

Elektrostatische Zündgefahren beim Einsatz explosionsgeschützter Staubsauger in gasexplosionsgefährdeten Bereichen

Carsten Blum, Bochum, Alexej Heimann, Melle

In zahlreichen Prozessen müssen Stäube und Schüttgüter mittels Saugprozessen transportiert werden. Hierzu zählt beispielhaft neben dem pneumatischen Transport mit Vakuumpförderern auch das Aufsaugen von Stäuben mittels Industriesauger. Da beim Aufsaugen brennbarer Stäube betriebsmäßig mit dem Auftreten explosionsfähiger Staub/Luft-Gemischen zu rechnen ist, stellt dieser Prozess eine besondere Gefährdung dar, da nicht nur der Sauger selbst wirksame Zündquellen aufweisen kann, sondern auch durch den Saugprozess selbst wirksame Zündquellen entstehen können. Insbesondere sind neben elektrischen Funken und mechanischen Funken auch elektrostatische Entladungen zu beachten. Im Rahmen dieses Beitrags wird ausschließlich die Zündquelle Elektrostatik bei Saugprozessen an Staubsaugern hinsichtlich geräteeigener und betrieblicher Zündgefahren näher betrachtet. Weitere Zündgefahren durch andere Zündquellen sind im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen.

Beim Strömen der Staubpartikel in Rohren und Schläuchen können Ladungstrennprozesse beim Kontakt der Partikel mit der Schlauch- bzw. Rohrrinnenwand stattfinden (sog. triboelektrische Aufladung). Die Höhe der Aufladung hängt dabei von mehreren Parametern ab, z. B. elektrischer Widerstand des Schlauchmaterials, Fördergeschwindigkeit, spezifischer Widerstand des Staubs, Partikelgröße des Staubs, Art der Förderung bzw. Konzentration des Staubs in der Rohrleitung, etc. Eine elektrostatische Zündgefahr kann sich dann sowohl vom aufgeladenen Produkt als auch von aufgeladenen Bauteilen des Staubsaugers ergeben.

Grundsätzlich sind bei der Beurteilung von elektrostatischen Zündgefahren an Staubsaugern nachfolgend aufgeführte unterschiedliche Entladungsarten zu betrachten, die sich hinsichtlich ihrer freigesetzten Energie und somit auch hinsichtlich ihrer Zündwirksamkeit gegenüber Brennstoff/Luft-Gemischen unterscheiden.

Funkenentladungen

Funkenentladungen können sowohl für explosionsfähige Staub/Luft- als auch für Gas/Luft- bzw. Lösemitteldampf/Luft-Gemische zündfähig sein. Von auf-

geladenen, gegen Erde isolierten leitenden Bauteilen können sog. Funkenentladungen ausgehen. Daher müssen alle leitenden Teile des Saugers elektrisch untereinander verbunden sein. Bei Einbindung des Saugers in den betrieblichen Potenzialausgleich ist dann nicht mit dem Auftreten von Funkenentladungen zu rechnen.

Gleitstielbüschelentladungen

Gleitstielbüschelentladungen sind sehr energiereich. Sie können ebenfalls sowohl für explosionsfähige Staub/Luft- als auch für Gas/Luft- bzw. Lösemitteldampf/Luft-Gemische zündfähig sein. Gleitstielbüschelentladungen können bei stark ladungserzeugenden Prozessen an dünnen isolierenden Schichten auftreten. Beim saugenden Transport sind solche energiereichen Entladungen an Saugschläuchen bekannt, wenn das Schlauchmaterial nicht ausreichend ableitfähig ist. Hier kann während des Förderprozesses ein elektrischer Durchschlag durch das isolierende Wandmaterial zur geerdeten Drahtspirale erfolgen (sog. pin-holing). Durch die Verwendung eines geerdeten Spiralschlauchs, der mit einem leitenden Kunststoff ausgerüstet ist, kann das Auftreten von Gleitstielbüschelentladungen vermieden werden.

Büschelentladungen

Von aufgeladenen isolierenden Gehäuseteilen oder von der aufgeladenen Staubschüttung im Sammelbehälter des Saugers können infolge des Förderprozesses Büschelentladungen ausgehen. Büschelentladungen können für explosionsfähige Gas/Luft- bzw. Lösemitteldampf/Luft-Gemische zündfähig sein. Explosionsfähige Staub/Luft-Gemische können durch Büschelentladungen nicht gezündet werden. Kann das Auftreten explosionsfähiger Gas/Luft- bzw. Lösemitteldampf/Luft-Gemische nicht ausgeschlossen werden, müssen Büschelentladungen vermieden werden.

Elektrostatische Zündgefahren beim Saugen von Staub in gasexplosionsgefährdeten Bereichen (Zone 1 und 2)

Aus der oben erläuterten Zündwirksamkeit der unterschiedlichen Entladungsarten wird deutlich, dass das Aufsaugen von Staub in gasexplosionsgefährdeten Bereichen (Zone 1 und 2) ein deutlich höheres Zündrisiko aufweist als das Aufsaugen von abgelagertem brennbaren Staub ohne Anwesenheit von Brenngasen oder Lösemitteldämpfen. Grund hierfür ist die höhere Zündempfindlichkeit der Brenngase und Lösemitteldämpfe. Daher müssen zur Vermeidung von Büschelentladungen in

Zone 1 und Zone 2 alle Kunststoffteile und das Filtermaterial ableitfähig ausgeführt sein. Zusätzlich entsteht beim Saugen von Stäuben bei gleichzeitiger Anwesenheit brennbarer Gas/Luft- bzw. Lösemitteldampf/Luft-Gemischen eine grundsätzliche prozessbedingte Zündgefahr: Während des Saugprozesses können Ladungstrennungen zwischen einem isolierenden Schüttgut und der Schlauchwand stattfinden (Kontaktaufladung). Ebenso ist beim Eintrag in den Staubsammelbehälter mit elektrostatischen Trennprozessen zu rechnen. Im Staubsammelbehälter werden die Ladungen des isolierenden Schüttguts infolge der vorausgegangenen Kontaktaufladungen akkumuliert. Vom eingetragenen hoch aufgeladenen isolierten Schüttgut können analog zu isolierten Kunststoffoberflächen Büschelentladungen ausgehen, die für Gas/Luft- bzw. Lösemitteldampf/Luft-Gemische zündfähig sind. Dieses Zündrisiko besteht unabhängig davon, ob die aufzusaugenden Stäube selbst explosionsfähig sind oder nicht.

Im Bereich der Vakuumförderertechnik ist dies schon länger bekannt. Der Transport von Stäuben aus einem explosionsgefährdeten Bereich der Zonen 1 oder 2 ist nur zulässig, wenn der Staub ausreichend ableitfähig (z. B. Metallstaub) ist. Sollen isolierende Stäube aus einem explosionsgefährdeten Bereich der Zonen 1 oder 2 mittels Vakuumförderer transportiert werden, müssen die Zonen 1 oder 2 durch eine wirksame und ausreichend zuverlässige Inertisierung verhindert werden, oder es sind konstruktive Explosionsschutzmaßnahmen zu ergreifen.

Im Vakuumförderer wird in der Regel mit einem höheren Unterdruck und mit längeren Förderleitungen gearbeitet als bei einem mobilen Staubsauger, sodass beim Vakuumförderer mit intensiveren Reibprozessen zwischen der Innenwand des Förderschlauchs und des zu fördernden Produkts zu rechnen ist. Daher ist zunächst grundsätzlich davon auszugehen, dass die Aufladung des aufzusaugenden Schüttguts im mobilen Staubsauger nicht so hoch sein wird wie beim pneumatischen Transport im Vakuumförderer. Trotzdem muss zunächst angenommen werden, dass auch in mobilen Staubsaugern zündwirksame Büschelentladungen auftreten können.

Förderversuche an Saugern

Um eine Aussage zu treffen, ob beim Saugvorgang an einem bestimmten Staubsauger tatsächlich Büschelent-

ladungen generiert werden können, wurden Saugversuche an zwei Staubsaugern unterschiedlicher Größe der Fa. Ruwac durchgeführt. Hierbei sollte ermittelt werden, wie hoch Schüttgüter durch den Saugprozess in den beiden Saugertypen tatsächlich aufgeladen werden.

Ziel der Versuche war es, einen Maximalwert für die spezifische Aufladung (Ladung pro kg eingesaugtem Produkt in $\mu\text{C}/\text{kg}$) eines isolierenden Schüttguts zu ermitteln. Bei Kenntnis der Schüttdichte des eingesaugten Produkts und des Volumens des Staubsammelbehälters des Saugers lässt sich dann ermitteln, wie hoch die Aufladung des eingesaugten Schüttguts sein wird, wenn der Staubsammelbehälter maximal gefüllt ist.

Als zu untersuchende Produkte im Rahmen einer Worst-case-Betrachtung wurden Polypropylen-Granulat und Polypropylen-Staub (Korngröße $< 250 \mu\text{m}$) ausgewählt, da diese Polyolefine einen hohen spezifischen Widerstand aufweisen (ca. $10^{14} \Omega\text{m}$) und dazu tendieren, sich hoch aufzuladen.

Die Versuche erfolgten gemäß IEC 60079-32-2 [1; 2] im trockenen Prüfklima bei $23^\circ\text{C} (\pm 2^\circ\text{C})$ und einer relativen Feuchte von $30\% (\pm 5\%)$.

Versuchsaufbau

Zur Ermittlung der maximalen spezifischen Aufladung des eingesaugten Produkts wurden die Sauger für die Versuche so modifiziert, dass die ableitfähigen Teile (Unterteil, Staubwanne und Saugschlauch) gegen Erde isoliert wurden, damit die Ladungen der bei den Saugversuchen aufgesaugten Partikel nicht zur Erde abfließen können. Das ableitfähige Gehäuseoberteil mit dem Motor und der Steuerung wurde durch einen roten isolierenden Zwischenring vom ableitfähigen Unterteil und der Staubwanne getrennt (Bild 1 und 2), damit keine Ladungen über das ableitfähige Gehäuseoberteil, den Motor und den Netzanschluss abfließen konnten. Zusätzlich wurden die Rollen des Saugers auf hochisolierende Folien gestellt, um einen Ladungsabfluss über die Rollen und den Fußboden zu verhindern.

Auch der Saugschlauch mit den jeweils verwendeten Düsen war gegen Erde isoliert. Die Person, die den Schlauch oder die Düse festhielt, war an der Hand ebenfalls gegen den Versuchsaufbau isoliert.

Im elektrischen Sinne stellt das elektrisch leitende Unterteil mit der Saug-



Bild 1 Sauger mit isolierendem Zwischenring.



Bild 2 Rollen, durch Folie isoliert.

wanne, dem Schlauch und der Düse einen Kondensator dar, der gegen Erde isoliert ist. Durch den Eintrag von aufgeladenem Schüttgut wird ein solcher Kondensator aufgeladen.

Die Ladungsmenge eines solchen aufgeladenen Kondensators hängt von der Kapazität des Kondensators und der Spannung ab:

$$Q = C \cdot U$$

Q: Ladung in C

C: Kapazität in F

U: Spannung in V

Zur Ermittlung der Ladungshöhe des eingesaugten Produkts musste somit zunächst die Kapazität des Gehäuseunterteils, das leitend mit der Saugwanne, dem Schlauch und der Düse verbunden ist (im Folgenden Versuchseinrichtung genannt), bestimmt werden. Dies erfolgte mittels eines Kapazitätsmessgeräts.

Vor Beginn der Saugversuche wurde die aufzusaugende Menge des Schüttguts abgewogen (1 oder 2 kg), um die spezifische Ladung pro kg Produkt ermitteln zu können.

Um die Ladungsmenge Q bei bekannter Kapazität zu ermitteln, wurde gemäß o. g. Gleichung die Spannung U an der Versuchseinrichtung gemessen. Das Unterteil wurde hierzu an ein Influenz-E-Feldmessgerät angeschlossen, das mit einem Spannungsmesskopf ausgerüstet war und somit als statisches Voltmeter diente. Mit einem PC Oszilloskop und einer Auswertesoftware konnten die zeitlichen Spannungsverläufe bei den Saugversuchen aufgezeichnet werden. Der Aufbau der Messtechnik ist in Bild 3 dargestellt.

Versuchsdurchführung und Versuchsergebnisse

Es wurden mehrere Saugversuche durchgeführt. Hierbei wurden folgende Versuchsparameter variiert:

Saugertyp:

DS 1220 oder DS 1400

Produktkörnung:

PP-Granulat oder PP-Feinstaub

Düsengeometrie:

Bodendüse oder Fugendüse

Saugwanne:

Mit und ohne Entsorgungswanne

Art des Aufsaugens:

Aufsaugen vom Boden oder aus einer Schüttung

Bild 4 zeigt beispielhaft einen typischen zeitlichen Spannungsverlauf.

Die höchste gemessene Aufladung betrug $1,0 \cdot 10^{-1} \mu\text{C}/\text{kg}$. In der Technischen Regel für Betriebssicherheit (TRBS) 2153 [3] wird für den pneumatischen Transport eine spezifische Aufladung für ein Schüttgut von 10^{-1} bis $10^3 \mu\text{C}/\text{kg}$ angegeben. Durch die Versuche bestätigte sich somit die Vermutung, dass die spezifische Aufladung des eingesaugten Produkts durch den Saugprozess in den beiden Staubsaugern am unteren Ende des Bereichs der Literaturwerte für den pneumatischen Transport liegt.

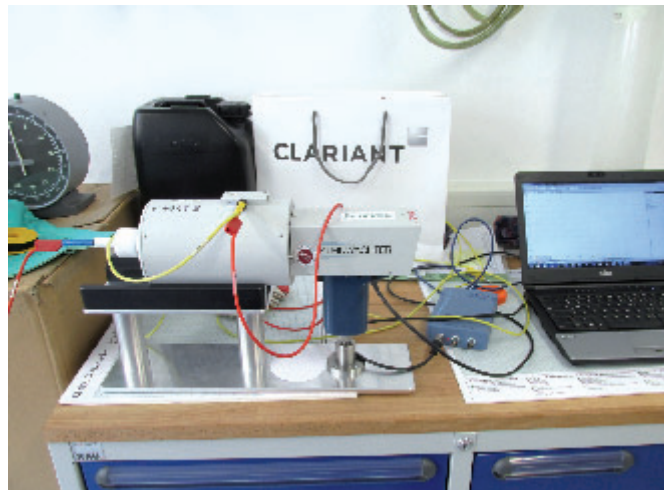


Bild 3 Messwert-erfassung.

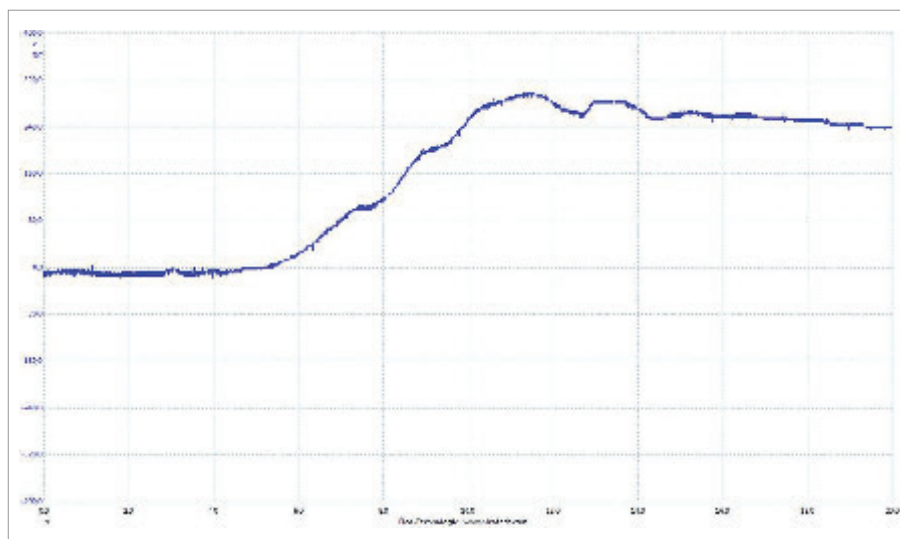


Bild 4 Typischer Spannungs-Zeit Verlauf.

Explosionstechnische Beurteilung der elektrostatischen Zündgefahren

Zur Abschätzung der Zündgefahr, die mit dem Saugen der Feststoffe einhergeht, muss zunächst die sich einstellende Feldstärke der aufgeladenen Schüttung im Staubsammelbehälter abgeschätzt und in das Verhältnis zur Durchschlagspannung (Durchschlagfestigkeit) von Luft gesetzt werden. Beträgt die Feldstärke der Schüttung weniger als die Durchschlagfestigkeit der Luft von ca. 30 kV/cm, so können generell Gasentladungen und somit auch Büschelentladungen ausgeschlossen werden. Zur Abschätzung der Feldstärke der Schüttung im Staubsammelbehälter des Saugers kann dem Ansatz nach [1] gefolgt werden. Hierbei wird das elektrische Feld in kV/m für einen zylindrischen Körper nach folgender Gleichung berechnet.

$$\bar{E} = \frac{r \cdot q \cdot \rho_{\text{Sch}}}{2 \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon}$$

r : Radius des zylindrischen Körpers in m

q : spezifische Aufladung durch den Saugprozess in C/kg

ρ_{Sch} : Schüttdichte in kg/m^3

ϵ_{Sch} : elektrische Feldkonstante in As/Vm

ϵ_0 : relative Permittivität des Feststoffs

Der Radius r des für diese Modellbetrachtung heranzuziehenden zylindrischen Behälters ist über die Geometrie des Staubsammelbehälters gegeben. Hier ist der Abstand zwischen dem Mittelpunkt des Behälters und dem kürzesten Abstand zur nächstgelegenen Wand maßgeblich.

Dies gilt unter der Voraussetzung, dass sich keine Einbauten mit einem engen Krümmungsradius, wie Füllstandssensoren im Nahbereich der Schüttung bzw. des Staubsammelbehälters befinden.

Die relative Permittivität beschreibt die Durchlässigkeit eines Materials für elektrische Felder. Die relative Permittivität von Polypropylen beträgt ca. 1,45. Dieser Wert ist recht gering und somit konservativ im Vergleich zu anderen Materialien. Werden in der betrieblichen Praxis Stoffe mit höheren relativen Permittivitäten eingesetzt, verringert sich die elektrische Feldstärke, da die relative Permittivität im Nenner der o. a. Gleichung steht.

Errechnet man nun die elektrische Feldstärke der Schüttung innerhalb des Saugers bei einer maximalen Füllhöhe mittels der o. a. Gleichung, so ergibt sich ein maximaler Wert von 1,8 kV/cm. Dieser Maximalwert liegt mehr als das Zehnfache unterhalb des Grenzwerts der Durchbruchfeldstärke von 30 kV/cm. Daher kann davon ausgegangen werden, dass bei den verwendeten Saugern zündwirksame Gasentladungen für Gase und Dämpfe, ausgehend von der elektrostatisch aufgeladenen Schüttung, nicht auftreten.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass es sich hierbei nicht um eine

allgemeingültige Aussage für den Einsatz von Staubsaugern in explosionsgefährdeten Bereichen handelt. Wie einleitend erwähnt, hängt die Höhe der Produktaufloadungen von vielen Parametern ab und lässt sich nicht ohne Messung vorhersagen. Die hier getroffenen Aussagen gelten nur an den konkret untersuchten Prüfmustern mit der bei den Versuchen verwendeten Ausstattung. Für einen abweichenden Prüfaufbau sind aufgrund der Vielzahl der Einflussmöglichkeiten keine Aussagen möglich, sondern es sind erneut Messungen zur Nachweisführung erforderlich.

Im Rahmen dieses Beitrags wurde nur auf die Zündquelle Elektrostatik eingegangen. Dies stellt selbstverständlich nicht die einzige potenzielle Zündquelle dar, die beim Einsatz eines mobilen Saugers gerätebezogen oder prozessbedingt auftreten kann. Auch die einzuhaltenden formalen Aspekte zum Inverkehrbringen von Saugern oder hinsichtlich der Beurteilung nach Gefahrstoffverordnung und Prüfung nach Betriebssicherheitsverordnung werden hier nicht behandelt.

TS 522

Autoren

Dr. **Carsten Blum**, DEKRA EXAM GmbH, Bochum.

Alexej Heimann,

Ruwac Industriesauger GmbH, Melle.

Literaturverzeichnis

[1] IEC 60079-32-2: Explosive atmospheres – Part 32-2: Electrostatics hazards – Tests. Genf: International Electrotechnical Commission 2015.

[2] *Glor, M.*: Transfer of powders into flammable solvents overview of explosion hazards and preventive measures. J. Loss Prevention in the Process Industries 19 (2006), S. 656-663.

[3] Technische Regel für Betriebssicherheit (TRBS) 2153: Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen. GMBI. (2009) Nr. 15/16, S. 278.