BG RCI
Berufsgenossenschaft
Rohstoffe und chemische Industrie

BGN
Berufsgenossenschaft
Nahrungsmittel und Gastgewerbe

FSA

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

Ausgabe 03/2021

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 TRGS 722, Anlage Pkt. 2“ unter der Ziffer 5.25 geführt.

Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie
www.bgrci.de

Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gastgewerbe
www.bgn.de

Forschungsgesellschaft für angewandte Systemsicherheit und Arbeitsmedizin
www.fsa.de

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.

Personenbezeichnungen beziehen sich gleichermaßen auf Frauen und Männer, auch wenn dies wegen der besseren Verständlichkeit in der Schreibweise nicht immer zum Ausdruck kommt.

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

Der Leitfaden ist auch in elektronischer Form erhältlich.

Inhaltsverzeichnis

1 Vorbemerkung 5

2 Grundsätzliche Betrachtungen 6

3 Voraussetzungen für eine Staubexplosion 8

4 Definitionen, Zoneneinteilung und Beispiele 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 23
7.2.2 Flammen und heiße Gase, einschl. heißer Partikel 24
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
7.3 Konstruktiver Explosionsschutz 33
7.3.1 Explosionsfeste Bauweise 34
7.3.2 Explosionsdruckentlastung 35
7.3.3 Explosionsunterdrückung 36
7.3.4 Explosionstechnische Entkopplung 36
7.3.5 Beispiele für Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes 37

8 Bauliche Maßnahmen 41

9 Organisatorische Maßnahmen 42

9.1 Kennzeichnung 42
9.2 Reinigung und Wartung 42
9.3 Prüfung und Instandsetzung 43
9.3.1 Arbeitsmittel 43
9.3.2 Überwachungsbedürftige Anlagen 43
9.4 Betriebsanweisung, Unterweisung 46
9.5 Arbeitsfreigabe 46
9.6 Explosionsschutzdokument 47

10 Anhang (allgemein) 49

10.1 Begriffsbestimmungen, Kenngrößen (für brennbaren Staub) 49
10.2 Explosionsereignisse (Zündquellenschwerpunkte) 54
10.3 Explosionsereignisse (Anlagenschwerpunkte) 55
10.4 Explosionsentkopplung in Aspirationsleitungen 56
10.5 Druckverlauf beim Einsatz der Explosionsunterdrückung 57

10.6 Schnellschlussschieber zur Explosionsentkopplung 58
10.7 Zellenradschleuse zur Explosionsentkopplung 59
10.8 Entlastungsschlot zur Explosionsentkopplung 60
10.9 Explosionsdruckfeste und explosionsdruckstoßfeste Konstruktion 61
10.10 Erlaubnisschein für Arbeiten in explosionsgefährdeten Bereichen 62
10.11 Muster-Gliederung Explosionsschutzdokument 63
10.12 Zusammenfassendes Explosionsschutzdokument 66

11 Anhang (Zuckerstaub) 67

11.1 Brenn- und Explosionskenngrößen von Zuckerstaub 67
11.2 Übliche Zoneneinteilungen für Zuckerstaub 71

12 Anhang (Schnitzel- und Pelletstaub) 73

12.1 Brenn- und Explosionskenngrößen von Schnitzel- und Pelletstaub 73
12.2 Übliche Zoneneinteilungen für Schnitzel- und Pelletstaub 74

13 Literaturverzeichnis 76

13.1 Vorschriften, Regeln und Informationen der Unfallversicherungsträger 76
13.2 Europäische Richtlinien 76
13.3 Gesetze 77
13.4 Verordnungen 77
13.5 Technische Regeln 77
13.6 Normen 79
13.7 Sonstige Schriften 79
13.8 Datenbanken und andere Informationsquellen im Internet 80
13.9 Weitere für die Erarbeitung des Kataloges verwendete Quellen 81

14 Bezugsquellen 83

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 für die Planung, die Herstellung und den Betrieb von Maschinen, Anlagen und Einrichtungen für die Zuckerindustrie eine Hilfe bei der Beurteilung einer Staubexplosionsgefahr und bei der Auswahl geeigneter Explosionsschutzmaßnahmen gegeben werden.

Für das Inverkehrbringen von Geräten und Schutzsystemen im Sinne der Richtlinie 2014/34/EU[1] ist ein Konformitätsbewertungsverfahren nach dieser Richtlinie durchzuführen.

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 Explosionsschutzkonzepte aufzeigen. Dort, wo hinreichende Erkenntnisse für zulässige Verallgemeinerungen zu den Schutzmaßnahmen vorliegen, wird dies berücksichtigt.

[1] RICHTLINIE 2014/34/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen

2 Grundsätzliche Betrachtungen

Der Staubexplosionsschutz stellt für die Zuckerindustrie eine elementare Voraussetzung für den sicheren Betrieb der zuckergewinnenden und -verarbeitenden Produktionsanlagen dar. Explosionsereignisse haben oft schwerwiegende Konsequenzen für die Anlagen und die direkt oder indirekt betroffenen Mitarbeiterinnen und 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 Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) regelt u. a. die Schutzmaßnahmen für Beschäftigte bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen. Rechtliche Grundlage der Gefahrstoffverordnung ist das Chemikaliengesetz (ChemG).[2] Explosionsfähige Staub-Luft-Gemische (z.B. Zuckerstaub) sind Gefahrstoffe im Sinne der GefStoffV. 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. Die BetrSichV regelt die Anforderungen an die Prüfungen zum Explosionsschutz. Rechtliche Grundlage der Betriebssicherheitsverordnung ist das Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG).[3]

Die Explosionsschutzprodukteverordnung (11. ProdSV) regelt in Umsetzung der RL 2014/34/EU 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 Explosionsschutzprodukteverordnung ist das Produktsicherheitsgesetz (ProdSG).[4]

Die Sammlung technischer Regeln für das Vermeiden der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung zur Einteilung explosionsgefährdeter Bereiche in Zonen; Explosionsschutz-Regeln (EX-RL), (DGUV Regel 113-001) beinhaltet u. a. folgende technische Regeln:

- TRBS 1112 »Instandhaltung«
- TRBS 1112 Teil 1 »Explosionsgefährdungen bei und durch Instandhaltungsarbeiten - Beurteilungen und Schutzmaßnahmen«
- TRBS 1201 »Prüfungen und Kontrollen von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen[5]«
- TRBS 1201 Teil 1 »Prüfung von Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen«
- TRBS 1201 Teil 3 »Instandsetzung an Geräten, Schutzsystemen, Sicherheits-,

[2] Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen; Chemikaliengesetz (ChemG)
[3] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit; Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)
[4] Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt; Produktsicherheitsgesetz (ProdSG)
[5] Der Begriff „überwachungsbedürftige Anlage“ ist eine Besonderheit in der Gesetzgebung der Bundesrepublik Deutschland.

Kontroll- und Regelvorrichtungen im Sinne der Richtlinie 2014/34/EU«

- TRGS 720 »Gefährliche explosionsfähige Gemische – Allgemeines«
- TRGS 721 »Gefährliche explosionsfähige Gemische – Beurteilung der Explosionsgefährdung«
- TRGS 722 »Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Gemische«
- TRGS 723 »Gefährliche explosionsfähige Gemische – Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Gemische«
- TRGS 724 »Gefährliche explosionsfähige Gemische – Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes, welche die Auswirkung einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken«
- TRGS 725 »Gefährliche, explosionsfähige Atmosphäre - Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen im Rahmen von Explosionsschutzmaßnahmen«
- TRGS 727 »Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen«

Weitere Schriften, wie z. B. das Regelwerk der DGUV mit ihren Vorschriften, Regeln, Informationen und Grundsätzen, dienen der Konkretisierung der gestellten Forderungen.

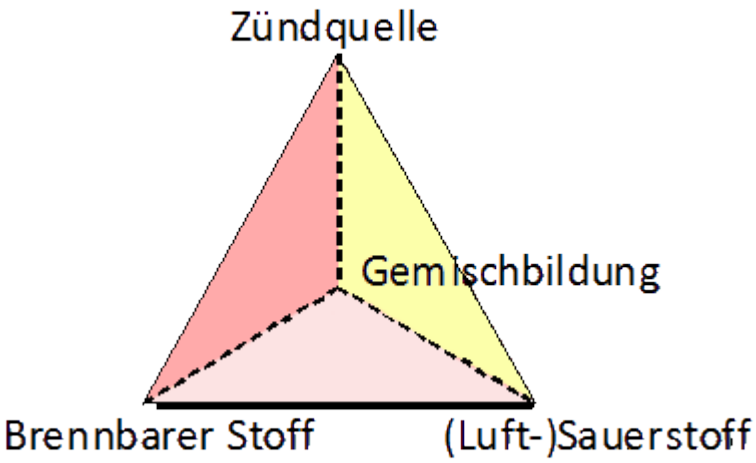
3 Voraussetzungen für eine Staubexplosion

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

Bei der Bewertung der Auswirkungen von Explosionen sind die sich im Umfeld befindlichen Personen und Sachanlagen zu berücksichtigen.

4 Definitionen, Zoneneinteilung und Beispiele

4.1 Definitionen

Explosionsgefährdeter Bereich ist der Gefahrenbereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre auftreten kann. Explosionsgefährdete Bereiche werden nach der Auftrittswahrscheinlichkeit des Vorhandenseins der explosionsfähigen Atmosphären sinnvollerweise in Zonen eingeteilt.

Als Normalbetrieb gilt der Zustand, in dem Anlagen innerhalb ihrer Auslegungsparameter verwendet werden.[6]

Anmerkungen:

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

Zone 20[7]

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

Diese Bedingungen treten im Allgemeinen nur im Inneren von Behältern, Apparaturen usw. auf.

Zone 21

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

Diese Bedingungen können z. B. bei gesteuerten An- oder Abfahrvorgängen, Befüllungen von Lagersilos oder im Inneren von Schneckenförderern auftreten.

Zone 22

“ist ein Bereich, in dem im Normalbetrieb eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltenem brennbaren Staub normalerweise nicht auftritt, und wenn doch, dann nur selten und für kurze Zeit“

Dies sind u. a. Bereiche mit Staubablagerungen, die durch das Aufwirbeln gefährliche explosionsfähige Atmosphäre bilden können.[8]

[6] GefStoffV Anhang I Nummer 1.7
[7] GefStoffV, Anhang I, Nummer 1.7
[8] Kompendium Explosionsschutz 5.1.3

4.2 Beispiele für Zoneneinteilung

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

ständig, über lange Zeiträume oder häufig (Zone 20)

- in Entstaubungsfiltern auf der Rohgasseite,
- in Pudermühlen im Mahlwerk und im Mühlennachbehälter,
- in Puderkonditionieranlagen,

gelegentlich (Zone 21)

- in Siebmaschinen für Kristallzucker,
- in Elevatoren für Kristallzucker,
- 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),
- 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. Daher sind derartige Staubablagerungen zu vermeiden.

- 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. Tem-

peraturerhöhung 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 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. Weitere Beispiele finden sich im Anhang. 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 und obliegt dem Betreiber im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung nach GefStoffV und BetrSichV. Vorausgesetzt wird immer die bestimmungsgemäße Verwendung der Geräte und Schutzsysteme.

Die Richtlinie 2014/34/EU enthält Beschaffenheitsanforderungen, die vom Hersteller zu erfüllen sind. Dabei hat der Hersteller die im Anhang II der Richtlinie enthaltenen grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen für die Konzeption und den Bau einzuhalten.

Anmerkungen:

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

Produkte (lt. 11. ProdSV)	**Grundl. Sicherheitsanforderungen**	**Ex-Kennzeichnung**	**CE-Kennzeichnung**	**Konformitätserklärung**	**Konformitätsbescheinigung**	**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	X			X	(X)

Abb. 1: Formale und technologische Voraussetzungen

Entsprechend der Explosionsschutzprodukteverordnung (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 (gemäß Anhang I Nr. 1.8 GefStoffV)

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 langzeitig oder häufig vorhanden ist (für Stäube entspricht das der 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 der 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 der Zone 22).

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

Anmerkungen.

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. Die Eignung der Altgeräte ist im Explosionsschutzdokument[9] zu begründen.

Diese Geräte dürfen in der Regel weiterverwendet werden, es sei denn im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung wurde Nachrüstbedarf festgestellt.[10] Weitere Hinweise gibt die Empfehlung zur Betriebssicherheit EmpfBS 1114 Anpassung an den Stand der Technik bei der Verwendung von Arbeitsmitteln.

[9] GefStoffV, § 6, Abs. 9

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

6 Gefährdungsbeurteilung

Der Arbeitgeber, in der Regel ist dies auch der Betreiber von Anlagen in denen mit dem Auftreten von explosionsfähiger Atmosphäre zu rechnen ist, hat eine Gefährdungsbeurteilung zur Bewertung der Explosionsgefahren durchzuführen und auf deren Grundlage die notwendigen Schutzmaßnahmen, die die Sicherheit der Beschäftigten gewährleisten, zu ermitteln.[11] [12]Diese Anforderungen sind sowohl bei der Planung einer neuen Anlage, wie auch beim Umbau einer bestehenden Anlage zu berücksichtigen.

Die Gefährdungsermittlung im Explosionsschutz erfolgt im Wesentlichen gemäß den nachfolgend aufgeführten vier Hauptschritten (Ein Ablaufschema enthält die DGUV Information 213-106 „Explosionsschutzdokument“ entnommen werden.)

1. Ermitteln inwieweit brennbare Stoffe vorhanden sind und explosionsfähige Atmosphäre entstehen kann

2. Ermitteln inwieweit Schutzmaßnahmen zur Verhinderung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre erforderlich sind

3. Ermitteln inwieweit Schutzmaßnahmen zur Vermeidung der Entzündung erforderlich sind, sofern Auftreten g.e.A. nicht sicher verhindert werden kann

4. Ermitteln inwieweit Schutzmaßnahmen zur Beschränkung der Ausbreitung oder der Auswirkungen einer Explosion erforderlich sind, sofern Entzündung g.e.A. nach dem Stand der Technik nicht verhindert ist

Im Detail sind somit 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 Puderzuckerkonditionierungsanlagen.

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 TRGS 721.

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

[11] GefStoffV, § 6
[12] TRBS 1111

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 TRGS 722.

→ Kann diese Frage sicher verneint werden, endet die Gefährdungsbeurteilung mit diesem Schritt, andernfalls ist dann 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 müssen 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. Auch in Räumen von weniger als etwa 100 m^3 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 m^3 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[13] können jedoch darüber hinausgehen und sind zu betrachten.

Anmerkungen:

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.

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

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

[13] TRGS 721 Ziff. 3.4.2

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 TRGS 722

→ Kann die vorstehende Frage sicher bejaht werden, endet die Gefährdungsbeurteilung mit diesem Schritt, anderenfalls hat es sich bewährt, die Bereiche 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;
- Aufstellungsräume oder andere 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.

Dazu gehört u. a. die Auswahl geeigneter Gerätekategorien nach GefStoffV Anhang I, Nr. 1, 1.8 Abs. 2 für Arbeitsmittel, Maschinen und Anlagenkomponenten entsprechend der Zone sowie die in der TRGS 723 beschriebenen Maßnahmen zur Vermeidung betrieblicher Zündquellen, z. B. Potentialausgleich, Erdung, Blitzschutz usw.

Anmerkungen:

Eine wirksame Zündquelle ist eine Zündquelle, die in der zu betrachtenden explosionsfähigen Atmosphäre eine Entzündung auslösen kann.[14]

[14] TRGS 723, 2 (2)

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

Lässt sich die Wahrscheinlichkeit des Wirksamwerdens einer Zündquelle nicht abschätzen, ist die Zündquelle als dauernd wirksam anzusehen.[15]

Anmerkungen:

Detaillierte Aussagen enthält auch die TRGS 723.

→ 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. Beispiele für derartige Technische Schutzmaßnahmen sind im Kap. 7.3 beschrieben.

Anmerkungen:

Detaillierte Aussagen enthält auch die TRGS 724.

Abschluss der Gefährdungsbeurteilung:

Die Ergebnisse der Gefährdungsbeurteilung und die getroffenen technischen und organisatorischen Maßnahmen sind im Explosionsschutzdokument (siehe Kap. 9.6) zu dokumentieren.[16] Im Explosionsschutzdokument hat eine plausible Darlegung des Explosionsschutzkonzeptes zu erfolgen. Diese dient als Grundlage der Prüfung vor Inbetriebnahme und wiederkehrenden Prüfung.

Anmerkungen:

Die Form der Gefährdungsbeurteilung ist nicht vorgeschrieben. Es gibt aber Anforderungen an den Inhalt des Explosionsschutzdokuments (s. Kap. 9.6). Eine Maßnahme zur Vermeidung von explosionsfähiger Atmosphäre, wie eine lüftungstechnische Maßnahme, kann z.B. in einer eher generell gehaltenen Arbeitsplatz- oder Arbeitsbereichsbeurteilung festgehalten werden. Sofern weitergehende Beurteilungen eines Explosionsrisikos erforderlich sind, empfiehlt es sich spezifische Checklisten, Vorlagen, Begutachtungen oder Methoden der Explosionsschutzbewertung anzuwenden.

Bei der Gefährdungsbeurteilung in bestehenden Anlagen ist es sinnvoll, die Betrachtungsgrenzen zunächst um die Anlage / den Anlagenteil, einschließlich der vorhandenen Geräte und Schutzsysteme, zu legen, in dem bzw. von dem ausgehend eine Explosion erwartet wird. Im weiteren Schritt sollte dann die Übertragung des Explosionsrisikos auf andere Anlagen / Anlagenteile beurteilt werden.

Da für Geräte und Schutzsysteme die Konformität mit den Anforderungen der 11. ProdSV in Abhängigkeit der jeweils nach GefStoffV festgelegten Zone sichergestellt sein muss, ist eine gesonderte Gefährdungsbeurteilung für diese nicht erforderlich. Vielmehr müssen die von diesen Geräten oder Schutzsystemen ausgehenden risikoerhöhenden oder –reduzierenden Auswirkungen im Kontext der Gefährdungsbeurteilung der oben beschriebenen Anlage / des Anlagenteils berücksichtigt werden.

[15] TRGS 723, 3 (3)
[16] GefStoffV, § 6, Abs. 8 und 9

Beispiel: Für eine Zellenradschleuse die eine entkoppelnde Funktion, beispielsweise für einen Entstaubungsfilter hat, ist eine separate Gefährdungsbeurteilung nicht erforderlich.

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.

Anmerkungen:

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, Schwelpunkt, Mindestzündenergie, Schlagempfindlichkeit, elektrostatisches Verhalten

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

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.

Anmerkungen:

Bereits eine Staubschicht von 1 mm Dicke auf dem Fußboden reicht aus, einen normal hohen Raum ganz mit einer explosionsfähigen Atmosphäre auszufüllen.[17] *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 (z.B. aufgrund bereits aufgrund hygienischer Anforderungen vorhandener Aspirationssysteme);
- Vermeiden der Staubentstehung durch schonende Handhabung (Bandförderer usw.);
- Vermeiden der Staubfreisetzung 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 von kritischen Staubkonzentrationen in der Reingasseite von Staubfiltern aufgrund von Filterdurchbrüchen, z.B. durch frühzeitige messtechnische Detektion und Abschaltung, „Polizeifilter“ usw.;
- 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

[17] TRGS 721 Ziff. 3.4.1 Hinweis 2

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.

Die EN 1127-1 definiert insgesamt 13 Zündquellenarten. Im technischen Regelwerk werden die Zündquellenarten hinsichtlich ihrer Zündmechanismen und der möglichen bzw. erforderlichen Maßnahmen zum Vermeiden der jeweiligen Zündquellen ausführlich dargestellt.[18]

Für den Bereich des Staubexplosionsschutzes in der Zuckerindustrie sind vor allem die nachfolgend fett hervorgehobenen Zündquellenarten 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)**
- Blitzschlag
- Elektromagnetische Wellen (Hochfrequenzbereich)
- Elektromagnetische Wellen („optischer“ Frequenzbereich)
- Ionisierende Strahlung
- Ultraschall
- Adiabatische Kompression und Stoßwellen
- Exotherme Reaktion

Anmerkungen:

Blitzschlag ist grundsätzlich als relevante Zündquelle zu sehen. Bei Vorhandensein einer nach den Regeln der Technik installierten Blitzschutzanlage kann ein Wirksamwerden aber ausgeschlossen werden.

[18] TRGS 723, DGUV Regel 113-001, DIN EN 1127-1

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.

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 310°C, dies bedeutet, dass eine Oberflächentemperatur von 206°C nicht überschritten werden darf.

Für Zuckerstaub ist eine höchstzulässige Oberflächentemperatur bei geringen Staubablagerungen (< 5 mm) von 206°C als ausreichend anzusehen. Da die Glimmtemperatur (siehe 10.1) von Zuckerstaub (380°C) höher ist als die Mindestzündtemperatur (310°C), ist der niedrigere Wert aus der Berechnung der maximalen Oberflächentemperatur bei Vorhandensein einer Staubwolke anzunehmen.

Für Pelletstaub beträgt die Mindestzündtemperatur 400°C, dies bedeutet, dass eine Oberflächentemperatur von 267°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.

Anmerkungen:

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.

*Bei steigender Schichtdicke sinken die zulässigen Oberflächentemperaturen. Zulässige Oberflächentemperaturen für dickere Staubablagerungen finden sich in der V*DE 0165 (DIN EN 60079-14).

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.

Grundsätzlich ist jegliche Art offener Flammen 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. 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 für die Entstehung 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.[19]

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, wenn keine hohen Anpresskräfte auftreten.

Bei höheren Fördergeschwindigkeiten bzw. größeren Antriebsleistungen sind, z. B. bei Elevatoren u.a. 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).

Anmerkung: Weitere Hinweise zu Zündquellenbetrachtungen finden sich z.B. in der VDI 2263 Bl. 8 (Elevatoren) oder in der DIN EN 80079-36 und -37.

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

7.2.4 Elektrische Anlagen

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

- 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 DGUV Vorschrift 3, der BetrSichV und den einschlägigen VDE-Bestimmungen entworfen, ausgeführt, installiert und instandgehalten 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:

[19] DIN EN 1127-1 Abs. 6.4.4

Für den Einsatz in Zonen sind nur Betriebsmittel (z. B. Füllstandmelder, 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 (1991) festgelegt. 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 K 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. Beim Verwenden von Leuchten ist zu beachten, dass diese auch gegen mechanische Einwirkung zu schützen sind. Eventuell sind Prüfintervalle zu verkürzen.

Bei einem Austausch von Altgeräten, z. B. nach einem Defekt, dürfen nur Geräte eingesetzt werden, die den Anforderungen der Richtlinie 2014/34/EU entsprechen.

7.2.5 Statische Elektrizität

Es gibt verschiedene Formen elektrostatischer Entladungen mit unterschiedlichen Zündwirksamkeiten. 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:[20]

- ein stark ladungserzeugender Prozess liegt vor (dieser kann z. B. durch eine pneumatische Förderung gegeben sein oder bei Fallstrecken im Rohr >3m),
- Dicke der isolierenden Schicht D < 9 mm,
- Durchschlagspannung U_D > 4 kV (U_D > 6 kV bei textilem Gewebe, wie z. B. bei FIBC).

[20] TRGS 727 Anhang A 3.4

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.

Häufig treten Gleitstielbüschelentladungen in innenbeschichteten Förderrohren und in ungeeigneten Förderschläuchen auf.[21] Insbesondere leit- bzw. ableitfähige Förderschläuche mit isolierender Innenbeschichtung sind für den pneumatischen Transport von explosionsfähigen Produkten wie z. B. Zucker, ungeeignet. Es sollten gemäß DGUV Information 213-053 nur Ω/T, Ω/M oder M/T Schlauchtypen eingesetzt werden.[22] Anforderungen an Rohre und Schläuche mit Wänden aus mehreren Schichten sowie Stützwendelschläuche enthält TRGS 727. Stützwendelschläuche sind nur für den pneumatischen Transport zulässig, wenn sie alle nachfolgenden Eigenschaften besitzen[23]:

- Als Stützwendel werden ausschließlich metallisch blanke, unisolierte, nicht ummantelte Drähte verwendet.
- Die Stützwendel ist beidseitig geerdet.
- Der Wendeldrahtdurchmesser liegt zwischen 1 mm und 2 mm.
- Der Abstand (Schichtdicke) der inneren Schlauchwandoberfläche zur Wendeldrahtoberfläche liegt zwischen 0,7 mm und 2 mm.
- Die Steigung der Wendel ist nicht größer als 30 mm.
- Die Wendel ist in ein homogenes Material mit einem spezifischen Widerstand von weniger als $2{,}5 \cdot 10^8$ Ω m eingebettet.
- Der Innendurchmesser des Schlauches liegt zwischen 50 mm und 160 mm.
- Die relative Permittivität des Wandmaterials ist nicht größer als 5.

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

Anmerkungen:

Die Isolationswirkung üblicher Produktanbackungen reicht zur Entstehung von Gleitstielbüschelentladungen in der Regel nicht aus, sofern diese porös und nicht aufgeschmolzen sind.

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.

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.

[21] TRGS 727
[22] DGUV Information 213-053
[23] TRGS 727 Nr. 6.4.2.4

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“.

Anmerkungen:

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.

Da der spezifische Widerstand u.a. von der Restfeuchte des Kristallzuckers abhängt und diese mit den Lager- und Transportbedingungen sowie des im Kristall gebundenen Wassers in Wechselwirkung steht, liegt der spezifische Widerstand in der Praxis üblicherweise unterhalb einer kritischen Größenordnung. Eine kritische Aufladung von Schüttkegeln ist somit im Regelfall für Kristallzucker unwahrscheinlich.

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

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.

Anmerkungen:

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

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.

Anmerkungen:

- *Lässt sich die Wahrscheinlichkeit des Wirksamwerdens einer Zündquelle nicht abschätzen, ist die Zündquelle als dauernd wirksam zu betrachten.*[24]
- *Auch der Eintrag von Zündquellen ist im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen und entsprechende Schutzmaßnahmen sind festzulegen. Typische Maßnahmen: Metalldetektion und -abscheidung, Siebung, Funkendetektion, sichere Konstruktion und Instandhaltung von Maschinen etc.*

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 und die Anforderungen an die Förderleitungen und Schläuche zu berücksichtigen (siehe Kap. 7.2.5).

[24] TRGS 723, 3 (3)

7.2.6.1.2 Dichtstromförderung

g. e. A.: möglich in Sendebehälter und Empfangsbehälter für kristallinen Zucker

Maßnahmen:

- siehe Kap. 7.2.4

7.2.6.1.3 Pfropfenförderung

g. e. A.: möglich in Sendebehälter und Empfangsbehälter für kristallinen Zucker

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.: möglich im Inneren von Elevatoren für kristallinen Zucker

Es 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.

Maßnahmen (nicht abschließend, siehe auch VDI 2263, Bl. 8):

- 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 Umlenktrommel, installiert.

Folgende Materialkombinationen können eingesetzt werden: Edelstahl-Edelstahl, Edelstahl-Schwarzstahl und Edelstahl-Aluminium-Kombinationen. Zu vermeiden sind Kombinationen aus korrodiertem 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

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:

Bei Zone 22 sind folgende Maßnahmen üblicherweise ausreichend:

- Elektrostatisches Erden aller elektrisch leitfähigen Anlagenteile. Der Ableitwiderstand R_E gegen Erde soll dabei $< 10^6\,\Omega$ betragen.
- Förderbänder müssen ableitfähig sein und über die Rollen in die Erdung einbezogen sein.
- Darüber hinaus ist es sinnvoll, möglichst alle benachbarten leitfähigen Teile miteinander leitend zu verbinden (siehe Kap. 7.2.5)

Bei Zone 21 muss eine differenziertere Betrachtung erfolgen. Mögliche Schutzmaßnahmen wären[25]:

- Regelmäßige Wartung/Kontrolle der Lager
- Drehzahlüberwachung
- Schieflaufüberwachung (insbesondere bei längeren Bändern)
- Temperaturüberwachung z. B. durch Sensorkabel (insbesondere bei eingehausten Bändern oder solchen, die nicht gut begangen werden können, bei denen Defekte an den Rollen u. ä. nicht so einfach auffallen können
- Glimmnestdetektion an den Übergabestellen zum Vermeiden der Übertragung von Glimmnestern
- Einsatz von Bändern aus leitfähigen oder ableitfähigen Materialien
- Einhalten von maximal zulässigen Fördergeschwindigkeiten (TRGS 727, IEC 60079-32-1 und EN 12882)
    - Alternativ können auch isolierende Bänder eingesetzt werden, bei denen eine elektrostatische Aufladung durch nicht zündwirksame Koronaentladungen auf ein ungefährliches Maß reduziert wird.
- Einsatz von Bändern aus schwerentflammbaren Materialien
- Zusätzlich Reinigung (Beseitigen von Staubablagerungen) bzw. wirksame Aspiration bei eingehausten Bereichen
- Bei erhöhten Anforderungen wird eine Betrachtung des Gurtes erforderlich (elektrostatische Anforderungen, Brennbarkeit des Gurtmaterials, Fördergurtspannung und –ausrichtung, vgl. DIN EN ISO 80079-37)

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.

[25] IVSS-Broschüre: Beispielsammlung zur Broschüre „Staubexplosionsschutz an Maschinen und Apparaten" Teil 2

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 explosionsfähige Atmosphäre bilden. Beachtet werden muss zudem das Umfeld, in dem der flexible Schüttgutbehälter betrieben wird.[26]

Anmerkungen:

Elektrostatische Entladungen können sowohl während des Befüllens als auch während des Entleerens auftreten. Durch Ladungstrennung erfolgt eine Ladungserzeugung. Wird die Ladung nicht abgeleitet, erfolgt eine "Ladungsspeicherung", d. h. Aufladung des Gebindes sowie des Schüttguts. "Gefährliche Aufladungen" können durch zündwirksame Entladungen zur Zündquelle für g. e. A. 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.

Typ A kann nur in Bereichen ohne explosionsfähige Atmosphäre eingesetzt werden. Der Einsatz der Typen B-D richtet sich nach der MZE des brennbaren Staubes (siehe folgende Tabelle).

Mindestzündenergie (MZE) des Schüttgutes	geeignete FIBC
MZE > 1000 mJ oder nicht staubexplosionsfähig	Keine Einschränkungen
1000 mJ ≥ MZE > 3 mJ	B, C, D
3 mJ ≥ MZE	C, D

Abb. 4: Auswahl geeigneter Typen Flexible Schüttgutbehälter (FIBC)

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

g. e. A.: bei Puderzucker und Staubzucker aus Aspiration zu erwarten, daher 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.

Anmerkungen:

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.

7.3 Konstruktiver Explosionsschutz

Wenn die Maßnahmen des vorbeugenden Explosionsschutzes keine ausreichende Sicherheit vor Staubexplosionen gewährleisten, d. h. das Auftreten von gefährlicher Atmosphäre

[26] TRGS 727

kann nicht verhindert werden und die Vermeidung von wirksamen Zündquellen kann nicht sicher gewährleistet werden, dann müssen konstruktive Schutzmaßnahmen angewendet werden.

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 in Verbindung mit dem Auftreten wirksamer Zündquellen zu rechnen ist. Bei dieser Form von Explosionsschutzmaßnahmen werden die Auswirkungen von Staubexplosionen dadurch begrenzt, dass die betreffenden Anlagen für den jeweils zu erwartenden Explosionsdruck (p_{erw})[27] ausgelegt werden. Es besteht die Möglichkeit, die Apparate entweder explosionsdruckfest oder explosionsdruckstoßfest zu bauen.[28]

Wird die Anlage für den maximalen Explosionsdruck (p_{max})[29] 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 (p_{red}).[30] 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[31]. Auslegung und Prüfung erfolgen gemäß DIN EN 14460.

[27] TRGS 724, Abschn. 2.1
[28] TRGS 724, Abschn. 2.4
[29] TRGS 724, Abschn. 2.2
[30] TRGS 724, Abschn. 2.3
[31] TRGS 724, Abschn. 2.4

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).

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).

Anmerkungen:

Für Zuckerstaub beträgt der maximale Explosionsüberdruck (p_{max}) 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[32]. Auslegungs- und Gestaltungshinweise finden sich in der DIN 14491.

Für die Berechnung der erforderlichen Entlastungsfläche müssen zunächst die explosionstechnischen 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 Wirkbereich 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.

Anmerkungen:

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

[32] TRGS 724, Abschn. 2.5

7.3.3 Explosionsunterdrückung

Bei der Explosionsunterdrückung wird eine anlaufende Explosion mittels Druck- oder Infrarotdetektoren erkannt und durch schnelles Einblasen von Löschmittel so rasch eingedämmt, dass sie sich nicht voll entwickeln kann. [33] 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 Natriumbicarbonat bewährt.

Anmerkungen:

Da bei der Schutzmaßnahme Explosionsunterdrückung die Explosion auf das Innere der jeweiligen Apparatur beschränkt bleibt, ergibt sich als ein wesentlicher Vorteil dieser Maßnahme die Unabhängigkeit vom Aufstellort der zu schützenden Anlage. Auch ist ein Nachrüsten bestehender Anlagen vielfach eher möglich, als mit anderen konstruktiven Explosionsschutzmaßnahmen.

7.3.4 Explosionstechnische Entkopplung

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. [34] Dies geschieht z. B. durch Einbau von

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

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.

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.

[33] TRGS 724, Abschn. 2.8
[34] TRGS 724, Abschn. 2.9 und Abschn. 8

Der Entlastungsschlot ist die in den Entstaubungsanlagen der Zuckerindustrie am häufigsten anzutreffende Entkopplungsmaßnahme. Eine Explosionsübertragung soll hierbei durch eine Entlastung im Umlenkpunkt verhindert werden. 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 ist (keine Zone). Darüber hinaus müssen die Rohrleitungen frei von Staubablagerungen sein. Dieses kann durch strömungstechnisch einwandfreie Leitungsführung und hinreichende Strömungsgeschwindigkeit ($>$ 18 m/s) erreicht werden. Außerdem muss eine ausreichende Rohrleitungslänge zu den aspirierten Anlagenteilen gegeben sein.

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 m/s) betrieblich kontrolliert und eingehalten wird. In regelmäßigen Abständen sollte darüber hinaus die Rohrleitung auf Ablagerungen und Verunreinigungen überprüft und ggf. gereinigt werden. Hinweise zu Entstaubungsanlagen und Eigenschaften strömungstechnisch günstigen Rohrleitungen werden in Kap. 6.3 der DGUV-Regel 109-002 „Arbeitsplatzlüftung“ gegeben.

Bei den als Entkopplungseinrichtungen dienenden Zellenradschleusen, Schnellschlussschiebern, -klappen, -ventilen handelt es sich um Schutzsysteme im Sinne der RL 2014/34/EU. Für diese Schutzeinrichtungen ist der Nachweis der Eignung über eine EU-Baumusterprüfung zu erbringen (siehe Kap. 5).

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

Anmerkungen:

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

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. Der Entlastungsschlot zur Explosionsentkopplung sollte eine höhere Festigkeit aufweisen.

Anmerkungen:

Voraussetzung ist, dass keine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre abgesaugt und keine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre im Rohrleitungssystem vorhanden ist (keine Zone). 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

- 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.

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).

Die in den Filtern eingesetzten Filtergewebe sollten aus normalem nicht leitfähigem Material bestehen., Zugleich müssen die Stützeinrichtungen (Stützkörbe) und etwaige Manschetten sorgfältig elektrisch leitfähig mit dem Filtergehäuse verbunden sein.

Werden dennoch leitfähige oder ableitfähige Filtergewebe eingesetzt, ist sicherzustellen, dass alle leitfähigen Komponenten dieser Gewebe sicher und dauerhaft geerdet sind. Beispielsweise muss gewährleistet sein, dass diese weder beim Waschen noch beim Auf- bzw. Abziehen geschädigt werden und die Ableitfähigkeit eingeschränkt bzw. isolierte elektrisch leitfähige „Inseln“ entstehen (ggf. ist eine Mehrfachverwendung solcher Gewebe zu vermeiden).

7.3.5.3 Stationäre Staubsaugeranlage

- Filtergehäuse ist konstruktiv geschützt, z. B. druckfest oder druckstoßfest mit Druckentlastung für den zu erwartenden Explosionsdruck.
- Festverlegte Rohgasleitungen sind druckstoßfest für den zu erwartenden Explosionsdruck.
- Es sind ableitfähige Schläuche einzusetzen. Auf elektrisch leitfähige Einbindung ist zu achten[35].
- Rohgassammelleitung ist vor dem Eintritt ins Filtergehäuse entkoppelt, z. B. mit einem Schnellschlussventil
- Entkopplungseinrichtung in der Reinluftleitung, z. B. über ein Ventexventil.

Anmerkungen:

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 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter vor Ort die Einhaltung des Explosionsschutzkonzeptes „Vermeidung von Zündquellen“ nicht garantiert werden kann.

Mit der Möglichkeit des Einsaugens von wirksamen Zündquellen muss daher immer gerechnet werden.

7.3.5.4 Pudermühle

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

Anmerkungen:

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

[35] TRGS 727 Nr. 6.5

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.

- Für die Bauplanung ist es im Hinblick auf weitere Entwicklungen sinnvoll, ggf. Flächen für Druckentlastungen vorzusehen.

- Die Blitzschutzmaßnahmen sind grundsätzlich erforderlich[36]. Maßgebliche Ansprechpartner sind hierfür z. B. die Bauaufsichtsbehörde und der Sachversicherer.

- 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.

- 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.

- 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.

[36] DIN V ENV 61024-1/VDE 0185

9 Organisatorische Maßnahmen

9.1 Kennzeichnung

Die Kennzeichnung der explosionsgefährdeten Bereiche muss entsprechend der ASR A 1.3 erfolgen. Auf das Verbot des Betretens von explosionsgefährdeten Bereichen durch unbefugte Personen ist ebenfalls deutlich erkennbar und dauerhaft durch Kennzeichnung[37] hinzuweisen.

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. 5: 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.

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

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

[37] GefStoffV Anhang 1 Nr. 1.8

- 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 Prüfung und Instandsetzung

Um eine dauerhafte Aufrechterhaltung der für den Explosionsschutz getroffenen Schutzmaßnahmen zu gewährleisten, ist durch den Arbeitgeber / Betreiber ein Prüf- und Überwachungskonzept zu erstellen. Das Prüf- und Überwachungskonzept muss Festlegungen hinsichtlich Prüfart, Prüfumfang, Prüftiefe sowie Prüffristen beinhalten.

9.3.1 Arbeitsmittel

Die Prüfungen von „einfachen“ Arbeitsmitteln[38] sind nicht Bestandteil des Leitfadens. Nichtsdestotrotz gehören diese Prüfungen aber zu den Unternehmerpflichten zur Aufrechterhaltung von Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit. Alle durchgeführten Prüfungen sind zu dokumentieren und die Prüfaufzeichnungen aufzubewahren.[39]

Weiterführende Informationen können u. a. den Merkblättern der T-Reihe der BG RCI entnommen werden.[40]

9.3.2 Überwachungsbedürftige Anlagen

Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen gelten als überwachungsbedürftige Anlagen im Sinne der BetrSichV. Für sie gelten daher „Zusätzliche Vorschriften für überwachungsbedürftige Anlagen“.[41]

Anmerkungen:

Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen sind die Gesamtheit der explosionsrelevanten Arbeitsmittel einschließlich der Verbindungselemente sowie der explosionsschutzrelevanten Gebäudeteile.[42]

Es sind für überwachungsbedürftige Anlagen die Prüfungen vor Inbetriebnahme und vor Wiederinbetriebnahme nach prüfpflichtigen Änderungen sowie die wiederkehrenden Prüfungen zu unterscheiden.

Anmerkungen:

In der Zuckerindustrie sind von diesen Prüfungen in staubexplosionsgefährdeten Bereichen für kristallinen Zucker in der Regel folgende Anlagen:

- zur Förderung von getrocknetem Zucker (mechanischer, pneumatisch),

[38] BetrSichV, § 14
[39] BetrSichV, § 14 (7)
[40] Merkblätter T-008-1, T-008-1a und T-008-2
[41] BetrSichV, Abschnitt 3 mit Anhang 2
[42] BetrSichV, Anhang 2, Abschnitt 3 Nr. 2

- zur Entstaubung (Maschinen, Förderelemente, Bunker, Silos),
- zur Sichtung von losem Kristallzucker,
- zur Puderzuckerherstellung (Mühlen) und
- sonstige Anlagen zum Handling von losem Kristallzucker

betroffen. Diese Aufzählung ist aber nicht abschließend zu verstehen.

9.3.2.1 Prüfung vor Inbetriebnahme und vor Wiederinbetriebnahme nach prüfpflichtigen Änderungen[43]

Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen sind vor der erstmaligen Inbetriebnahme und vor Wiederinbetriebnahme nach prüfpflichtigen Änderungen unter Berücksichtigung der vorgesehenen Betriebsweise durch eine zur Prüfung befähigte Person oder durch eine zugelassene Überwachungsstelle auf Explosionssicherheit zu prüfen. [44]

Hierbei sind das im Explosionsschutzdokument dargelegte Explosionsschutzkonzept und die Zoneneinteilung zu berücksichtigen. Bei der Prüfung ist festzustellen, ob

a) die für die Prüfung benötigte technischen Unterlagen vorhanden sind,

b) die Anlage entsprechen dieser Verordnung errichtet und in einem sicheren Zustand ist und

c) die festgelegten technischen Maßnahmen geeignet und funktionsfähig und die festgelegten organisatorischen Maßnahmen geeignet sind.

Es handelt sich hierbei um eine Prüfung, die sowohl das Explosionsschutzkonzept umfasst wie auch der einzelnen Anlagenteile (Arbeitsmittel) hinsichtlich der ordnungsgemäßen Montage, Installation und Funktion.

Diese Anforderung ist analog nach einer prüfpflichtigen Änderung der Anlage, bzw. soweit der Betrieb oder die Bauart der Anlage durch eine Änderung beeinflusst wird, zu erfüllen.

9.3.2.2 Prüfung nach Instandsetzung[45]

Nach der Instandsetzung eines Gerätes, eines Schutzsystems oder einer Sicherheits-, Kontroll- oder Regelvorrichtung im Sinne der Richtlinie 2014/34/EU hinsichtlich eines Teils, von dem der Explosionsschutz abhängt, ist eine Prüfung durch eine zugelassene Überwachungsstelle (ZÜs) oder durch eine von der Behörde anerkannte zur Prüfung befähigte Person [46] durchzuführen.

<u>Anmerkungen:</u>

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-,

[43] BetrSichV, § 15
[44] Angaben zur Auswahl der zPbP oder ZÜs finden sich im Anhang 2, Abschnitt 3, Abs. 3 der BetrSichV
[45] BetrSichV, § 15
[46] BetrSichV, § 15 (1) mit Anhang 2, Abschnitt 3, Nr. 3.2 und 4.2

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.

9.3.2.3 Wiederkehrende Prüfungen[47]

Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen sind mindestens alle sechs Jahre auf Explosionssicherheit zu prüfen. Die konkrete Prüffrist ist im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung durch den Betreiber festzulegen.

Hierbei sind das im Explosionsschutzdokument dargelegte Explosionsschutzkonzept und die Zoneneinteilung zu berücksichtigen. Bei der Prüfung ist festzustellen, ob

a) die für die Prüfung benötigten technischen Unterlagen vollständig vorhanden sind und ihr Inhalt plausibel ist,

b) die arbeitsmittelspezifischen Prüfungen[48] vollständig durchgeführt sind,

c) sich die Anlage in einem der BetrSichV entsprechenden Zustand befindet und sicher verwendet werden kann,

d) die festgelegten technischen und organisatorischen Maßnahmen wirksam sind und

e) das Instandhaltungskonzept[49] wirksam ist.

Bei den arbeitsmittelspezifischen Prüfungen sind individuelle Prüffristen[48] auf der Grundlage einer Gefährdungsbeurteilung vorzugeben. Dies betrifft Geräte, Schutzsysteme, Sicherheits-, Kontroll- und Regelvorrichtungen mit ihren Verbindungseinrichtungen (wiederkehrend mindestens alle drei Jahre) als Bestandteil einer Anlage in einem explosionsgefährdeten Bereich, aber auch Lüftungsanlagen, Gaswarneinrichtungen und Inertisierungseinrichtungen (wiederkehrend jährlich).

Anmerkungen:

Ein Instandhaltungskonzept ist nicht verpflichtend zu erstellen. Wenn der Arbeitgeber aber im Rahmen der Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung ein Instandhaltungskonzept festgelegt hat und damit gleichwertig sicherstellt, dass ein sicherer Zustand der Anlagen aufrechterhalten wird, können weitere arbeitsmittelspezifische Prüfungen entfallen. Dieses Instandhaltungskonzept muss die Anforderungen nach TRBS 1201 Teil 1 Nr. 6 erfüllen.

Die in der Zuckerindustrie üblicherweise eingesetzten Aspirationsanlagen dienen in erster Linie der Aufrechterhaltung eines leichten Unterdruckes in den Apparaten und somit der Reduzierung von Staubfreisetzungen. Ebenso reduzieren die Absaugungen an Übergabestellen, z.B. von Förderbändern die Raumverstaubung und mindern den Reinigungsaufwand in den Aufstellungsräumen. Diese Aspirationsanlagen sind keine Lüftungsanlagen im Sinne der BetrSichV Anhang 2 Abschnitt 3 Nr. 5.3.

9.3.2.4 Prüfaufzeichnungen und –bescheinigungen[50]

[47] BetrSichV, § 16
[48] BetrSichV, § 16 (1) mit Anhang 2, Abschnitt 3, Nr. 5.2 und 5.3
[49] BetrSichV, § 16 (1) mit Anhang 2, Abschnitt 3, Nr. 5.4
[50] BetrSichV, § 17

Der Arbeitgeber hat dafür zu sorgen, dass die Ergebnisse der Prüfungen aufgezeichnet werden. Sofern die Prüfung von einer zugelassenen Überwachungsstelle durchzuführen ist, ist von dieser eine Prüfbescheinigung über Art, Umfang und Ergebnis der Prüfung zu fordern. Die Aufzeichnungen und ggf. Prüfbescheinigungen sind elementarer Bestandteil der Dokumentation zum Explosionsschutz (Explosionsschutzdokument).[51]

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),
- 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.

Anmerkungen:

Auch die umfassende Unterweisung der Fremdfirmenbeschäftigten, z. B. von Reinigungsfirmen, ist zu gewährleisten.

9.5 Arbeitsfreigabe

Die Durchführung von Arbeiten in explosionsgefährdeten Bereichen ist nur gemäß den schriftlichen Anweisungen des Arbeitgebers zulässig. Bei Instandhaltungsmaßnahmen sind Gefährdungsbeurteilungen durchzuführen. Dabei haben sich Arbeitsfreigabesysteme bewährt. Insbesondere bei Tätigkeiten, wie Schweiß-, Schneide- und Schleifarbeiten, Einsatz von nicht-explosionsgeschützten Betriebsmitteln, das Öffnen von Apparaten mit der Möglichkeit einer Freisetzung sind Anforderungen des Explosionsschutzes zu berücksichtigen.

Diese Tätigkeiten dürfen erst beginnen, wenn den ausführenden Beschäftigten eine schriftliche Arbeitsfreigabe vorliegt, in dem der zuständige Vorgesetzte die Arbeitsfreigabe erteilt hat und die notwendigen Schutzmaßnahmen getroffen wurden.

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

[51] GefStoffV, § 6 (9) Nr. 6

9.6 Explosionsschutzdokument

Der Arbeitgeber hat alle zum Explosionsschutz getroffenen Maßnahmen in einem Explosionsschutzdokument[52] zu erfassen. Dieses Dokument ist ständig auf dem aktuellen Stand zu halten.[53] Es ist vor Inbetriebnahme der Anlage, 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 (Darlegung eines Explosionsschutzkonzeptes),
- ob und welche Bereiche in Zonen[54] eingeteilt wurden,
- für welche Bereiche Explosionsschutzmaßnahmen[55] getroffen wurden,
- wie die Vorgaben zur Zusammenarbeit verschiedener Firmen[56] umgesetzt wurden und
- welche Überprüfungen im Rahmen der Grundpflichten[57] und welche Prüfungen zum Explosionsschutz[58] durchzuführen sind.

Zu den angemessenen Vorkehrungen gehören insbesondere technische und organisatorische Schutzmaßnahmen wie z. B, Auswahl der Arbeitsmittel für explosionsgefährdete Bereiche, 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, Gefahrstoffkataster,

[52] GefStoffV, § 6 (9)
[53] GefStoffV, § 6 (10)
[54] GefStoffV, § 8 (8) und Anhang I, Nummer 1.7
[55] GefStoffV, § 11 und Anhang I, Nummer 1
[56] GefStoffV, § 15
[57] GefStoffV, § 7 (7)
[58] BetrSichV, Anhang 2 Abschnitt 3

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 10.11) entnommen werden.

10 Anhang (allgemein)

10.1 Begriffsbestimmungen, Kenngrößen (für brennbaren Staub)

Die Begriffsbestimmungen stammen in der Regel aus TRGS 720 Abs. 2, wenn keine Rechtsquelle explizit angegeben wird. In den übrigen Fällen findet sich der Herkunftshinweis in einer Fußnote.

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.[59]

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.

Anmerkungen:

Anlagen setzten 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 Produktsicherheitsgesetzes.[60]

Brennbarkeit

Die Brennzahl (BZ) ist ein Kriterium für die Ausbreitung eines Brandes in abgelagertem Staub. Sie wird bestimmt durch lokale Auswirkung einer hinreichend starken Zündquelle auf eine Staubschicht mit bestimmter Geometrie. Die Brennzahl wird aufgrund des Reaktionsverhaltens festgelegt. Sie ist in Stufen von 1 bis 6 eingeteilt.

[59] BetrSichV, § 2 (3)
[60] ProdSG, § 2 (30)

Art der Reaktion		Brennzahl	Staubart (Beispiel)
Keine Brandausbreitung	Keine Entzündung	BZ 1	Kochsalz
	Kurze Entzündung, schnelles Erlöschen	BZ 2	Zuckerstaub, Weinsäure, Kasein
	Örtlich begrenztes Verbrennen oder Glimmen, nahezu ohne Ausbreitung oder nur örtliche Ausbreitung	BZ 3	Lactose, Dextrin
Brandausbreitung	Glimmen oder Schwelen (ohne Funken oder Flammen) oder langsames Zersetzen ohne Flammen	BZ 4	Tabak, Braunkohle, Torf
	Langsame Verbrennung oder Funken	BZ 5	Schwefel, Holz, Zellulose
	Sehr schnelle Verbrennung mit Flammen oder sehr schnelles Zersetzen	BZ 6	Schwarzpulver

Explosion

Eine Explosion ist eine plötzliche Oxidationsreaktion mit Anstieg der Temperatur, des Druckes oder von beidem gleichzeitig.

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.

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.

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.

Explosionsdruckfeste Bauweise

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

Anmerkungen:

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.

Anmerkungen:

Die Auslegung und Herstellung erfolgt nach DIN EN 14460 , 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.

Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre (g. e. A.)

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

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

Als **Geräte** gelten Maschinen, Betriebsmittel, stationäre oder ortsbewegliche Vorrichtungen, Steuerungs- und Ausrüstungsteile sowie Warn- und Vorbeugesysteme, 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.

Glimmtemperatur

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

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-m^3-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.

Kubisches Gesetz

Volumenabhängigkeit des maximalen zeitlichen Druckanstiegs.

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

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

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

Maximaler zeitlicher Druckanstieg 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.

Medianwert

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

Mindestzündenergie (MZE)

Die Mindestzündenergie 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.

Mindestzündtemperatur einer Staubschicht

Die 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).

Mindestzündtemperatur einer Staubwolke (Zündtemperatur)

Die Mindestzündtemperatur einer Staubwolke ist die unter festgelegten Versuchsbedingungen ermittelte Temperatur einer heißen Oberfläche, bei der sich das zündwilligste Gemisch des Staubes mit Luft entzündet.

Normalbetrieb

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

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.

Sauerstoffgrenzkonzentration (SGK)

Die Sauerstoffgrenzkonzentration 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.

Selbstentzündung einer Staubschüttung

Die 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.

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.

Überwachungsbedürftige Anlagen

Überwachungsbedürftige Anlagen sind Anlagen nach § 2 Nummer 30 Satz 1 des Produktsicherheitsgesetzes, soweit sie in Anhang 2 BetrSichV genannt oder nach § 18 Absatz 1 BetrSichV erlaubnispflichtig sind. Zu den überwachungsbedürftigen Anlagen gehören auch Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen, die dem sicheren Betrieb dieser überwachungsbedürftigen Anlagen dienen. Gemäß Anhang 2 Abschnitt 3 Nr.2 BetrSichV gilt: Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen sind die Gesamtheit der explosionsschutzrelevanten Arbeitsmittel einschließlich der Verbindungselemente sowie der explosionsschutzrelevanten Gebäudeteile.

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.

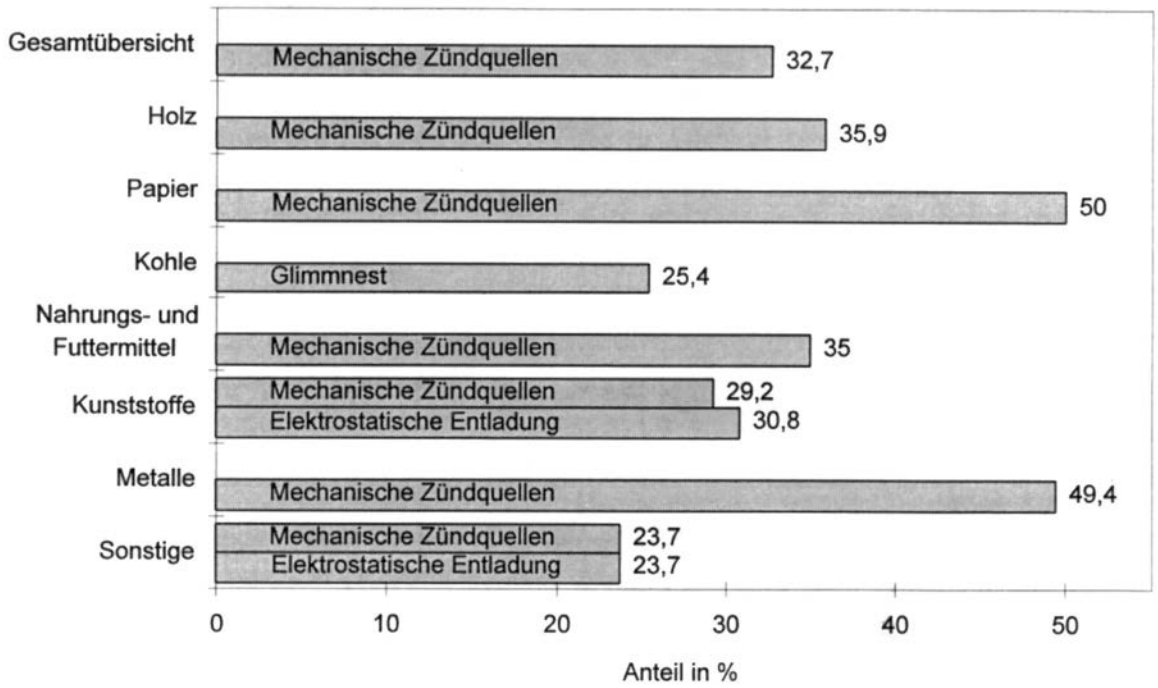


Abb. 6: Verteilung der ermittelten Zündquellen (BIA-Report 11/97)

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.

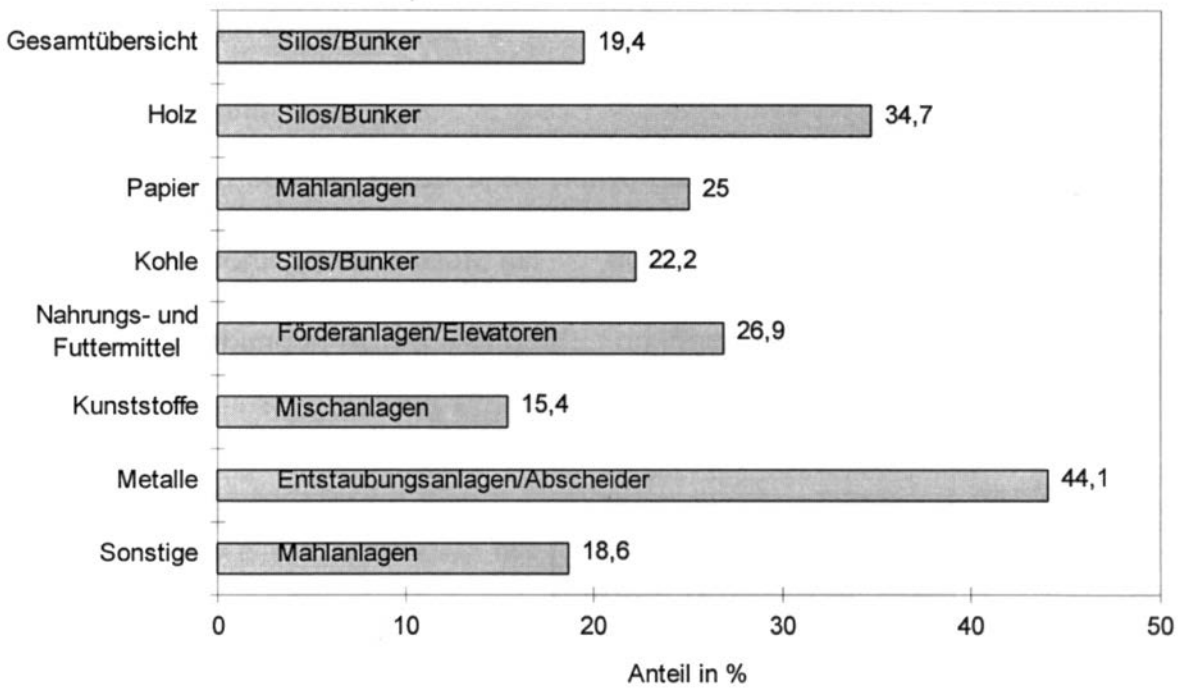


Abb. 7: Betroffene Anlagen nach Staubgruppen (BIA-Report 11/97)

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.

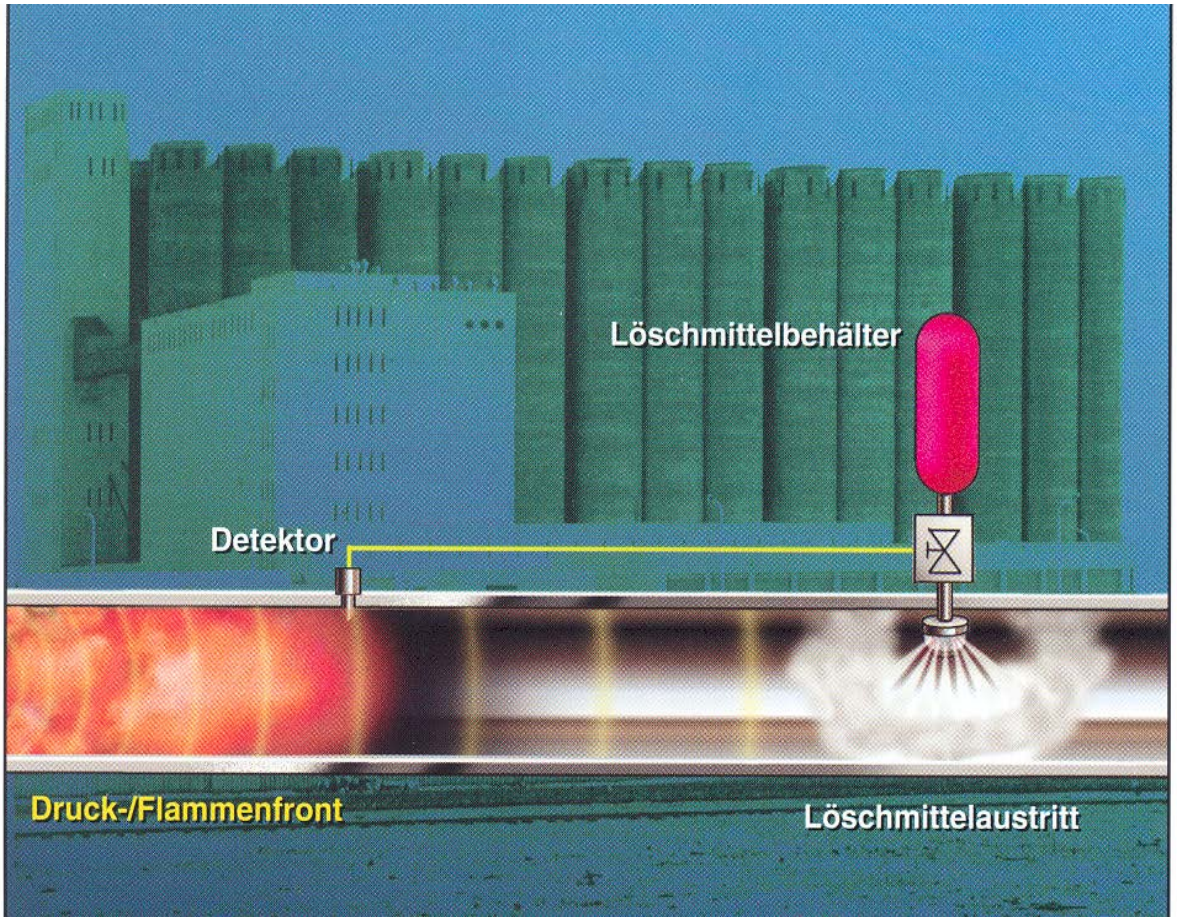


Abb. 8: Löschmittelsperre (automatische Flammensperre) (Quelle: IVSS)

10.5 Druckverlauf beim Einsatz der Explosionsunterdrückung

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

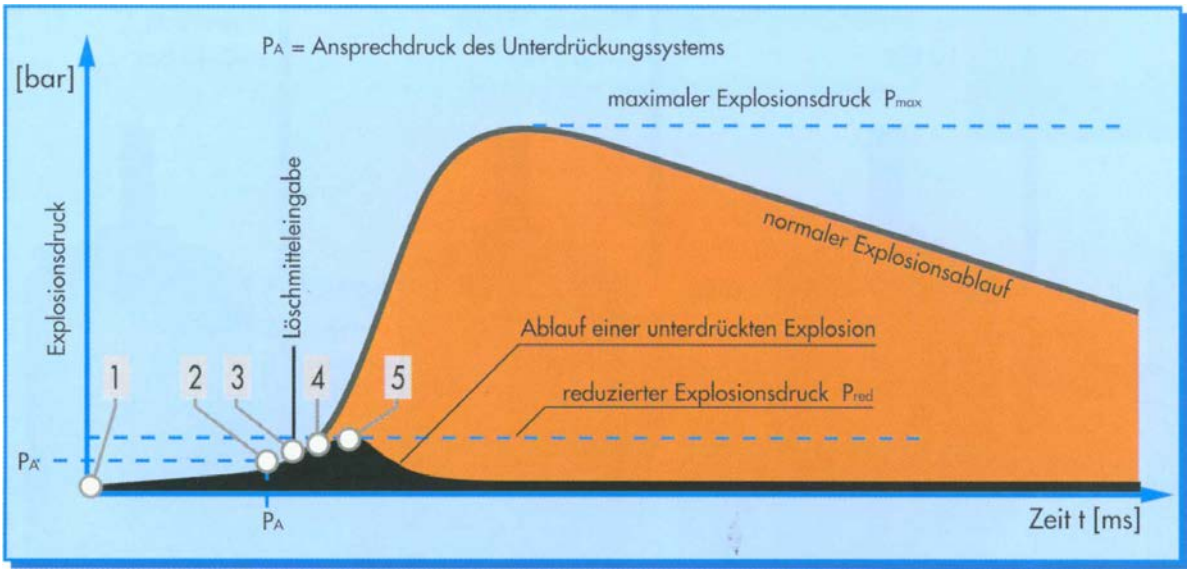


Abb. 9: Druckverlauf bei Einsatz einer Explosionsunterdrückung

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 ≈ 35 ms

3. Die Unterdrückung beginnt durch Zugabe des Löschmittels bei
   p = 0,16 bar, t ≈ 40 ms

4. Die Explosion ist unterdrückt bei
   p_{red} = 0,40 bar (reduzierter Explosionsdruck), t ≈ 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.

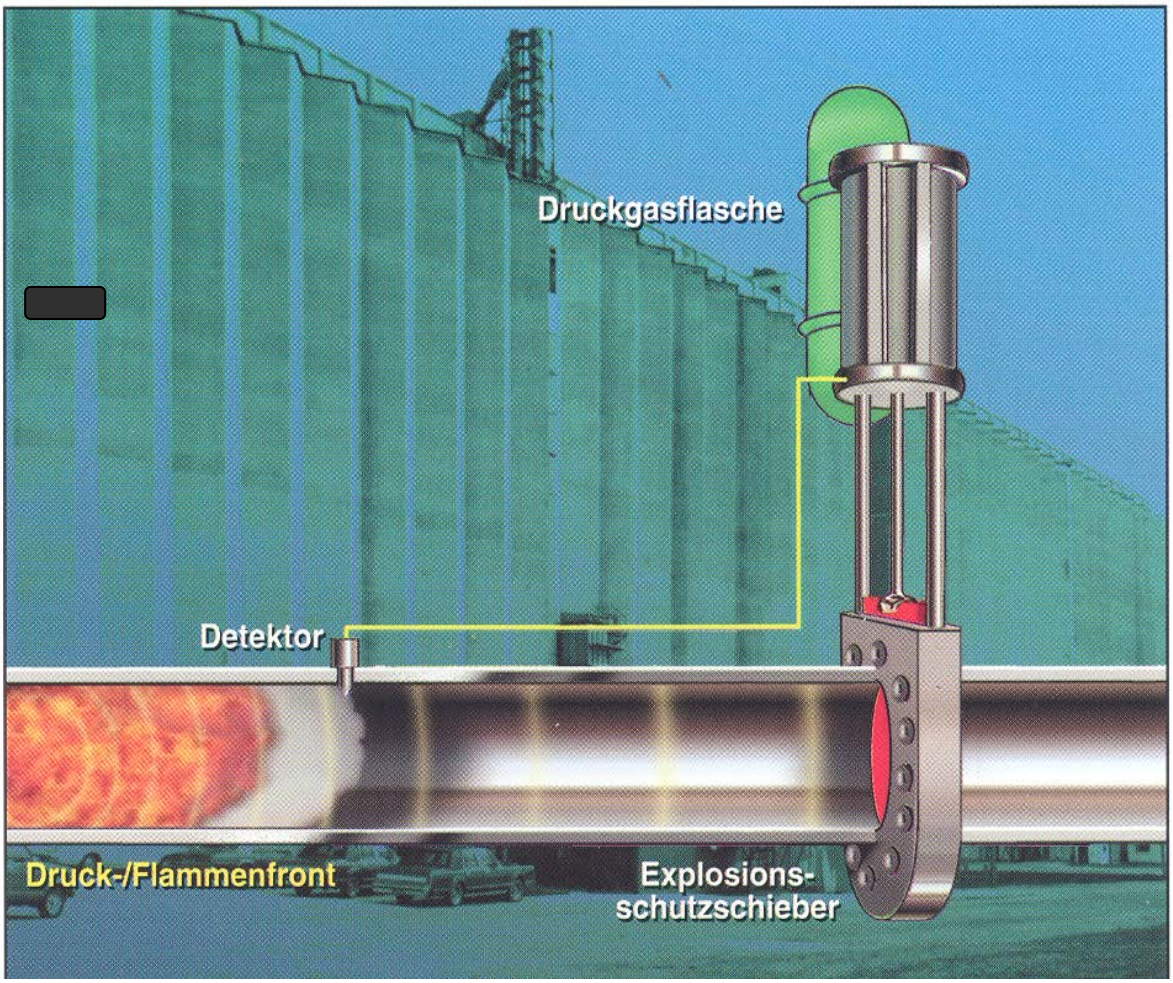


Abb. 10: Schnellschlussschieber (Quelle: IVSS)

10.7 Zellenradschleuse zur Explosionsentkopplung

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

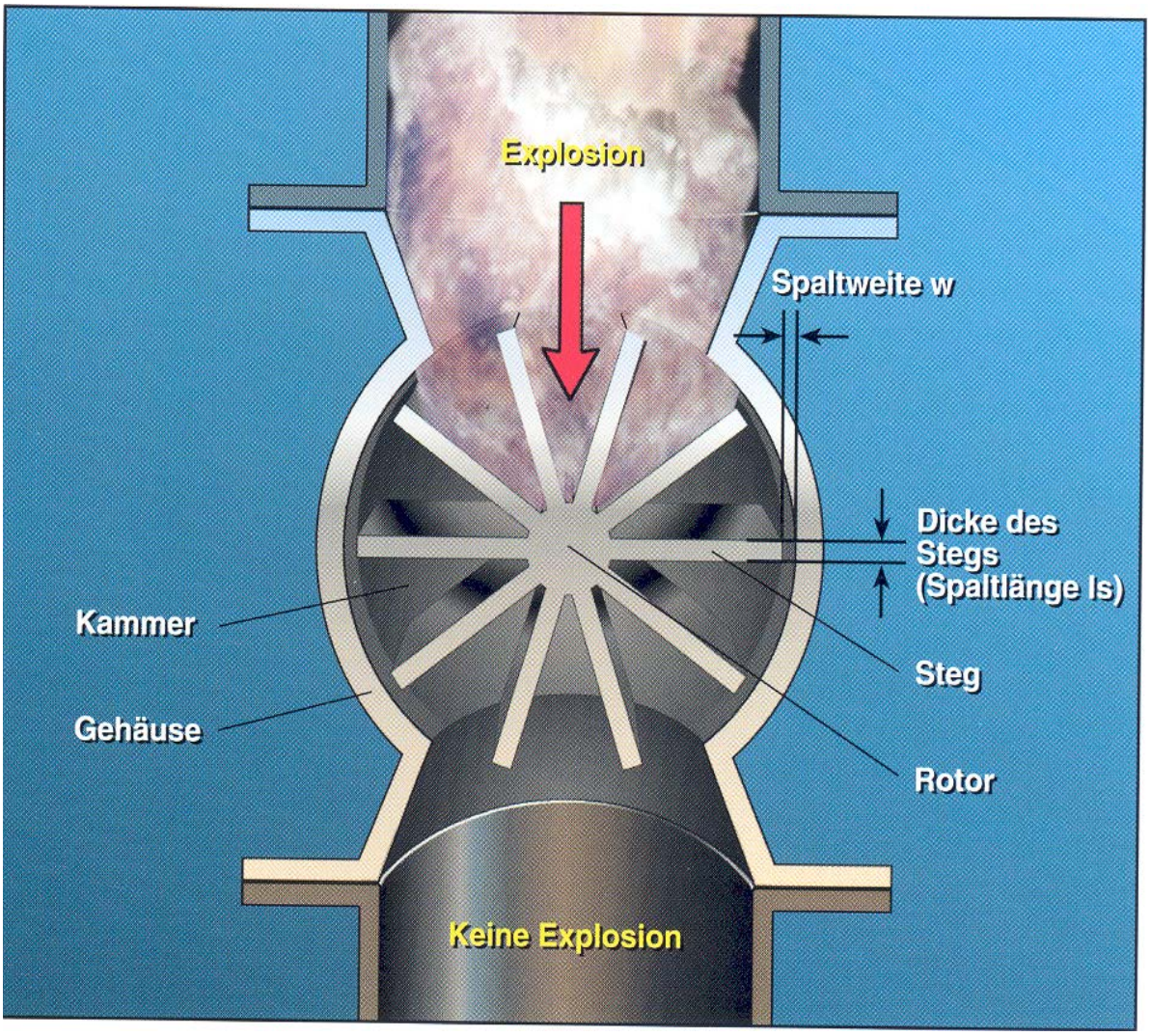


Abb. 11: Prinzip einer Zellenradschleuse (Quelle: IVSS)

10.8 Entlastungsschlot zur Explosionsentkopplung

Die folgende Abbildung zeigt einen Entlastungsschlot.

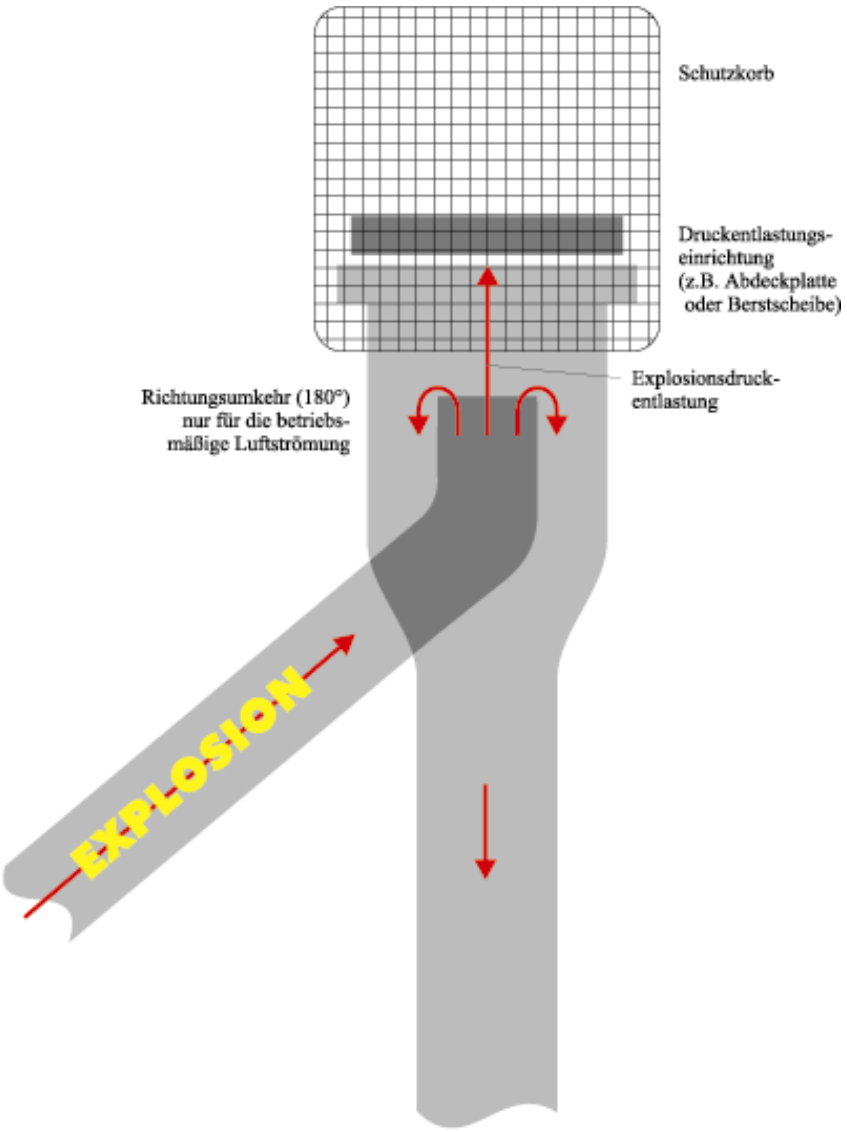


Abb. 12: Prinzip eines Entlastungsschlotes in einer Sammelleitung

10.9 Explosionsdruckfeste und explosionsdruckstoßfeste Konstruktion

Die folgende Abbildung zeigt den Unterschied zwischen den beiden Konstruktionsformen.

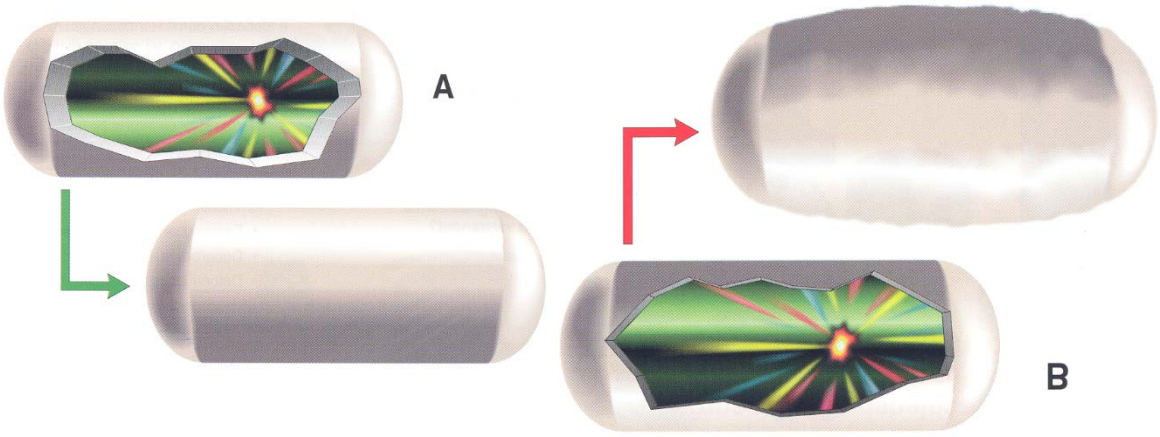


Abb. 13: Druckfeste und druckstoßfeste Bauform eines Behälters (Quelle: IVSS)

10.10 Erlaubnisschein für Arbeiten in explosionsgefährdeten Bereichen

Erlaubnisschein zur Durchführung von Instandsetzungsarbeiten in Ex-Bereichen

☐ Staubbereiche (Zucker-, Pellet-, Kohlenstaub) ☐ Gasbereich (Biol. Kläranlage, Flüssiggas) ☐ Flüssigkeiten

Zone Stäube ☐ 22 ☐ 21 ☐ 20 Zone Gase, Nebel, Dämpfe ☐ 2 ☐ 1 ☐ 0

Die Beurteilung der Gefährdungen/ aufgeführten Sicherheitsmaßnahmen ist gemäß den Vorschriften durchzuführen.

Firma (genaue Firmenbez.)		Anzahl Ausführende	
wird am (für 24 Std.):	> Eine Verlängerung ist bei gleichen Bedingungen möglich (s.Verlängerung)		
die befristete Erlaubnis erteilt, an der Arbeitsstelle			
folgende Instandsetzungsarbeiten durchzuführen			
Leit. Ausführender der Fremdfirma		Telefon:	
Aufsichtsführender P&L:		Telefon:	

Verlängerung der Erlaubnis bis max. 1 Woche durch tägliche Kontrollen (gleiche Bedingungen wie am Tag 1)

Datum, Unterschr. P&L Tag 2 | Datum, Unterschr. P&L Tag 3 | Datum, Unterschr. P&L Tag 4 | Datum, Unterschr. P&L Tag 5

Durchzuführende Maßnahmen vor Beginn der Instandsetzungsarbeiten:

☐ Sicherheitsunterweisung
☐ Anlage/-teil außer Betrieb nehmen
☐ Rohrleitungen abtrennen/abschotten
☐ Bewegliche Apparate sichern
☐ Freischalten mit Erlaubnisschein E-107
☐ Umkleidungen/Isolierungen entfernen

Entfernung sämtlicher gefährlichen Stoffe wie:
☐ **1.** Staubablagerungen: Durch absaugen im Umkreis von..... ____ m, wenn erforderlich auch in benachbarten Räumen
☐ **2.** Gase: Durch inertisieren, verdrängen, absaugen, be-, und entlüften
☐ **3.** Flüssigkeiten: Durch spülen, neutralisieren
☐ Abdichten von Öffnungen, Fugen und sonstigen Durchlässen mit nicht brennbaren Materialien.
☐ Abdecken feuergefährdeter Gegenstände wie Kabeltrassen, -bahnen, Paletten- und Papierstapel, Kunststoffteile usw.....

☐ Bereitstellen: ☐ Wasserschlauch/-Eimer ☐ Feuerlöscher ☐ Pulver ☐ Schaum ☐ CO 2
☐ Eine Brandwache gem. § 22 DGUV Vorschrift 1 ☐ während der Arbeit ☐ nach der Arbeit
☐ Abschaltung v. Brandmeldelinien im Betriebsbuch o. mit Anhang 001

Freimessung erforderlich: ☐ nein ☐ ja Die Freimessung wurde durchgeführt von:
am: _____ Uhrzeit: _____ Messgerät: _____ Unterschrift d. bef. Person gem. DGUV
Atemschutz erforderlich: ☐ nein ☐ ja, Art: _____
Messergebnisse: _____

☐ Weitere Maßnahmen: _____

Durchzuführende Maßnahmen während der Instandsetzungsarbeiten:

☐ ständige Kontrolle
☐ Schutzkleidung/-mittel tragen/benutzen
☐ folgende Werkzeuge/Hilfsmittel benutzen:
☐ Sicherheits-/ Rettungsgurt tragen
☐ explosionsgeschütztes Werkzeug, Arbeits- und Betriebsmittel benutzen
☐ Gaswarngeräte benutzen
☐ Weitere Maßnahmen: _____

Alarmierung:	umgehend Aufsichtsführenden informieren		
Standort des nächsten...	Feuermelders:	Telefons:	Feuerwehrnotruf:

Durchzuführende Maßnahmen nach Abschluss von Feuerarbeiten:

Die Feuerarbeiten sind n. Abschluss alle ____ min zu kontrollieren. Die letzte Kontrolle erfolgt ____ Std. nach Abschluss.

Name der Brandwache | Unterschrift der Brandwache

Bestätigung der/ des Ausführenden, dass die Maßnahmen eingehalten/ durchgeführt werden

Unterschrift/en:

Bestätigung und Kontrolle

Der Ausführende bestätigt mit seiner Unterschrift, dass die Instandsetzungsarbeiten abgeschlossen sind und das der ordnungsgemäße sicherheitstechnische Zustand wieder hergestellt wurde — Unterschrift des Ausführenden

Der ordnungsgemäße sicherheitstechnische Zustand wurde kontrolliert von:
☐ Aufsichtführender ☐ befähigte Person ☐ externer Experte — Name des Kontrolleurs — Datum d. Kontrolle

Mit den Unterschriften wird der ordnungsgemäße sicherheitstechnische Zustand bestätigt und die **Freigabe** für den Betrieb erteilt. — Unterschrift d. Kontrolleurs — Unters. d. Aufsichtführenden (P&L)

Daten nur zum Nachweis
Aufbewahrungszeit: 2 Jahre

Abb. 14 (Quelle: Pfeifer & Langen GmbH & Co. KG, Köln)

10.11 Muster-Gliederung Explosionsschutzdokument

Allgemeine Angaben

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

Verantwortlichkeiten

- Für den Explosionsschutz verantwortliche Person (z.B. Betriebsleiter, Abteilungsleiter, Geschäftsführer…)
- Regelungen zu weiteren Verantwortlichen als Verweis (zur Prüfung befähigte Personen, Führungskräfte…)

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

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 (Art und Umfang der Prüfung, Prüfperson, Festlegung der Prüfintervalle)

Anhänge

Verweis auf Ablageorte der Dokumente:

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

10.12 Zusammenfassendes Explosionsschutzdokument

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

Einzeldokumentation	**Vorlagedokumente**	**Ablageort**
❑ Ex-Bereiche - Zoneneinteilung	Aggregateliste, Aufstellungsplan	Laufwerk
❑ Gefährdungsbeurteilung, einschließlich Checklisten zur Zündquellenbetrachtung	Checklisten im Intranet	Laufwerk
❑ Kennzeichnung der Zonen	…	Vor Ort
❑ Freigabeprozeduren für Arbeiten im Ex-Bereich	Formblatt im Intranet, Laufwerk	Leitstand
❑ Unterweisung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter	PPT im Intranet, Laufwerk,	Personalabteilung / Meisterbereiche / Sekretariat
❑ Berücksichtigung der Ex-Schutzmaßnahmen in den relevanten Betriebsanweisungen		
❑ Dokumentation der Prüfungen im Ex-Schutzbereich	Checklisten im Intranet	SAP
❑ Stoffdaten (Gefahrstoffkataster)	…	SAP
❑ Zuständigkeiten/Verantwortlichkeiten	…	Intranet

Freigegeben: Ort, Datum Unterschrift der Werk-/Betriebsleitung

Abb. 15: Zusammenfassendes Explosionsschutzdokumemt

11 Anhang (Zuckerstaub)

11.1 Brenn- und Explosionskenngrößen 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, kann mit Hilfe von Brenn- und Explosionskenngrößen beurteilt werden., Diese sicherheitstechnischen Kenngrößen hängen u. a. von der Feinheit (Medianwert) des Staubes ab. 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).

In der GESTIS-Staub-Ex-Datenbank (www.dguv.de, webcode d6253) sind die sicherheitstechnischen Kennzahlen von mehreren Zuckerstaubproben hinterlegt. Diese können für eine erste orientierende Beurteilung herangezogen werden.

Bei brennbaren Stäuben mit einer Korngröße < 0,5 mm ist grundsätzlich Staubexplosionsfähigkeit anzunehmen. Bei Korngrößen > 0,5 mm ist nicht mehr mit gefährlichen Staubexplosionen zu rechnen.

Für Zucker zeigt sich, dass die meisten untersuchten Proben mit einem Median >400 µm als nicht explosionsfähig eingestuft werden können (Gestis-Staub-Ex-Datenbank).

Im Rahmen einer Untersuchungsreihe (Literatur: Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 74 (2014) Nr.7/8, S.281ff) wurden an Zucker-Luft-Gemischen Zündversuche durchgeführt. Die Zuckerproben bestanden aus einem Feinstaubanteil (Partikel <20 µm) und einer groben nicht-explosionsfähigen Fraktion (250-500 µm Partikelgröße) in verschiedenen Zusammensetzungen. Die Zuckergemische wurden so hergestellt, dass die Fraktion <20 µm im Zucker-Luft-Gemisch immer in einer Konzentration von 110 g/m³ vorlag, bei welcher alle zehn vorangegangen Zündversuche an der reinen Feinstaubfraktion erfolgreich waren. Die Ergebnisse zeigen, dass geringe Feinstaubanteile (> 4 Gew.%) in einem Gemisch mit grobem nicht explosionsfähigen Staub ein explosionsfähiges Zucker-Luft-Gemisch bilden können. Insbesondere bei stark abrasiven Prozessen, z.B. Mahlen, Transport und Trocknung kann die Bildung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre nicht ausgeschlossen werden.

Zuckerproben mit hohen Feinstaubanteilen (kleine Medianwerte) sind in der Regel immer explosionsfähig (Staubexplosionsklasse 1) und können Mindestzündenergien von <5 mJ aufweisen. Mit zunehmenden Medianwerten (gröbere Partikel) der Zuckerstaubproben nimmt die Zündwilligkeit ab (abnehmende Mindestzündenergie), die untere Explosionsgrenze (UEG) nimmt zu und die Heftigkeit der Explosion ab (abnehmende maximale Explosionsdrücke (p_{max}) und K_{st}-Werte).

Die genannten Trends spiegeln sich in der Auswahl der dargestellten Werte für die Mindestzündenergie in Abb. 16 und für die Kenngrößen UEG, maximaler Explosionsdruck sowie K_{st}-Werte in Abb.17. wider. Da es neben der Korngrößenverteilung auch weitere Parameter gibt, welche die Brand- und Explosionseigenschaften beeinflussen, müssen in der Praxis die sicherheitstechnischen Kenngrößen von Zucker im Einzelfall bestimmt werden.

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 > 1000
275	10^5 < MZE < 10^6	
300	MZE > 10^6	

Abb. 16: Ausgewählte Mindestzündenergie-Werte von Zuckerstaub bei unterschiedlicher Korngrößenverteilung

Medianwert (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. 17: Ausgewählte Werte der unteren Explosionsgrenze (UEG), des maximalen Explosionsdrucks (p_{max}) und des K_{St}-Wertes von Zuckerstaub bei unterschiedlicher Korngrößenverteilung

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-Staub-Ex-Datenbank entnommen werden. (siehe Kap. 13.8).

Sind für eine Beurteilung der Explosionsgefahr eines tatsächlich gehandhabten Zuckerstaubes keine konkreten Kenndaten bekannt, so sind die Werte der Abb. 18 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)	: 310 °C (BAM – Ofen)
Mindestzündtemperatur der 5-mm Staubschicht	: 380 °C
(Glimmtemperatur)	
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. 18: Kritischste Brenn- und Explosionskenngrößen von Zuckerstaub

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.

Zoneneinteilung für die durch Zuckerstaub explosionsgefährdeten Anlagen und Betriebsbereiche der Zuckerindustrie	Zone
Anlagen	
mit explosionsfähigen Kristallzucker [61]	
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.) Pfropfenförderung	-
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

[61] Von einer Explosionsfähigkeit des Zuckers kann ausgegangen werden, wenn der Medianwert ≤ 380 µm beträgt oder der Feinstaubanteil in der Probe > 4% beträgt. Die Anreicherung von Feinstauban-teilen in Anlagenteilen kann zu einer deutlich herabgesetzten UEG des lokalen Zuckergemisches und somit zu einer niedrigeren (schärfere) Zone führen.

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

	Zuckerrübenpellets (Loseverladung) (5562)			Zuckerrübenschnitzel (236)			Zuckerrübenschnitzel (7285)		
Korngröße <500 µm [Gew.-%]	91						79		
Korngröße <250 µm [Gew.-%]	87	100			100		50	100	
Korngröße <125 µm [Gew.-%]	78						28		
Korngröße <71 µm [Gew.-%]				89					
Korngröße <63 µm [Gew.-%]	56		100			100	14		100
Korngröße <32 µm [Gew.-%]	34		60	58			7		78
Korngröße <20 µm [Gew.-%]			29	35					46
Median-Wert [µm]	50	<50	27	27	<27	<27	250	<250	22
Feuchte [Gew.-%]	12	3,7	3,7				3,6	0,9	0,9
untere Ex-Grenze [g/m3]	125		125			100			125
max. Ex-Überdruck [bar]	4,5		8,4	9,4					7,5
KSt-Wert [bar m/s]	16		87	165					75
Ex-Fähigkeit	St 1		St 1	St 1		St 1			St 1
Mindestzündenergie [mJ]	$>10^6$		>1000						>1000
Zündtemperatur BAM [°C]			400	460					400
Glimmtemperatur [°C]		270		290					
Brennbarkeit BZ		4			4			4	

<u>Anmerkungen:</u>

Bei diesen Angaben handelt es sich um Beispielwerte aus der IFA GESTIS-STAUB-EX-Datenbank, die im konkreten Einzelfall durch Messungen bestätigt werden müssen. Die Begriffsbestimmungen sind dem Anhang 10.1 zu entnehmen. Die in dieser Tabelle angegebenen Kenngrößen beziehen sich jeweils ausschließlich auf die in der selben Spalte angegebenen Korngrößenverteilungen der jeweiligen Probe.

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.

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

DGUV Vorschrift 1
Grundsätze der Prävention

DGUV Regel 100-001
Grundsätze der Prävention

DGUV Regel 113-001
Sammlung technischer Regeln für das Vermeiden der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung zur Einteilung explosionsgefährdeter Bereiche in Zonen; Explosionsschutz-Regeln (EX-RL)

DGUV Regel 109-001
Schleifen, Bürsten und Polieren von Aluminium
Vermeiden von Staubbränden und Staubexplosionen Vermeidung der

DGUV Regel 109-002
Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen

DGUV Information 213-106
Explosionsschutzdokument

DGUV Information 213-053
Merkblatt T002 Schlauchleitungen Sicherer Einsatz

BIA-Report 12/97
Brenn- und Explosionskenngrößen von Stäuben
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit
Dezember 1997
Für neuere Angaben siehe GESTIS-Staub-Ex-Datenbank des IFA.

13.2 Europäische Richtlinien[62]

RL 2014/34/EU
Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen

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.

[62] (Bezugsquellen siehe Kap.14)

13.3 Gesetze[63]

Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit
Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)

Gesetz über die Bereitstellung von Produkten auf dem Markt
Produktsicherheitsgesetz (ProdSG)

Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen
Chemikaliengesetz (ChemG)

13.4 Verordnungen[64]

Verordnung über das Inverkehrbringen von Geräten und Schutzsystemen für explosionsgefährdete Bereiche
(Explosionsschutzprodukteverordnung – 11. ProdSV)
Dezember 1996 und bis zur Veröffentlichung des Leitfadens erfolgte Änderungen

Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln.
(Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV)
Februar 2015 und bis zur Veröffentlichung des Leitfadens erfolgte Änderungen

Verordnung über Arbeitsstätten
(Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV)
August 2004 und bis zur Veröffentlichung des Leitfadens erfolgte Änderungen

Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen
(Gefahrstoffverordnung – GefStoffV)
November 2010 und bis zur Veröffentlichung des Leitfadens erfolgte Änderungen

13.5 Technische Regeln[65]

Begriffsglossar zu den Regelwerken der Betriebssicherheitsverordnung und der Gefahrstoffverordnung

TRBS 1111 – Technische Regeln für Betriebssicherheit
Gefährdungsbeurteilung und sicherheitstechnische Bewertung

[63] (Bezugsquellen siehe Kap.14)
[64] (Bezugsquellen siehe Kap.14)
[65] (Bezugsquellen siehe Kap.14)

TRBS 1112 Teil1 – Technische Regeln für Betriebssicherheit
Explosionsgefährdungen bei und durch Instandhaltungsmaßnahmen –
Beurteilung und Schutzmaßnahmen

TRBS 1201 – Technische Regeln für Betriebssicherheit
Prüfung von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen

TRBS 1201 Teil 1 – Technische Regeln für Betriebssicherheit
Prüfung von Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen und Überprüfung von Arbeitsplätzen in explosionsgefährdeten Bereichen

TRBS 1201 Teil 3 – Technische Regeln für Betriebssicherheit
Instandsetzung an Geräten, Schutzsystemen, Sicherheits-, Kontroll- und Regelvorrichtungen im Sinne der RL/2014/34/EU

TRBS 1203 – Technische Regeln für Betriebssicherheit
Befähigte Personen

TRGS 720 - Technische Regeln für Gefahrstoffe
Gefährliche explosionsfähige Gemische –
Allgemeines
(ehemals TRBS 2152)

TRGS 721 - Technische Regeln für Gefahrstoffe
Gefährliche explosionsfähige Gemische –
Beurteilung der Explosionsgefährdung
(ehemals TRBS 2152 Teil 1)

TRGS 722 - Technische Regeln für Gefahrstoffe
Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Gemische
(ehemals TRBS 2152 Teil 2)

TRGS 723 – Technische Regeln für Gefahrstoffe
Gefährliche explosionsfähige Gemische - Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Gemische
(ehemals TRBS 2152 Teil 3)

TRGS 724 – Technische Regeln für Gefahrstoffe
Gefährliche explosionsfähige Gemische - Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes, welche die Auswirkung einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken
(ehemals TRBS 2152 Teil 4)

TRGS 725 - Technische Regeln für Gefahrstoffe
Gefährliche, explosionsfähige Atmosphäre - Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen im Rahmen von Explosionsschutzmaßnahmen

TRGS 727 - Technische Regeln für Gefahrstoffe
Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen
(ehemals TRBS 2153)

ASR A1.3 Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung

ASR A2.2 Maßnahmen gegen Brände

13.6 Normen[66]

DIN EN 1127-1
Explosionsfähige Atmosphären
Explosionsschutz
Teil 1: Grundlagen und Methodik

DIN EN 60079-14 / DIN VDE 0165 Teil 1
Explosionsgefährdete Bereiche
Projektierung, Auswahl und Errichtung elektrischer Anlagen

13.7 Sonstige Schriften[67]

VDI 2263
Staubbrände und Staubexplosionen
Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen
Mai 2018

VDI 2263 Blatt 1
Staubbrände und Staubexplosionen
Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen
Untersuchungsmethoden zur Ermittlung von sicherheitstechnischen Kenngrößen von Stäuben
Mai 1990

VDI 2263 Blatt 2
Staubbrände und Staubexplosionen
Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen
Inertisierung
Mai 1992

VDI 2263 Blatt 3
Staubbrände und Staubexplosionen
Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen
Explosionsdruckstoßfeste Behälter und Apparate
Berechnung – Bau – Prüfung
Mai 1990

VDI 2263 Blatt 4
Staubbrände und Staubexplosionen
Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen
Unterdrückung von Staubexplosionen
April 1992

VDI 2263 Blatt 5
Staubbrände und Staubexplosionen
Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen
Explosionsschutz bei Wirbelschichtanlagen
März 2014

[66] (Bezugsquellen siehe Kap.14)
[67] (Bezugsquellen siehe Kap.14)

VDI 2263 Blatt 5.1
Staubbrände und Staubexplosionen
Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen
Explosionsschutz bei Wirbelschichtanlagen; Hinweise und Ausführungsbeispiele für Hersteller und Betreiber
Februar 2014

VDI 2263 Blatt 6
Staubbrände und Staubexplosionen
Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen
Brand- und Explosionsschutz an Entstaubungsanlagen
September 2017

VDI 2263 Blatt 6.1
Staubbrände und Staubexplosionen
Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen
Unterdrückung Brand- und Explosionsschutz an Entstaubungsanlagen; Beispiele
Oktober 2017

VDI 2263 Blatt 8
Staubbrände und Staubexplosionen
Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen
Brand- und Explosionsschutz an Elevatoren
Dezember 2008

VDI 2263 Blatt 8.1
Staubbrände und Staubexplosionen
Gefahren – Beurteilung – Schutzmaßnahmen
Brand- und Explosionsschutz an Elevatoren – Beispiele
März 2011

VDI 3673 Blatt 1
Druckentlastung von Staubexplosionen
November 2002

VDE Normenreihen (Auszug)

VDE 0100
Errichten von Niederspannungsanlagen

VDE 0105
Betrieb von elektrischen Anlagen

VDE 0165 und VDE 0170
Explosionsgefährdete Bereiche

EmpfBS 1114 - Empfehlungen zur Betriebssicherheit
Anpassung an den Stand der Technik bei der Verwendung von Arbeitsmitteln

IVSS-Broschüre
Beispielsammlung zur Broschüre „Staubexplosionsschutz an Maschinen und Apparaten” Teil 2

13.8 Datenbanken und andere Informationsquellen im Internet

GESTIS-Stoffdatenbank
www.dguv.de/ifa/de/gestis/stoffdb/index.jsp

GESTIS-Staub-Ex-Datenbank
Datenbank Brenn- und Explosionskenngrößen von Stäuben
www.dguv.de/ifa/de/gestis/expl/index.jsp

Explosionsschutzportal der BG RCI
www.bgrci.de/exinfode/start/

Gefahrstoffinformationssystem der BG RCI
www.gischem.de

Bundesumweltamt – REACH-Info
www.reach-info.de

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
www.ptb.de

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAUA)
Technische Regeln für Betriebssicherheit
www.baua.de/

VdS Schadenverhütung GmbH
(ehemals: Verband der deutschen Sachversicherer)
„Schadensverhütungsrichtlinien“
www.vds.de

13.9 Weitere für die Erarbeitung des Kataloges verwendete Quellen

Dyrba, B
Kompendium Explosionsschutz
Band 1 Fragen und Antworten
Band 2 Rechtsvorschriften
Grundwerk (03/2015) mit Ergänzungslieferungen
Carl Heymanns Verlag KG

Wirkner-Bott, I., Schumann, St., Stock, M.
Flammen- und Druckwirkung bei Explosionsdruckentlastung
VDI-Fachtagung “Sichere Handhabung brennbarer Stäube”
Nürnberg 1992

Siwek, R.
Explosionsdruckentlastung - Novellierung der Richtlinie VDI 3673
VDI-Fachtagung “Sichere Handhabung brennbarer Stäube”
Nürnberg 1992

Bartknecht, W., Vogl, A.
Flammenlose Druckentlastung von Staubexplosionen
Staub - Reinhaltung der Luft
54 (1994), S. 119 – 123

Ritter, K.
Vermeidung wirksamer Zündquellen
VDI-Fachtagung “Sichere Handhabung brennbarer Stäube”
Würzburg, 25./26.05.1994

Siwek, R.
Explosionsfeste Bauweise
VDI-Fachtagung “Sichere Handhabung brennbarer Stäube”
Würzburg, 25./26.05.1994

Siwek, R.
Explosionsdruckentlastung
VDI-Fachtagung “Sichere Handhabung brennbarer Stäube”
Würzburg, 25./26.05.1994

Scholl, E.-W.
Explosionsfeste Bauweise für den reduzierten Explosionsdruck in Verbindung mit Explosionsunterdrückung
VDI-Fachtagung “Sichere Handhabung brennbarer Stäube”
Würzburg, 25./26.05.1994

Wiemann, W.
Explosionstechnische Entkopplung
VDI-Fachtagung “Sichere Handhabung brennbarer Stäube”
Würzburg, 25./26.05.1994

Radandt, S.
Explosionsdruckentlastung von Silos
VDI-Fachtagung “Sichere Handhabung brennbarer Stäube”
Würzburg, 25./26.05.1994

Glor, M.; Lüttgens, G.
Elektrostatische Zündgefahren beim Einsatz aufladbarer Packmittel für Feststoffe
VDI-Fachtagung “Sichere Handhabung brennbarer Stäube”
VDI-Berichte 701

Wittler, M
Kriterien zur Weiterverwendung älterer elektrischer Arbeitsmittel gemäß Betriebssicherheitsverordnung
VDI-Fachtagung „Sichere Handhabung brennbarer Stäube“
Nürnberg, 01 – 03.03.2005

Siwek, R.; Beck, H.
Explosionsschutz bei Wirbelschichtanlagen und Filteranlagen
VDI-Richtlinien 2263
VDI-Fachtagung “Sichere Handhabung brennbarer Stäube”
Nürnberg, 01 – 03.03.2005

Wittler, M
Reichen Gehäuseschutzarten wie IP 65 und 54 für den Einsatz in staubexplosionsgefährdeten Bereichen?
VDI-Fachtagung „Sichere Handhabung brennbarer Stäube“
Nürnberg, 11 – 13.03.2008

Hesener, U.; Hübner, J.
Prüfungen nach Betriebssicherheitsverordnung
VDI-Fachtagung „Sichere Handhabung brennbarer Stäube“
Nürnberg, 11 – 13.03.2008

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