

## TECHNISCHER ARTIKEL

# Verhinderung von Staubexplosionen, die durch elektrostatische Ladungen hervorgerufen werden

**S**taubexplosionen in explosionsgefährdeten Verarbeitungsbereichen sind nichts Neues. Dies gilt ebenso für elektrostatische Ladungen, die als potenzielle Zündquelle fungieren können. Die erste dokumentierte Staubexplosion ereignete sich 1785 in einer Bäckerei in Turin, Italien, als der bei normalen Tätigkeiten erzeugte Mehrlstaub mit einer Lampe in Kontakt kam.

Mehl wird entflammbar, wenn es zu trocken ist und sich elektrostatisch auflädt. Der Inhaber der Bäckerei gab zu Protokoll, dass das betreffende Mehl extrem trocken gewesen sei. Als Mehl aus dem oberen Bereich des Lagers in das darunter liegende, geschlossene Lager fiel, bildete es eine Mehlwolke. Bei der nachfolgenden Explosion wurden ein Arbeiter, der das Mehl praktisch in ein offenes Feuer schaufelte, sowie ein Junge, der von einem Gerüst stürzte, verletzt, als die Fenster durch die Flammen zerstört und die Glassplitter durch die Wucht der Explosion bis auf die Straße geschleudert wurden. Neben der Heftigkeit und Volatilität von Staubexplosionen gab der Vorfall auch einen Einblick in das sogenannte „Staubexplosionsfünfeck“.

Dabei handelt es sich um fünf Elemente, die für die Auslösung einer Staubexplosion vorhanden sein müssen. Im Vergleich zum Verbrennungsdreieck erfordert eine Staubexplosion zwei zusätzliche Elemente: zum einen die Verteilung von Staubteilchen in der richtigen Konzentration und zum anderen eine

räumliche Begrenzung der Staubwolke in einem geschlossenen Raum. Verteilter Schwebstaub brennt besonders schnell und der geschlossene Raum fördert den Druckaufbau. Wenn diese beiden Zusatzbedingungen erfüllt sind und alle fünf Elemente im richtigen Verhältnis zueinander stehen, steigt die Wahrscheinlichkeit für eine Explosion.

Brennbarer Staub ist definiert als ein feiner Stoff, der sich bei der Verteilung mit Luft entzünden und explodieren kann. Ihrem Wesen nach setzen Staubexplosionen eine große Kraft frei, die wiederum zur Entstehung starker Druckwellen führt, in deren Folge es zu erheblichen Sach- und Personenschäden kommt. Opfer von Staubexplosionen erleiden aufgrund der großen Hitze innerhalb der Staubwolke häufig starke Verbrennungen oder werden durch herabfallende Gegenstände oder Gebäudeteile verletzt oder sogar getötet.

Staubexplosionen rufen Verletzungen hervor, zerstören Sachwerte und führen, wie die Vergangenheit gezeigt hat, leider auch zu Todesfällen. Der Bericht des US-amerikanischen Chemical Safety Board (CSB) aus dem Jahr 2006 zählte im Zeitraum von 1980 bis 2005 insgesamt 281 Vorfälle im Zusammenhang mit brennbaren Stäuben, bei denen 119 Arbeiter getötet, weitere 718 verletzt und mehrere Produktionsstätten schwer beschädigt wurden. Quelle: „Dust Explosion Investigation in Turkey“, Mercan Z. Burcu, (2016).

In Großbritannien hat die Health and Safety Executive über einen Zeitraum von neun Jahren 303 Staubexplosionen dokumentiert, während in Deutschland innerhalb von 20 Jahren 426 ähnliche Vorfälle registriert wurden. Leider führen tragische Unfälle wie diese immer wieder zu erheblichen Betriebsunterbrechungen und zahlreichen Todesfällen. Über die Hälfte aller Staubexplosionen erfolgt in einem dieser vier industriellen Bereiche: Nahrungsmittel, Holz, Chemie und Metall. In einem typischen Jahr beläuft sich der monetäre Verlust durch Explosionen auf durchschnittlich 3,4 Millionen US-Dollar pro Vorfall.



Staub ist in vielen Branchen ein Nebenprodukt, beispielsweise in pulververarbeitenden Betrieben oder auch in Unternehmen mit komplexen Fertigungsprozessen. Zu Staubexplosionen kann es in allen Branchen kommen, in denen brennbarer Staub gehandhabt wird, so zum Beispiel in den folgenden Bereichen:

- Kohle
- Holz
- Recycling (Papier)
- Landwirtschaft
- Chemiebranche
- Metallverarbeitung

In der Norm NFPA 654 der National Fire Protection Association mit dem Titel „Standard for the

Prevention of Fire and Dust Explosions from the Manufacturing, Processing, and Handling of Combustible Particulate Solids“ (Norm für Verhütung von durch die Herstellung, Verarbeitung und den Umgang mit brennbaren Feststoffpartikeln hervorgerufenen Bränden und Explosionen) wird Staub als „brennbare Feststoffpartikel“ definiert, „die bei Schweben in Luft oder einem anderen oxidierenden Medium in verschiedenen Konzentrationen unabhängig von der Größe oder Form der Partikel die eines Verpuffungsbrandes mit sich bringen“. Viele Unternehmen verfügen nicht über ausreichende Informationen oder ein Bewusstsein dafür, dass es aufgrund ihrer scheinbar harmlosen Produktionsprozesse zur Entstehung einer potenziell explosionsgefährdeten Atmosphäre bzw. zur Bildung von Staub kommen kann.

Für Staubexplosionen gibt es eine ganze Reihe von primären Zündquellen:

1. Elektrostatische Entladung
2. Reibung
3. Lichtbogenbildung
4. Heiße Oberflächen
5. Feuer
6. Selbstentzündung

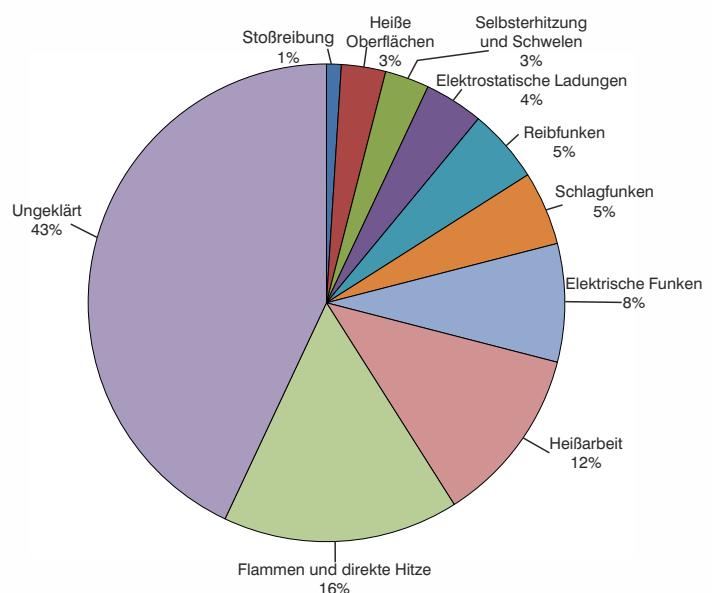


Abb. 1 - Ursachen von Staubexplosionen weltweit von 1785 bis 2012 Quelle: „Dynamic Risk Analysis of Dust Explosions“, Yuan Zhi, (2015)

## Korngröße

Zu einer Staubexplosion kommt es, wenn ein verteilter, brennbarer Stoff in ausreichend hoher Konzentration vorhanden ist. Daher besteht bei der Erzeugung, Lagerung oder Verarbeitung von Stäuben und der Verteilung dieser Stoffe in der Luft Explosionsgefahr. Wenn das zu verarbeitende Produkt brennbar ist und einen nennenswerten Anteil an Feinmaterial aufweist, steigt das Risiko für eine Explosion drastisch an. Feinkörnige Pulver mit niedriger Mindestzündenergie erreichen entlang der Förderstrecke regelmäßig ihre Mindestexplosionskonzentration und laufen Gefahr, durch unterschiedliche Zündquellen gezündet zu werden. Elektrostatische Entladungen sind eine dieser Zündquellen.

Die für die Zündung eines gegebenen Pulvers erforderliche Mindestzündenergie ist abhängig von der Partikelfeinheit, wobei die kleinsten Werte sich tendenziell auf sehr feine Partikel beziehen. Wenn die Mindestzündenergie über 10 Millijoule liegt und keine entzündlichen Gase oder Dämpfe vorliegen, sind besondere Maßnahmen zur Minimierung elektrostatischer Ladungen in der Regel nicht erforderlich.

| Pulver      | MIE |
|-------------|-----|
| Zinc        | 200 |
| Weizenmehl  | 50  |
| Polyethylen | 30  |
| Zucker      | 30  |
| Magnesium   | 20  |
| Schwefel    | 15  |
| Aluminium   | 10  |
| Epoxidharz  | 9   |
| Zirkonium   | 5   |

Mindestzündenergie von explosionsgefährdeten / entzündlichen Stoffen (Quelle: IChemE)

Allerdings kann es notwendig sein, im Zusammenhang mit leitfähigen Anlagenteilen, die sich stark elektrostatisch aufladen können, Vorsichtsmaßnahmen zu ergreifen, um die Gefahr eines elektrischen Schlags für die Mitarbeiter zu minimieren. In der Chemiebranche sowie in der pharmazeutischen Industrie sind die typischen Energiewerte für eine Zündung in der Regel relativ niedrig (dies gilt besonders für entzündliche Hybridatmosphären mit Staub und Dämpfen), während die Mindestzündenergiewerte in der Nahrungsmittelbranche normalerweise höher sind.

Die Zündneigung und das Ausmaß von Staubexplosionen hängen in der Regel von der Korngröße ab. Feinere Staubpartikel sind explosiver, da sie im Verhältnis zu ihrem Gewicht eine größere Oberfläche haben, sodass sie bei entsprechender Verteilung in der Luft und erfolgter Zündung besonders schnell mit dem Sauerstoff reagieren. Laut NFPA 654 haben Staubteilchen eine Größe von 420 Mikrometern ( $\mu\text{m}$ ) oder weniger. Im Vergleich dazu hat ein Tafelsalzkorn eine Größe von ca. 100 Mikrometern.

| Stoff  | Größe Mikrometer |
|--|------------------|
| Talkumpuder, rote Blutkörperchen, Feinschluff, Kakao                   | 5 bis 10         |
| Pollen, gemahlenes Mehl, Grobschluff                                   | 44 bis 74        |
| Tafelsalz  | 105 bis 149      |
| Maisstärke aus dem Speichersilo der Zuckerraffinerie in Port Wentworth | 10               |
| Puderzucker aus der Zuckerraffinerie in Port Wentworth                 | 23               |
| Kristallzucker aus der Zuckerraffinerie in Port Wentworth <sup>1</sup> | 286              |

Anmerkung 1 - Die Probe wurde zunächst durch ein Sieb mit einer Maschenweite von 500  $\mu\text{m}$  gegeben Quelle: Investigation Report. Sugar Dust Explosion and Fire. U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board. (2009)

Abb. 2 - Korngrößen von verbreiteten brennbaren und nicht brennbaren Stoffen

## Gefahren von Primär- und Sekundärexpllosionen

Eine der Hauptgefahren bei einer Staubexplosion besteht in der Auslösung einer Kettenreaktion durch die Zündung von brennbaren Stäuben.

Staubexplosionen erzeugen ihren eigenen, sich selbst aufrechterhaltenden Dominoeffekt, der sich so lange fortsetzt wie Brennstoff vorhanden ist. Zu einer Sekundärexploration kommt es, wenn Staub, der sich auf dem Boden oder anderen Oberflächen befindet, durch die Primärexploration aufgewirbelt und ebenfalls gezündet wird. Ursache ist die Primärexploration, aufgrund derer Staub auf umgebenden Oberflächen (beispielsweise auf Balken oder Vorsprüngen) aufgewirbelt wird. Die Sekundärexploration setzt sich ausgehend von der entstehenden Staubwolke fort. Da mehrere Explosionen erfolgen und die bauliche Stabilität ohnehin bereits in Mitleidenschaft gezogen wurde, können die Folgen einer solchen Kettenreaktion katastrophal sein.

Häufig gibt es sowohl eine Primär- als auch eine Sekundärexploration mit Übergängen von einem Brand hin zu mehrfachen Explosionen und umgekehrt. Zur Primärexploration kommt es in der Regel innerhalb eines Prozessbehälters, wie beispielsweise einer Siebanlage, einem Trockner oder Mischer oder auch in einem Fördersystem oder Silo. In einem solchen Umfeld kommen alle fünf Elemente des Staubexplosionsfünfecks

zusammen. Durch die erste Explosion kommt es häufig zur Zündung der zweiten Explosion. Bei der Primärexploration wird nicht verbrannter Brennstoff durch die Druckwelle aus dem Behälter geschleudert, wobei Staubteilchen in der Luft verteilt werden, wo sie besonders anfällig für eine Zündung sind und eine Sekundärexploration auslösen können. Eine Sekundärexploration kann aufgrund der erhöhten Konzentration von verteilten Staubpartikeln und der größeren Zündquelle durchaus zerstörerischer als die Primärexploration sein. Die Druckwelle der ersten Explosion führt häufig zu einer Beschädigung oder Zerstörung des geschlossenen Behälters, in dessen Innern die ursprüngliche Explosion stattgefunden hat, sodass sich die Explosion innerhalb der Anlage weiter ausbreiten kann.

## Verringerung der Gefahren durch elektrostatische Ladungen bei der Pulververarbeitung

Die Gefahr elektrostatischer Ladungen ist in der fertigenden und verarbeitenden Industrie in entzündlichen und entflammmbaren Atmosphären allgegenwärtig. Es gibt im Zusammenhang mit Staub bestimmte Arten von Systemen und Anlagen, in denen es schnell zu einer elektrostatischen Aufladung kommen kann. Dazu gehören Mahlwerke, Förderbänder und pneumatische Fördersysteme.



Abb. 3 - Eine aus der Druckentlastungseinrichtung eines geschlossenen Behälters austretende Staubexplosion  
(Abbildung mit freundlicher Genehmigung durch IEP Technologies)

In potenziell explosionsgefährdeten Atmosphären kann die Energiemenge einer von Anlagenteilen oder auch Personen ausgehenden Funkenentladung ausreichend hoch sein, um eine breite Palette an Feinstäuben, wie sie bei der Handhabung und Verarbeitung von losen Feststoffen wie Pulver, Granulaten, Pellets und Flocken entstehen, zu zünden. Bei der Bewegung großer Mengen staubiger Substanzen ist eine elektrostatische Aufladung von isolierten Anlagen und Geräten oder auch anderen Substanzen wahrscheinlich. Es ist äußerst wichtig, alle erforderlichen Vorsichtsmaßnahmen zu ergreifen, um die Gefahr von elektrostatischen Entladungen zu verringern, die andernfalls ausreichend stark sein können, um eine Staubwolke zu zünden.

Potenzielle Quellen für interne und externe elektrostatische Entladungen an Anlagen und Geräten in Ex-Bereichen mit einer entsprechenden Zonen- und Klasseneinteilung müssen erfasst und auf geeignete Art und Weise gehandhabt werden. Isolierte Komponenten von Fördersystemen und Staubsammelanlagen können sich ohne ausreichenden Potentialausgleich und ohne Erdung stark aufladen. Zu einer Isolierung von Komponenten kommt es in der Regel durch eine fehlerhafte Konstruktion oder nach dem Wiedereinbau von Teilen nach Wartungsarbeiten, ohne dass dabei entsprechende Potentialausgleichsverbindungen wiederhergestellt werden. Rohrleitungen, Ventile, Gebläse, Trichter und andere Komponenten, die bei der Bewegung von Pulverstoffen zum Einsatz kommen, können aufgrund der isolierenden Eigenschaften von bestimmten Teilen wie Gummidichtungen, oder auch aufgrund von allgemeinem Verschleiß elektrisch voneinander isoliert werden. Der sicherste Weg, die Gefahr einer Aufladung zu verringern, besteht darin, die Komponenten über eine zuverlässige und verifizierte Erdverbindung zu erden und einen Potentialausgleich zu ermöglichen.

Auch wenn elektrostatische Ladungen unsichtbar sind und im Verborgenen entstehen, besteht ein sehr reales Risiko für eine Entladung, die wiederum zu einer Zündung von brennbaren Atmosphären

führen kann. Um die Gefahr einer Zündung von brennbarer Stäube durch elektrostatische Entladungen zu verringern, sollten Unternehmen eine Risikobewertung ihrer Prozesse und Anlagen durchführen, um so sicherzustellen, dass potenzielle Zündquellen erkannt und entsprechende Maßnahmen ergriffen werden. Jede Explosionsgefahr stellt eine eigene und einzigartige Herausforderung dar. Die verschiedenen Variablen, vom brennbaren Material über die Zündquelle, die Prozessbehälter und Betriebsverfahren bis hin zu den Umgebungsbedingungen wirken sich allesamt auf die Schwere des Risikos aus. Es gibt mehrere praktische Lösungen, die für den Schutz der Anlagen, Mitarbeiter und Prozesse in Betracht gezogen werden können. Dazu gehören u. a. Lösungen zur Erdung bzw. zum Potentialausgleich, eine Explosionsdruckentlastung, Explosionsunterdrückungseinrichtungen und eine Explosionsentkopplung. Im Fall von Erdungs- und Potentialausgleichssystemen geht es um die Vermeidung elektrostatischer Ladungen als Zündquelle, noch bevor sich brennbare Substanzen entzünden können. In Bezug auf das Explosionsfünfeck bedeutet der Wegfall der Zündquelle gleichzeitig das Entfallen eines der Schlüsselemente, die für eine Zündung erforderlich sind. Um die Gefahr von Explosionen vollständig zu beseitigen, müssen geeignete Maßnahmen ergriffen werden um mögliche schwerwiegende Verluste in Form von Menschenleben, Schäden an Anlagen und Produktionsstillständen zu verhindern. Die Vergangenheit hat jedoch gezeigt, dass dies nicht immer geschieht.

Bei der Pulververarbeitung ist aufgrund des Partikelstroms an allen Stellen der Anlage mit der Entstehung elektrostatischer Ladungen zu rechnen. Die Anlage muss regelmäßig gewartet werden, um ein Verstopfen der Maschinen zu verhindern. Wenn die Geräte und Anlagen regelmäßig zu Reinigungs- und Wartungszwecken demontiert werden, kann es passieren, dass die Potentialausgleichsverbindungen beim Wiedereinbau vergessen oder falsch wieder eingesetzt werden.

Vibrationen und Korrosion können sich ebenfalls negativ auf die Qualität der Montageverbindungen auswirken, weshalb es unbedingt darauf zu achten ist, dass sich innerhalb der Montagegruppe keine Komponenten von der Erde isolieren.

Das effektivste Verfahren, um zu verhindern, dass sich die bei der Pulververarbeitung verwendeten Geräte und Anlagen elektrostatisch aufladen, ist die Nutzung einer dedizierten Erdungslösung, wie beispielsweise eines **Earth-Rite MULTIPONT II**-Systems von Newson Gale, das in der Lage ist, die Erdverbindung von Komponenten, bei denen die Gefahr einer elektrischen Isolierung besteht, zu überwachen.

Eine solche Lösung kann den Produktfluss stoppen und die Mitarbeiter auf eine potenzielle Gefahrensituation hinweisen, wenn eine der Komponenten die Verbindung zur Erde verliert. Besonders wichtig ist dies, wenn der Erdanschlusspunkt an den Geräten und Anlagen

nicht direkt sichtbar oder nur schwer zugänglich ist, wie es beispielsweise bei Erdungsclips der Fall ist.

Geräte und Anlagen zur Pulververarbeitung stellen im Vergleich zu Standardanwendungen eine größere Herausforderung dar, da sie zahlreiche Metallteile enthalten, die wiederum größere Baugruppen bilden, die elektrisch voneinander isoliert sein können. In den folgenden Fällen besteht die Gefahr, dass demontierbare Anlagenabschnitte zu isolierten Leitern werden:

- Nicht jeder Abschnitt verfügt über einen ausreichend niederohmigen Erdungspfad für die sichere Ladungsableitung.
- Die Anlage wird nach Reinigungsarbeiten nicht wieder korrekt zusammengebaut und das Anlagenpersonal führt keine routinemäßige, regelmäßige Überprüfung der Potentialausgleichslaschen zwischen den metallenen Rohrleitungen und Förderkanalabschnitten durch.



Hier ist beispielhaft ein Earth-Rite MULTIPONT II-System für die Erdung und Überwachung eines Fördersystems dargestellt, bei dem die Gefahr einer elektrischen Isolierung besteht

## Zusammenfassung

Bereiche für Überlegungen für die Verringerung der Gefahr von Staubansammlungen und Staubwolken:

1. Gewährleistung eines Anlagenzustands ohne Leckagestellen (beschädigte Dichtungen, gelockerte Schrauben)
2. Verringerung des Reinigungsaufwands durch die Konstruktion von Anlagen mit möglichst wenigen horizontalen Vorsprüngen, auf denen sich Staub absetzen kann
3. Berücksichtigung der Tatsache, dass sich elektrische Anlagen durch Staubablagerungen überhitzen können
4. Umsetzung technischer Maßnahmen für den Explosionsschutz

Eine der wichtigsten Maßnahmen ist die Gewährleistung eines sauberen Arbeitsumfelds. Staubablagerungen können den Brennstoff für Sekundärexpllosionen bilden.

Zur Verringerung der Gefahr einer unkontrollierten elektrostatischen Entladung und der damit verbundenen Brand- und Explosionsgefahren bei der Pulververarbeitung sollte eine entsprechende Überprüfung der Anlagen durch qualifizierte Mitarbeiter durchgeführt werden.

In Situationen, in denen möglicherweise elektrisch isolierte Komponenten identifiziert werden, sollten dedizierte Erdungssysteme für die Überwachung und Kontrolle von elektrostatischen Ladungen installiert werden, um so eine primäre Zündquelle in Staubatmosphären zu eliminieren.

Für alle Branchen sind derartige Gefahren vorhanden, daher sind höchste Sauberkeit, die Durchführung aller Wartungsarbeiten nach strengen Kriterien sowie die Identifizierung und Beseitigung von Zündgefahren für die Verringerung der Gefahr von Staubexplosionen unerlässlich.

### Urheberrechtsvermerk

Die Website und deren Inhalte sind urheberrechtlich geschütztes Eigentum von Newson Gale Ltd. © 2024. Alle Rechte vorbehalten.

Die Weiterverbreitung oder Vervielfältigung der Inhalte in Teilen oder als Ganzes in jeglicher Form ist grundsätzlich verboten. Es gelten folgende Ausnahmen:

- Sie dürfen Inhalte auszugsweise für Ihren persönlichen und nicht-kommerziellen Gebrauch ausdrucken oder auf eine lokale Festplatte herunterladen
- Sie dürfen Kopien der Inhalte an einzelne Dritte für deren persönlichen Gebrauch weitergeben, sofern Sie die Website als Quelle des Materials nennen

Ohne unsere ausdrückliche schriftliche Genehmigung dürfen Sie die Inhalte weder verbreiten noch kommerziell verwenden. Außerdem dürfen Sie die Daten weder an andere Websites oder andere elektronische Abfragesysteme übertragen noch dort speichern.

### United Kingdom

Newson Gale Ltd  
Omega House, Private Road 8  
Colwick, Nottingham  
NG4 2JX, UK  
+44 (0)115 940 7500  
groundit@newson-gale.co.uk

### United States

IEP Technologies LLC  
417-1 South Street  
Marlborough, MA 01752  
USA  
+1 732 961 7610  
groundit@newson-gale.com

### Germany

IEP Technologies GmbH  
Kaiserswerther Str. 85C  
40878 Ratingen  
Germany  
+49 (0)2102 5889 0  
erdung@newson-gale.de