

Bunte Funken

ZÜNDGEFAHREN – Nein, im vorliegenden Beitrag geht es nicht um die gleichnamigen, karnevalistischen Mariechen, sondern um mechanisch erzeugte Funken und die von ihnen ausgehenden Gefahren. VON GÜNTER UND SYLVIA LÜTTGENS

Die Erforschung von Zündvorgängen hat bereits vor etwa 40 Jahren zu der Übereinkunft geführt, 13 verschiedene Zündquellen zu definieren, eine Anzahl, die sich bis heute nicht geändert hat und dementsprechend weltweit anerkannt ist. Diese Zündquellen werden eingehend charakterisiert in den TRBS 2152, Abs. 5.2 bis 5.14 der Betriebssicherheitsverordnung.

Mit Ausnahme der Zündquelle „Mechanisch erzeugte Funken“ ist der Umgang mit allen übrigen schon seit mehr oder weniger langer Zeit geregelt. Bei ihr hat man sich bisher weitgehend darauf beschränkt, nur sogenannte „funkenfreie“ Werkzeuge zu empfehlen. Doch nach neueren Untersuchungen gibt es keine funkenfreien Materialien, sondern bestenfalls solche, die als „funkenarm“ gelten.

Zunächst wurde aus dem Bereich der Wartung und Instandsetzung von Chemieanlagen hinterfragt, ob es wirklich erforder-

lich sei, in explosionsgefährdeten Bereichen ausschließlich funkenarmes Werkzeug einzusetzen, denn diese aus Beryllium-Kupfer-Legierungen hergestellten Arbeitsgeräte weisen einige Nachteile auf: Sie sind erheblich teurer (etwa Faktor 100!) als Stahlwerkzeuge und deren Härte und Verschleißfestigkeit werden nicht erreicht.

Letztendlich führte diese Fragestellung vor etwa 20 Jahren dazu, sich eingehender mit der Problematik zu befassen.

Experimentelle Vorgehensweise

Mechanische Funken entstehen, wenn z.B. ein Stahlstift gegen eine rotierende Scheibe aus Korund gepresst wird, und dabei funkende Teilchen abgetrennt werden (**Bild 1**).

Es ist naheliegend, für die Zündung eines Brenngases dessen Zündtemperatur als bestimmend anzusehen. In Bezug auf heiße Gegenstände sind die Mindestzündtemperaturen für die

meisten Stoffe bekannt. Doch stellt sich schnell heraus, dass die Temperatur der abgetrennten Funkenteilchen weitaus höher liegt als die Mindestzündtemperatur, wie sie z.B. für heiße Oberflächen definiert sind, und es trotzdem nicht zu einer Zündung kommt. Demgemäß stellt – zumindest für kleine Funkenteilchen – die Zündtemperatur kein geeignetes Kriterium dar.

Die Ursache dafür findet sich wahrscheinlich im unterschiedlichen Verlauf des Wärmeübergangs zum Brenngas zwischen einer großen ruhenden Oberfläche und einem schnell fliegenden kleinen Teilchen.

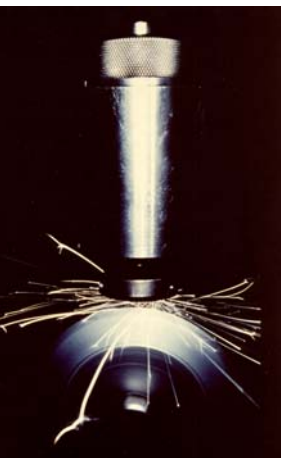
Aus dieser Sachlage heraus haben sich E. Behrend (BAM) und K. Ritter (BASF) damit befasst, das Verhalten der bei Schleifvorgängen abgetrennten glühenden Stahlspäne auf ihrem Flugweg zu untersuchen.

Die Diagramme in den **Bildern 2 und 3** zeigen die Quintessenz der aus einer enormen Zahl von Einzelmessungen gewonnenen Ergebnisse.

Der beim Abtrennen erhitze Stahlspan wird vom Luftsauerstoff oxidiert und heizt sich dabei weiter auf. Das kann zum Verzndern und Verbrennen bis zum Zerplatzen des Spans führen. Zusätzlich sind neben der jeweiligen Teilchengeschwindigkeit noch der Temperaturverlauf und die Energieabgabe an das umgebende Gas, bezogen auf die Weglänge des Teilchens, dargestellt. Die wesentlichen Erkenntnisse aus diesen Untersuchungen können dahingehend zusammengefasst werden, dass sich die durch den Abtrennvorgang erhitzten Stahlteilchen infolge Oxidation mit dem Luftsauerstoff weiter aufheizen. Der Vorgang kann in die verschiedenen Endzustände münden, die **Bild 3** zeigt.

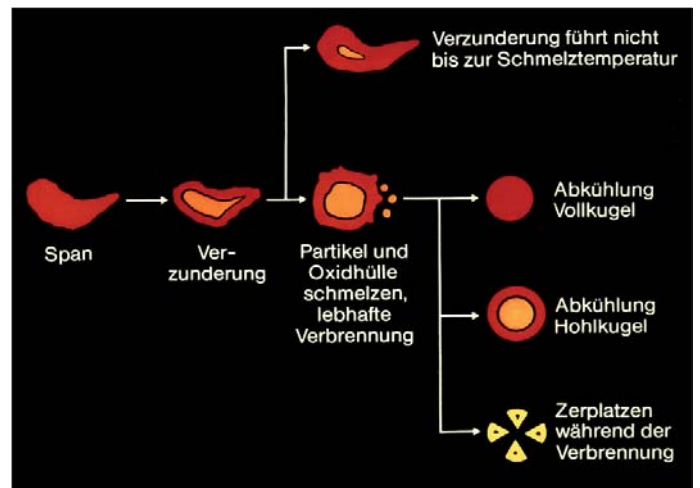
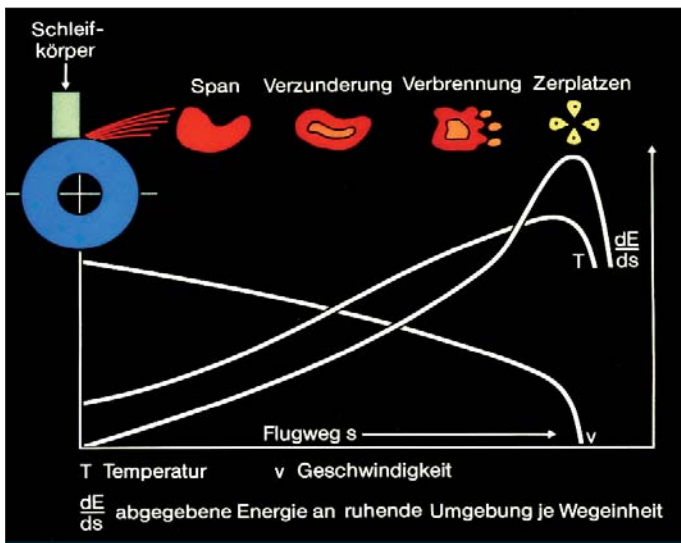
Weil offensichtlich die hohe Temperatur der Funkenteilchen – vermutlich infolge ihrer raschen Bewegung durch die Brenngasatmosphäre – nicht zur Zündung führt, wurde gefolgert, dass letztendlich nur die Teilchenexplosion zu zünden vermag. Damit

Bild 1:
Funkenerzeugung



Zündquellen

Nr. Zündquelle	Beispiel
1 Heiße Oberflächen	heiße Rohrleitung, Apparategehäuse
2 Flammen und heiße Gase	Streichholz, Abgase, Trockenluft
3 Mechanisch erzeugte Funken	Schleifen, Trennen, mech. Feuerzeug
4 Elektrische Anlagen	elektrische Schließ- und Trennfunkeln
5 Elektrische Ausgleichströme, Kathodischer Korrosionsschutz	Rückströme beim Elektroschweißen, Fremdstromeinspeisung, Fahrschienen
6 Statische Elektrizität	Gasentladungen nach Trennvorgängen
7 Blitzschlag	Zündung im Blitzkanal, Funken in Umgebung
8 Elektromagnetische Felder Bereich: 9 kHz bis 300 GHz	Hochfrequenzanlagen
9 Elektromagnetische Strahlung im optischen Spektralbereich	Lichtfokussierung, Fotoblitz
10 Ionisierende Strahlung	UV-Strahler, Röntgenröhren, Laser
11 Ultraschall	Ultraschallreinigung
12 Adiabatische Kompression	Verdichter, Stoßwellen in Leitungen
13 Chemische Reaktionen	Exotherme, pyrophore Reaktionen



◀ Bild 2: Teilchenzustände auf ihrer Flugbahn

▲ Bild 3: Endzustände der glühenden Spanteilchen

gilt herauszufinden, welche Spanwerkstoffe zu einer derart starken Oxidation führen, dass schließlich Zerplatzen auftritt. Naheliegender ist die Annahme, dass rostfreie (legierte Stähle) auf ihrer Flugbahn weniger oxidieren als Kohlenstoffstähle. **Bild 4** zeigt dazu Funkenproben am Schleifstein.

In früheren Jahren war es noch üblich, durch einfaches Anschleifen über den dabei entstehenden Funkenstrahl eine grob qualitative Aussage zur Art des Stahls und seines Kohlenstoffgehalts zu bekommen.

Nach früheren Untersuchungen der BAM verursacht die bei höherer Temperatur eintretende Affinität des Kohlenstoffs zum Sauerstoff eine spontane Erhitzung der abgetrennten Stahlteilchen. Der zunächst noch glatte Funkenstrahl mündet dabei in kleine büschelige Stacheln, auch „C-Explosionen“ genannt. Erst wenn derart die oxidationsfähigen Stahlteilchen im Sauerstoff des Brenngas/Luft-Gemisches

selbst verbrennen und damit ihre Verbrennungswärme als Zündenergie zur Verfügung stellen, werden sie zur Zündquelle.

Bürgerliche Nutzenanwendung

Reibung kann zur Bildung von mechanischen Funken führen. Immerhin wird eine relative Kontaktgeschwindigkeit von 1 m/s generell als Grenzwert angesehen, unterhalb dessen aus Reibung resultierende Zündquellen nicht in der Lage sind, explosionsfähige Atmosphären zu entzünden. Experimente haben das für viele Situationen bestätigt.

Nach neueren Untersuchungen der BAM [Forschungsberichte 279 und 292] erfolgt ein Anstieg der Zündwahrscheinlichkeit mechanisch erzeugter Funken:

- ◆ mit Zunahme abgetrennter Partikel
- ◆ bei steigendem Anteil oxidierbarer Partikel
- ◆ mit der Partikelgröße

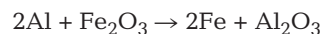
Die Schlussfolgerung daraus: Sofern keine Oxidation der abge-

trennten Partikel stattfindet, ist nicht mit einer Zündung durch einzelne mechanisch erzeugte Stahl-Schlagfunken zu rechnen.

Aluminothermische Reaktion

Für den Fall, dass bei Reib- und Schlagvorgängen mit Eisenmetallen auch Aluminium beteiligt ist, muss zusätzlich noch die Möglichkeit einer „aluminothermischen Reaktion“ mit einbezogen werden. Dieser Vorgang lässt sich rein anschaulich erklären:

Auf eine rostige Stahlplatte wird eine Aluminiumfolie gelegt. Durch Schlag mit einem Hammer (z.B. aus Berylliumbronze) auf die Folie lässt sich dort ggf. die für eine aluminothermische Reaktion erforderliche Aktivierungsenergie (Wärme) erzielen, so dass die folgende chemische Reaktion startet:



Demzufolge wird beim oxidierten Eisen durch Hitze Sauerstoff freigesetzt (reduziert), der unmittelbar beim anliegenden Aluminium wieder zur Oxidation



Bild 4: Funkenproben am Schleifstein. Interessante Beispiele für Stahlfunken beim Schleifen finden sich auch auf YouTube unter [gelaweb-Code 20110343](#).

führt unter heftiger Wärmeentwicklung.

Das verursacht energiereiche Funken, die zündfähig sind für Gase und Stäube.

Jede Art von Aluminium auf Rost stellt eine potenzielle Zündgefahr dar. So ist auch Aluminiumpigmenten in Beschichtungen die Bildung von Zündfunken zu unterstellen, sofern der Al-Anteil im trockenen Zustand 25 % Masseanteile überschreitet. Diese Festlegung gilt – allerdings mit niedrigeren Grenzwerten – grundsätzlich für alle Leichtmetalle.

Fußbodenbeschichtungen, die beispielsweise zur Verbesserung der elektrostatischen Ableitfähigkeit mit Aluminiumpartikeln angereichert sind, müssen entsprechend eingeschätzt werden.

Regeln für Ex-Bereiche

Die vorausgegangenen Darlegungen haben die komplexen Zusammenhänge bei Zündgefahren infolge mechanisch erzeugter Funken erkennen lassen. So ist ersichtlich, dass verbindliche Bestimmungen, wie sie aus

anderen sicherheitstechnischen Regelwerken geläufig sind, hier (noch) nicht zu erwarten sind.

Die derzeit beschlossenen Anforderungen für die Verwendung mechanischer Werkzeuge in explosionsgefährdeten Bereichen finden sich in DIN EN 13463-1 „Nicht-elektrische Geräte für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen, Teil 1; Grundlagen und Anforderungen“.

Die darin in 6.4 vorgenommene Unterscheidung zwischen potenziellen und wirksamen Zündquellen dürfte zwar für rasche verbindliche Entscheidungen wenig dienlich sein, ist aber ungeachtet dessen für sicherheitstechnische Gutachten nicht verzichtbar.

Zur Bewertung von durch einzelne Schläge erzeugten Funken als wirksame Zündquelle wird ergänzend in dieser Norm noch eine an den Geräte-Kategorien orientierte tabellarische Übersicht gegeben.

Nachstehend aus DIN EN 13463-1 eine sinngemäße Übersicht zur Bewertung von durch

einzelne Schläge erzeugten Funken als potenzielle Zündquellen:

Einzelne Schläge zwischen anorganischen Werkstoffen brauchen nicht als mögliche Zündquelle berücksichtigt zu werden, wenn die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

Die Aufprallgeschwindigkeit ist geringer als 1 m/s und die maximale mögliche Schlagenergie geringer als 500 J .

Weiterhin ist zu beachten:

- ◆ Es wird kein Aluminium, Titan oder Magnesium in Kombination mit ferritischem Stahl verwendet, oder

- ◆ es wird nur Aluminium in Kombination mit Edelstahl ($\geq 16,5\%$ Cr) verwendet, wenn der Stahl nicht korrodieren kann und sich kein Eisenoxid und/oder rostige Partikel auf der Oberfläche ablagern können (entsprechende Verweise auf die Eigenschaften von Edelstahl müssen in der technischen Dokumentation und der Bedienungsanleitung enthalten sein), oder

- ◆ es wird kein Vergütungsstahl in Kombination mit Vergütungsstahl verwendet, oder

- ◆ es wird kein Vergütungsstahl verwendet, wenn dieser auf Granit auftreffen kann, oder

- ◆ Aluminium in Kombination mit Aluminium wird nur verwendet, wenn sich kein Eisenoxid und/oder rostige Partikel auf der Oberfläche ablagern können.

Anweisungen aus TRBS 2152 Teil 3; Abs. 5.4 (BetrSichV)

Mechanisch erzeugte Funken, die eine wirksame Zündquelle bilden können, sind zu vermeiden.

5.4.1 Hinweise für die Gefährdungsbeurteilung

(1) Durch Reib-, Schlag- und Abtragvorgänge, z.B. beim Schleifen, können aus festen Materialien Teilchen abgetrennt werden, die eine erhöhte Temperatur auf Grund der beim Trennvorgang aufgewandten Energie annehmen. Bestehen die Teilchen aus oxidierbaren Stoffen, wie Eisen oder Stahl, können sie einen Oxidationsprozess durchlaufen, wobei sie sich weiter erhitzen können. Diese Teilchen (Funken) kön-

Explosionsschutz Handhubwagen mit Sicherheitsberatung

Meist sind es nur kleine Unachtsamkeiten, die zu Unfällen führen. So gibt es im Normalbetrieb bei Flurförderzeugen in explosionsgefährdeten Bereichen häufig noch Sicherheitslücken. Hier verwenden viele Betreiber herkömmliche Handhubwagen. Auch wenn diese mit leitfähigen Rollen ausgerüstet sind, ist damit die Gefahr der Funkenbildung noch lange nicht gebannt. „Oft ist ein derartig sorgloser Umgang bedingt durch Informationslücken und Unwissenheit“, sagt Angelo Lombardo, Leiter Fleetmanagement Flurförderzeuge bei Chemion. Aus diesem Grund bietet die Chemion Logistik GmbH, Leverkusen, im Rahmen eines Aktionspaketes ihren neuen explosionsschutzten Handhubwagen „Exinox“ in Kombination mit einer kostenlosen Sicherheitsberatung an.

„Detaillierte Aufklärung sowie kontinuierliche Weiterbildung und Auffrischung von vorhandenem Wissen sind unverzichtbare Bestandteile eines gelebten Explosionsschutzes“, betont Lombardo.

„Im Rahmen unserer Aktion bekommen die Kunden nicht nur ein hochwertiges Gerät, sondern profitieren gleichzeitig von unserer Ex-

pertise als bundesweit größter Poolbetreiber für explosionsschutzte Flurförderzeuge.“

Was manche Betreiber nicht wissen: Nicht alle Arbeitsmittel, die seit 2003 im Ex-Bereich eingesetzt werden, unterliegen den Anforderungen der ATEX-Richtlinie 94/9/EG und der Explosionsschutzverordnung. Beispielsweise gilt die Verordnung gemäß ihrer Definition für Geräte nur dann, wenn diese z.B. eigene potenzielle Zündquellen besitzen.

„Mitunter ergibt sich die Zündgefahr aber erst während der Anwendung“, warnt Lombardo. Neben elektrostatischen Aufladungen stellen mechanisch erzeugte Funken, die durch Reib-, Schlag und Schleifvorgänge entstehen, eine große Gefahrenquelle dar. „Das bedeutet, dass alle Geräte und Schutzsysteme für die entsprechende Ex-Zone ausgelegt sein müssen, denn schon der kleinste Funke kann beim Umgang mit höchst sensiblen Stoffen katastrophale Folgen haben“, so Lombardo.

www.chemion-exinox.de



Foto: Chemion Logistik

nen brennbare Gase und Dämpfe sowie Staub-/Luft-Gemische (insbesondere Metallstaub-/Luft-Gemische) entzünden. In abgelagertem Staub können darüber hinaus durch Funken Glimmnester entstehen, die dann zur Zündquelle für eine explosionsfähige Atmosphäre werden können.

(2) Das Eindringen von Fremdmaterialien, z.B. von Steinen oder Metallstücken, in Anlagenteile muss als Ursache von Funken berücksichtigt werden.

(3) Reibung, sogar zwischen einander ähnlichen Eisenmetallen und zwischen bestimmten keramischen Materialien, kann örtliches Erhitzen und Funken ähnlich den Schleiffunken verursachen. Dadurch kann explosionsfähige Atmosphäre entzündet werden.

(4) Ein einzelner durch einfache Werkzeuge (z.B. Schraubenschlüssel, Zange) und einfache Geräte (z.B. Leiter) erzeugter Funke führt nur in seltenen Fällen zur Entzündung explosionsfähiger Atmosphäre. Davon abweichend ist in explosionsfähigen Atmosphären aus einem oder mehreren der Gasen der Explosionsgruppe IIC (Acetylen, Schwefelkohlenstoff, Wasserstoff) sowie Schwefelwasserstoff, Kohlenmonoxid und Ethylenoxid jedoch stets die Möglichkeit einer Entzündung zu unterstellen.

(5) Reib-, Schlag- und Abtragvorgänge, bei denen Rost und Leichtmetalle (z.B. Aluminium und Magnesium) und ihre Legierungen beteiligt sind, können stark exotherme, funkenbildende Reaktionen auslösen, durch die explosionsfähige Atmosphäre entzündet werden kann.

(6) Auch beim Schlagen oder Reiben von Titan oder Zirkonium gegen ausreichend harte Materialien können zündfähige Funken entstehen, sogar bei Abwesenheit von Rost.

(7) Beim Schweißen und Schneiden entstehende Schweißperlen sind Funken mit sehr großer Oberfläche, sie gehören zu den besonders wirksamen Zündquellen. Ähnliche Funken entstehen auch beim Schleifen oder Trennen. Es ist dabei zu beachten,

dass diese zündfähigen Funken über weite Strecken auch in explosionsgefährdete Bereiche getragen werden können.

(8) Eine erhöhte Zündgefahr besteht in allen Zonen dann, wenn mit einer aluminothermischen Reaktion (Thermitreaktion) zu rechnen ist. Schlägt man z.B. auf eine rostige Stahlfläche, die mit einer Aluminiumfolie bedeckt ist, mit einem Anstrich von Aluminiumfarbe versehen ist oder auf der Aluminiumabrieb oder Aluminiumspäne liegen, bilden sich sehr leicht Funken von großer Zündwirksamkeit aus. So entstehen auch Funken, wenn auf Bauteile aus Aluminium rostige Teile schlagen oder auf solchen Bauteilen Flugrost liegt und Schläge auf diese Stellen geführt werden.

(9) Wenn zur Erreichung einer besseren elektrostatischen Ableitfähigkeit von Fußböden Aluminiumfarben oder Aluminiumbeschichtungen verwendet werden, ist die Bildung zündfähiger Funken nicht zu unterstellen, sofern der Aluminiumgehalt der Farben und Beschichtungen in gealtertem, trockenem Zustand unter 25 % Massenanteile liegt. In Abhängigkeit der verschiedenen Bindemittel und Füllstoffe kann diese Grenze auch bis zu einem Anteil von 45 % Massenanteile ausgedehnt werden.

5.4.2 Schutzmaßnahmen für alle Zonen

(1) Wenn die in 5.4.1 Absatz 9 genannten Grenzwerte überschritten werden können oder die genaue Zusammensetzung des Aluminiumanstrichs nicht bekannt ist, ist dafür Sorge zu tragen, dass während Arbeitsvorgängen mit Stahlgegenständen gewährleistet ist, dass explosionsfähige Atmosphäre in gefahrdrohender Menge nicht vorhanden ist oder entstehen kann.

(2) Beispiele für den Einsatz von Werkzeugen in explosionsgefährdeten Bereichen sind im Anhang aufgeführt.

5.4.3 Schutzmaßnahmen für Zonen 0 und 20

(1) In den Zonen 0 und 20 dürfen selbst bei selten auftretenden Betriebsstörungen keine zündfähigen

Reib-, Schlag- oder Schleiffunken auftreten.

(2) In den Zonen 0 und 20 sind Reibvorgänge zwischen Aluminium, Magnesium, Zirkonium und Titan (ausgenommen Legierungen mit weniger als insgesamt 10 % Massenanteile der genannten Metalle und insgesamt nicht mehr als 7,5 % Massenanteile Mg, Zr, Ti) und Eisen oder Stahl (ausgenommen nicht rostender Stahl, wenn die Anwesenheit von Rostpartikeln ausgeschlossen werden kann) auszuschließen. Reib- und Schlagvorgänge zwischen Titan oder Zirkonium und jeglichem harten Werkstoff sind zu vermeiden.

5.4.4 Schutzmaßnahmen für Zonen 1 und 21

In den Zonen 1 und 21 sind nach Möglichkeit die Forderungen für die Zonen 0 und 20 zu erfüllen. Werkstoffe dürfen nicht mehr als 7,5 % Massenanteile Magnesium enthalten. Sind jedoch Arbeitsvorgänge, bei denen zündfähige Reib-, Schlag- oder Schleiffunken auftreten können, erforderlich, so müssen Funken durch geeignete Maßnahmen vermieden oder abgeschirmt werden. Dies gilt beispielsweise bei Einhaltung der folgenden Maßnahmen als erfüllt:

- ◆ Wasserkühlung an der Schleifstelle,

- ◆ Abscheiden zündfähiger Partikel in Abgasen z.B. in Wasservorlagen.

Hinweis: Die Entstehung zündfähiger Reib- und Schlagfunken lässt sich durch Wahl günstiger Materialkombinationen einschränken. Bei Arbeitsmitteln mit bewegten Teilen ist an den möglichen Reib-, Schlag- oder Schleifstellen die Materialkombination Leichtmetall und Stahl (ausgenommen nicht rostender Stahl) grundsätzlich zu vermeiden.

5.4.5 Schutzmaßnahmen für Zonen 2 und 22

In den Zonen 2 und 22 ist es in der Regel ausreichend, die für die Zonen 1 und 21 beschriebenen Schutzmaßnahmen lediglich gegen ständig oder häufig zu erwartende zündfähige Funken durchzuführen. ■