

8 Brand- und Explosionsschutz

Holzpellets sind alternative Energieträger, die in gleichbleibender Qualität herzustellen und leicht zu transportieren sind. Sie können sowohl im privaten als auch im industriellen Bereich durch Verbrennung in andere Energieformen umgewandelt werden. Die Pellets werden aus Spänen mit nicht zu vernachlässigendem Feinanteil und organischen Bindemitteln hergestellt.

Unter geeigneten Umständen kann die in den Pellets enthaltene Energie auch schon während des Produktionsprozesses frei gesetzt werden, was sich in unerwünschten Brand- und Explosionsereignissen äußert. Eine Internet-Recherche mit den Stichworten „Explosion“ „Holzpellets“ liefert ausreichend Beispiele für solche Ereignisse.

Neben Menschenleben sind dadurch auch Sachwerte und die Umwelt gefährdet, so dass bei der Herstellung von Holzpellets Maßnahmen zum Brand- und Explosionsschutz vorzusehen sind.

8.1 Anforderungen des Regelwerkes

In der letzten Dekade des ausklingenden 20. Jahrhunderts ist der Explosionsschutz in Europa und damit in den Mitgliedsstaaten mit zwei grundlegenden Richtlinien neu geregelt worden.

Die Richtlinie 94/9/EG /16/ (in Deutschland in der Explosionsschutzverordnung /11/ umgesetzt) richtet sich vornehmlich an Hersteller von Geräten und Schutzsystemen. Ziel ist das in Verkehr bringen von sicheren Geräten und Komponenten, aus denen letztendlich die Anlagen zusammengesetzt sind. Als grundsätzliche Anforderung sind die Geräte so zu konzipieren, dass Explosionen, die zu einer Gefahr führen können, zu stoppen sind und/oder der Wirkbereich der Explosion auf ein ausreichend sicheres Maß zu begrenzen ist. Der Nachweis, dass die grundlegenden Schutzziele der Richtlinie 94/9/EG /16/ erfüllt werden, ist im

Rahmen einer Gefahrenanalyse zu führen. Der Hersteller bescheinigt anschließend die Übereinstimmung mit den Schutzzielen der Richtlinie.

Um den freien Warenverkehr innerhalb von Europa zu gewährleisten stellen die Anforderungen der Richtlinie 94/9/EG /16/ Maximalanforderungen dar, d.h. kein Mitgliedsland darf weitergehende Anforderungen an Geräte oder Schutzsysteme stellen.

Im Rahmen seiner Fürsorgepflicht seinen Beschäftigten gegenüber muss der Arbeitgeber sichere Arbeitsbedingungen gewähren. Bezüglich der Explosionsgefahren sind diese Anforderungen in der Richtlinie 1999/92/EG /17/ bzw. in der deutschen Umsetzung in der Betriebssicherheitsverordnung /1/ konkretisiert. Der Arbeitgeber hat im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung potentielle Explosionsrisiken zu identifizieren, zu bewerten und die erforderlichen Gegenmaßnahmen vorzusehen. Die Ergebnisse der Gefährdungsbeurteilung sind in einem Explosionsschutzdokument zu beschreiben. Dieses Dokument muss sowohl für neue als auch für bestehende Anlagen vorliegen.

Im Gegensatz zu der Richtlinie 94/9/EG /16/ legt die Richtlinie 1999/92/EG /17/ nur Minimalanforderungen fest, so dass jedes Mitgliedsland weitergehende Anforderungen zum Arbeitsschutz stellen kann. Dies führt dazu, dass der Explosionsschutz, obwohl anders gewollt, in Europa nicht einheitlich geregelt ist.

8.2 Erarbeitung des Schutzkonzeptes

Die bei der Holzpelletproduktion auftretenden Holzstäube und Bindemittel sind aufgrund ihrer organischen Substanz und einer relevanten Korngröße unter 500 µm als explosionsfähig einzustufen. Ziel des dadurch erforderlichen Explosionsschutzkonzeptes ist es, das Explosionsdreieck aus Brennstoff, Luft und Zündquelle zu durchbrechen (Abb. 1).

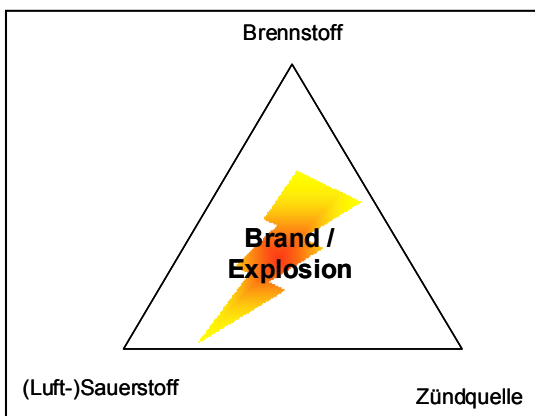


Abb. 8.1: Gefahrendreieck des Explosionsschutzes

Dies ist mit folgenden Prinzipien möglich:

- Primärer Explosionsschutz: Das Auftreten explosionsfähiger Gemische wird ausreichend sicher vermieden. Dies kann z.B. durch Verdrängung von Sauerstoff aus dem System erfolgen, was jedoch bei Holzpelletanlagen aufgrund der großen Durchsätze nicht wirtschaftlich ist.
- Sekundärer Explosionsschutz: Das Auftreten explosionsfähiger Gemische wird zugelassen. Abhängig von der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten solcher Gemische werden Anforderung an die Vermeidung wirksamer Zündquellen gestellt. Hierbei sind die 13 Zündquellen aus der DIN EN 1127-1 /3/ bzw. TRBS 2152-3 /20/ zu diskutieren. Dieses Schutzprinzip kommt bei Holzpelletanlagen überwiegend zur Anwendung, da sich Zündquellen, aufgrund der relativen Zündunwilligkeit der Holz- bzw. Bindemittelstäube in den meisten Fällen vermeiden lassen.
- Tertiärer Explosionsschutz: Das Auftreten explosionsfähiger Gemische und das gleichzeitige Auftreten wirksamer Zündquellen ist zulässig. Eine Explosion findet statt, die Auswirkung sowie die Ausbreitung der Explosion wird jedoch begrenzt. Dieses Schutzprinzip kommt typischerweise für besondere Anlagenteile, z.B. Hammermühlen oder Silozellen zur Anwendung.

Die zuvor genannten Schutzprinzipien sind sowohl singular als auch kombiniert dazu geeignet, die erforderliche Sicherheit zu gewährleisten. Hierbei ist wichtig die Wechselwirkung zwischen dem gewählten Schutzkonzept und dem Betriebsverhalten der Anlage zu beachten. Sicherheitskonzepte, die das Betriebsverhalten nachhaltig stören, werden auf Dauer nicht akzeptiert. Werden technische Maßnahmen nicht entsprechend gewartet, sind sie ohne Wert. Hierdurch wird das Risiko sogar erhöht, da man sich auf eine nur scheinbar vorhandene Sicherheit verlässt. Jedes technische Sicherheitskonzept ist daher durch organisatorische Maßnahmen zu untermauern. Hierunter fallen Wartungsanweisungen, Betriebsanweisungen für das Verhalten in bestimmten Situationen (Rauchverbot, Feuererlaubnis) und Schulungen, in denen die Beschäftigten im Umgang mit den potentiellen Gefahren sensibilisiert und über installierte Gegenmaßnahmen aufgeklärt werden.

Ziel der erforderlichen Sicherheitskonzepte ist nicht ein Null-Risiko zu erreichen, sondern das verbleibende Brand- und Explosionsrisiko auf das gesellschaftlich akzeptierte Restrisiko zu begrenzen.

Dabei werden die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten explosionsfähiger Gemische mit der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten wirksamer Zündquellen in eine Relation gesetzt (Abb. 2).

Anlagen zur Herstellung von Holzpellets lassen sich bezüglich der Brand- und Explosionsgefahren im Allgemeinen in drei Bereiche gruppieren:

- Bereich vor dem Trockner: Hier ist das Material noch feucht und grob, so dass vornehmlich von einer Brandgefahr auszugehen ist. Materialreste, die

sich außerhalb der Anlage ansammeln, können trocknen und so entzündbar sein. Die Explosionsgefahr ist jedoch auch bei abgetrocknetem Material eher vernachlässigbar.

- Bereich Trockner bis zu den Pelletpressen: Hier wird das Material auf ca. 10 % Restfeuchte getrocknet und für die Pressung auf einen Medianwert von ca. 3-4 mm zerkleinert. Daher stehen in diesem Bereich Explosionsgefahren im Vordergrund, je nach spezifischen Randbedingungen sind jedoch auch Brandgefahren (z.B. Ablagerungen auf Kabelpritschen oder Motoren) zu berücksichtigen.
- Bereich nach den Pressen: Hier ist durch den Abrieb oder Bruch von Pellets von einer größeren Korngrößenverteilung auszugehen, so dass die Brand- und Explosionsgefahren gleichwertig zu bewerten sind. Durch Absiebungen, die zu einer Separation und Akkumulation von Feinanteilen führen, kann die Explosionsgefahr jedoch dominieren. Im Pressenbereich dominiert wegen des großen Energieeintrages eher die Brandgefahr.

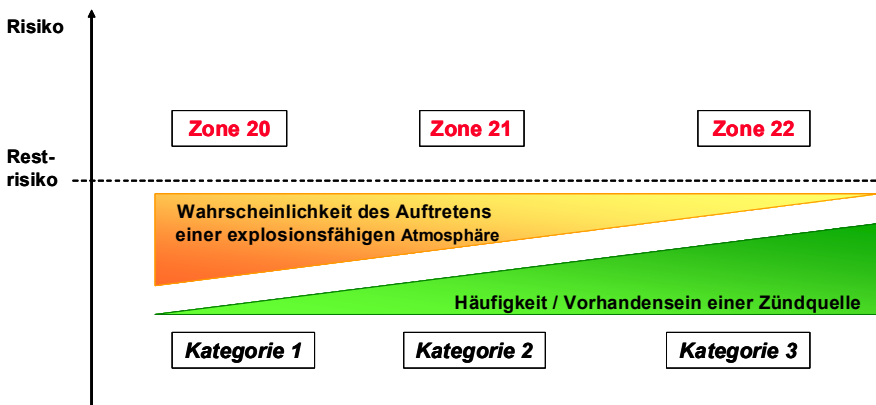


Abb. 8.2: Zusammenhang zwischen Zone und Kategorie

Um geeignete Sicherheitsmaßnahmen zu erarbeiten sind Kenntnisse über die physikalisch-chemischen Stoffeigenschaften der Hölzer und Bindemittel erforderlich. Diese werden in Form von sicherheitstechnischen Kennzahlen (STK) beschrieben. Bei den Kennzahlen handelt es sich nicht um reine Stoffkonstanten, vielmehr besteht bei Stäuben folgende Abhängigkeit von den Prozessparametern:

- Temperatur: Bei höherer Temperatur befindet sich das Gesamtsystem auf einem höheren Energieniveau. Die zur Fortpflanzung bzw. Aufrechterhaltung der Explosion benötigte Energie ist geringer
- Feinheit: Bei höherer Feinheit ergibt sich ein für eine Explosionsfortpflanzung günstigeres Volumen/Oberflächenverhältnis (Abb. 3).
- Feuchtigkeit: Um eine Explosion aufrecht zu erhalten ist bei trockeneren Stoffen weniger Wasserballast zu verdampfen (Abb. 4).

Zudem hängen die Kennzahlen auch von der jeweiligen Messmethode ab. Zur Vergleichbarkeit der Kennzahlen werden sie mit normierten Messmethoden ermittelt. Die Tests zur Bestimmung der Kennzahlen sind dahingehend optimiert, dass die Kennzahlen, die die Entzündungswilligkeit eines Stoffes beschreiben, Minimalwerte annehmen und die Kennzahlen, die die Auswirkungen von Explosionen beschreiben, Maximalwerte annehmen. So wird ein konservativer Kennzahlensatz ermittelt, mit welchen die versuchsbedingten Abweichungen sich nicht negativ auswirken. Aufgrund der o.g. Einflussparameter ist es nur in seltenen Fällen möglich, sicherheitstechnische Kennzahlen aus anderen chemisch-physikalischen Größen geschlossen zu berechnen.

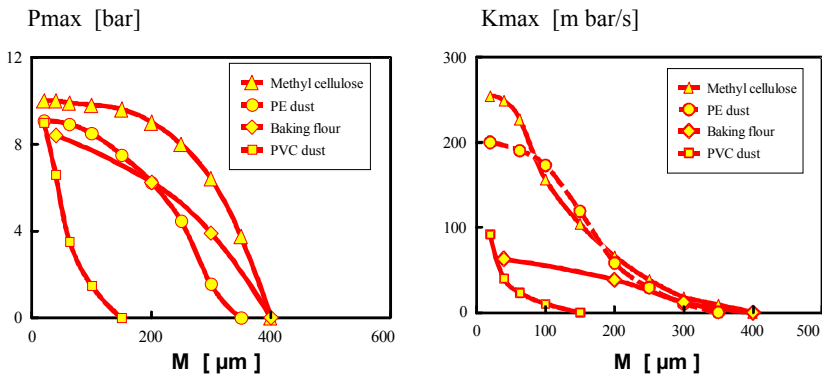


Abb. 8.3: Abhängigkeit der Explosionskenngrößen vom Medianwert /2/

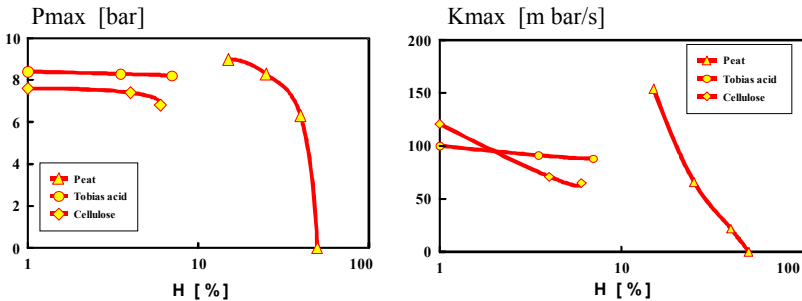


Abb. 8.4: Abhängigkeit der Explosionskenngrößen vom Wassergehalt, Quelle /2/

Neben den Holzrohstoffen (Hackschnitzel, Späne) wird native Stärke mit einer produktüblichen Feuchte zur Bindung der Holzfeinfraktionen eingesetzt. Als Bindemittel wird unter Umständen auch Lignin zugesetzt. Die genaue Konsistenz der Produkte kann Schwankungen unterworfen sein, da es sich um Naturprodukte handelt. Die sicherheitstechnischen Kenngrößen werden daher im Regelfall konservativ aus Literaturwerten abgeschätzt. Aus /13/ können folgende Werte entnommen werden:

Tabelle 8.1: Sicherheitstechnische Kenngrößen der Einsatzstoffe bei der Holzpelletsproduktion

Probe	Holz	Lignin	Native Stärke
Brennzahl	≤ 5	≤ 5	≤ 3
Glimmtemperatur	$> 275\text{ °C}$	k.G.b. 450 °C	k.G.b. 450 °C
Selbstentzündungstemperatur 400 ml	180 °C	k.A.	k.A.
Untere Explosionsgrenze	$> 30\text{ g/m}^3$	$> 15\text{ g/m}^3$	$> 30\text{ g/m}^3$
Obere Explosionsgrenze	$5 - 10\text{ kg/m}^3$	k.A.	k.A.
Mindestzündenergie	$> 10\text{ mJ}$	$> 10\text{ mJ}$	$> 10\text{ mJ}$
Zündtemperatur	$> 300\text{ °C}$	$> 450\text{ °C}$	$> 380\text{ °C}$
Maximaler Explosionsüberdruck	9 bar _ü	8,7 bar _ü	10 bar _ü
Staubkonstante K _{St}	200 barm/s	208 barm/s	156 barm/s
Staubklasse	1	2	1

k.A.: keine Angaben verfügbar

8.3 Auftreten explosionsfähiger Atmosphären – Zoneneinteilung

Aus den sicherheitstechnischen Kennzahlen ergibt sich, dass bei der Produktion von Holzpellets Stoffe eingesetzt werden, die explosionsfähig sind. Somit muss für das Innere und für das äußere der Anlagen bewertet werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit explosionsfähige Atmosphären auftreten.

Dazu werden im relevanten Regelwerk (BetrSichV /1/, DIN EN 1127-1 /3/) folgende Zonen definiert

Tabelle 8.2: Zonendefinition

Zone	explosionsfähige Atmosphäre in Form einer Wolke aus in der Luft enthaltendem brennbaren Staub
20	ist ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden
21	kann sich im Normalbetrieb gelegentlich bilden
22	tritt im Normalbetrieb normalerweise nicht oder aber nur kurzzeitig auf

Die Definitionen können wie folgt interpretiert werden:

- **Zone 20** kennzeichnet Bereiche, in denen explosionsfähige Staub/Luft-Gemische als ständig vorhanden vorausgesetzt werden müssen. Neben Prozessen, bei denen dies tatsächlich ständig der Fall ist, sind hierunter auch Prozesse zu verstehen, bei denen über eine längere Zeitspanne (z.B. während eines mehrstündigen Prozessschrittes) oder in kurzen Abständen regelmäßig wiederkehrend explosionsfähige Staub/Luft-Gemische auftreten

- In der **Zone 21** kann es im Normalbetrieb (einschließlich An- und Abfahren) gelegentlich zu explosionsfähiger Atmosphäre kommen. Dies tritt jedoch in unregelmäßigen Abständen oder mit eingeschränkter Wahrscheinlichkeit auf, so dass nicht zwingend zu jedem Zeitpunkt damit gerechnet werden muss.
- In der **Zone 22** kommt es im Normalbetrieb nicht zu explosionsfähigen Staub/Luft-Gemischen, hier sind nur störungsbedingte Zustände zu betrachten. Treten entsprechende Störungen aber zu häufig auf oder stehen solche Störungen zu lange an (z.B. unerkannte Störung oder mangelhafte Gegenmaßnahme bei einer Störung), so ist eine höherwertige Einstufung erforderlich.
- Schichten, Ablagerungen und Anhäufungen von brennbarem Staub sind wie jede andere Ursache, die zur Bildung einer gefährlichen Atmosphäre führen kann, bei der Zoneneinteilung zu berücksichtigen.

8.3.1 Zoneneinteilung für Aufstellungsbereiche

Aufgrund der Konstruktion der Anlagen durch hinreichende Staubbichtheit der Apparate, gekapselte Fördersysteme, keine Öffnungen im Normalbetrieb, sowie der ausreichenden Dimensionierung der Aspiration werden zusammen mit grundlegenden Reinigungsmaßnahmen Staubablagerungen im Aufstellungsbereich, also außerhalb von Apparaten, üblicherweise reduziert. Damit sind die Einstufungskriterien nach DIN EN 60079-10-2 /10/ für Zone 22 erfüllt.

Auf eine generelle Zoneneinteilung kann dann verzichtet werden, wenn die im Folgenden dargestellten, erhöhten Reinigungsanforderungen umgesetzt werden:

- Es muss eine regelmäßige, schichtweise protokollierte Kontrolle und wenn erforderlich Reinigung gewährleistet sein
- Es dürfen keine Fußspuren auf dem Boden erkennbar sein
- Es dürfen keine geschlossenen Staubdecken vorhanden sein, welche Farbe und Struktur von Apparaten oder Anlagenteilen verdecken

Allerdings ist der Umkreis von 1 m um offene Anlageneinrichtungen herum einer Zone 22 zuzuordnen.

Als Reinigungsgeräte sind explosionsgeschützte mobile oder stationäre Staubsauger einzusetzen. Die Beseitigung von großen Materialanhäufungen, z.B. nach dem manuellen Ausräumen von Pressen, kann mit Besen und Schaufel durchgeführt werden. Das Abblasen mit Druckluft ist grundsätzlich unzulässig. Zum einen werden Staubwolken gebildet, die lokal auch explosionsfähig sein können, zum anderen wird der Staub feinst verteilt und kann z.B. auf Kabelpritschen bei Staubakkumulation zu einer Brandgefahr werden.

Der Betreiber ist verpflichtet durch geeignete organisatorische Maßnahmen (Betriebsanweisung mit regelmäßiger Kontrolle durch Vorgesetzte) für die Aufrechterhaltung der getroffenen Maßnahmen zu sorgen.

In Freianlagen ist die witterungsbedingte Abreinigung zu beachten, sodass hier zunächst von einer zonenfreien Einstufung der Freianlagen auszugehen ist.

Es ergeben sich somit die grundsätzlichen Zonenzuordnungen für die aufgeführten Bereiche in Abhängigkeit der dargestellten Kriterien.

Tabelle 8.3: Zoneneinteilung für Aufstellungsbereiche

Bereich / Kriterium	Zone nach BetrSichV
Innerhalb von Gebäuden	
+ Es werden grundlegende Reinigungsanforderungen realisiert	22
+ Erhöhte Reinigungsanforderungen werden eingehalten	zonenfrei
+ Im Umkreis (1 m) um betriebsmäßig offenbare Anlageneinrichtungen	22
Freianlagen (witterungsbedingte Abreinigung)	zonenfrei

8.3.2 Zoneneinteilung der produktberührten Anlagenbereiche

Bei der Zoneneinteilung für das Innere der Anlagenteile ist die Korngrößenverteilung und die Feuchtigkeit der gehandhabten Hölzer zu berücksichtigen.

- Silo: Zur Vergleichmäßigung der Produktion werden Silos als Zwischenpuffer bzw. Lager eingesetzt. Die resultierende Zone hängt von der Korngröße des eingelagerten Materials ab.
- Trockner: Innerhalb des Trockners nimmt die Feuchtigkeit auf ca. 10 % ab, so dass innerhalb des Trockners mit einer Explosionsgefahr zu rechnen ist.
- Förderwege: Hier ist nach Feinanteil des transportierten Materials und nach Fördergeschwindigkeit zu differenzieren. Ein hoher Feinanteil und eine hohe Fördergeschwindigkeit führt oft zu explosionsfähigen Atmosphären, ein geringer Feinanteil sowie geringe Fördergeschwindigkeiten führen eher selten zu explosionsfähigen Atmosphären.
- Hammermühlen: Die Zoneneinteilung wird durch den Feuchtegehalt des Materials bestimmt. Bei der Vermahlung von Material mit einer Feuchte von mehr als 35 % kann auf eine Zoneneinteilung verzichtet werden, bei einer Vermahlung im Trockenspanbereich ist immer mit dem Auftreten explosionsfähiger Atmosphäre zu rechnen.
- Filter: Die Zoneneinteilung ist von dem zu filternden Material abhängig. Abscheider für Absaugungen von Pelletwegen sind schwächer einzustufen als Abscheider nach einer Trockenvermahlung.

- Pressen: Hier werden die konditionierten Späne zu Pellets verpresst. Der Feinanteil wird durch das Verpressen reduziert.
- Kühler: Hier werden die frischen verpressten Pellets gekühlt. Als Feinanteil ist lediglich Pelletsbruch und Abrieb zu erwarten.

Exemplarisch ergibt sich für die in den vorigen Kapitel dargestellte Musteranlage folgende Zoneneinteilung:

Tabelle 8.4: Exemplarische Zoneneinteilung für Holzpelletanlagen

Apparat	Begründung	Zone
Silo und Pufferbehälter		
Trockene Späne	Wenig Feinanteile	20
Trockene, vermahlene Späne	Hoher Feinanteil	20
Pellets	Geringer Feinanteil, Bruch und Abrieb	22
Bandtrockner	Ruhendes Materialbett, eher Brandgefahr	22
Förderer		
Langsam laufend	Geringer Feinanteil, z.B. Pellets	22
	Mittlerer Feinanteil, z.B. Trockenspäne	21
	Hoher Feinanteil, z.B. Mahlgut	21
Schnell laufend	Geringer Feinanteil, z.B. Pellets	22
	Mittlerer Feinanteil, z.B. Trockenspäne	21
	Hoher Feinanteil, z.B. Mahlgut	20
Hamtermühle		
Nassvermahlung	Aufgrund der Feuchte nur Brandgefahr	k.g.e.A
Trockenvermahlung	Bildung relevanter Feinanteile betriebsmäßig möglich	20
Filter		
Pelletabsaugung	Lediglich Bruch und Abrieb als Feinanteil zu berücksichtigen	21/22
Feingutabsaugung	Feinanteile werden separiert und akkumuliert	20/22
Pressen	Bindung der Feinanteile durch Wasserdampf im Konditionierer, Verpressung des Materials in kompakte Pellets; Abrieb ist zu beachten. Es kommt gelegentlich zur Staubwolkenbildung	21
Kühler	Aufgabe von kompakten Pellets mit geringem Feinstaubanteil; hoher Kühlluftdurchsatz; es ist nur im Ausnahmefall kurzfristig mit einem explosionsfähigen Staub / Luft-Gemisch zu rechnen.	22

k.g.e.A.: keine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre

Die Zoneneinteilung als zentrales Element der Gefährdungsbeurteilung ist immer auf den Einzelfall abzustimmen, wobei branchentypische Leitfäden und technische Regeln und Normen als Erkenntnisquelle heranzuziehen sind.

8.4 Vermeidung von Zündquellen

Seit dem 01.07.2003 dürfen in Europa nur noch Geräte und Schutzsysteme in Verkehr gebracht werden, die den Anforderungen der Richtlinie 94/9/EG /16/ entsprechen.

Mit dieser Richtlinie wird eine Verbindung zwischen dem Auftreten explosionsfähiger Gemische und dem Auftreten wirksamer Zündquellen geschaffen, um das akzeptierte Restrisiko zu unterschreiten.

Im Regelfall ist der Betreiber angehalten, in seinen Anlagen Geräte einzusetzen, die der Richtlinie 94/9/EG /16/ entsprechen. Nach Anhang IV B der BetrSichV /1/ kann ein Betreiber jedoch abweichend davon auch Geräte in Betrieb nehmen, deren Übereinstimmung nicht nach der Richtlinie 94/9/EG /16/ nachgewiesen wurde.

In diesen (Einzel-)fällen ist der Anlagenbetreiber jedoch verpflichtet selbst eine Risikoanalyse durchzuführen und damit sicherzustellen, dass alle erforderlichen Maßnahmen getroffen worden sind, um das Explosionsrisiko unterhalb des akzeptierten Restrisikos zu halten. Er wird dadurch selbst zum Hersteller seiner Anlage.

Die Auswahl geeigneter Geräte erfolgt durch die Verknüpfung zwischen der Zone (Verantwortungsbereich des Betreibers) und der Kategorie (Verantwortungsbereich des Herstellers):

Tabelle 8.5: Zusammenhang zwischen Kategorie und Zone

Kategorie	Sicherheit der Geräte	Sicherheit gewährleistet	Allgemeine Anforderung an Geräte	Einsetzbar in Zone
1	Sehr hoch	Auch bei selten auftretenden Gerätstörungen	Sehr selten auftretende Zündquellen müssen vermieden werden	20 21 22
2	hoch	Auch bei häufig auftretenden Gerätstörungen	selten auftretende Zündquellen müssen vermieden werden	21 22
3	normal	Bei normalem Betrieb	Ständig oder häufig auftretende Zündquellen müssen vermieden werden	22

8.5 Technische Maßnahmen zur Vermeidung wirksamer Zündquellen

Da explosionsfähige Atmosphären in den Anlagen nicht vermieden werden können, sind Maßnahmen zu ergreifen, die Entzündung zu verhindern. Nach den Anforderungen der DIN EN 1127-1 /3/ bzw. TRBS 2152-3 /20/ sind dabei dreizehn mögliche Zündquellen zu betrachten. Diese Zündquellen werden im Folgenden kurz definiert.

1. Elektrische Betriebsmittel

Hier besteht neben der Bildung zündwirksamer heißer Oberflächen durch Überhitzung auch eine Zündgefahr durch elektrische Funken, welche z.B. beim Öffnen und Schließen elektrischer Stromkreise (Licht einschalten) oder durch Wackelkontakte auftreten können.

2. Heiße Oberflächen

Neben trivialen heißen Oberflächen, wie Heizkörper, Trockenschränken oder Heizspiralen, können heiße Oberflächen durch Reibung erzeugt werden. Hierbei wird mechanische Energie in Wärme überführt (z.B. Kupplungen, Bremsen, Wellendurchführungen, Lager). Neben der eigentlichen Zündung einer explosionsfähigen Atmosphäre können auch Staubschichten oder andere brennbare Feststoffe soweit erhitzt werden, dass diese als Zündquelle wirksam werden.

3. Statische Elektrizität

Abhängig vom Prozess und den Materialeigenschaften können elektrostatische Entladungen sowohl bei isolierenden als auch bei isoliert aufgestellten leitfähigen Materialien auftreten. Die Zündwirksamkeit der spezifischen Entladeform (Funkenentladung, Coronaentladung, Büschelentladung, Gleitstielbüschelentladung, Schüttkegelentladung) ist von der Zündwilligkeit des explosionsfähigen Gemisches abhängig.

4. Mechanische Funken

Aus festen Materialien können durch Reib-, Schlag- und Abtragevorgänge Teilchen herausgetrennt werden, welche aufgrund des Energieeintrages beim Trennprozess eine erhöhte Temperatur annehmen können. Diese kann durch Oxidationsprozesse noch weiter erhöht werden (z.B. Eisen). Durch diese Funken können zum einen geeignete Brennstoff-Luft-Gemische gezündet werden, zum anderen können durch diese Funken in abgelagerten Stäuben Glimmnester hervorgerufen werden, die wiederum als Zündquelle wirken.

5. Chemische Reaktion (Selbstentzündung, Zersetzung)

Ist die Wärmeproduktionsrate in einer Staubschüttung größer als die Wärmeverlustrate zur Umgebung, kann eine exotherme Reaktion als wirksame Zündquelle wirken. Neben der Wärmebilanz haben das Volumen/Oberflächenverhältnis des Reaktionssystems, die Umgebungstemperatur sowie die Verweilzeit einen Einfluss auf die Temperatur-

erhöhung und damit auf die Wirksamkeit der Zündquelle. Neben der eigentlichen Temperaturerhöhung sind auch daraus entstehende Glimmnester oder Brände zu berücksichtigen.

6. Offene Flammen und heiße Gase (Rauchen, Schweißen, Schneiden)

Durch Verbrennungsreaktion werden Temperaturen von über 1000°C erreicht. Neben heißen Gasen treten bei Staubflammen und/oder ruhenden Flammen auch glühende Feststoffpartikel auf, die für eine explosionsfähige Atmosphäre zündwirksam sein könnten. Auch beim Schweißen und Schneiden entstehen Funken, die zündwirksam sind.

7. Blitzschlag

Aufgrund der hohen Energiedichte sind Blitze immer als zündwirksam zu betrachten. Des Weiteren können durch die im Bereich der Einschlagstelle fließenden Ströme zündwirksame Funken erzeugt werden.

8. Elektrische Ausgleichsströme

Ausgleichsströme in leitfähigen elektrischen Anlagen können als Rückströme zu Stromerzeugungsanlagen oder infolge von Körper- oder Erdschlüssen bei Fehlern in elektrischen Anlagen oder auch infolge magnetischer Induktion fließen. Werden diese betreffenden Anlageanteile getrennt, verbunden oder gebrückt, kann durch den elektrischen Funken oder den Lichtbogen eine explosionsfähige Atmosphäre gezündet werden.

9. Ultraschall

Bei der Anwendung von Ultraschall absorbiert der beschallte Stoff die Energie und kann sich dabei so stark erwärmen, dass eine Entzündung eintreten kann.

10. Elektromagnetische Wellen (Frequenz: $3 \cdot 10^{11}$ Hz bis $3 \cdot 10^{15}$ Hz)

Strahlung in diesem Spektralbereich kann insbesondere bei Fokussierung zu einer Zündquelle von explosionsfähiger Atmosphäre werden oder auf festen Oberflächen einen Brand auslösen. Insbesondere bei Laserstrahlen kann auch bei großen Entfernungen die Leistungsdichte noch zu einer Zündung ausreichen.

11. Hochfrequente Strahlung (Frequenzen von 10^4 Hz bis 3×10^{12})

Anlagen, die eine solche hochfrequente elektrische Energie abgeben, sind z.B. Funksendemasten oder Hochfrequenzgeneratoren zum Erwärmen, Trocknen oder auch Schweißen. Leitfähige Teile in einem solchen Strahlungsfeld wirken als Empfänger und können unter geeigneten Umständen eine explosionsfähige Atmosphäre zünden.

12. Ionisierende Strahlung

Durch Röntgenröhren oder radioaktive Stoffe erzeugte ionisierende Strahlung kann infolge von Energieabsorption explosionsfähige Atmosphäre entzünden. Aber auch die Strahlungsquelle kann sich soweit aufheizen, dass sie als Zündquelle in Betracht zu ziehen ist.

13. Adiabatische Kompression

Hier können so hohe Temperaturen auftreten, die für explosionsfähige Gemische zündwirksam sind. Stoßwellen bilden sich z.B. beim plötzlichen Entspannen von Hochdruckgasen in Rohrleitungen aus. An Einbauten oder Krümmungen bilden sich dann besonders hohe Temperaturen. Für die gehandhabten Stäube spielt diese Zündquelle eine untergeordnete Rolle.

Für Anlagen zur Herstellung von Holzpellets können die Zündquellen in drei Gruppen differenziert werden:

Triviale Zündquellen

Diese Zündquellen sind durch den Einsatz geeigneter Betriebsmittel bzw. organisatorischer Maßnahmen einfach zu vermeiden:

Tabelle 8.6: Triviale Zündquellen

Zündquelle	Maßnahme
Elektrische Betriebsmittel	Vermeidung durch Auswahl der Geräte gemäß der erforderlichen Kategorie
Offene Flammen und heiße Gase (Rauchen, Schweißen, Schneiden)	Vermeidung durch Heiðarbeitserlaubnis
Blitzschlag	Vermeidung durch Blitzschutzanlage
Elektrische Ausgleichsströme	Vermeidung durch Potentialausgleich
Ultraschall	Vermeidung durch Auswahl der Geräte gemäß der erforderlichen Kategorie
Elektromagnetische Wellen (Frequenz: $3 \cdot 10^{11}$ Hz bis $3 \cdot 10^{15}$ Hz)	
Hochfrequente Strahlung (Frequenzen von 104 Hz bis $3 \cdot 10^{12}$)	
Ionisierende Strahlung	
Adiabatische Kompression	Für Holzpelletanlagen im Regelfall nicht relevant

Signifikante Zündquellen:

Diese Zündquellen sind für Anlagen zur Herstellung von Holzpellets typisch. Aufgrund spezieller apparativer Anforderungen sind hier detailliertere Überlegungen erforderlich, wie nachfolgend gezeigt.

Mechanische Funken und heiße Oberflächen durch Reib- und Schleifvorgänge können zündwirksam sein, wenn die Relativgeschwindigkeit bei einem bewegten Einbau über 1 m/s liegt.

Diese Relativgeschwindigkeit wird typischerweise bei Elevatoren, Ventilatoren und Mühlen überschritten.

Abhängig von der erforderlichen Kategorie kann mit Anwendung des Schutzprinzipes „sichere Konstruktion“ nach DIN EN 13463 Teil 1 /6/ zusammen mit Teil 5 auch bei höheren Relativgeschwindigkeiten das Auftreten relevanter

Zündquellen vermeiden werden. Dabei sind insbesondere folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Möglichst außenliegende Lager
- Geeignete Materialkombinationen, d.h. kein Einsatz von Leichtmetallen oder harten Werkstoffen
- Robuste Gestaltung der inneren Einbauten, für bestimmungsgemäße Nutzung geeignet
- Ausreichender Wandabstand zwischen bewegten und stehenden Bauteilen
- Regelmäßige Inspektion und Wartung insbesondere der Wellendurchführungen und Einbauten

Mit dem Konstruktionsmerkmal „Sichere Konstruktion“ lassen sich Geräte der Kategorie 2 (sicher auch bei häufigen Fehlern, einsetzbar maximal in Zone 21) bauen. Um die Kategorie 3 (sicher auch bei sehr seltenen Fehlern, einsetzbar in Zone 20) zu erreichen, kann dieses Schutzprinzip bei Schnellläufern, wie Elevatoren oder Hammermühlen, nicht als alleinige Maßnahme angewendet werden. Für eine sichere Anlagengestaltung ist dann ein ergänzender konstruktiver Explosionschutz erforderlich.

Letztendlich kann mit den zuvor dargestellten konstruktiven Maßnahmen der für die jeweilige Zone erforderliche Kategorienachweis, unter Berücksichtigung der Besonderheit von Schnellläufern, geführt werden.

Tabelle 8.7: Signifikante Zündquellen

Zündquelle	Maßnahme
Heiße Oberflächen	Vermeidung durch Auswahl der Geräte gemäß der erforderlichen Kategorie
Mechanische Funken	Vermeidung durch Auswahl der Geräte gemäß der erforderlichen Kategorie

Prozessinduzierte Zündquellen

Diese Zündquellen werden durch den Prozess erzeugt, z.B. bei pneumatischen Förderungen oder bei der Pressung der Pellets.

Tabelle 8.8: Prozessinduzierte Zündquellen

Zündquelle	Maßnahme
Statische Elektrizität	Vermeidung durch ausreichende Erdung
Chemische Reaktion (Selbstentzündung, Zersetzung)	Vermeidung durch vorbeugende Maßnahmen

Chemische Reaktionen können in Form von Selbstentzündungsvorgängen zu wirksamen Zündquellen werden. Im Falle der Lagerung der Trockenspäne in Silos sind Selbstentzündungsvorgänge durch Begrenzung der Einlagerungstemperatur und der Lagerzeit zu vermeiden.

Selbstentzündungsvorgänge im Trockner sind durch Begrenzung der Trocknungstemperatur, regelmäßige Inspektionsintervalle sowie Leerfahren und Einleiten einer Kühlphase vor längeren Stillständen zu vermeiden.

Glimmbrände sind durch die Begrenzung der Oberflächentemperaturen der elektrischen und nicht-elektrischen Betriebsmittel im Aufstellungsbereich der Anlagen weitgehend vermieden.

Innerhalb der Anlage werden jedoch Prozesse durchgeführt, die weitergehende Maßnahmen zur Vermeidung von Glimmbränden erfordern.

- Fördern gegen verstopfte Förderwege (z.B. Schnecken, Trogkettenförderer)
Verstopft ein Förderweg wird die Bewegungsenergie der Transportorgane in Wärmeenergie in dem verstopften Material umgewandelt. Dies kann zu Glimmbränden führen. Durch den Einsatz von Schanzwächtern- und klappen, wird ein Verstopfen erkannt und die zuführenden Förderer sind abzuschalten.
- Hammermühlen und zugeordnete Abförderung der Produkte
Bei einem Eintrag von Fremdkörpern in die Mühle kann sich der Fremdkörper soweit aufheizen, dass er in dem weiteren Produktionsablauf ein Glimmnest erzeugt. Dem Bereich der Vermahlung ist daher ein Magnet- und Schwerlastabscheider vorzuschalten.
Die Wahrscheinlichkeit des Eintrags von Fremdstoffen in die Hammermühle ist somit reduziert, jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen (z.B. Abriss eines Schlägels). Daher ist der Materialausgang der Mühle mit einem Funkenerkennungs- und Löschesystem auszurüsten.
Ein Verstopfen der Mühle kann durch eine Lager- und Innenraumtemperaturüberwachung detektiert werden.
- Pelletpressen, Pelletkühler und zugeordnete Abluftsysteme
Im Bereich der Pressen besteht eine erhöhte Gefahr der Brandentstehung bzw. der Entstehung von überhitzten, glimmenden Partikeln. Der Materialaustrag des Kühlers sowie der Bereich der Kühlerabluft ist daher per Funkenerkennungs- und Löschesystem zu überwachen.
Ein Verstopfen der Pressen wird mit einer Temperaturüberwachung der Koller überwacht.

Funkendetektionen als alleinige Schutzmaßnahmen zum Explosionsschutz sind nicht ausreichend, da sie nicht als Schutzsystem im Sinne der RL 94/9/EG /16/ geprüft sind. Sie sind jedoch als vorbeugende Maßnahmen das Bindeglied zum Brandschutz.

Die eingesetzten Geräte müssen nach Richtlinie 94/9/EG /16/ wie folgt gekennzeichnet sein:

Tabelle 8.9: Erforderliche Kennzeichnung von Geräten gemäß 94/9/EG /16/

Zone	Kennzeichnung nicht-elektrische	elektrische	Erforderliche Prü- fung
20	Ex II 1 D, Angabe der maximalen Oberflächentemperatur, Prüfnummer/Prüfstelle	Ex II 1 D, IP 6X, Angabe der maximalen Oberflächentemperatur, Prüfnummer/Prüfstelle	Baumusterprüfung, Konformitätserklärung Hersteller
21	Ex II 2 D, Angabe der maximalen Oberflächentemperatur	Ex II 2 D, IP 6X, Angabe der maximalen Oberflächentemperatur, Prüfnummer/Prüfstelle	Konformitätserklärung Hersteller, Ergebnisse der Ge- fährdungsanalyse in der Dokumentation, Prüfung je nach Zündschutzart, Baumusterprüfung nur für elektrische Be- triebsmittel
22	Ex II 3 D, Angabe der maximalen Oberflächentemperatur	Ex II 3 D, IP 5X, Angabe der maximalen Oberflächentemperatur	Konformitätserklärung Hersteller, Ergebnisse der Ge- fährdungsanalyse in der Dokumentation

8.6 Beherrschen von Explosionen

Nicht immer lassen sich alle Zündquellen allein durch vorbeugende Maßnahmen mit ausreichender Sicherheit vermeiden. Trotz umfassender Inspektions-, Wartungs- und Überwachungsmaßnahmen können heiße Oberflächen durch Schleif- und Reibvorgänge an schnelllaufenden mechanischen Aggregaten, wie z.B. in Hammermühlen, nicht mit absoluter Sicherheit ausgeschlossen werden. Auch in zentralen Aspirationsfiltern kann ein Eintrag von Zündquellen aufgrund der Vielzahl von Absaugpunkten nicht immer mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

Konstruktive Schutzmaßnahmen werden auch dann projektiert, wenn Anlagen ein besonders großes Schadenspotential aufweisen (z.B. große Silokomplexe) oder wenn weitergehende Schutzinteressen bestehen. So kann die Verfügbarkeit von Anlagen durch die Begrenzung von Flammen- und/oder Druckwirkungen im Falle einer Explosion erhöht werden, da die Explosion nur einen definierten und speziell ausgelegten Bereich betrifft.

Prinzipiell ist bei konstruktiven Explosionsschutzmaßnahmen das Auftreten explosionsfähiger Gemische und das gleichzeitige Auftreten wirksamer Zündquellen zulässig. Eine Explosion findet statt, die Auswirkung sowie die Ausbreitung der Explosion wird jedoch begrenzt. Mögliche Maßnahmen lassen sich wie folgt differenzieren:

- Druckfeste Bauweise: Die Anlage ist für den maximalen Explosionsüberdruck ausgelegt.
- Druckstoßfeste Bauweise: Die Anlage ist für einen reduzierten maximalen Explosionsüberdruck ausgelegt und mit Einrichtungen zur Druckentlastung ausgerüstet. Eine Verformung der Anlagenteile ist zulässig, ein unkontrolliertes Aufreißen jedoch nicht.
- Explosionsunterdrückung: Mit aktiven Sensoren wird das Anlaufen einer Explosion erkannt und, um die Reaktion abubrechen, wird Löschmittel in die Anlage eingebracht.
- Explosionstechnische Entkopplung: Mit aktiven (z.B. Löschmittelsperre) oder passiven (z.B. Explosionsschutzventil) Aktoren wird ein Überschlagen einer Explosion von einem Anlagenteil in einen anderen unterbunden.

Basis für die Anwendung konstruktiver Maßnahmen ist eine ganzheitliche Systemanalyse unter Berücksichtigung des vorgesehenen Einsatzzweckes und der vorgesehenen Stoffe. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ausgehend von einer verbleibenden wirksamen Zündquelle (z.B. aus einer Hammermühle) nicht die gesamte betrachtete Anlage mit konstruktiven Maßnahmen auszuführen ist, sondern der Bereich, der von einer potentiellen Explosion betroffen ist, eingegrenzt werden kann. Für des Schutzkonzept „Konstruktiver Explosionsschutz“ sind demnach folgende Aspekte zu bearbeiten:

- Festlegen des zu schützenden Bereiches
- Dimensionierung der Größe der Entlastungseinrichtung bzw. der Explosionsunterdrückung
- Gewährleistung der Festigkeit der Apparate
- Auswahl der Entkopplungseinrichtung

Ob zuerst die Größe der Entlastungsfläche bzw. die Explosionsunterdrückung dimensioniert wird oder erst die Festigkeit des zu schützenden Bereiches festgelegt wird, hängt vom Einzelfall ab. U.U. ist die verfügbare Fläche zur Druckentlastung begrenzt, z.B. auf einem Silodach. Hier ist dann die Festigkeit des Behälters so zu variieren, dass die installierbare Entlastungsfläche ausreichend groß bemessen ist. Im anderen Fall kann z.B. die mit vertretbarem Aufwand erreichbare Festigkeit von eckigen Behältern (Filter, Mühlennachbehälter) limitiert sein. Dann ist die Größe der Entlastungsfläche so zu variieren, dass der reduzierte maximale Explosionsüberdruck die erreichbare Festigkeit des geschützten Volumens nicht übersteigt. Bei diesen Variationen sind jedoch immer die spezifischen Randbedingungen aus den angewendeten Normen einzuhalten.

Das Schutzprinzip „Konstruktiver Explosionsschutz“ ist nur dann effizient wirksam, wenn die Explosion tatsächlich durch die Druckentlastungsfläche bzw. die Explosionsunterdrückung im Zusammenspiel mit einer ausreichenden Behälterfestigkeit beherrscht werden kann. Daher darf es nicht zu einem unkontrollierten Aufreißen oder Versagen des Behälters kommen. Mögliche Folgeschäden können Sekundärexplosionen durch Staubablagerungen oder Brände im Aufstellungsbereich sein oder auch die Gefährdung von Personen.

Für den Nachweis der Festigkeit wird die harmonisierte Norm EN 14460 /7/ angewendet. Dabei stehen drei Alternativen zur Verfügung:

- Konstruktion nach EN 13445 /5/
- Druckprüfung als Typprüfung
- Explosionsprüfung als Typprüfung

Bei diesen drei genannten Nachweisverfahren ist immer eine Druckprüfung für jedes Gerät durchzuführen.

Diese kann als Wasserdruckprobe oder als Luftdruckprobe durchgeführt werden und der erforderliche Druck muss mindestens 3 Minuten anliegen. Der Prüfdruck muss dem 0,9 fachen des Auslegungsdruckes entsprechen, wobei bleibende Verformungen dann nicht zulässig sind.

Kann eine Druckprüfung aus technischen und/oder sicherheitstechnischen Gründen nicht erfolgen, so ist die Güte der Geräte nachzuweisen durch:

- Nachweis der Werkstoffzertifikate nach EN 10204 /4/
- Zerstörungsfreie Schweißnahtprüfung mindestens mit Ultraschall, wobei insbesondere Knotenpunkte zu überprüfen sind
- Vergleich der tatsächlichen Maße mit den technischen Zeichnungen

Dieser alternative Nachweis ist jedoch als Ausnahme zu sehen und sollte nicht von vornherein bei einem konstruktiven Explosionsschutzkonzept in Betracht gezogen werden.

8.6.1 Dimensionierung der Entlastungsfläche

Um die Auswirkungen einer Explosion auf eine definiertes Maß zu begrenzen ist eine Druckentlastungsfläche vorzusehen. Überschreitet der Druck im Behälter durch die anlaufende Explosion einen Schwellenwert, nämlich den Ansprechdruck der Entlastungseinrichtung, öffnet sich die Fläche und durch die weitere Expansion der Explosion wird das Gemisch durch die Entlastungsöffnung nach außen transportiert. Dies betrifft sowohl verbrannte als auch unverbrannte Stoffe, so dass die Verbrennungsreaktion auch im Außenraum stattfindet. Dadurch wird auch in der Umgebung ein Druckaufbau mit Flammenerscheinung beobachtet, weswegen dieser Bereich als gefährdeter Bereich auszuweisen ist.

Die Dimensionierung der Entlastungsfläche erfolgt nach der harmonisierten EN 14491 /8/, wodurch die Konformitätsvermutung nach RL 94/9/EG /16/ ausgelöst wird. Bei der Anwendung anderer Dimensionierungsansätze (z.B. NFPA 68 /15/ oder VDI 3673 /22/) ist der Nachweis, dass die Schutzziele nach 94/9/EG /16/ erreicht werden, separat und schriftlich zu führen.

Die empirisch ermittelten Berechnungsgleichungen beruhen auf der Entlastung eines einzelnen Behälters, der vollständig im turbulenten Zustand mit einem optimalen Staub-Luft-Gemisch gefüllt ist.

Wenn im Einzelfall die tatsächlichen Prozessparameter davon abweichen, kann bei Anwendung der Gleichungen aus EN 14491 /8/ die Entlastungsfläche unter- oder überdimensioniert sein. Zum Beispiel wird beim tangentialen Produkteintrag in ein Silo unter bestimmten Voraussetzungen nicht das gesamte Silovolumen mit einem optimalen Staub-Luft-Gemisch gefüllt sein. In diesen Fällen kann von den Berechnungsansätzen nach EN 14491 /8/ abgewichen werden, wobei die Dimensionierung der kleineren Entlastungsfläche auf Basis von veröffentlichten oder experimentellen Daten beruhen muss, die anhand von repräsentativen Druckentlastungsversuchen bestimmt wurden.

Grundsätzlich sollte das Design der Schutzmaßnahme „Druckentlastung“ folgende Aspekte berücksichtigen:

- frühzeitige Entlastung verbrannter Gase,
- Positionierung der Druckentlastungsflächen in der Nähe potentieller Zündquellen,
- Vermeidung von Verdämmungen und Hindernissen zwischen möglichen Zündquellen und den Druckentlastungsflächen (Vermeidung von Turbulenzen),
- Vermeidung langgestreckter Strukturen (seitliche statt stirnseitiger Entlastung),
- Vermeidung von Blockaden z.B. durch einknickende Filterstützkörbe.
- Wie in der Norm EN 14460 /7/ wird auch in der Norm EN 14491 /8/ eine ausreichende Benutzerinformation gefordert.

8.6.2 Explosionsunterdrückung

Wie bei der Explosionsdruckentlastung wird auch bei der Explosionsunterdrückung eine Initialexplosion zugelassen (Abb. 5). Diese wird mit Detektoren, typischerweise Flammen- und/oder Druckmelder erkannt und an eine Auswerteeinheit gemeldet. Diese verarbeitet das registrierte Signal und kann dabei bei Druckschwankungen im Prozess zwischen normalen Schwankungen und anlaufender Explosion unterscheiden. Ist das Explosionskriterium erfüllt wird das Löschmittel in den geschützten Behälter eingeblasen. Dies erfolgt innerhalb von wenigen dutzend Millisekunden. Der Druck im Behälter steigt bis zu einem vorher festgelegt reduzierten Explosionsüberdruck an, dann wird die Explosionsreaktion durch das Einglasen des Löschmittels abgebrochen. Aufgrund der Komplexität der Explosionsunterdrückung ist das Gesamtsystem, bestehend aus Art und Positionierung der Detektoren, Art der Steuerzentrale sowie Art, Menge und Position der Löschmitteldüse vom Hersteller der Unterdrückungsanlage auszulegen.

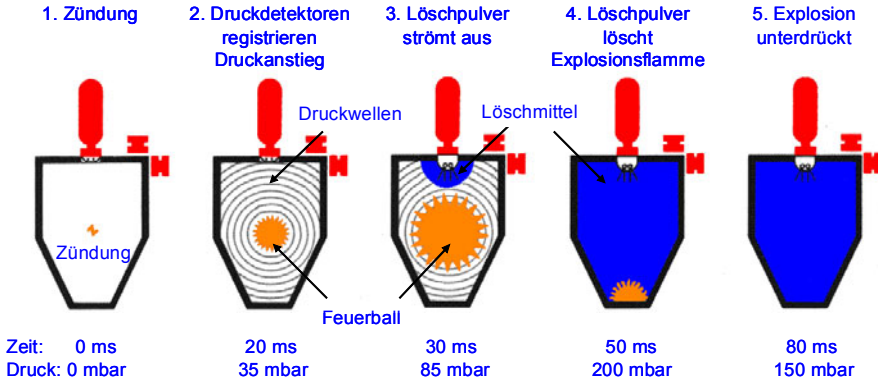


Abb. 8.5: Prinzipskizze Explosionsunterdrückung, Quelle: Firmenschrift ATEX Explosionsschutz GmbH, Möhnesee

8.6.3 Auswahl der Entkopplungseinrichtungen

Maßnahmen der explosionstechnischen Entkopplung sind aus zwei Gründen notwendig. Zum einen ist durch die Risikobewertung der druckstoßfest ausgeführte Bereich festgelegt. Die Ausbreitung der Explosion über diesen definierten Bereich hinaus ist zu vermeiden. Hierbei wird der druckstoßfest ausgeführte Bereich von dem nicht druckstoßfest ausgeführten Bereich entkoppelt.

Zum anderen sind auch innerhalb mehrerer verketteter und druckstoßfest ausgeführter Apparate Maßnahmen zur Entkopplung vorzusehen. Relevanz haben zwei Effekte:

- Explosionen gehen immer mit Ausbreitung einer Flammen- und einer Druckfront einher. Dabei breitet sich die Druckwelle in der Regel schneller aus als die Flammenfront. Die Druckwelle läuft somit eher in den angeschlossenen Behälter ein, wodurch es zu einer „Vorkompression“ des explosionsfähigen Gemisches im zweiten Behälter kommt. Aus dem höheren Vordruck beim Einlaufen der Flammenfront resultiert ein höherer Explosionsüberdruck, da der Explosionsüberdruck proportional dem Vordruck im System ist.
- Eine beginnende Explosion läuft vergleichsweise langsam ab. So steht eine entsprechend lange Zeit für das Öffnen von Entlastungsflächen bzw. Auslösen einer Unterdrückung zur Verfügung. Im Falle von gekoppelten Behältern wird beim Übergang von dem einen auf den anderen Behälter Turbulenz generiert. Dadurch kommt es zu einer Vergrößerung der Flammenoberfläche und damit der Reaktionsfront. Daher kann die Explosion als Flammenstahl in den verbundenen Behälter einlaufen, wobei dann die Reaktion in diesem deutlich schneller abläuft und so die Reaktionszeit

der Entlastungseinrichtung nicht ausreicht, die Explosion zu entlasten. Der Druckaufbau wird nicht abgebrochen, der Explosionsüberdruck steigt über den dimensionierten Festigkeitswert.

Mögliche Systeme zur Entkopplung werden in der TRBS 2152 Teil 4 /20/, DIN EN 1127-1 /3/ sowie der DIN EN 15089 /9/ beschrieben, wobei letztere auch Prüfverfahren und Qualitätsanforderungen für diese Systeme beschreibt.

Es können passive und aktive Systeme unterschieden werden. Bei den passiven Systemen handelt es sich um Systeme, die ohne Fremdeinwirkung (z. B. ein über einen Sensor angesteuerter Antrieb) funktionieren. Beispiele von passiven Systemen sind u.a.:

- Zellenradschleusen
- Taktschleusen
- Materialpuffer
- Rückschlagklappen

Aktive Systeme benötigen stets eine Detektion der Explosion. Diese kann durch eine optische Infrarotdetektion (Flammenmelder) oder eine Druckdetektion erfolgen. Optische Melder können schneller sein als Druckdetektoren und eine Explosion im Anfangsstadium bereits erkennen, außerdem kann eine genaue Lokalisierung einer Flamme erfolgen (z.B. beim Einlauf in eine Rohrleitung). Sie können jedoch leicht verschmutzen und damit blind werden.

Druckdetektionen können statisch oder dynamisch vorgenommen werden. Statische Druckdetektoren können durch mechanische Einwirkungen oder Vibrationen ausgelöst werden, weswegen sie paarweise in einem Winkel von 90 ° zueinander eingesetzt werden. Dynamische Detektoren analysieren den auftretenden Druckverlauf und können daher zwischen einer Explosion und betriebsüblichen Druckschwankungen differenzieren.

Zu den aktiven Systemen gehören:

- Schnellschlussorgane wie Schnellschlussschieber und Schnellschlussbalgenquetschventile
- Löschmittelsperren

Ob ein bestimmtes Schutzsystem für den geplanten Einsatzzweck geeignet ist, muss im Rahmen der Risikobewertung ermittelt werden. In die Analyse muss beispielsweise einbezogen werden, ob

- die Druckdetektoren zur Ansteuerung von aktiven Löschmittelsystemen bei Prozessen mit hohen und unregelmäßigen Druckschwankungen geeignet sind,
- die Entkopplung von Absaugleitungen durch einfache Rückschlagklappen auch bei den zu erwartenden Materialbelastungen zuverlässig funktioniert,
- die Zellenradschleusen auch für stark abrasives Material geeignet sind.

Aufgrund der Komplexität einer explosionsschutztechnischen Entkopplung ist die Eignung des Schutzsystems für den geplanten Einsatzzweck durch ein Systemzertifikat des Herstellers zu bestätigen.

8.7 Organisatorische Maßnahmen

Die Betriebssicherheitsverordnung ermöglicht Arbeitgebern im Vergleich zu früheren Regelwerken einen größeren Spielraum bei der sicheren Gestaltung ihrer Betriebe durch die Stärkung ihrer betrieblichen Eigenverantwortung. Neben der Auswahl der Betriebsmittel (technische Maßnahmen) kommen den organisatorischen Maßnahmen eine ganz entscheidende Bedeutung zu.

Organisatorische Maßnahmen sind immer dann zu treffen, wenn mit technischen Maßnahmen allein der Explosionsschutz an den Arbeitsplätzen nicht gewährleistet und aufrecht erhalten werden kann. Da in den Betrieben in erster Linie Menschen tätig sind und diese im Falle menschlichen Fehlverhaltens Risiken und Gefährdungen verursachen können, hat es sich gezeigt, dass insbesondere nur durch Einbeziehung der Beschäftigten eine sichere Arbeitsumgebung geschaffen und aufrechterhalten werden kann. Die organisatorischen Maßnahmen müssen daher auch mögliche Wechselwirkungen zwischen Explosionsschutzmaßnahmen und Arbeitsabläufen berücksichtigen. In der Praxis hat sich daher eine Kombination von technischen und organisatorischen Explosionsschutzmaßnahmen bewährt, die sicherstellen, dass die Arbeitnehmer die ihnen übertragenen Arbeiten ohne Gefährdung ihrer Sicherheit und Gesundheit oder der Sicherheit und Gesundheit anderer ausführen können.

Folgende Aspekte sind im Explosionsschutz zu berücksichtigen:

Pellets als Energieträger

Technologie und Anwendung

Döring, S.

2011, XI, 257 S. 125 Abb., Hardcover

ISBN: 978-3-642-01623-3