforderlichen insbesondere Tätigkeiten zu berücksichtigen, die

- die Funktion von Schutzsystemen (wie Schieflaufsicherungen, Schlupfwächter oder Explosionsunterdrückungsanlagen),

¹⁸ Technischer Regeln für Arbeitstätten – ASR A1-3

- die Dichtheit staubführender Anlagen,
- die Wirksamkeit von entstaubungstechnischen Anlagen,
- die Reibungsfreiheit von bewegten Anlagenteilen und
- die Vermeidung von mechanisch erzeugten Funken

betreffen. Auch diese Wartungsarbeiten sind analog zu den Reinigungsmaßnahmen in einem Wartungsplan zu erfassen.

9.3 Instandsetzung und Prüfung

Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen, die Geräte, Schutzsysteme oder Sicherheits-, Kontroll- oder Regelvorrichtungen im Sinne des Artikels 1 der Richtlinie 94/9/EG sind oder beinhalten, gelten als überwachungsbedürftige Anlagen im Sinne des § 1 Abs. 2 Satz 1 Nr. 3 BetrSichV. Um eine dauerhafte Aufrechterhaltung der für den Explosionsschutz getroffenen Schutzmaßnahmen zu gewährleisten, ist durch den Betreiber ein Prüf- und Überwachungskonzept zu erstellen. Das Prüf- und Überwachungskonzept muss Festlegungen hinsichtlich Prüfart, Prüfumfang, Prüftiefe sowie Prüfzeiten beinhalten.

Gemäß BetrSichV sind für überwachungsbedürftige Anlagen und Arbeitsmittel die Prüfungen vor Inbetriebnahme, nach Instandsetzung sowie die wiederkehrenden Prüfungen zu unterscheiden. Eine weitere Konkretisierung hinsichtlich des Umfangs und der Inhalte der jeweiligen Prüfungen ist in TRBS 1201, TRBS 1201 Teil 1 bzw. TRBS 1201 Teil 3 zu finden.

Alle laut Prüfkonzept durchgeführten Prüfungen sind zu dokumentieren und die Prüfprotokolle aufzubewahren.

Eine Übersicht über die relevanten Kontrollen und Prüfungen ist der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Arbeitsmittel / Anlage	Prüfanlass	Ziel	Prüfender	BetrSichV
Arbeitsmittel (allgemein)	vor Arbeitsbeginn	offensichtliche Mängel	Anwender; unterwiesene Person	§ 3
Arbeitsmittel unter best. Bedingungen	Sicherheit von den Montagebedingungen abhängig	ordnungsgemäße Montage, sichere Funktion	bP	§ 10 Abs. 1
	Betrieb unter Schäden verursachenden Einflüssen, nach Fristen	rechtzeitige Erkennung von Schäden, sicherer Betrieb	bP	§ 10 Abs. 2
	außergewöhnliches Ereignis	rechtzeitige Erkennung von Schäden, sicherer Betrieb	bP	§ 10 Abs. 2

	nach Instandsetzungsarbeiten	auf sicheren Betrieb	bP	§ 10 Abs. 3
Überwachungsbedürftige Anlagen	Vor erstmaliger Inbetriebnahme; nach wesentlicher Veränderung	ordnungsgemäßer Zustand hinsichtlich Montage, Installation, Aufstellungsbedingungen und sicherer Funktion	ZÜs oder bP	§ 14 Abs. 1 und Abs. 3
	Nach Änderung von Betrieb und Bauart	ordnungsgemäßer Zustand hinsichtlich des Betriebes	ZÜs oder bP	§ 14 Abs. 2 und Abs. 3
	Instandsetzung von Geräten usw., nach RL 94/9/EG	entsprechend den Anforderungen der BetrSichV	ZÜs, behördlich anerkannte bP oder Hersteller	§ 14 Abs. 6
	wiederkehrend nach Fristen, längstens alle 3 Jahre	ordnungsgemäßer Zustand hinsichtlich des Betriebes	ZÜs oder bP	§ 15 Abs. 15
Ex-Anlagen		Prüfung von Arbeitsplätzen (Konzeptprüfung)	bP mit besonderen Kenntnissen im Ex-Schutz	Anhang 4A, Ziffer 3.8

Abb. 7: Prüfanlässe, -ziele und Zuständigkeiten

Legende:

- bP: befähigte Person
- ZÜs: Zugelassene Überwachungsstelle

9.3.1 Prüfung vor Inbetriebnahme einer Überwachungsbedürftigen Anlage

Hierbei werden wiederum zwei Prüfungen unterschieden.¹⁹

9.3.1.1 Die Prüfung der Anlage (BetrSichV §14 Zif. 1-3)

Die Anlage ist unter Berücksichtigung der vorgesehenen Betriebsweise durch eine befähigte Person oder durch eine zugelassene Überwachungsstelle auf ihren ordnungsgemäßen Zustand hinsichtlich der Montage, der Installation, den Aufstellungsbedingungen und der sicheren Funktion zu prüfen. Diese Anforderung ist analog nach einer wesentlichen Veränderung der Anlage, bzw. soweit der Betrieb oder die Bauart der Anlage durch eine Änderung beeinflusst wird, zu erfüllen.

¹⁹ Entnommen aus: FSA-Leitfaden Brennereien

Es handelt sich hierbei um eine Prüfung der einzelnen Anlagenteile (Arbeitsmittel) hinsichtlich der ordnungsgemäßen Montage, Installation und Funktion.

Hieran schließt sich bei einer Neuanlage vor Inbetriebnahme eine wesentliche zweite Prüfung an. Diese zweite Prüfung soll vor allem darüber Aufschluss geben, ob das angewendete Explosionsschutzkonzept der Anlage schlüssig und vollständig umgesetzt ist. Diese Prüfung darf daher auch nur von Experten (Befähigte Person mit besonderen Kenntnissen im Explosionsschutz) durchgeführt werden.²⁰

9.3.1.2 Prüfung der Explosionssicherheit von Arbeitsplätzen (Konzeptprüfung, BetrSichV Anh. 4 A Zif. 3.8)

Diese Prüfung setzt sich aus folgenden Schritten zusammen:

- Prüfung der sachlichen Richtigkeit des Explosionsschutzkonzeptes,
- Prüfung der Konkretisierung des Explosionsschutzkonzeptes im Explosionsschutzdokument,
- Prüfung der Umsetzung des Explosionsschutzkonzeptes für den konkreten Bereich.
Dieser Prüfschritt beinhaltet die ganzheitliche Prüfung der Umsetzung aller organisatorischen und technischen Maßnahmen.

Hierzu sind u. a. folgende Aspekte zu prüfen:

- Ganzheitliche Prüfung des Explosionsschutzkonzeptes vor dem Hintergrund der örtlichen Gegebenheiten,
- Prüfung der vollständigen Beschreibung des Explosionsschutzkonzeptes im Explosionsschutzdokument.

Weiterhin sind zu prüfen:

- die korrekte Umsetzung aller gemäß des Explosionsschutzkonzeptes erforderlichen technischen und organisatorischen Explosionsschutzmaßnahmen,
- die Umsetzung des Zonenplans daraufhin, ob die explosionsgefährdeten Bereiche gemäß Zonenplan realisiert sind,
- Geräte und Schutzsysteme und die sonstigen Arbeitsmittel daraufhin, ob sie für die Zonen, in denen sie verwendet werden sollen, auf Grund ihrer Geräte-Kategorie geeignet sind,
- die Kennzeichnung der explosionsgefährdeten Bereiche.

Anmerkungen:

Detaillierte Aussagen enthält auch die TRBS 1201 Teil 1 Abs. 5

²⁰ Entnommen aus: FSA-Leitfaden Brennereien

Diese Prüfung ist von einer befähigten Person mit besonderen Kenntnissen im Explosionsschutz²¹ durchzuführen.

9.3.2 Prüfung nach Instandsetzung (BetrSichV §14 Abs. 6)

Nach der Instandsetzung eines Gerätes, eines Schutzsystems oder einer Sicherheits-, Kontroll- oder Regelvorrichtung im Sinne der Richtlinie 94/9/EG hinsichtlich eines Teils, von dem der Explosionsschutz abhängt, ist eine Prüfung durch eine zugelassene Überwachungsstelle (ZÜs) oder durch eine von der Behörde anerkannte befähigte Person durchzuführen.

Die Prüfung darf auch durch den jeweiligen Hersteller durchgeführt werden. Der Hersteller hat in diesem Fall zu bestätigen, dass das Gerät, das Schutzsystem oder die Sicherheits-, Kontroll- oder Regelvorrichtung in den für den Explosionsschutz wesentlichen Merkmalen den Anforderungen der BetrSichV entspricht.

Weitere Konkretisierungen zu dieser Prüfung sind in der TRBS 1201 Teil 3 zu finden.

9.3.3 Wiederkehrende Prüfungen (BetrSichV §15 Abs. 15)

Die Festlegung der Prüffristen und der Prüfinhalte ergeben sich nach Maßgabe der Gefährdungsbeurteilung unter Berücksichtigung der Herstellerangaben und der Betriebsbedingungen. Die wiederkehrenden Prüfungen müssen spätestens alle 3 Jahre wiederholt werden.

Bei den Prüfungen gemäß § 15 Abs. 15 BetrSichV sind grundsätzlich zu prüfen:

- Geräte, Schutzsysteme und Sicherheits-, Kontroll- oder Regelvorrichtungen im Sinne der EG-Richtlinie 94/9/EG auf ihren ordnungsgemäßen Zustand und ihre ordnungsgemäße Zusammenschaltung,
- Sicherheits-, Kontroll- oder Regelvorrichtungen auf ihre ordnungsgemäße Funktion entsprechend der ausgeführten Kategorie,
- Wechselwirkungen von Geräten, Schutzsystemen, Sicherheits-, Kontroll- oder Regelvorrichtungen und deren Verbindungselementen - untereinander und mit anderen Anlagenteilen,

Wiederkehrende Prüfungen gemäß §15 BetrSichV können durch eine zugelassene Überwachungsstelle oder eine befähigte Person durchgeführt werden.

9.4 Betriebsanweisung, Unterweisung

Unter Einbeziehung der Gefährdungsbeurteilung (siehe Kap. 6), sind Betriebsanweisungen zu erstellen, die den Umgang mit brennbaren Stoffen und gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre (z. B. Zucker-, Schnitzel- und Pelletstaub), regeln.

Im Rahmen der Erst- und Wiederholungsunterweisungen sind die in dem Bereich tätigen Personen (Anlagenfahrer, Servicepersonal, usw.) über

- die grundlegenden Explosionsvoraussetzungen (siehe Kap. 3),

²¹ TRBS 1203

- grundsätzliche Verhaltensweisen in den explosionsgefährdeten Bereichen,
- das allgemeine Rauchverbot in den explosionsgefährdeten Bereichen,
- das Verbot der Verwendung offener Flammen sowie der Durchführung von Feuerarbeiten ohne Erlaubnisschein (siehe Kap. 9.5) und
- das Zutrittsverbot für unbefugte Personen

zu unterweisen.

Anmerkung:

Auch die umfassende Unterweisung der Fremdfirmenmitarbeiter, z. B. von Reinigungsfirmen, ist zu gewährleisten. /101, 102/

9.5 Arbeitsfreigabe

Die Durchführung von Arbeiten in explosionsgefährdeten Bereichen ist nur gemäß den schriftlichen Anweisungen des Arbeitgebers zulässig. Bei gefährlichen Tätigkeiten, wie z. B. Schweiß-, Schneide- und Schleifarbeiten, ist ein Auftragsfreigabesystem anzuwenden.

Diese Tätigkeiten dürfen erst beginnen, wenn den ausführenden Mitarbeitern ein Erlaubnisschein vorliegt, in dem der zuständige Vorgesetzte die Arbeitsfreigabe erteilt hat und die notwendigen Schutzmaßnahmen (siehe Kap. 9.4) getroffen wurden. /101,102, 510/

Ein Mustererlaubnisschein findet sich im Anhang (siehe Kap. 10.10).

9.6 Explosionsschutzdokument

Der Arbeitgeber hat alle zum Explosionsschutz getroffenen Maßnahmen in einem Explosionsschutzdokument zu erfassen. Dieses Dokument ist ständig auf dem letzten Stand zu halten. Es ist vor Aufnahme der Bauarbeiten, d. h. bereits in der Planungsphase, zu erstellen und zu überarbeiten, wenn Veränderungen, Erweiterungen oder Umgestaltungen der Arbeitsumgebung, der Arbeitsmittel, des Arbeitsablaufes, nach Ereignissen oder neuen Erkenntnissen vorgenommen werden.

Aus dem Dokument muss insbesondere hervorgehen,

- dass die Explosionsgefährdungen ermittelt und einer Bewertung unterzogen worden sind,
- dass angemessene Vorkehrungen getroffen werden, um die Ziele des Explosionsschutzes zu erreichen,
- welche Bereiche entsprechend dem Anhang 3 der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) in Zonen eingeteilt wurden und
- für welche Bereiche die Mindestvorschriften gemäß dem Anhang 4 der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) gelten.

Zu den angemessenen Vorkehrungen gehören insbesondere technische und organisatorische Schutzmaßnahmen wie z. B. Auswahl der Arbeitsmittel für explosionsgefährdete Be-

reiche, Instandhaltungsmaßnahmen, Koordination von sicherheitstechnischen Maßnahmen, Unterweisungen und Prüfungen.

Das Explosionsschutzdokument muss alle Angaben zum Explosionsschutz im Werk beinhalten. Es ist nicht auf den Staubexplosionsschutz beschränkt. Vom Gesetzgeber ist keine spezielle Form vorgegeben worden.

Anmerkungen:

Die im Rahmen des Explosionsschutzdokumentes erstellte Gefährdungsbeurteilung ist nicht als eigenständige Betrachtung, sondern als eine Erweiterung der allgemeinen Gefährdungsbeurteilung nach dem Arbeitsschutzgesetz bzw. der Betriebssicherheitsverordnung und Gefahrstoffverordnung zu verstehen.

Im Explosionsschutzdokument kann der Arbeitgeber auch auf bereits vorhandene Gefährdungsbeurteilungen, Dokumente oder andere gleichwertige Berichte verweisen, die auf Grund von Verpflichtungen nach anderen Rechtsvorschriften erstellt worden sind. Dazu können z. B. Gutachten, Genehmigungsunterlagen, Anlagenverzeichnisse, Gefahrstoffkataloge, Reinigungspläne, Protokolle über planmäßige Rundgänge, Prüfunterlagen, Unterweisungsunterlagen und Havariepläne gehören.

Empfehlung für Aufbau und Inhalt

Der mögliche Aufbau des Explosionsschutzdokumentes kann dem Anhang (siehe Kap. 9.6) entnommen werden.

10 Anhang (allgemein)

10.1 Begriffsbestimmungen, Kenngrößen (für brennbaren Staub)

Arbeitgeber

Staatliche Arbeitsschutzverordnungen richten sich im Regelfall an den Arbeitgeber. Er ist für die Umsetzung der Forderungen verantwortlich. Mit dem Begriff des Arbeitgebers sind die in § 13 ArbSchG genannten betrieblichen Führungskräfte in Linienfunktion angesprochen, soweit ihr Zuständigkeitsbereich von dem Geltungsbereich einer Verordnung betroffen ist oder sie explizit vom Arbeitgeber mit Übernahme von Arbeitgeberpflichten beauftragt wurden.

Arbeitsmittel

Der Begriff Arbeitsmittel wird in dieser Veröffentlichung im Sinne der Betriebssicherheitsverordnung verwendet. Der Geltungsbereich ist weit gefasst und umfasst Werkzeuge, Geräte, Maschinen oder Anlagen.

Anlagen setzen sich aus mehreren Funktionseinheiten zusammen, die zueinander in Wechselwirkung stehen und deren sicherer Betrieb wesentlich von diesen Wechselwirkungen bestimmt ist.

Zu den Anlagen gehören auch überwachungsbedürftige Anlagen im Sinne des § 2 Abs. 7 des Produktsicherheitsgesetzes (ProdSG).

Überwachungsbedürftige Anlagen

Welche Anlagen als überwachungsbedürftig im Sinne der BetrSichV gelten wird in § 1 Abs. 2 BetrSichV festgelegt.

Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen, die Geräte, Schutzsysteme, Sicherheits-, Kontroll- oder Regelvorrichtungen im Sinne der Richtlinie 94/9/EG sind oder beinhalten sind überwachungsbedürftige Anlagen im Sinne des § 1 Abs. 2 Satz 1 Nr. 3 BetrSichV.

Atmosphärische Bedingungen

Als atmosphärische Bedingungen gelten Gesamtdrücke von 0,8 bar bis 1,1 bar und Gemischttemperaturen von -20 °C bis $+60\text{ °C}$. /503/

Der Sauerstoffanteil muss dabei $O_2 \leq 21\text{ Vol\%}$ betragen!

Brennbarkeit

Die Brennbarkeit eines Staubes wird durch die Brennzahl beschrieben.

Art der Reaktion		Brennzahl	Staubart (Beispiel)
Keine Brandausbreitung	Kein Anbrennen	BZ 1	Kochsalz

Brandausbreitung	Kurzes Anbrennen und rasches Verlöschen	BZ 2	Zuckerstaub, Weinsäure, Kasein
	Örtliches Brennen oder Glimmen ohne Ausbreitung	BZ 3	Lactose, Dextrin
	Ausbreitung eines Glimmbrandes	BZ 4	Tabak, Braunkohle, Torf
	Ausbreitung eines offenen Brandes	BZ 5	Schwefel, Holz, Zellulose
	Sehr heftiges, verpuffungsartiges Abbrennen	BZ 6	Schwarzpulver

Explosion

Eine plötzliche Oxidationsreaktion mit Anstieg der Temperatur, des Druckes oder beidem gleichzeitig. /503/

Explosionsgrenzen

Untere Explosionsgrenze (UEG) bzw. obere Explosionsgrenze (OEG) ist der untere bzw. obere Grenzwert der Konzentration (Stoffmengenanteil) eines brennbaren Stoffes in einem Gemisch aus Gasen, Dämpfen, Nebeln und/oder Stäuben, in dem sich nach dem Zünden eine von der Zündquelle unabhängige Flamme gerade nicht mehr selbstständig fortpflanzen kann. /503/

Explosionsfähige Atmosphäre (e. A.)

Eine explosionsfähige Atmosphäre ist ein Gemisch aus Luft und brennbaren Stäuben unter atmosphärischen Bedingungen, in dem sich der Verbrennungsvorgang nach erfolgter Entzündung auf das gesamte unverbrannte Gemisch überträgt. Als atmosphärische Bedingungen gelten Gesamtdrücke von 0,8 bar bis 1,1 bar und Gemischtemperaturen von – 20 °C bis +60 °C. /503/

Explosionsfeste Bauweise

Anlagenteile wie Behälter, Apparate, Rohrleitungen (Aspirationsleitungen), sind explosionsfest, wenn sie so gebaut sind, dass sie dem zu erwartenden Explosionsdruck im Inneren standhalten, ohne aufzureißen. /507/

Explosionsdruckfeste Bauweise

Anlagenteile wie Behälter, Apparate, Rohrleitungen (Aspirationsleitungen), sind explosionsdruckfest, wenn sie dem zu erwartenden Explosionsdruck standhalten, ohne sich bleibend zu verformen. /507/

Anmerkung:

Für die Auslegung und Herstellung werden die Berechnungs- und Bauvorschriften für Druckbehälter angewendet. Als Berechnungsdruck wird der zu erwartende Explosionsdruck zugrunde gelegt.

Explosionsdruckstoßfeste Bauweise

Anlagenteile wie Behälter, Apparate, Rohrleitungen (Aspirationsleitungen), sind so gebaut, dass sie dem zu erwartenden Explosionsdruck standhalten ohne aufzureißen, wobei jedoch bleibende Verformungen zulässig sind. /507/

Anmerkung:

Für die Auslegung und Herstellung werden die von der „Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter“ herausgegebenen Richtlinien (AD-Merkblätter) sinngemäß verwendet, wobei unter der Voraussetzung einer hohen Verformbarkeit der verwendeten Werkstoffe eine im Vergleich zu Druckbehältern höhere Ausnutzung der Werkstofffestigkeit zulässig ist.

Explosionsgefährdeter Bereich (e. B.)

Ein explosionsgefährdeter Bereich ist ein Bereich, in dem eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre auftreten kann. Ein Bereich, in dem eine explosionsfähige Atmosphäre nicht in einer solchen Menge zu erwarten ist, dass besondere Schutzmaßnahmen erforderlich werden, gilt nicht als explosionsgefährdeter Bereich. /503/

Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre (g. e. A.)

Eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre ist eine explosionsfähige Atmosphäre, die in einer solchen Menge (gefahrrohende Menge) auftritt, dass besondere Schutzmaßnahmen für die Aufrechterhaltung des Schutzes von Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten oder Dritter erforderlich werden. /503/

Glimmtemperatur

Die Glimmtemperatur ist die Mindestzündtemperatur einer Staubschicht von 5 mm Dicke. /503/

K_{St}-Wert

Staub- und prüfverfahrensspezifische Kenngröße, die sich aus dem kubischen Gesetz errechnet. Sie entspricht zahlenmäßig dem Wert für den maximalen zeitlichen Druckanstieg im 1-m³-Behälter bei den in der Richtlinie VDI 2263-1 festgelegten Prüfbedingungen. Der K_{St}-Wert ist insbesondere von der Korngrößenverteilung und der Oberflächenstruktur des Staubes abhängig. /702/

Kubisches Gesetz

Volumenabhängigkeit des maximalen zeitlichen Druckanstiegs. /702/

$$(dp/dt)_{\max} \cdot V^{1/3} = \text{konst.} = K_{St}$$

Wegen des Zusammenhangs zwischen Volumen V und maximalem zeitlichen Druckanstieg $(dp/dt)_{\max}$ sind Angaben für den maximalen zeitlichen Druckanstieg ohne gleichzeitige Volumenangabe nicht ausreichend.

Maximaler Explosionsdruck (p_{\max})

Maximaler Explosionsdruck (p_{\max}) ist der höchste ermittelte Explosionsdruck, der bei Änderung der Brennstoffanteile auftritt. /503/

Maximaler zeitlicher Druckanstieg ($(dp/dt)_{\max}$)

Ist der unter festgelegten Versuchsbedingungen bei Änderung der Brennstoffanteile ermittelte höchste zeitliche Druckanstieg in einem geschlossenen Behälter, der bei der Explosion einer explosionsfähigen Atmosphäre auftritt. /503/

Medianwert

Der Wert für die mittlere Korngröße. 50 Gew.-% des Staubes sind gröber und 50 Gew.-% sind feiner als der Medianwert.

Mindestzündenergie (MZE)

Ist die unter festgelegten Versuchsbedingungen ermittelte, kleinste in einem Kondensator gespeicherte elektrische Energie, die bei der Entladung ausreicht, das zündwilligste Gemisch einer explosionsfähigen Atmosphäre zu entzünden. /503/

Mindestzündtemperatur einer Staubschicht

Ist die unter festgelegten Versuchsbedingungen ermittelte Temperatur einer heißen Oberfläche, bei der die Staubschicht entzündet wird (bei 5 mm Schichtdicke identisch mit der Glimmtemperatur). /503/

Mindestzündtemperatur einer Staubwolke (Zündtemperatur)

Ist die unter festgelegten Versuchsbedingungen ermittelte Temperatur einer heißen Oberfläche, bei der die bei der sich das zündwilligste Gemisch des Staubes mit Luft entzündet. /503/

Sauerstoffgrenzkonzentration (SGK)

Ist die maximale Sauerstoffkonzentration (Stoffmengenanteil) in einem Gemisch eines brennbaren Stoffes mit Luft und inertem Gas oder Staub, in dem eine Explosion nicht auftritt, sie wird bestimmt unter festgelegten Versuchsbedingungen. /503/

Selbstentzündung einer Staubschüttung

Ist die Entzündung von Stäuben, die dadurch hervorgerufen wird, dass die Wärmeproduktionsrate der Oxidations- oder Zersetzungsreaktion der Stäube größer ist als die Wärmeverlustrate an die Umgebung. /503/

Staub

Feinzerteilter Feststoff beliebiger Form, Struktur und Dichte unterhalb einer Korngröße von ca. 500 μm .

Staubexplosionsklassen

Klassen, in die Stäube aufgrund ihrer K_{St} -Werte eingeordnet werden.

Staubexplosionsklasse	K_{St} in bar · m/s
St 1	$0 < K_{St} \leq 200$
St 2	$200 < K_{St} \leq 300$
St 3	$K_{St} \geq 300$

Staub/Luft-Gemisch

In Luft aufgewirbelter Staub. Kennzeichnende Größe ist die Staubkonzentration.

Geräte, Schutzsysteme Komponenten, Sicherheits-, Kontroll- oder Regelvorrichtungen

Als **Geräte** gelten Maschinen, Betriebsmittel, stationäre oder ortsbewegliche Vorrichtungen, Steuerungs- und Ausrüstungsteile sowie Warn- und Vorbeugungssysteme, die einzeln oder kombiniert zur Erzeugung, Übertragung, Speicherung, Messung, Regelung und Umwandlung von Energien und zur Verarbeitung von Werkstoffen bestimmt sind und die eigene potentielle Zündquellen aufweisen und dadurch eine Explosion verursachen können.

Als **Schutzsysteme** werden alle Vorrichtungen mit Ausnahme von Komponenten der oben definierten Geräte bezeichnet, die anlaufende Explosionen umgehend stoppen und/oder den von einer Explosion betroffenen Bereich begrenzen sollen und als autonome Systeme in Verkehr gebracht werden.

Als **Komponenten** werden solche Bauteile bezeichnet, die für den sicheren Betrieb von Geräten und Schutzsystemen erforderlich sind, ohne jedoch selbst eine autonome Funktion zu erfüllen.

Als **Sicherheits-, Kontroll- oder Regelvorrichtungen** gelten Einrichtungen für den Einsatz außerhalb von explosionsgefährdeten Bereichen, die für den sicheren Betrieb von Geräten und Schutzsystemen erforderlich sind.

Normalbetrieb

Als Normalbetrieb gilt der Zustand, in dem die Arbeitsmittel oder Anlagen und deren Einrichtungen innerhalb ihrer Auslegungsparameter benutzt oder betrieben werden. /503/

Anmerkungen:

Die Freisetzung geringer Mengen brennbarer Stoffe infolge von Inspektion und Wartung gehören in der Regel zum Normalbetrieb.

Die Freisetzung auch geringer Mengen brennbarer Stoffe infolge von Störungen, z. B. durch das Versagen von Dichtungen, von Flanschen oder in Folge von Unfällen, die z. B. die Instandsetzung oder Abschaltung der Anlage im Ganzen oder teilweise erfordern, wird in der Regel nicht als Normalbetrieb angesehen.

10.2 Explosionsereignisse (Zündquellenschwerpunkte)

Aus der folgenden Abbildung ist zu erkennen, dass in der Nahrungs- und Futtermittelindustrie, also auch in der Zuckerindustrie, mechanische Zündquellen mit 35 % den größten Anteil am Explosionsgeschehen haben und damit besonders beachtet werden müssen.

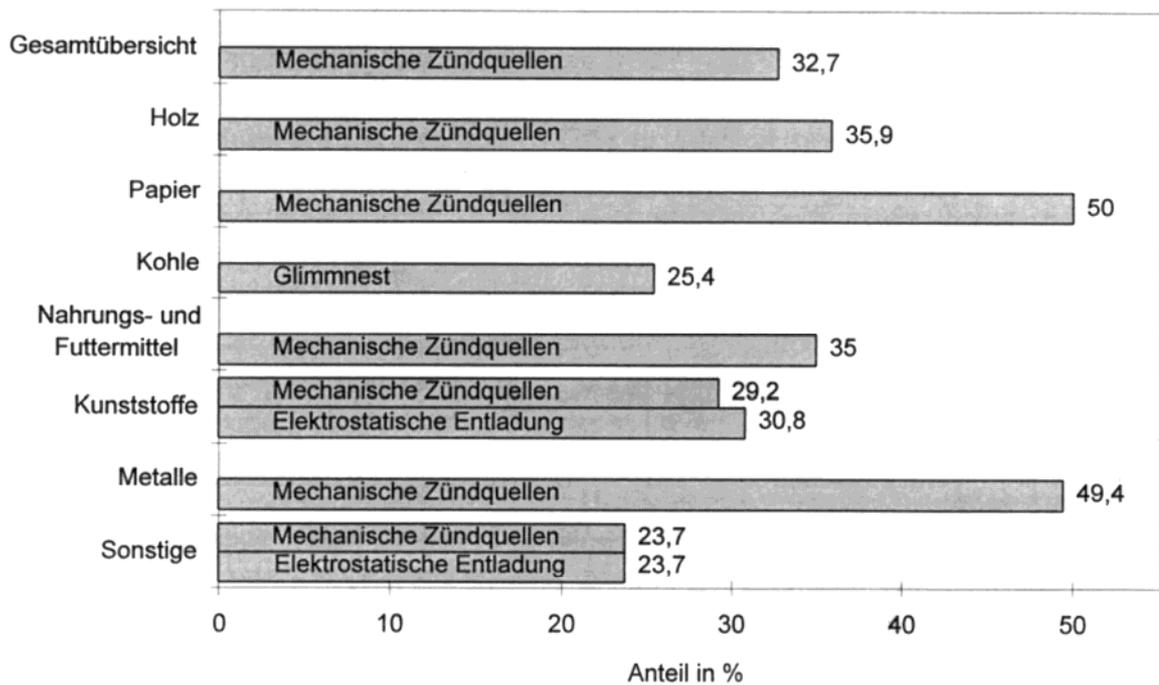


Abb. 8: Verteilung der ermittelten Zündquellen (BIA-Report 11/97)

10.3 Explosionsereignisse (Anlagenschwerpunkte)

Aus der folgenden Abbildung ist zu erkennen, dass in der Nahrungs- und Futtermittelindustrie, also auch in der Zuckerindustrie, Förderanlagen/Elevatoren 26,9 % den größten Anteil am Explosionsgeschehen haben und damit besonders beachtet werden müssen.

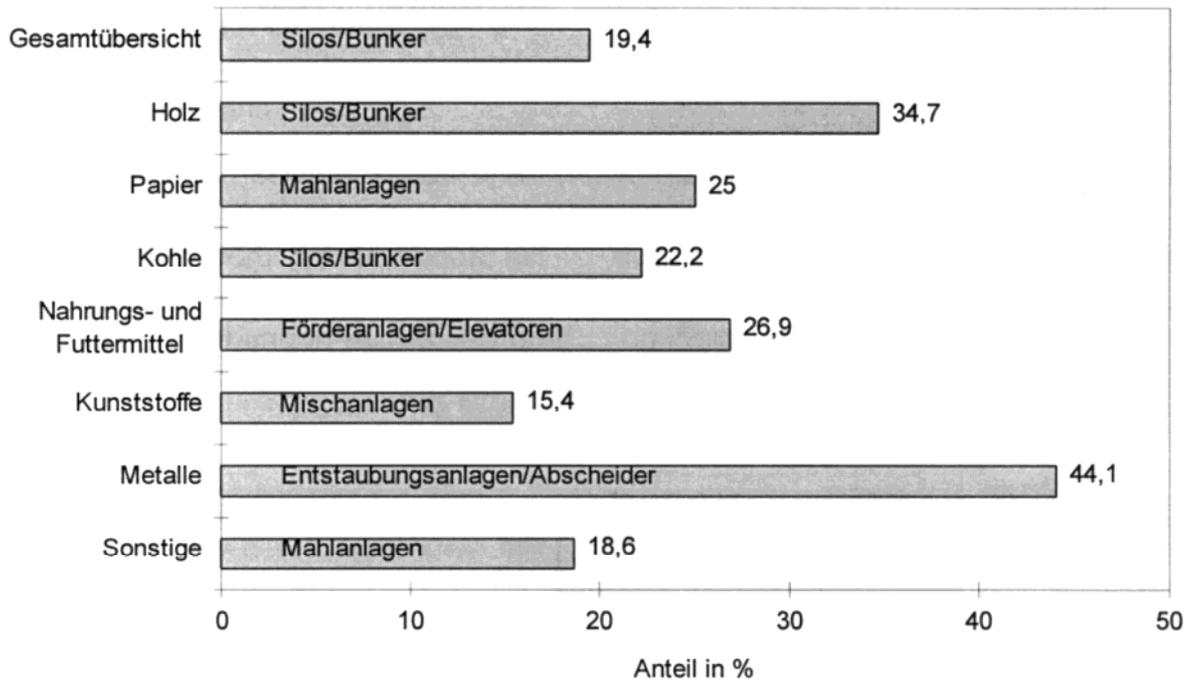


Abb. 9: Betroffene Anlagen nach Staubgruppen (BIA-Report 11/97)

10.4 Explosionsentkopplung in Aspirationsleitungen

Die folgende Abbildung zeigt die Explosionsentkopplung durch Einsatz einer Löschmittelsperre. Diese wird nach vorgeschalteter Detektion (Druck- und/oder Infrarot) ausgelöst.

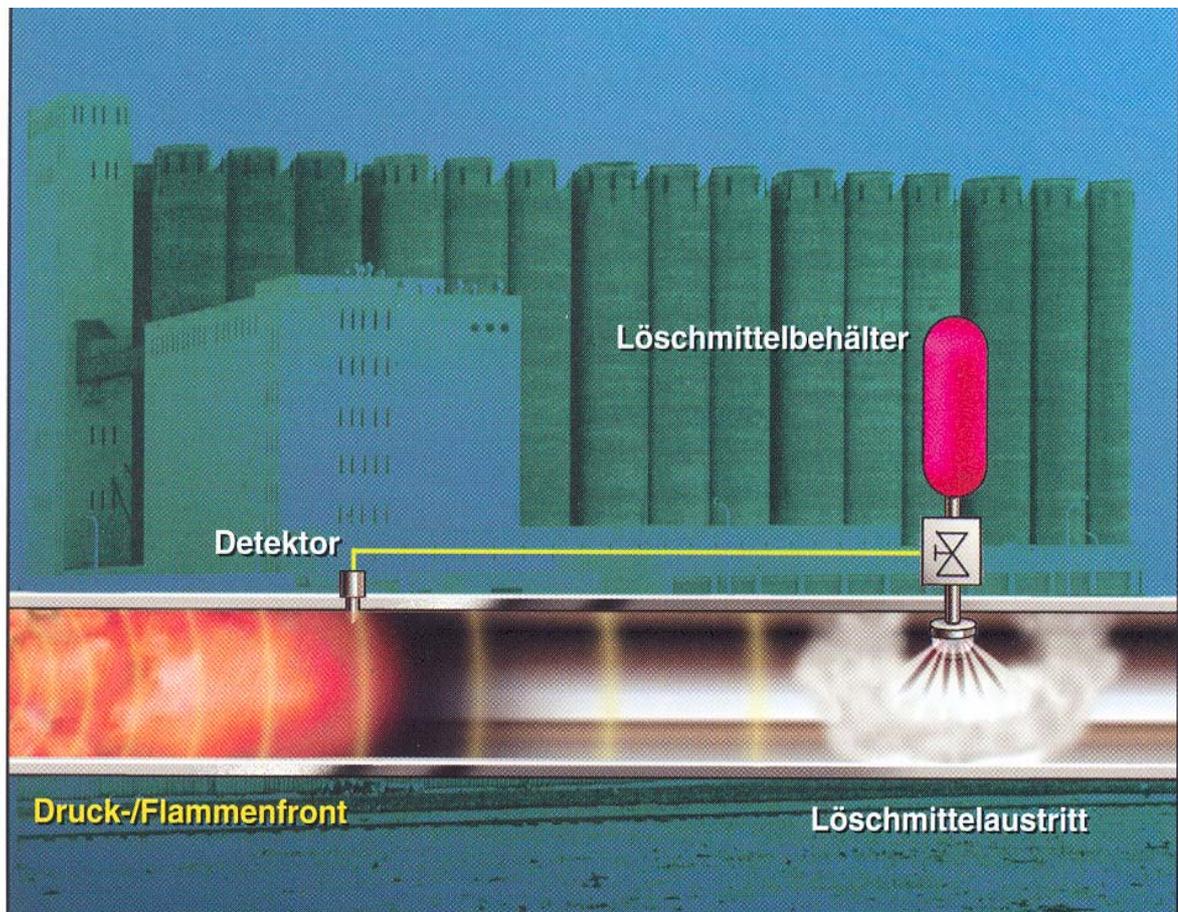


Abb. 10: Löschmittelsperre (automatische Flammensperre) (Quelle: IVSS)

10.5 Druckverlauf beim Einsatz der Explosionsunterdrückung

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft den zeitlichen Druckverlauf einer Explosion mit bzw. ohne Einsatz einer Explosionsunterdrückung.

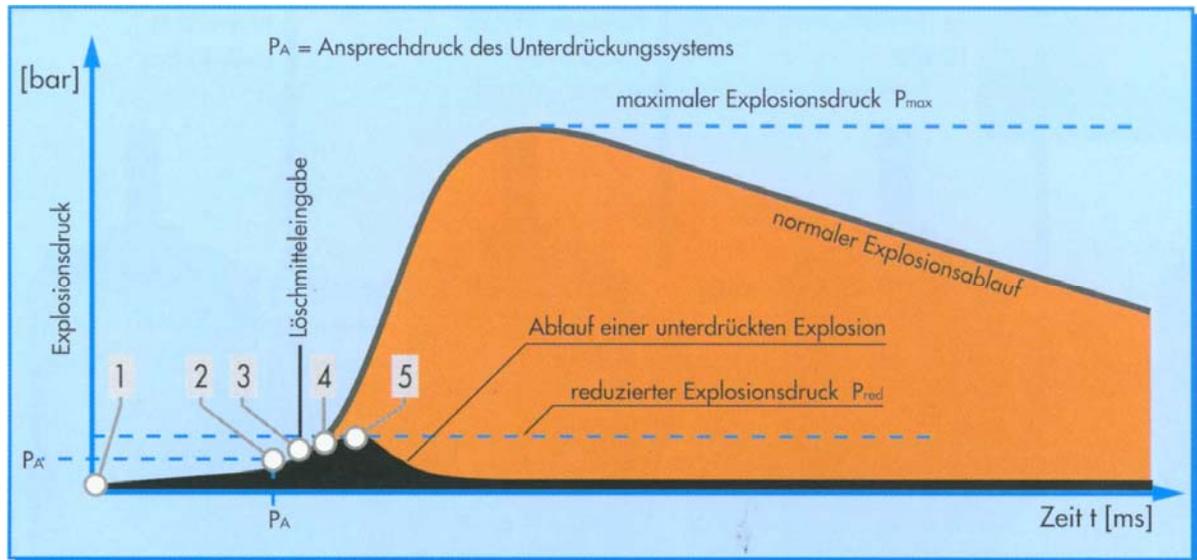


Abb. 11: Druckverlauf bei Einsatz einer Explosionsunterdrückung

Erläuterung der Abbildung

1. Die Zündung des explosiblen Gemisches erfolgt bei $p = 0$ Bar, $t = 0$ ms
2. Die Druckdetektoren melden die anlaufende Explosion bei $p = 0,10$ bar, $t \approx 35$ ms
3. Die Unterdrückung beginnt durch Zugabe des Löschmittels bei $p = 0,16$ bar, $t \approx 40$ ms
4. Die Explosion ist unterdrückt bei $p_{red} = 0,40$ bar (reduzierter Explosionsdruck), $t \approx 60$ ms
5. Die Flammenreaktion ist unterdrückt

10.6 Schnellschlussschieber zur Explosionsentkopplung

Die folgende Abbildung zeigt einen Schnellschlussschieber zur Explosionsentkopplung. Dieser wird nach vorgeschalteter Detektion (Druck- und/oder Infrarot) ausgelöst.

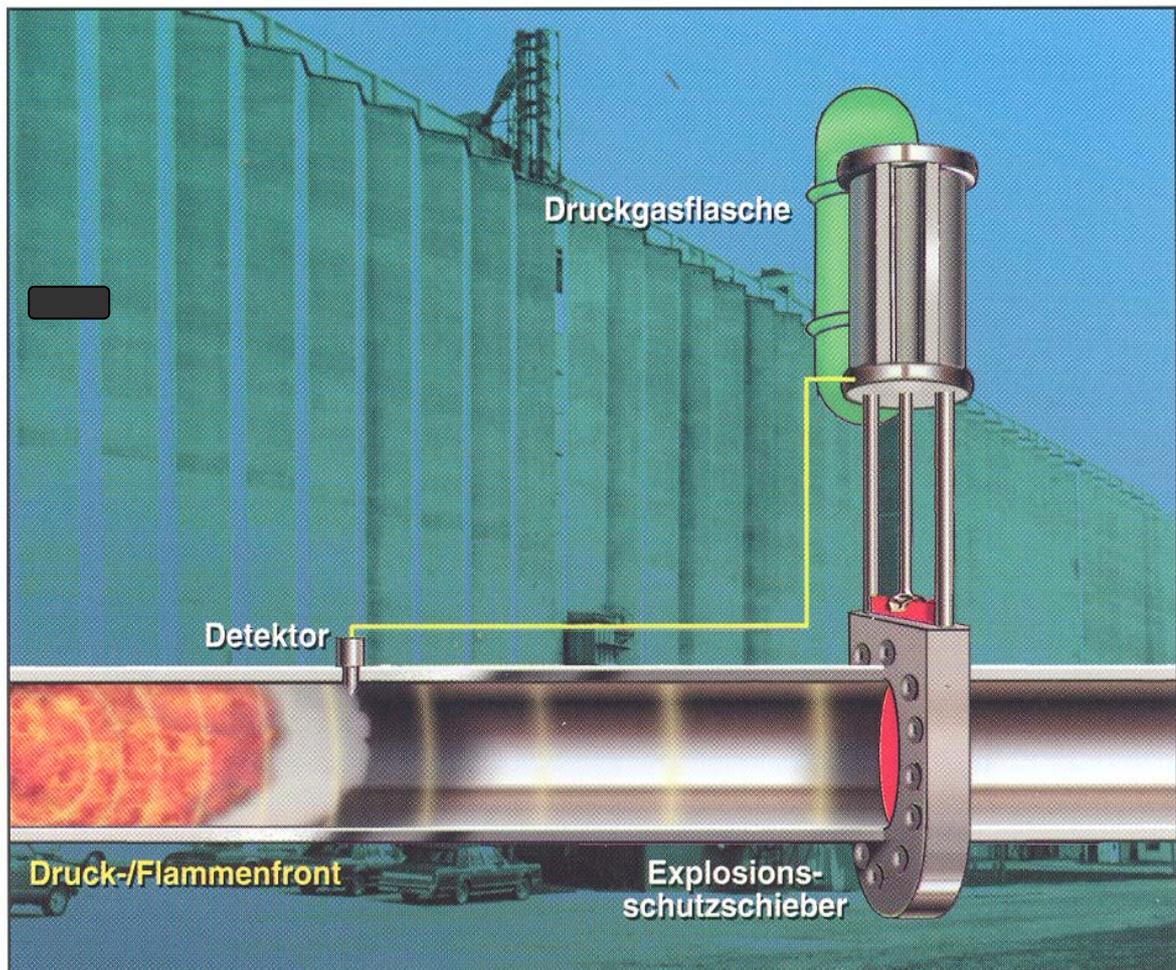


Abb. 12: Schnellschlussschieber (Quelle: IVSS)

10.7 Zellenradschleuse zur Explosionsentkopplung

Die folgende Abbildung zeigt eine Zellenradschleuse zur Explosionsentkopplung. Diese wird nach vorgeschalteter Detektion (Druck- und/oder Infrarot) ausgelöst.

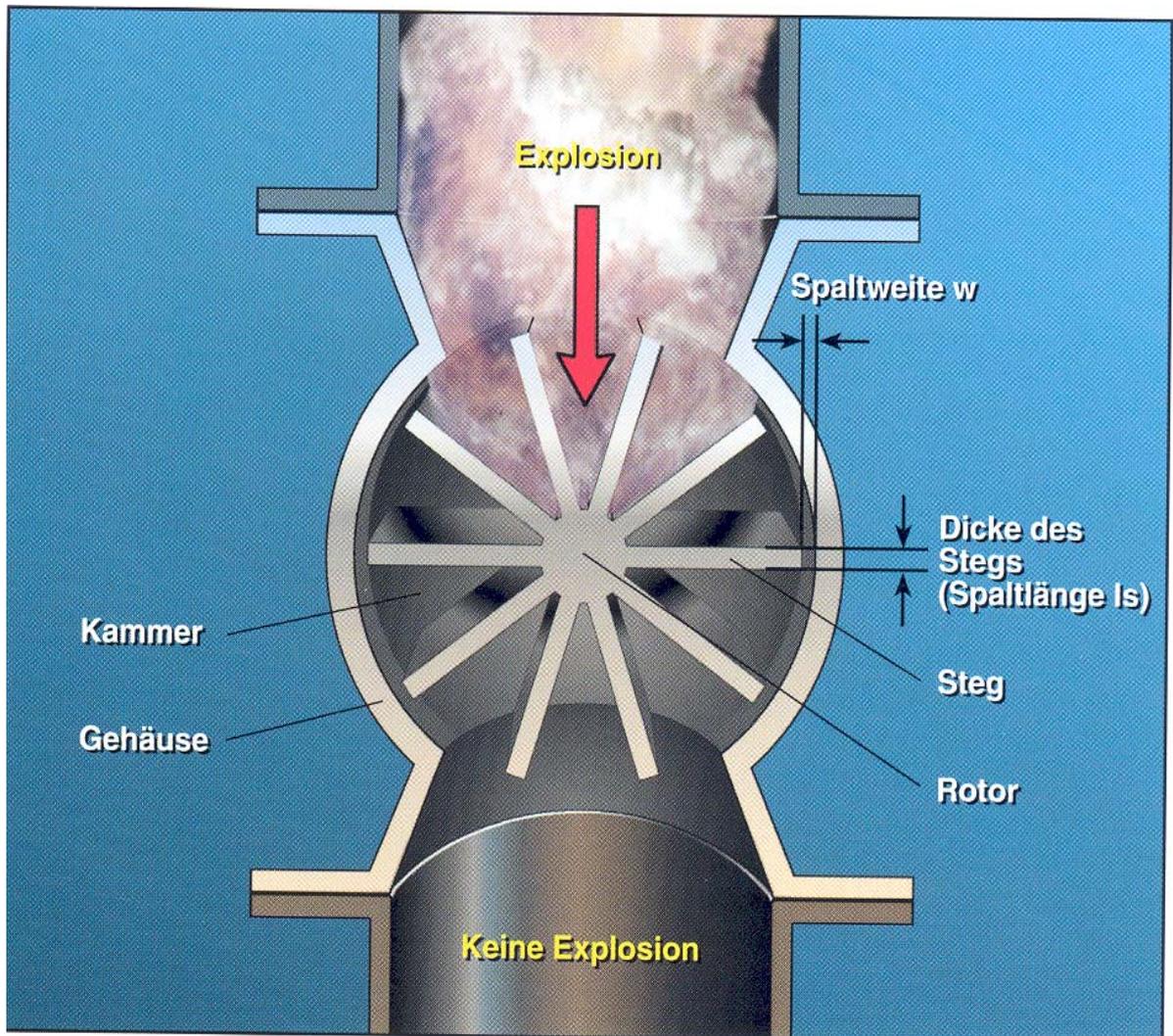


Abb. 13: Prinzip einer Zellenradschleuse (Quelle: IVSS)

10.8 Entlastungsschlot zur Explosionsentkopplung

Die folgende Abbildung zeigt einen Entlastungsschlot.

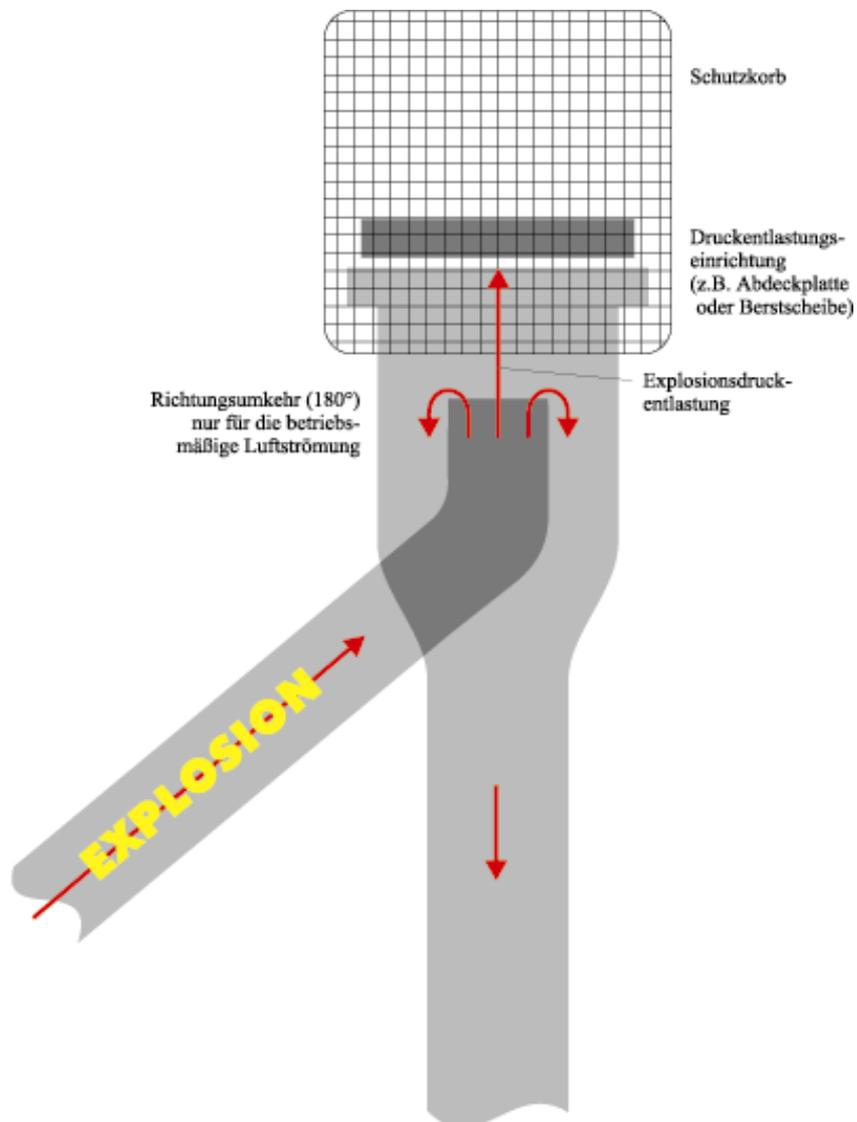


Abb. 14: Prinzip eines Entlastungsschlotes in einer Sammelleitung

10.9 Explosionsdruckfeste und explosionsdruckstoßfeste Konstruktion

Die folgende Abbildung zeigt den Unterschied zwischen den beiden Konstruktionsformen.

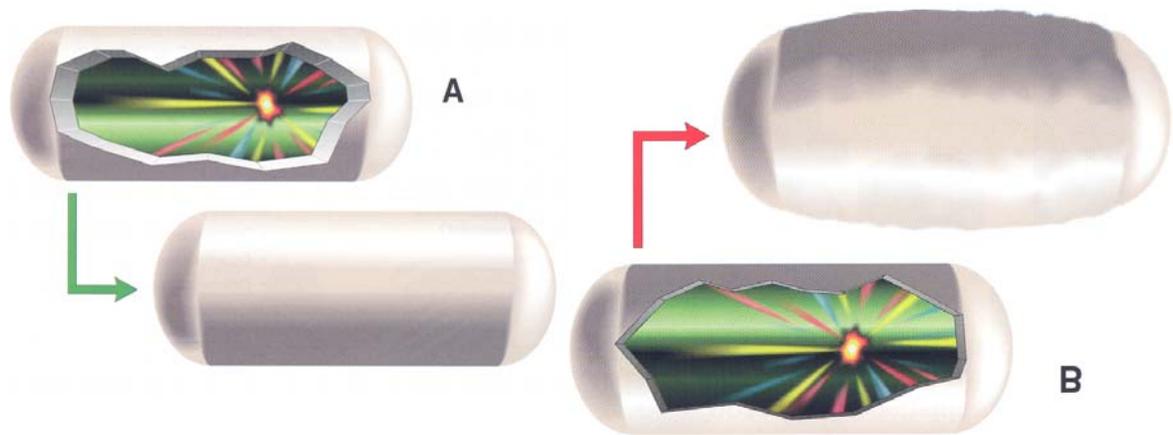


Abb. 15: Druckfeste und druckstoßfeste Bauform eines Behälters (Quelle: IVSS)

10.10 Erlaubnisschein für Arbeiten in explosionsgefährdeten Bereichen

Erlaubnisschein		Datum: 20.03.2008	
zur Durchführung von Instandsetzungsarbeiten in explosionsgefährdeten Bereichen			
<input type="checkbox"/> Staubbereiche (Zucker-, Pellet-, Kohlenstaub)		<input type="checkbox"/> Gasbereich (Biologische Kläranlage, Flüssiggas)	
<input type="checkbox"/> Flüssigkeiten			
Die Beurteilung der Gefährdungen und die aufgeführten Sicherheitsmaßnahmen sind durchzuführen gemäß BGV A1 §§ 8/22; GefStoffV; BetrSichV			
Durchschrift zum Verbleib : Leitung, Aufsichtsführender, Sicherheitsfachkraft			
Herrn/ Firma (genaue Firmenbez.):			
wird am:	von:	bis:	max.: 1 Woche
die befristete Erlaubnis erteilt, an der Arbeitsstelle			
folgende Instandsetzungsarbeiten durchzuführen			
Durchzuführende Maßnahmen vor Beginn der Instandsetzungsarbeiten:			
<input type="checkbox"/> Sicherheitsunterweisung	Entfernung sämtlicher gefährlicher Stoffe wie:		
<input type="checkbox"/> Anlage/-teil außer Betrieb nehmen	<input type="checkbox"/> 1. Staubablagerungen: Durch absaugen im Umkreis von..... m, wenn erforderlich auch in benachbarten Räumen		
<input type="checkbox"/> Rohrleitungen abtrennen/abschotten	<input type="checkbox"/> 2. Gase: Durch inertisieren, verdrängen, absaugen, be-, und entlüften		
<input type="checkbox"/> Bewegliche Apparate sichern	<input type="checkbox"/> 3. Flüssigkeiten: Durch spülen, neutralisieren		
<input type="checkbox"/> Elektrische Anlagen sichern	<input type="checkbox"/> Abdichten von Öffnungen, Fugen und sonstigen Durchlässen mit nicht brennbaren Materialien.		
<input type="checkbox"/> Umkleidungen/Isolierungen entfernen	<input type="checkbox"/> Abdecken feuergefährdeter Gegenstände wie Kabeltrassen, -bahnen, Paletten- und Papiertapel, Kunststoffteile usw.....		
<input type="checkbox"/> Atmosphäre/Atemluft prüfen			
<input type="checkbox"/> Bereitstellen:	<input type="checkbox"/> Wasserschlauch/-Eimer	<input type="checkbox"/> Feuerlöscher	<input type="checkbox"/> Pulver <input type="checkbox"/> Wasser <input type="checkbox"/> CO ₂
	<input type="checkbox"/> eine Brandwache gemäß § 22 BGV A1	<input type="checkbox"/> während der Arbeit	<input type="checkbox"/> nach der Arbeit
<input type="checkbox"/> Weitere Maßnahmen:			
Durchzuführende Maßnahmen während der Instandsetzungsarbeiten:			
<input type="checkbox"/> ständiger Kontrolle	<input type="checkbox"/> Sicherheits-/ Rettungsgurt tragen		
<input type="checkbox"/> Gaswarngeräte benutzen	<input type="checkbox"/> explosionsgeschütztes Werkzeug, Arbeits- und Betriebsmittel benutzen		
<input type="checkbox"/> Atemschutz benutzen	<input type="checkbox"/> folgende Werkzeuge/Hilfsmittel benutzen:		
<input type="checkbox"/> Schutzkleidung/-mittel tragen/benutzen			
<input type="checkbox"/> Weitere Maßnahmen:			
Alarmierung:		Standort des nächsten	
umgehend Vorgesetzten informieren	Feuermelders:	Telefons	Feuerwehnotruf:
Durchzuführende Maßnahmen nach Abschluß der Instandsetzungsarbeiten:			
<input type="checkbox"/> Die durchgeführten Arbeiten sind...	Stunden nach Abschluß der Feuerarbeit zu kontrollieren		
<input type="checkbox"/> Die durchgeführten Arbeiten sind alle...	Stunden nach Abschluß der Feuerarbeiten regelmäßig zu kontrollieren		
<input type="checkbox"/> Weitere Maßnahmen			
Leitung (Betriebs-, Produktions-, Projekt...):			
Unterschrift des Aufsichtsführenden	Unterschrift des Ausführenden	Unterschrift des Brandpostens	

Abb. 16 (Quelle: Pfeifer & Langen GmbH & Co. KG)

10.11 Muster-Gliederung Explosionsschutzdokument

Allgemeine Angaben

- Name des Betriebes
- Benennung von Betriebsbereichen / Arbeitsbereichen
- Geltungsbereich der Dokumentation
- Erstellungsdatum

Verantwortliche und befähigte Personen für den Betrieb bzw. Betriebsteil

- Betriebsleitung
- Abteilungsleitung
- Verantwortliche für die Erlaubnisverfahren (z. B. Feuerarbeiten, Einfahren in enge Behälter usw.)
- Befähigte Personen für die Prüfung von Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen
- Angabe zu Art und Anzahl der befugten und unterwiesenen Beschäftigten in den jeweiligen Arbeitsbereichen

Kurzbeschreibung der baulichen und örtlichen Gegebenheiten

- Lagepläne der Gebäude und Anlagen
- Gebäudepläne
- Aufstellungspläne der relevanten Betriebs- und Anlagenteile
- Flucht- und Rettungswegpläne für alle Ebenen

Verfahrensbeschreibung

- Kurzbeschreibung des verfahrenstechnischen Ablaufs
- Kurzbeschreibung der relevanten Tätigkeiten (z.B. Probenahme, Kontrollen usw.)
- Verfahrensfließbilder mit Informationen zu sicherheitstechnisch relevanten Komponenten, Geräten, Schutzsystemen sowie elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln (z. B. R+I-Diagramme)

Beschreibung der eingesetzten Stoffe

- Stoffdaten (z. B. Korngrößenverteilung, Zusammensetzung, Konzentration, Dichte usw.)
- Für Rohprodukte Angaben zum Verarbeitungszustand, zu eventueller Vorreinigung

oder sonstiger Vorbehandlung beim Lieferanten usw.

- relevante explosionstechnische Kenngrößen
- Einsatzmengen/Fördermengen

Zoneneinteilung

- Bereiche in denen gefahrdrohende explosionsfähige Atmosphäre auftreten kann
- im Innern von Anlagen
- in der Umgebung von Anlagen
- Zoneneinteilung in Betriebsräumen bzw. im Freien
- Zoneneinteilung im Anlageninnern

Gefährdungsbeurteilung

- Beschreibung der relevanten Gefährdungen
- Gefährdungen im Normalbetrieb unter Berücksichtigung von An- und Abfahrvorgängen
- Gefährdungen bei betriebsbedingt zu erwartenden Störungen
- Gefährdungen bei der Instandhaltung
- Beschreibung des Explosionsschutzkonzeptes
- Vorbeugende Maßnahmen
- Technische Schutzmaßnahmen

Rangfolge der Schutzmaßnahmen

- Maßnahmen zur Verhinderung der Bildung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre
- Vermeiden von Zündquellen:
Maßnahmen zur Verhinderung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre
- Konstruktiver Explosionsschutz:
Maßnahmen zur Beschränkung der Auswirkung einer Explosion
- Beschreibung der Anforderungen an Arbeitsmittel

Organisatorische Maßnahmen

- relevante Betriebsanweisungen

- Beschreibung der notwendigen Qualifikationen von Beschäftigten
- Beschreibung der notwendigen Unterweisungen
- Beschreibung des Arbeitsfreigabesystems
- Koordination zwischen mehreren Arbeitgebern
Arbeitsanweisungen zum Umgang mit Leiharbeitnehmern, Fremdfirmen, Schülern, Praktikanten usw.
- Kennzeichnung der Zonenbereiche
- Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Zoneneinteilung
- Reinigungspläne
- Kontrollgänge
- Vorbeugende Instandhaltung
- Instandhaltungskonzept
- Prüfkonzept

Anhänge

- EG-Konformitätserklärungen
- Herstellererklärungen
- EG-Baumusterprüfbescheinigungen
- Nachweise für Auslegung von Druckentlastungsflächen, Unterdrückungssystemen usw.
- Nachweis für die Eignung von relevanten elektrischen Anlagen und Betriebsmitteln
- Muster-Erlaubnisschein für Heißenarbeiten (Schweißerlaubnisschein)
- Muster-Erlaubnisschein für Arbeiten in engen Räumen
- Relevante Betriebsanweisungen
- Relevante Betriebsanleitungen von Arbeitsmitteln
- Dokumentation von Unterweisungen
- Prüfbescheinigungen
- Verweisliste für mitgeltende Dokumente

Maßnahmenplan

- Beschreibung der Maßnahme
- Angabe der verantwortlichen Person für die Durchführung
- Angabe des geplanten Fertigstellungstermins

10.12 Zusammenfassendes Explosionsschutzdokument

Die Explosionsschutzdokumentation des Werkes / Bereiches besteht aus den nachfolgend aufgeführten Einzeldokumentation.

Einzeldokumentation	Vorlagedokumente	Ablageort
<input type="checkbox"/> Ex-Bereiche - Zoneneinteilung	Aggregatliste, Aufstellungsplan	Laufwerk
<input type="checkbox"/> Gefährdungsbeurteilung, einschließlich Checklisten zur Zündquellenbetrachtung	Checklisten im Intranet	Laufwerk
<input type="checkbox"/> Kennzeichnung der Zonen	...	Vor Ort
<input type="checkbox"/> FreigabeprozEDUREN für Arbeiten im Ex-Bereich	Formblatt im Intranet, Laufwerk	Leitstand
<input type="checkbox"/> Unterweisung der Mitarbeiter	PPT im Intranet, Laufwerk,	Personalabteilung / Meisterbereiche / Sekretariat
<input type="checkbox"/> Berücksichtigung der Ex-Schutzmaßnahmen in den relevanten Betriebsanweisungen		
<input type="checkbox"/> Dokumentation der Prüfungen im Ex-Schutzbereich	Checklisten im Intranet	SAP -
<input type="checkbox"/> Stoffdaten (Gefahrstoffkataster)	...	SAP
	...	Intranet
<input type="checkbox"/> Zuständigkeiten/Verantwortlichkeiten		

Freigegeben: Ort, Datum

Unterschrift der Werk-/Betriebsleitung

Abb. 17: Erlaubnisschein

11 Anhang (Zuckerstaub)

11.1 Brenn- und Explosionskenngößen von Zuckerstaub

Zuckerstaub gehört zu den brennbaren (exotherm oxidierbaren) Stäuben und ist bei hinreichender Feinheit im Gemisch mit Luft explosionsfähig.

Das Risiko, dass ein Staub/Luft-Gemisch explodiert, wird durch Brenn- und Explosionskenngößen beschrieben, die u. a. von der Feinheit (Medianwert) des Staubes abhängen. Dabei ist zu beachten, dass es im Einzelfall durchaus zu Abweichungen – sowohl zu höheren als auch zu niedrigeren Werten – kommen kann. Bisher sind für Zucker nicht alle eventuell neben der Korngröße noch bedeutsamen Einflussfaktoren bekannt (z. B. im Kristall gebundenes Wasser, Feinstruktur der Teilchenoberfläche in Abhängigkeit vom Herstellungsverfahren).

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die grundsätzlichen Abhängigkeiten am Beispiel einiger ausgewählter Einzelproben von Zuckerstäuben. Daher sind die Werte des Zuckers im Einzelfall zu bestimmen.

Medianwert (μm)	Mindestzündenergie (mJ) (mit Induktivität im Meßsystem)	Mindestzündenergie (mJ) (ohne Induktivität im Meßsystem)
17	MZE < 5	5 < MZE < 10
30	MZE < 10	MZE < 10
36	30 < MZE < 100	
110	MZE > 1000	MZE > 100
275	$10^5 < \text{MZE} < 10^6$	
300	MZE > 10^6	

Abb. 18: Grundsätzliche Abhängigkeit der Mindestzündenergie von Zuckerstaub bei unterschiedlicher Korngrößenverteilung

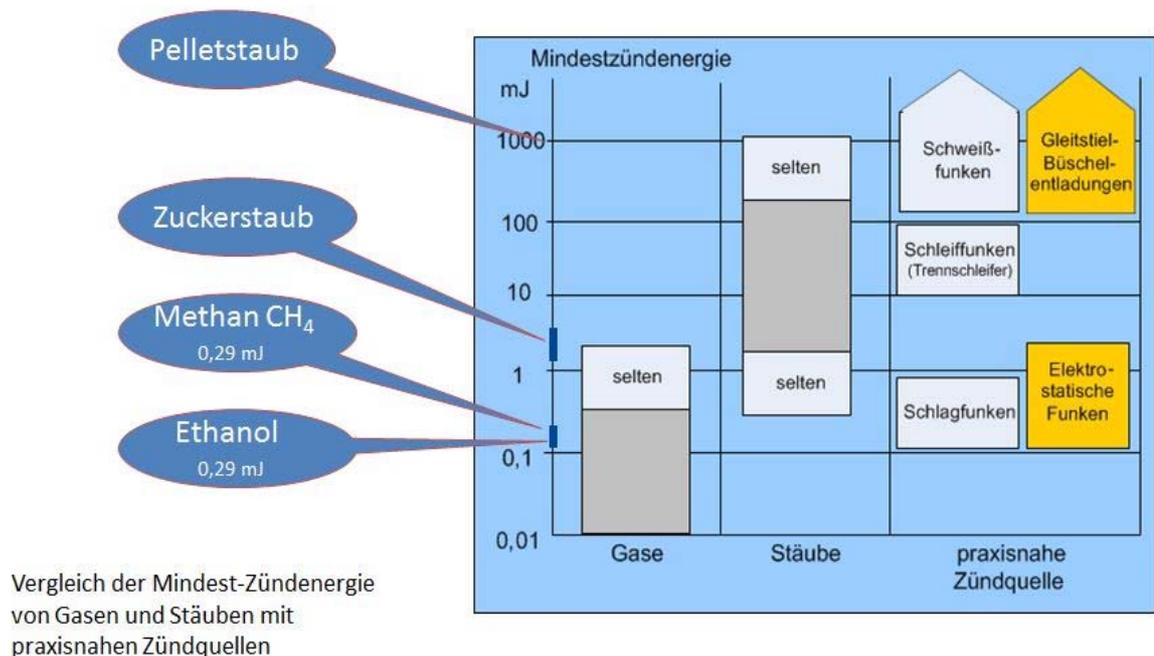


Abb. 19: Mindestzündenergie einiger Gase und Stäube

Anmerkungen:

Solange lediglich ein kleiner Anteil ($\leq 3\%$) von Staub im groben Kristallzucker gleichmäßig verteilt vorliegt und die Anreicherung durch Entmischung bei Transportvorgängen zu vernachlässigen ist, ist die Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre relativ unwahrscheinlich.

Die Werte stellen immer nur die Ergebnisse einzelner Untersuchungen der Proben dar. Ein Rückschluss auf andere Proben ist im Regelfall nur tendenziell möglich. Weitere Informationen zu den aufgeführten Zuckerstäuben können der GESTIS-STAU-EX-Datenbank /802/ entnommen werden. (siehe Kap. 13.8).

MW (μm)	UEG (g/m^3)	p_{max} (bar)	K_{St} (bar m/s)
<25	30	9,1	140
25	60	9,1	140
80	60	8,3	135
300	500	4,0	12
380		k. E	
790		k. E	
1250		k. E	

Abb. 20: Grundsätzliche Abhängigkeit der unteren Explosionsgrenze (UEG), des maximalen Explosionsdrucks (p_{\max}) und des K_{St} -Wertes von Zuckerstaub bei unterschiedlicher Korngrößenverteilung

Sind für eine Beurteilung der Explosionsgefahr eines tatsächlich gehandhabten Zuckersaubes keine konkreten Kenndaten bekannt, so sind die Werte der Abb. 21 anzuwenden. Mit diesen Werten liegt man erfahrungsgemäß auf der "sicheren Seite", sofern normale Betriebsbedingungen (sogenannte atmosphärische Bedingungen) vorliegen.

Staubexplosionsklasse	: St 1
max. Explosionsüberdruck p_{\max}	: 9 bar
K_{St} -Wert	: 140 bar m/s
Untere Explosionsgrenze UEG	: 30 g/m ³
Mindestzündtemperatur der Staubwolke (Zündtemperatur)	: 350 °C (BAM – Ofen)
Mindestzündtemperatur der 5-mm Staubschicht (Glimmtemperatur)	: 420 °C
Brennbarkeit	: BZ 2
Mindestzündenergie	: < 5 mJ (mit Induktivität) : > 5 mJ/<10 mJ (ohne Induktivität)
Schmelzpunkt	: 169 °C
Sauerstoffgrenzkonzentration	: 9 Vol. %

Zuckerstaub neigt aufgrund seines niedrigen Schmelzpunktes nicht zur Glimmnestbildung!

Abb. 21: Kritischste Brenn- und Explosionskenngrößen von Zuckerstaub

Anmerkungen:

Bei diesen Angaben handelt es sich um Durchschnittswerte, die ggf. im konkreten Einzelfall durch Messungen bestätigt werden müssen.

Die Begriffsbestimmungen sind dem Anhang 10.1 zu entnehmen.

11.2 Übliche Zoneneinteilungen für Zuckerstaub

Diese Zoneneinteilungen haben sich bei der sicherheitstechnischen Betrachtung vieler Anlagen und Betriebsbereiche über Jahre hinweg als sinnvoll und angemessen erwiesen.

Andere Zoneneinteilungen sind in Teilen denkbar. Jedoch muss dann eine ausführliche Gefährdungsbeurteilung vorliegen, aus der detailliert hervorgeht, aufgrund welcher Annahmen und Rahmenbedingungen die andere Einstufung erfolgte. Diese Angaben sind in das Explosionsschutzdokument aufzunehmen. /402/

Zoneneinteilung für die durch Zuckerstaub explosionsgefährdeten Anlagen und Betriebsbereiche der Zuckerindustrie	Zone
Anlagen	
mit Kristallzucker	
Großsilo	
Nahbereich um den Füllstrahl	21
Übriger Raum	22
Siebmaschine (Innenraum)	21
Filter (nur Rohgasseite des Innenraumes)	
a.) allgemein, regelmäßige Abreinigung	20
b.) angesaugte Konz. < UEG, gelegentliche Abreinigung	21
Inneres von Entstaubungsleitungen (Reingasseite mit / ohne Konzentrationsüberw.)	- / 22
Inneres von Entstaubungsleitungen (Rohgasseite)	22
Elevator (Innenraum)	21
Trockentrommel (Innenraum)	22
Wirbelschichttrockner (Innenraum)	22
Sortenbunker (Innenraum), Annahmesilo, Empfangsbehälter	21
Pneumatische Förderleitung	
a.) Dichtstromförderung	22
b.) Flugförderung	22
c.) Pfpöfenförderung	-
Beladung von Silofahrzeugen (Tankinnenraum und Rüsselinneres)	
a.) mit Absaugung	22
b.) ohne Absaugung	21
Befüllung von Big-Bags (Innenraum)	
a.) mit Absaugung	22
b.) ohne Absaugung	21
Befüllung von Containern (mit Inliner) mittels Schleuderband, mit Absaugung	21

mit Puderzucker (Medianwert ~ 30µm)	
Puderkonditionierer (mit Einspeisung von Luft)	20
Pudermühle (nur Innenraum der Mühle, Mahlraum)	20
Puderbunker (nur Innenraum)	20
Puderschnecke / Staubschnecke mit	
a.) Umfangsgeschwindigkeit langsam ($v < 1$ m/s)	22
b.) Umfangsgeschwindigkeit schnell ($v > 1$ m/s)	21
Pneumatische Förderung (Rohrleitungen, Sende- und Empfangsbehälter) durch	
a.) Dichtstromförderung	21
b.) Flugförderung	20
c.) Pfropfenförderung	21

Betriebsbereiche	
mit staubdichten Anlagen ohne Staubablagerungen	-
mit nicht staubdichten Anlagen u. Staubablagerungen	22
Sonderfall: Ablagerungen in gefahrdrohender Menge werden durch regelmäßige Reinigungen sicher verhindert!	-

12 Anhang (Schnitzel- und Pelletstaub)

12.1 Brenn- und Explosionskenngrößen von Schnitzel- und Pelletstaub

Staubexplosionsklasse	: St 1
max. Explosionsüberdruck p_{\max}	: 8,6 bar
K_{St} -Wert	: 91 bar m/s
Untere Explosionsgrenze UEG	: 125 g/m ³
Zündtemperatur	: 420 °C
Glimmtemperatur	: 270 °C
Brennbarkeit	: BZ 4
Mindestzündenergie (350 µm)	: > 10 ³ mJ
Sauerstoffgrenzkonzentration	: 9 Vol. %

Anmerkung:

Bei diesen Angaben handelt es sich um Durchschnittswerte, die ggf. im konkreten Einzelfall durch Messungen bestätigt werden müssen.

Die Begriffsbestimmungen sind dem Anhang 10.1 zu entnehmen.

12.2 Übliche Zoneneinteilungen für Schnitzel- und Pelletstaub

Diese Zoneneinteilungen haben sich bei der sicherheitstechnischen Betrachtung vieler Anlagen und Betriebsbereiche über Jahre hinweg als sinnvoll und angemessen erwiesen. Die genauen Umgebungsbedingungen sind im Einzelfall zu beachten.

Andere Zoneneinteilungen sind in Teilen denkbar. Jedoch muss dann eine ausführliche Gefährdungsbeurteilung vorliegen, aus der detailliert hervorgeht, aufgrund welcher Annahmen und Rahmenbedingungen die andere Einstufung erfolgte. Diese Angaben sind in das Explosionsschutzdokument aufzunehmen. /402/

Zoneneinteilung, für die durch Schnitzel- und Pelletstaub explosionsgefährdeten Anlagen und Betriebsbereiche der Zuckerindustrie	Zone
Anlagen	
Wirbelschicht/Verdampfungstrockner (im Innenraum)	-
Schnitzeltrockentrommel (im Austragbereich des Innenraums)	22
Zyklon (im Innenraum) nach Schnitzeltrockentrommel	22
Becherwerk (Elevator) für Trockenschnitzel (im Innenraum)	21
Verteilerschnecke für Trockenschnitzel (im Innenraum, vor Schnitzelbunker)	22
Trockenschnitzelbunker (im Innenraum, vor Speiseschnecke)	22
Speiseschnecke (im Innenraum, vor Presse, ohne Melassebeigabe vor der Presse)	22
Speiseschnecke (im Innenraum, vor Presse, mit Melassebeigabe vor der Presse)	-
Pelletpressen (nur Pressraum)	-
Rutschsieb/-röhre (nach der Pelletpresse, vor Pelletkühler)	22
Transportband (im Abwurfbereich), z. B. Wellkantengurtförderer	22
Pelletkühler (nur Innenraum)	22
Gebläse (nach Pelletkühler, vor Zyklon)	22
Zyklon (im Innenraum; zur Entstaubung des Pelletkühlers)	22
Becherwerk (Elevator) für Pellets (im Inneren der Schächte)	21
Schneckenförderer oder Wellkantengurtförderer für Pellets (zum Weitertransport)	22
Lagerhalle (lose Lagerung, mit Abwurf der Pellets von der Hallendecke)	22
Silo-/Bunkerinnenraum (bei Abwurf der Pellets von der Silo-/Bunkerdecke)	22
Pelletverladung (siehe Abschnitt über die Betriebsbereiche)	22/ -
Filter der Wegeentstaubung (nur Rohgasseite des Innenraumes)	
a.) allgemein: regelmäßige Abreinigung	20
b.) Sonderfall: angesaugte Konz. < UEG und gelegentliche Abreinigung	21
Inneres von Entstaubungsleitungen (angesaugte Konz. < UEG)	22

Zoneneinteilung, für die durch Schnitzel- und Pelletstaub explosionsgefährdeten Anlagen und Betriebsbereiche der Zuckerindustrie	Zone
Pelletstaubschnecke (Innenraum)	
a.) Umfangsgeschwindigkeit langsam ($v < 1$ m/s)	22
b.) Umfangsgeschwindigkeit schnell ($v > 1$ m/s)	21

Betriebsbereiche	
mit staubdichten Anlagen ohne Staubablagerungen	-
mit nicht staubdichten Anlagen und Staubablagerungen	22
Sonderfall: Ablagerungen in gefahrdrohender Menge werden durch regelmäßige Reinigungen sicher verhindert!	-

13 Literaturverzeichnis

13.1 Vorschriften, Regeln und Informationen der Unfallversicherungsträger

101. BGV A 1 – Berufsgenossenschaftliche Vorschrift
Grundsätze der Prävention 1)
102. BGR A1 – Berufsgenossenschaftliche Regel
Grundsätze der Prävention 1)
103. BGR 104 – Berufsgenossenschaftliche Regel
Explosionsschutz-Regeln (EX-RL) 1)
Sammlung technischer Regeln für das Vermeiden der Gefahren durch explosi-
onsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung
104. BGR 109 – Berufsgenossenschaftliche Regel 1)
Vermeidung der Gefahren von Staubbränden und Staubexplosionen beim Schlei-
fen, Bürsten und Polieren von Aluminium und seinen Legierungen
105. BGR 121 – Berufsgenossenschaftliche Regel 1)
Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen
107. entfallen 1)
108. BGI 5127 – Berufsgenossenschaftliche Information 1)
Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen
Wortgleiche, farbige Ausgabe der TRBS 2153, siehe /508/
109. BGR 133 – Berufsgenossenschaftliche Regel 1)
Ausrüstung von Arbeitsstätten mit Feuerlöschern - zurückgezogen
Siehe ASR A2.2 "Maßnahmen gegen Brände"
110. entfallen
111. entfallen 1)
112. BIA-Report 12/97
Brenn- und Explosionskenngrößen von Stäuben
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit
Dezember 1997

Für neuere Angaben siehe auch GESTIS-Staub-Ex-Datenbank des BGIA. /802/
113. entfallen 1)

13.2 Europäische Richtlinien

201. RL 94/9/EG
Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.03.1994 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen.

202. RL 1999/92/EG
Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19.12.1999 zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes und der Sicherheit der Arbeitnehmer, die durch explosionsfähige Atmosphären gefährdet werden können.

13.3 Gesetze

- | | | |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 301. | Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)
Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit
und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit | 1) |
| 302. | Produktsicherheitsgesetz (ProdSG)
Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt | 1) |
| 303. | Chemikaliengesetz (ChemG)
Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen | 1) |

13.4 Verordnungen

- | | | |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 401. | Verordnung über das Inverkehrbringen von Geräten und Schutzsystemen für explosionsgefährdete Bereiche
(Explosionsschutzverordnung – 11. ProdSV)
Dezember 1996 und bis zur Veröffentlichung des Leitfadens erfolgte Änderungen | 1) |
| 402. | Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Bereitstellung von Arbeitsmitteln und deren Benutzung bei der Arbeit, über Sicherheit beim Betrieb überwachungsbedürftiger Anlagen und über die Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes
(Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV)
September 2002 und bis zur Veröffentlichung des Leitfadens erfolgte Änderungen | 1) |
| 403. | Verordnung über Arbeitsstätten
(Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV)
August 2004 und bis zur Veröffentlichung des Leitfadens erfolgte Änderungen | 1) |
| 404. | Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen
(Gefahrstoffverordnung – GefStoffV)
Dezember 2010 und bis zur Veröffentlichung des Leitfadens erfolgte Änderungen | 1) |

13.5 Technische Regeln

501. TRBS 1203 – Technische Regeln für Betriebssicherheit
Befähigte Personen 5)
- 501.1 entfallen
502. TRBS 1201 – Technische Regeln für Betriebssicherheit
Prüfung von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen 5)
- 502.1 TRBS 1201 Teil 1 – Technische Regeln für Betriebssicherheit
Prüfung von Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen und Überprüfung von
Arbeitsplätzen in explosionsgefährdeten Bereichen 5)
- 502.2 TRBS 1201 Teil 3 – Technische Regeln für Betriebssicherheit
Instandhaltung an Geräten, Schutzsystemen, Sicherheits-, Kontroll- und
Regelvorrichtungen im Sinne der RL/94/9/EG
Ermittlung der Prüfnotwendigkeit gemäß § 14 Abs. 6 BetrSichV
503. TRBS 2152 – Technische Regeln für Betriebssicherheit
TRGS 720 - Technische Regeln für Gefahrstoffe
Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre
Allgemeines 5)
504. TRBS 2152 Teil 1 – Technische Regeln für Betriebssicherheit
TRGS 721 - Technische Regeln für Gefahrstoffe
Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre –
Beurteilung der Explosionsgefährdung 5)
505. TRBS 2152 Teil 2 – Technische Regeln für Betriebssicherheit
TRGS 722 - Technische Regeln für Gefahrstoffe
Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre –
Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre 5)
506. TRBS 2152 Teil 3 – Technische Regeln für Betriebssicherheit
Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre –
Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre 5)
507. TRBS 2152 Teil 4 – Technische Regeln für Betriebssicherheit
Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre –
Konstruktive Maßnahmen, welche die Auswirkung einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken (Konstruktiver Explosionsschutz) 5)
- 508 TRBS 2153 – Technische Regeln für Betriebssicherheit
Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen
Siehe auch farbige Ausgabe /108/
509. entfallen
510. TRBS 1112 Teil1 – Technische Regeln für Betriebssicherheit
Explosionsgefährdungen bei und durch Instandhaltungsmaßnahmen –
Beurteilung und Schutzmaßnahmen 5)
511. entfallen 5)
512. TRBS 1111 – Technische Regeln für Betriebssicherheit 5)

Gefährdungsbeurteilung und sicherheitstechnische Bewertung

- | | | |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 513. | entfallen | 5) |
| 514 | ASR A2.2 Maßnahmen gegen Brände | |
| 515 | ASR A1.3 Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung | |
| 599. | Begriffsglossar zu den
Regelwerken der Betriebssicherheitsverordnung und der Gefahrstoffverordnung | 5) |

13.6 Normen

- | | | |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 601. | DIN EN 1127-1
Explosionsfähige Atmosphären
Explosionsschutz
Teil 1: Grundlagen und Methodik | 2) |
| 602. | entfallen | 2) |
| 603. | DIN EN 60079-14 / DIN VDE 0165 Teil 1
Explosionsgefährdete Bereiche
Projektierung, Auswahl und Errichtung elektrischer Anlagen | 2) |

13.7 Sonstige Schriften

701. VDI 2263 2)
Staubbrände und Staubexplosionen
Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen
Mai 1992
702. VDI 2263 Blatt 1 2)
Staubbrände und Staubexplosionen
Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen
Untersuchungsmethoden zur Ermittlung von sicherheitstechnischen Kenngrößen
von Stäuben
Mai 1990
703. VDI 2263 Blatt 2 2)
Staubbrände und Staubexplosionen
Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen
Inertisierung
Mai 1992
704. VDI 2263 Blatt 3 2)
Staubbrände und Staubexplosionen
Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen
Explosionsdruckstoßfeste Behälter und Apparate
Berechnung – Bau – Prüfung
Mai 1990
705. VDI 2263 Blatt 4 2)
Staubbrände und Staubexplosionen
Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen
Unterdrückung von Staubexplosionen
April 1992
706. VDI 2263 Blatt 5 2)
Staubbrände und Staubexplosionen
Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen
Explosionsschutz bei Wirbelschichtanlagen
März 2005
- 706.1 VDI 2263 Blatt 5.1 2)
Staubbrände und Staubexplosionen
Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen
Explosionsschutz bei Wirbelschichtanlagen; Hinweise und Ausführungsbeispiele
für Hersteller und Betreiber
Februar 2004
707. VDI 2263 Blatt 6 2)
Staubbrände und Staubexplosionen
Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen
Brand- und Explosionsschutz an Entstaubungsanlagen
September 2007
- 707.1 VDI 2263 Blatt 6.1 2)
Staubbrände und Staubexplosionen
Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen

Unterdrückung Brand- und Explosionsschutz an Entstaubungsanlagen; Beispiele
Oktober 2009

708. VDI 2263 Blatt 8
Staubbrände und Staubexplosionen
Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen
Brand- und Explosionsschutz an Elevatoren
Dezember 2008
- 708.1 VDI 2263 Blatt 8.1
Staubbrände und Staubexplosionen
Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen
Brand- und Explosionsschutz an Elevatoren – Beispiele
März 2011
710. VDI 3673 Blatt 1 2)
Druckentlastung von Staubexplosionen
November 2002
711. VDE 0105, Teil 9 2)
Bestimmungen für den Betrieb von Starkstromanlagen, Teil 9, Sonderbestimmungen für den Betrieb von elektrischen Anlagen in explosionsgefährdeten Betriebsstätten

13.8 Datenbanken und andere Informationsquellen im Internet

- 801. GESTIS-Stoffdatenbank
www.dguv.de/ifa/de/gestis/stoffdb/index.jsp
- 802. GESTIS-Staub-Ex-Datenbank
Datenbank Brenn- und Explosionskenngrößen von Stäuben
www.dguv.de/ifa/de/gestis/expl/index.jsp
- 803. Explosionsschutzportal der BG RCI
www.bgrci.de/exinfode/start/
- 803. Gefahrstoffinformationssystem der BG RCI
www.gischem.de
- 804. Bundesumweltamt – REACH-Info
www.reach-info.de
- 805. DMT GmbH
www.dmt.de
- 806. DEKRA EXAM GmbH
www.dekra-exam.eu
- 807. Physikalisch-Technische Bundesanstalt
www.ptb.de
- 808. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAUA)
Technische Regeln für Betriebssicherheit
www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Anlagen-und-Betriebssicherheit/TRBS/TRBS.html__nnn=true
- 809. VdS Schadenverhütung GmbH
(ehemals: Verband der deutschen Sachversicherer)
„Schadensverhütungsrichtlinien“
www.vds.de

13.9 Weitere für die Erarbeitung des Kataloges verwendete Quellen

900. Wirkner-Bott, I., Schumann, St., Stock, M. 6)
Flammen- und Druckwirkung bei Explosionsdruckentlastung
VDI-Fachtagung "Sichere Handhabung brennbarer Stäube"
Nürnberg 1992
901. Siwek, R. 6)
Explosionsdruckentlastung - Novellierung der Richtlinie VDI 3673
VDI-Fachtagung "Sichere Handhabung brennbarer Stäube"
Nürnberg 1992
902. Bartknecht, W., Vogl, A.
Flammenlose Druckentlastung von Staubexplosionen
Staub - Reinhaltung der Luft
54 (1994), S. 119 – 123
903. Ritter, K. 6)
Vermeidung wirksamer Zündquellen
VDI-Fachtagung "Sichere Handhabung brennbarer Stäube"
Würzburg, 25./26.05.1994
904. Siwek, R. 6)
Explosionsfeste Bauweise
VDI-Fachtagung "Sichere Handhabung brennbarer Stäube"
Würzburg, 25./26.05.1994
905. Siwek, R. 6)
Explosionsdruckentlastung
VDI-Fachtagung "Sichere Handhabung brennbarer Stäube"
Würzburg, 25./26.05.1994
906. Scholl, E.-W. 6)
Explosionsfeste Bauweise für den reduzierten Explosionsdruck in Verbindung mit Explosionsunterdrückung
VDI-Fachtagung "Sichere Handhabung brennbarer Stäube"
Würzburg, 25./26.05.1994
907. Wiemann, W. 6)
Explosionstechnische Entkopplung
VDI-Fachtagung "Sichere Handhabung brennbarer Stäube"
Würzburg, 25./26.05.1994
908. Radandt, S. 6)
Explosionsdruckentlastung von Silos
VDI-Fachtagung "Sichere Handhabung brennbarer Stäube"
Würzburg, 25./26.05.1994
909. Glor, M.; Lüttgens, G. 6)
Elektrostatische Zündgefahren beim Einsatz aufladbarer Packmittel für Feststoffe

- VDI-Fachtagung "Sichere Handhabung brennbarer Stäube"
VDI-Berichte 701
910. Wittler, M 6)
Kriterien zur Weiterverwendung älterer elektrischer Arbeitmittel gemäß
Betriebssicherheitsverordnung
VDI-Fachtagung „Sichere Handhabung brennbarer Stäube“
Nürnberg, 01 – 03.03.2005
911. Siwek, R.; Beck, H. 6)
Explosionsschutz bei Wirbelschichtanlagen und Filteranlagen
VDI-Richtlinien 2263
VDI-Fachtagung "Sichere Handhabung brennbarer Stäube"
Nürnberg, 01 – 03.03.2005
912. Wittler, M 6)
Reichen Gehauseschutzarten wie IP 65 und 54 für den Einsatz in
staubexplosionsgefährdeten Bereichen?
VDI-Fachtagung „Sichere Handhabung brennbarer Stäube“
Nürnberg, 11 – 13.03.2008
913. Hesener, U.; Hübner, J. 6)
Prüfungen nach Betriebssicherheitsverordnung
VDI-Fachtagung „Sichere Handhabung brennbarer Stäube“
Nürnberg, 11 – 13.03.2008
914. Dyrba, B 1)
Kompendium Explosionsschutz
Band 1 Fragen und Antworten
Band 2 Rechtsvorschriften
Grundwerk (03/2015) mit Erganzungslieferungen

14 Bezugsquellen

1. Carl Heymanns Verlag KG
Luxemburger Straße 449
50939 Köln
Tel.: (02 21) 9 43 73-7000)
FAX: (02 21) 9 43 73-7201
eMail: info@wolterskluwer.de
www.heymanns.de
2. Beuth-Verlag GmbH,
Burggrafenstraße 6,
10787 Berlin
Tel.: (0 30) 26 01-0
FAX: (0 30) 26 01-12 60
eMail: kundenservice@beuth.de
www.beuth.de
3. Erich Schmidt Verlag GmbH & Co.
Genthiner Straße 30 G
10785 Berlin
Tel.: (0 30) 25 00 85-0
FAX: (0 30) 25 00 851-305
eMail: esv@esvmedien.de
www.esv.info
4. VDE-Verlag GmbH
Bismarckstraße 33
10625 Berlin
Tel.: (030) 34 80 01-0
FAX: (030) 34 80 01 -9088
eMail: vertrieb@vde-verlag.de
www.vde-verlag.de
5. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAUA)
Friedrich-Henkel-Weg 1-25
D-44149 Dortmund
Tel.: (0231) 90 71 - 0
FAX: (0231) 90 71 - 2454
eMail: poststelle@baua.bund.de
www.baua.de
6. VDI Verlag GmbH
VDI-Platz 1
40239 Düsseldorf
Tel.: (0211) 6188 - 0
Fax: (0211) 6188 – 112
eMail: info@vdi-nachrichten.com
www.vdi-verlag.de

7. VdS Schadenverhütung GmbH
Amsterdamer Str. 174
D-50735 Köln
Tel.: (0221) 7766-0
Fax: (0221) 7766-341
eMail: info@vds.de
www.vds.de