

# Brennbare Stäube in Strahlanlagen

Klaus-Werner Stahmer und Hans-Jörg Teske, Sankt Augustin, und Marc Scheid, Berlin

Im Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) werden seit vielen Jahren industrielle Stäube auf ihre Explosionsgefahren untersucht. Die Analyse erfolgt auf der Grundlage von standardisierten Verfahren. Die ermittelten Daten werden anonymisiert in der GESTIS- Staub-Ex-Datenbank veröffentlicht und stehen Anwendern und Projektplanern zur Verfügung. In der Datenbank sind zurzeit 210 Strahlstäube mit insgesamt 527 Datensätzen gespeichert. Wenngleich die Übernahme einzelner Datensätze für die eigene betriebliche Risikobeurteilung nur unter Einschränkung möglich ist, können aus der Auswertung von Datenkollektiven wertvolle Informationen für Hersteller und Betreiber gewonnen werden. Die Auswertung hilft, das Risiko bei der Freisetzung von Strahlstäuben näher zu bestimmen und notwendige Schutzmaßnahmen entsprechend auszuwählen. Sie ersetzt nicht die betriebliche Ermittlung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre und die Zündquellenanalyse vor Ort.

Bei der Bearbeitung von Oberflächen in Strahlanlagen können durch Materialabtrag der Oberfläche und durch Abrieb des Strahlmittels brennbare Strahlstäube entstehen, die in filternden Abscheidern oder der Strahlmittelrückgewinnung unter bestimmten Bedingungen eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre erzeugen können.

Explosionsgefahren beim Strahlen von Leichtmetallen, wie z. B. Aluminium- und Magnesiumlegierungen, sind seit geraumer Zeit bekannt [1]. Hierzu wurden bereits vor mehr als 20 Jahren beim IFA (früher BIA) zwei Forschungsprojekte durchgeführt, bei denen das Brenn- und Explosionsverhalten von Aluminium-Strahlstäuben aus Schleuderradstrahlanlagen untersucht wurde [2; 3]. Die Ergebnisse hieraus flossen in Regelwerke der Berufs-

genossenschaften ein. Diese Erkenntnisse sind nach den Erfahrungen der Autoren in den meisten Fällen bei der Neukonzeption von Strahlanlagen für Leichtmetalle berücksichtigt und umgesetzt worden.

Etwas anders verhält es sich bei der Bearbeitung von Stahl oder mit Lacken beschichteten Oberflächen. Auch hier können brennbare Stäube entstehen, diese werden aber in den Betrieben häufig nicht als mögliche Gefahrenquelle identifiziert. Im IFA werden seit vielen Jahren alle Arten von industriellen Stäuben auf ihr Brenn- und Explosionsverhalten untersucht. Die ermittelten Daten werden anonymisiert in der GESTIS-Staub-Ex-Datenbank veröffentlicht und stehen Herstellern und Betreibern als Orientierungswerte zur Verfügung [4; 5].

Ziel dieser Veröffentlichung ist es, Betreiber und Hersteller von Strahlanlagen auf Brand- und Explosionsgefahren in entsprechenden Anlagen hinzuweisen, besonders gefährdete Verfahren und Werkstoffkombinationen hervorzuheben sowie Maßnahmen für den sicheren Betrieb von Strahlanlagen, in denen brennbare Stäube entstehen, aufzuzeigen.

## Strahlen als Fertigungsverfahren

Die betrachteten Strahlanlagen dienen i. d. R. dazu, Oberflächen von Bauteilen oder Blechen durch Beschießen mit einem Strahlmittel zu bearbeiten. Das Beschießen erfolgt mithilfe von Schleuderrädern oder mit Druckluft unterstützten Strahlgeräten. Je nach zu strahlendem Oberflächenmaterial (Strahlgut) und Einsatzzweck werden unterschiedliche Strahlmittel verwendet. Die Palette reicht von diversen Metallverbindungen vom Korn bis zu Pulver, über Glas und Keramikstrahlmittel bis hin zu organischen Produkten wie Walnusschalen und Apfelsinenkernen. Die Strahlkabinen sind häufig mit Manganblechen oder Gummi ausgekleidet und können Einbauten wie z. B. Trommelräder haben.

Der beim Strahlvorgang anfallende feine Strahlstaub wird aus der Strahlkabine abgesaugt und in einem oder mehreren Abscheidern vom Luftstrom getrennt. In den meisten Fällen werden hierzu filternde Abscheider verwendet. In vielen Fällen ist dem filternden Abscheider ein Zyklonabscheider oder ein Schwerkraftabscheider mit einem Prallblech vorgeschaltet. In anderen Fällen kommen Nassabscheider zum Einsatz.

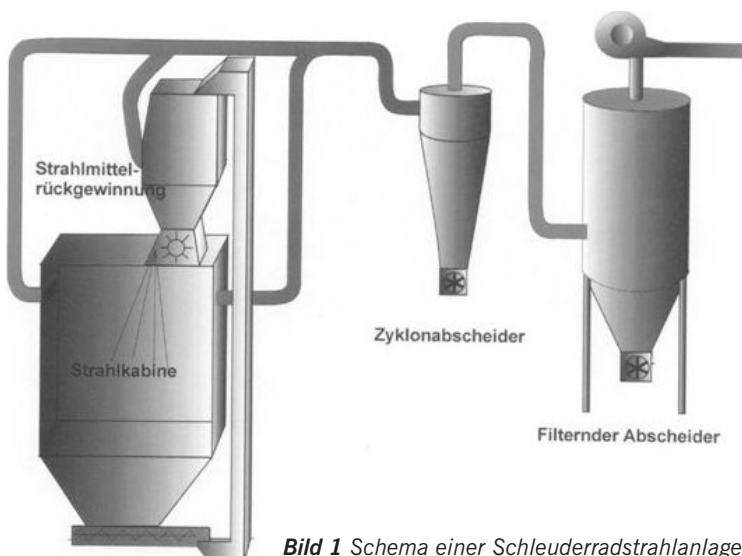
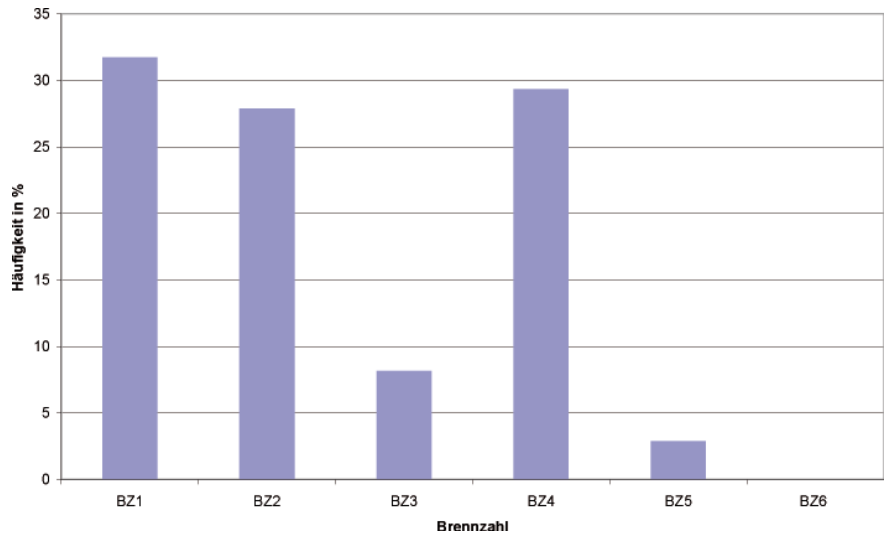


Bild 1 Schema einer Schleuderradstrahlanlage.

Das Strahlmittel sowie nicht durch die Absaugung erfasste Anteile des Strahlstaubs werden i. d. R. nach unten ausgetragen und einem Horizontalförderer, z. B. einer Schnecke, einem Vertikalförderer (Becherwerk) zugeführt und angehoben. Von dort erfolgt die Aufgabe auf einen Windsichter, in dem der Strahlstaub und wieder verwertbares Strahlmittel voneinander getrennt werden. Das zurückgewonnene Strahlmittel wird einem Vorratsbehälter zugeführt, der Strahlstaub wird dagegen zusammen mit dem Abluftstrom den Abscheidern zugeführt. **Bild 1** zeigt schematisch den Aufbau einer Strahlanlage einschließlich der Absauganlage und Strahlmittelrückgewinnung.



**Bild 2** Prozentuale Verteilung der Brennzahlen in Strahlstaubproben (gesamt, n = 208).

### GESTIS-Staub-Ex – Statistische Auswertung von Stäuben aus Strahlanlagen

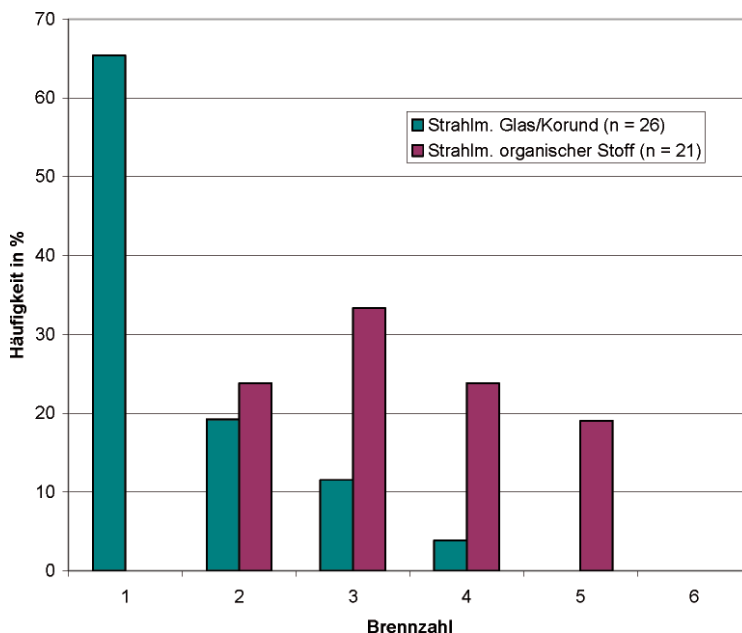
Grundlage für die Beurteilung von Explosionsgefahren sind i. Allg. die sicherheitstechnischen Kennzahlen der Stäube. In der GESTIS-Staub-Ex-Datenbank sind Daten von 210 Strahlstäuben gespeichert. Dieser Datenbestand ist aus gezielt durchgeführten Projekten der Unfallversicherungsträger mit ausgewählten Mitgliedsbetrieben [2; 3] und kontinuierlich durchgeführten Laboruntersuchungen im IFA entstanden. Nicht zu allen gespeicherten Stoffdaten liegen vollständige Datensätze vor, sodass für gezielte Auswertungen aus diesem Datenkollektiv Untergruppen gebildet wurden.

#### Korngrößenverteilung

Durch den Strahlvorgang entsteht i. d. R. durch Abrieb Staub mit einer Korngröße < 500 µm. In vielen Fällen liegt der Medianwert des Abriebs unterhalb 100 µm und damit in einem Korngrößenbereich, der in Luft aufgewirbelt explosionsfähig sein kann. Der Staub setzt sich zusammen aus Abrieb vom Strahlmittel, der zu strahlenden Oberfläche und ggf. der Auskleidung der Strahlkabine und deren Einbauten.

#### Brennbarkeit

In Abhängigkeit vom eingesetzten Strahlmittel, z. B. Stahl, Leichtmetall oder Glas, und der zu strahlenden Oberfläche, z. B. nicht oxidiertes Metall, verzundert, verrostet, lackiert oder ölbehaftet, können im Strahlstaub brennbare und nicht brennbare Bestandteile enthalten sein, die maßgeblich das Brenn- und Explosionsverhalten der Stäube beeinflussen. Das Brennverhalten von Stäuben lässt sich durch die sog. Brennzahl beurteilen[6]. Diese reicht von



**Bild 3** Prozentuale Verteilung der Brennzahlen für Strahlmittel Korund/Glas und organischer Stoff als Strahlmittel (ohne weitere Differenzierung nach Oberflächen).

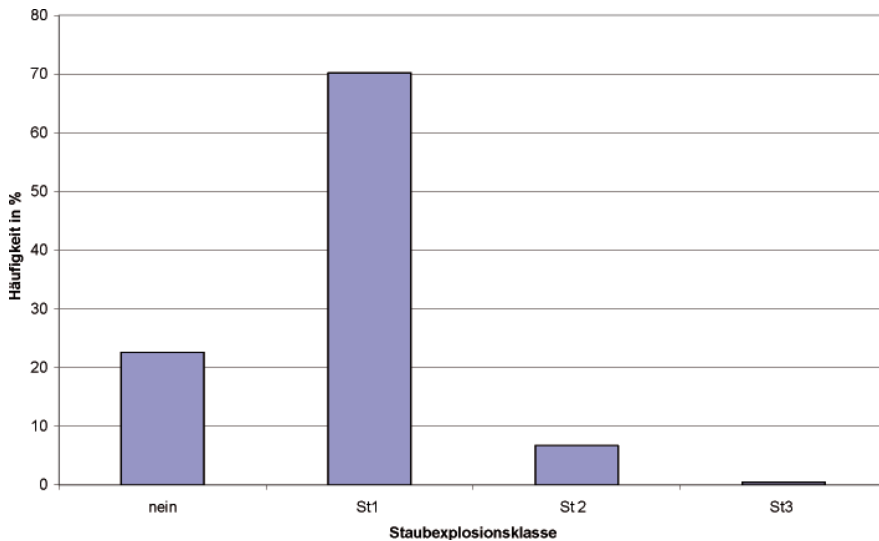
BZ 1 „kein Anbrennen“ bis BZ 6 „verpuffungsartiges Abbrennen“.

In **Bild 2** wird die Verteilung von 208 Strahlstäuben auf die sechs Brennzahlen in % dargestellt. In guter Näherung werden die Brennzahlen 1, 2 und 4 zu ca. 30 % in den Strahlstaubproben ermittelt. BZ 4 bedeutet „Ausbreiten eines Glimmbrandes“ und ist für die Auslegung der Schutzmaßnahmen zur Vermeidung von Filterbränden und der Zündung durch Glimmnester von Bedeutung. Als Strahlmittel wurde in 136 Proben Metall verwendet, deshalb unterscheidet sich die Verteilung der Brennzahlen dieser Proben nicht signifikant von der Gesamtverteilung. Allerdings gibt es

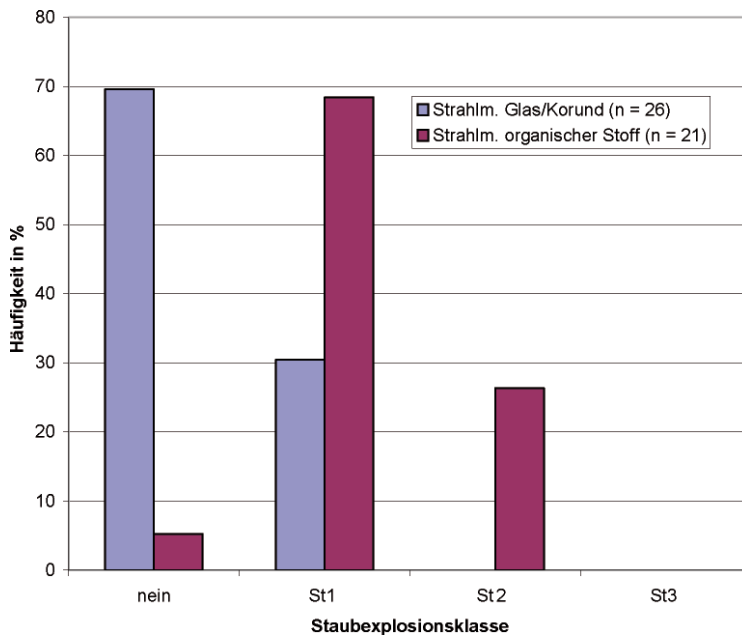
deutliche Abweichungen für die Brennzahlverteilung beim Strahlmittel organisch (z. B. Walnuss-, Apfelsinenkerne, Kunststoffe) und Glas/Korund (**Bild 3**). Glas/Korund erzeugt weniger brennbare Stäube als die übrigen Strahlmittel. Eine weitere Unterteilung der Ergebnisse nach den Eigenschaften des Strahlguts, ergibt keine weiteren Erkenntnisse. Es ist zu vermuten, dass BZ 4 außer durch brennbare Strahlmittel auch durch brennbare Anhaftungen an der Strahlgutoberfläche verursacht wird. Hier sind insbesondere hochsiedende Kohlenwasserstoffe (z. B. Korrosionsschutzöle) zu nennen.

**Tabelle 1** Zusammenhang  $K_{St}$ -Wert – Staubexplosionsklasse.

Staubexplosionsklasse	St 1	St 2	St 3
$K_{St}$ -Wert in bar m s <sup>-1</sup>	$0 < K_{St} < 200$	$200 \leq K_{St} < 300$	$300 \leq K_{St}$



**Bild 4** Prozentuale Verteilung der Staubexplosionsklassen auf Strahlstäube gesamt (n = 208).



**Bild 5** Prozentuale Verteilung der Staubexplosionsklassen nach Strahlmitteln.

**Staubexplosionsklassen**

Zur Beurteilung des Explosionsverhaltens bzw. der zu erwartenden Heftigkeit einer Explosion dienen der maximale Explosionsüberdruck und die Staubexplosionskonstante ( $K_{St}$ -Wert) [6 bis 8]. Im Allgemeinen wird für die Untersuchung dieser Kennzahlen die <63- $\mu$ m-Fraktion verwendet. Mithilfe des  $K_{St}$ -Werts können explosionsfähige Stäube zu den Staubexplosions-

klassen St 1 bis St 3 zugeordnet werden (vgl. **Tabelle 1**).

In **Bild 4** ist die Verteilung der Staubexplosionsklassen auf die Gesamtzahl der Strahlstäube dargestellt. Nur ca. 20% aller Strahlstäube können im Gemisch mit Luft nicht entzündet werden, der größte Teil mit ca. 70% entfällt auf die Staubexplosionsklasse 1. Ähnlich wie bei der Analyse der Brennzahlen ergeben sich für organi-

sche Strahlmittel und Glas/Korund-Strahlmittel Unterschiede in der Staubexplosionsklasse (**Bild 5**).

Eine weitere Differenzierung nach der Beschaffenheit des Strahlguts lässt sich nur für Aluminiumoberflächen und lackierte bzw. mit Kunststoff beschichtete Oberflächen vornehmen (**Bild 6**).

Als nicht explosionsfähig finden sich interessanterweise mehr Stäube mit Aluminium als Strahlgut als lack- oder kunststoffbeschichtete. Eine mögliche Erklärung wäre, dass bei der Bearbeitung von Aluminiumoberflächen i. d. R. die obersten Schichten aus Aluminiumoxid bestehen oder inertes Strahlmittel verwendet wird und dieses im Gemisch mit Luft nicht mehr weiter reagieren kann.

**Weitere sicherheitstechnische Kennzahlen**

Weitere ermittelte Kennzahlen sind u. a. die untere Explosionsgrenze (UEG), der maximale Explosionsüberdruck ( $P_{max}$ ), die Mindestzündenergie (MZE), die Mindestzündtemperatur (MZT) und die Glimmtemperatur [6 bis 11]. Die GESTIS-Daten für diese Kennzahlen sind nicht vollständig vorhanden, sodass hierfür nur Bandbreiten und Trends angegeben werden können (**Tabelle 2**).

Geringe Konzentrationswerte (15 bis 30 g/m<sup>3</sup>) für die UEG werden i. d. R. für Strahlstäube aus Aluminiumwerkstoffen ermittelt. Ebenfalls werden  $P_{max}$ -Werte > 5 bar eher von Aluminiumstäuben erreicht, während Stahlstäube Werte bis max. 5 bar erzielen. Die Mindestzündenergie wird stark über die Korngröße beeinflusst, sodass hier weniger Material, sondern eher Prozesseigenschaften zum Tragen kommen. Niedrige Werte bei der Glimmtemperatur ( $GT < 230$  °C) werden häufig durch anhaftende Emulsionsrückstände verursacht.

Zusammenfassend lässt sich aus der Untersuchung der sicherheitstechnischen Kennzahlen sagen, das sich bei 30% der Strahlstäube die BZ 4 ergibt und ca. 70 bis 80% der Stäube explosionsfähig sind.

**Beurteilung der Brand- und Explosionsgefahren**

**Abschätzung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre**

Brände und Explosionen sind wegen der großen Wärmeproduktion und Druckwirkungen ein hohes Risiko für Personen, Anlagen und die Umwelt. Neben dem Aufstellungsbereich der Anlage ist der Gefährdungsgrad maßgeblich davon abhängig,

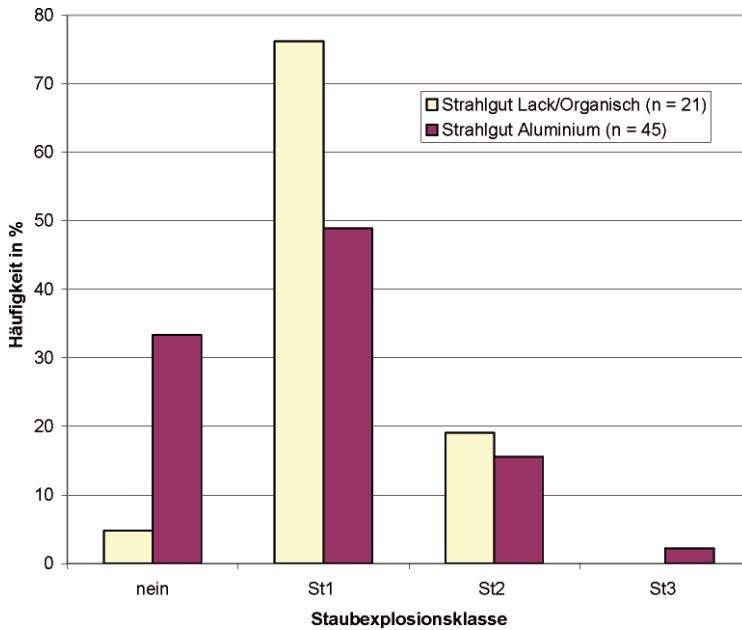


Bild 6 Prozentuale Verteilung der Staubexplosionsklassen nach Strahlgut.

Tabelle 2 Bandbreite von weiteren sicherheitstechnischen Kennzahlen von Strahlstäuben.

Kenngröße	UEG in g m <sup>-3</sup>	p <sub>max</sub> in bar	MZE in mJ	MZT in °C	GT in °C
	15 bis 1000	1,4 bis 10,5	10 < MZE < 10 <sup>3</sup>	270 bis 540	190 bis 480

wie häufig und wie langzeitig eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre auftritt. Sofern in einer Strahlanlage explosionsfähige Stäube anfallen, ist daher im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung zu prüfen, in welchen Bereichen gefährliche explosionsfähige Staub/Luft-Gemische entstehen können, um die Wahrscheinlichkeit des Auftretens zu beurteilen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass explosionsfähige Atmosphären u. a. durch Aufwirbeln abgelagerten Staubs entstehen können. Aus dieser Risikoanalyse ergibt sich eine Einteilung der Anlage in Zonen [12].

Im Allgemeinen werden beim Schleuderradstrahlen die Strahlkabinen abgesaugt und das Strahlmittel bei der Rückgewinnung von Feinanteilen getrennt. Hierdurch wird der Anteil an explosionsfähigem Staub gering gehalten. In den meisten Fällen können daher explosionsfähige Staub/Luft-Gemische im Inneren der Strahlkabine ausgeschlossen werden. Eine Zoneneinteilung ist folglich hier nicht erforderlich. Einzige Ausnahme wäre, wenn das Strahlmittel selbst brennbar und als Folge seiner Korngrößenverteilung explosionsfähig wäre.

Dies gilt in den meisten Fällen auch für die Strahlmittelrückgewinnung sofern der Feinanteil mit einer Korngröße < 500 µm gering ist und die Förderwege so gestaltet sind, dass keine nennenswerten Ablagerungen von Feinanteilen entstehen. Kann dies z. B. im Becherwerk nicht sichergestellt werden oder ist der Feinanteil so hoch, dass betriebsmäßig z. B. an Aufgabe-, Übergabe oder Abwurfstellen explosionsfähige Staub/Luft-Gemische entstehen können, ist eine Einteilung in Zone 22 bzw. Zone 21 erforderlich.

In der Absaugung können in Zyklonabscheidern und filternden Abscheidern explosionsfähige Staub/Luft-Gemische i. d. R., insbesondere beim Abreinigen der Filterele-

mente, nicht hinreichend sicher vermieden werden. Dies gilt aufgrund der Staubanreicherung auch dann, wenn die Staubkonzentration im Abluftstrom unterhalb der UEG liegt.

Abhängig von der anfallenden Staubmenge ist im Innern eines Zyklonabscheiders von Zone 21 oder Zone 20 auszugehen. Bei filternden Abscheidern ist bei gelegentlicher Abreinigung eine Einteilung in Zone 21, falls das Abreinigen häufig erfolgt, sogar eine Einteilung in Zone 20 erforderlich (vgl. [13; 14]). Aufgrund der anfallenden Staubmenge reicht in vielen Fällen in Abscheidern einer einzelnen Strahlanlage eine Einteilung in Zone 21 aus. Nur in wenigen Fällen, wenn z. B. durch Vorschalten eines Zyklonabscheiders in einem filternden Abscheider so wenig Staub anfällt, dass beim Abreinigen der Filterelemente keine explosionsfähigen Staub/Luft-Gemische entstehen, ist eine Einteilung in Zone 22 ausreichend.

Neben der Rohgasseite können abhängig vom eingesetzten Filtermedium auch auf der Reingasseite von filternden Abscheidern, z. B. bei einem Filterdurchbruch, explosionsfähige Staub/Luft-Gemische entstehen. Die Zoneneinteilung für diese

Bereiche hängt neben der im Fall eines Filterdurchbruchs in diesen Bereich eingetragenen Staubmenge maßgeblich davon ab, ob ein solcher Filterdurchbruch detektiert wird. Mithilfe eines dem Hauptfilter nachgeschalteten Sicherheitsfilters mit Differenzdrucküberwachung, können nachfolgende Bereiche zonenfrei gehalten werden.

In vielen Fällen wird die Staubkonzentration in den Absaugleitungen weit unterhalb der UEG des Strahlstaubs liegen und es treten normalerweise keine explosionsfähigen Staub/Luft-Gemische auf. Sofern Staubablagerungen und Anhaftungen in den Absaugleitungen durch geeignete Rohrleitungsführung und Strömungsgeschwindigkeiten sicher vermieden sind, oder diese regelmäßig in an die betrieblichen Verhältnisse angepassten Intervallen entfernt werden, kann auf eine Zoneneinteilung verzichtet werden. Andernfalls ist eine Einteilung in Zone 22 erforderlich. Wird während des Betriebs gelegentlich die UEG überschritten oder kann dies nicht sichergestellt werden, z. B. bei einer zentralen Absauganlage für mehrere Bearbeitungsmaschinen oder bei instationärer Betriebsweise, kann eine Einteilung in Zone 21 erforderlich werden.

In den Aufstellungsbereichen kommt es in den meisten Fällen aufgrund regelmäßiger Reinigung zu keinen nennenswerten Staubablagerungen. Es ist daher i. d. R. keine Zoneneinteilung für den Aufstellungsbereich der Anlage erforderlich.

Sofern größere Mengen abgelagerten Staubs anfallen, z. B. in filternden Abscheidern, herrscht außerdem eine erhöhte Brandgefahr, die mit zunehmender temperaturbezogener Brennzahl des Staubs zunimmt.

## Zündquellen

Zu einem Brand bzw. einer Explosion kann es nur kommen, wenn neben dem brennbaren Staub bzw. dem Staub/Luft-Gemisch gleichzeitig eine Zündquelle vorhanden ist, deren Energie ausreicht, den Staub bzw. das Gemisch zu entzünden. Als Zündquellen sind grundsätzlich alle 13 in DIN EN 1127-1 [15] aufgeführten Zündquellenarten zu berücksichtigen. Im Hinblick auf die betrachteten Strahlanlagen sind die wichtigsten hiervon: heiße Oberflächen, mechanisch erzeugte Funken, elektrische Anlagen, statische Elektrizität, exotherme Reaktionen oder Selbstentzündung des Staubs, Flammen und heiße Gase. Hierbei sind sowohl geräteeigene oder aus dem Staub heraus entstehende Zündquellen als auch eingetragene Zündquellen zu berücksichtigen. Entsprechende Zünd-

quellen können z. B. durch nicht geerdete leitfähige Anlagenteile, heiß gelaufene Lager, Schleifen von bewegten Teilen, den Strahlprozess selbst oder durch Heißearbeiten entstehen.

Durch den Eintrag wirksamer Zündquellen, z. B. durch Funken aus dem Strahlraum, kann es zu Glimmnestern in Staubschüttungen, an Staubanhaftungen oder im Filtermedium kommen, die wiederum wirksame Zündquellen für Staubexplosionen sein können. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass mit zunehmender Brennzahl des Strahlstaubs die Wahrscheinlichkeit der Bildung von Glimmnestern und der Ausbreitung eines Brands in einer Schüttung steigt. Insbesondere bei Brennzahlen  $\geq BZ 3$  ist mit dem Ausbreiten eines Glimmbrands im abgelagerten Staub zu rechnen. Außerdem steigt die Wahrscheinlichkeit eines Zündquelleneintrags aus einem vorgeschalteten Anlagenteil.

Bei den meisten Schadenfällen handelte es sich um Brände von abgelagertem oder anhaftendem Staub sowie um ein druckloses oder -schwaches Abflammen von Staub/Luft-Gemischen insbesondere in filternden Abscheidern. Neben der Tatsache, dass in den betrachteten Anlagen die entstehenden Staub/Luft-Gemische meist keine optimale Zusammensetzung haben und in den meisten Fällen nicht über vergleichsweise lange Zeiträume auftreten wie Staubablagerungen, ist dies auch darauf zurückzuführen, dass aufgrund der vorliegenden Strömungsturbulenz Staub/Luft-Gemische schwerer zu entzünden sind als abgelagerter Staub. Demzufolge ist ein Brand in einem Filter wahrscheinlicher als eine Explosion.

Ein besonders hohes Risiko wird bei Anlagen mit Mischungen aus Leichtmetallen und Stahl oder Stahlguss gesehen, da es hierbei zu sehr heftigen Reaktionen mit vergleichsweise schnellen Druckanstiegen kommen kann, bei gleichzeitig niedrigen Werten für die Mindestzündtemperaturen und die Mindestzündenergie. Dies gilt wegen möglicher aluminothermischer Reaktionen insbesondere, wenn das Gemisch Rost enthält.

## Vorbeugende und konstruktive Explosionsschutzmaßnahmen

Der Umfang der erforderlichen Explosionsschutzmaßnahmen richtet sich nach der Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre und somit nach der zuvor beschriebenen Zoneneinteilung sowie nach der Auftrittswahrscheinlichkeit wirksamer Zündquellen.

Bei Explosionsschutzmaßnahmen wird zwischen sog. vorbeugenden und konstruktiven Explosionsschutzmaßnahmen unterschieden. Während bei den vorbeugenden entweder die Bildung explosionsfähiger Atmosphären oder deren Entzünden vermieden wird, werden bei konstruktiven Explosionsschutzmaßnahmen Explosionen zwar zugelassen, deren Auswirkungen allerdings auf ein unbedenkliches Maß reduziert.

### Vorbeugende Explosionsschutzmaßnahmen

Bei Strahlanlagen können gefährliche explosionsfähige Atmosphären meist nur in bestimmten Anlagenbereichen vermieden bzw. deren Auftrittswahrscheinlichkeit reduziert werden. Beispielsweise können Strahlkabinen so gestaltet werden, dass sie möglichst wenig horizontale oder schwach geneigte Flächen besitzen, auf denen sich Staub ablagern kann. In den Absaugleitungen sollte die Strömungsgeschwindigkeit von der Erfassungsstelle hin zum Abscheider nicht abnehmen und i. Allg.  $> 20$  m/s betragen. Totgebiete insbesondere bei Umlenkungen oder Blindflanschen sollten vermieden werden. Darüber hinaus sollten Rohrleitungen in regelmäßigen, an die betrieblichen Verhältnisse angepassten Abständen auf Staubablagerungen kontrolliert und ggf. gereinigt werden.

In einigen Fällen kann die Auftrittswahrscheinlichkeit explosionsfähiger Atmosphäre im Abscheider dadurch reduziert werden, dass die Filterelemente weniger häufig abgereinigt werden. Dies wäre z. B. durch Reduzierung des im Filter abgeschiedenen Staubs durch Vorschalten eines Zyklonabscheiders möglich. Durch geeignete Gestaltung des Abscheiders mit möglichst großem Neigungswinkel, durch Vermeiden von innenliegenden Versteifungen und durch einen überwachten Produktaustrag können außerdem Staubablagerungen oder ein Rückstaub bzw. Volllaufen vermieden werden.

Bei Anlagen, in denen nur sehr wenig Staub anfällt, können explosionsfähige Staub/Luft-Gemische durch Zugabe eines nicht brennbaren Feststoffs zum Strahlstaub, z. B. Kalkmehl, verhindert oder zumindest die Zündempfindlichkeit sowie das Brennverhalten vermindert werden. Dieses Verfahren wird als Feststoffinertisierung bezeichnet.

Im Bereich der Strahlmittelrückgewinnung kann durch Absaugen von Auf-, Übergabe- und Abwurfstellen sowie nied-

rige Fördergeschwindigkeiten die Konzentration des in Luft aufgewirbelten Staubs niedrig gehalten werden.

In den Bereichen einer Strahlanlage, in denen dennoch explosionsfähige Staub/Luft-Gemische entstehen können, wie z. B. in filternden Abscheidern, müssen zur Vermeidung von Bränden und Explosionen abhängig von der Auftretswahrscheinlichkeit der explosionsfähigen Atmosphäre Zündquellen, die abgelagerten Staub oder ein Staub/Luft-Gemisch entzünden können, hinreichend sicher vermieden werden.

Dies bedeutet zunächst, dass die Geräte in denen explosionsfähige Staub/Luft-Gemische entstehen, wie z. B. filternde Abscheider, bestimmungsgemäß zur Aufnahme der anfallenden brennbaren Stäube geeignet sein müssen und bei Betrieb der Geräte keine Zündquellen wirksam werden dürfen, die das Staub/Luft-Gemisch sowie den abgelagerten Staub entzünden. Die Anforderungen zur Zündquellenvermeidung richten sich hierbei nach der Auftretswahrscheinlichkeit explosionsfähiger Atmosphäre, d. h. je größer die Auftretswahrscheinlichkeit explosionsfähiger Atmosphäre ist, desto höher sind die Anforderungen an die Zündquellenvermeidung. Ist beispielsweise gelegentlich mit explosionsfähiger Atmosphäre zu rechnen, dürfen im Normalbetrieb sowie bei zu erwartenden Störungen keine Zündquellen wirksam werden. Hierbei sind insbesondere elektrische und nichtelektrische Betriebsmittel, elektrostatische Entladungen und heiße Oberflächen zu berücksichtigen.

Zur Vermeidung heißer Oberflächen muss die maximale Oberflächentemperatur auf zwei Drittel der Zündtemperatur des Staubs begrenzt werden. Falls sich auf der Oberfläche Staub ablagert, darf die Oberflächentemperatur darüber hinaus die um 75 K verminderte Mindestzündtemperatur der Staubschicht nicht überschreiten. Für Strahlstäube lässt sich aus den Werten in Tabelle 2 ein Interventionswert von ca. 130 °C ableiten.

Zur Vermeidung von Funkenentladungen sind alle leitfähigen Anlagenteile elektrostatisch zu erden. Dies gilt insbesondere für durch nicht leitfähige Filtermedien isolierte Stützkörbe. Gleitstielbüschelentladungen können dadurch vermieden werden, dass auf isolierende Beschichtungen oder Lackierungen verzichtet wird oder deren Durchschlagsspannung auf < 4 kV begrenzt wird. Darüber hinaus muss zusätzlich ein Eintrag wirkungsvoller Zündquellen aus vorgeschalteten Anlagenteilen wie z. B. aus der Strahlkabine

oder dem Becherwerk in den Filter berücksichtigt werden. Die Wahrscheinlichkeit eines Zündquelleneintrags kann durch Installation von Funkenlösch- oder Funkenausschlussanlagen sowie durch einen dem Filter vorgeschalteten Zyklon- oder Funkenvorabscheider reduziert werden.

Insbesondere wenn der anfallende Strahlstaub zur Selbstentzündung neigt, sollten größere Staubansammlungen in den Abscheidern vermieden werden.

Hierzu bietet sich ein überwachter kontinuierlicher Staubaustrag an.

### **Konstruktiver Explosionsschutz**

Kann durch die o. g. vorbeugenden Explosionsschutzmaßnahmen das Auftreten von Explosionen nicht verhindert werden, sind für den sicheren Betrieb einer Strahlanlage sog. konstruktive Explosionsschutzmaßnahmen erforderlich [16]. Dies können sein:

## **Literatur**

- [1] Jeske, A; Beck, H.: Dokumentation Staubexplosionen; Analyse und Einzelfalldarstellung. BIA-Report 11/97. Sankt Augustin: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften 1997
- [2] Beck, H.: Staubexplosionsgefahren beim Schleuderstrahlen von Leichtmetallen – Untersuchung von Stäuben auf Brenn- und Explosionsverhalten, Projektabschlussbericht. Sankt Augustin: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz 1985.
- [3] Beck, H.: Staubexplosionsgefahren beim Schleuderstrahlen von Leichtmetallen – Sicherheitstechnische Empfehlungen – Untersuchung von Stäuben auf Brenn- und Explosionsverhalten. Projektabschlussbericht. Sankt Augustin: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz 1988.
- [4] Internetdatenbank GESTIS-STAU-EX des IFA.  
[www.dguv.de/ifa/de/gestis/exp/index.jsp](http://www.dguv.de/ifa/de/gestis/exp/index.jsp)
- [5] Brenn- und Explosionskenngrößen von Stäuben. BIA-Report 12/97. Sankt Augustin: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften 1997.
- [6] VDI 2263 Blatt 1: Staubbrände und Staubexplosionen; Gefahren, Beurteilung, Schutzmaßnahmen; Untersuchungsmethoden zur Ermittlung von sicherheitstechnischen Kenngrößen von Stäuben. Berlin: Beuth Verlag 1990.
- [7] DIN EN 14034-1: Bestimmung der Explosionskenngrößen von Staub/Luft-Gemischen; Teil 1: Bestimmung des maximalen Explosionsdruckes  $p_{\max}$  von Staub/Luft-Gemischen. Berlin: Beuth Verlag 2004.
- [8] DIN EN 14034-2: Bestimmung der Explosionskenngrößen von Staub/Luft-Gemischen; Teil 2: Bestimmung des maximalen zeitlichen Druckanstiegs  $(dp/dt)_{\max}$  von Staub/Luft-Gemischen. Berlin: Beuth Verlag 2004.
- [9] DIN EN 14034-3: Bestimmung der Explosionskenngrößen von Staub/Luft-Gemischen; Teil 3: Bestimmung der unteren Explosionsgrenze UEG von Staub/Luft-Gemischen. Berlin: Beuth Verlag 2004.
- [10] DIN EN 13821: Explosionsfähige Atmosphären; Explosionsschutz; Bestimmung der Mindestzündenergie von Staub/Luft-Gemischen. Berlin: Beuth Verlag 2003.
- [11] DIN EN 50281-2-1: Elektrische Betriebsmittel zur Verwendung in Bereichen mit brennbarem Staub; Teil 2-1: Untersuchungsverfahren – Verfahren zur Bestimmung der Mindestzündtemperatur von Staub. Berlin: Beuth Verlag, 1999.
- [12] Explosionsschutz-Regeln: Sammlung technischer Regeln für das Vermeiden der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung (BGR 104). Sankt Augustin: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften; wird ständig aktualisiert.
- [13] VDI 2263 Blatt 6: Staubbrände und Staubexplosionen; Gefahren, Beurteilung, Schutzmaßnahmen; Brand- und Explosionsschutz an Entstaubungsanlagen. Berlin: Beuth Verlag 2007.
- [14] VDI 2263 Blatt 6.1: Staubbrände und Staubexplosionen; Gefahren, Beurteilung, Schutzmaßnahmen; Brand- und Explosionsschutz an Entstaubungsanlagen; Beispiele. Berlin: Beuth Verlag 2009.
- [15] EN 1127-1: Explosionsfähige Atmosphären; Explosionsschutz; Teil 1: Grundlagen und Methodik. Berlin: Beuth Verlag 1997.
- [16] Technische Regeln für Betriebssicherheit (TRBS) 2152 Teil 4: Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes, welche die Auswirkung einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken. GMBI. Nr. 26 vom 4. Juli 2008, S. 530.

- explosionsfeste Bauweise für den maximalen Explosionsdruck oder
- explosionsfeste Bauweise für einen reduzierten Explosionsdruck in Kombination mit Explosionsdruckentlastung oder Explosionsunterdrückung,
- jeweils in Kombination mit explosionstechnischer Entkopplung der angeschlossenen Anlagenteile gegen Flammen und/oder Druckwirkungen z. B. durch geprüfte Schnellschlussschieber Zellenradschleusen, Schnellschlussventile oder Rückschlagklappen.

## **Brandschutzmaßnahmen**

Für den sicheren Betrieb von Strahlanlagen, in denen brennbare Stäube entstehen, sind neben Explosionsschutz- auch Brandschutzmaßnahmen erforderlich. Hierbei kann zwischen Maßnahmen zur Brandverhütung und solchen zur Schadensbegrenzung unterschieden werden.

Maßnahmen zur Brandverhütung zielen wie vorbeugende Explosionsschutzmaßnahmen darauf ab, entweder brennbare Stäube oder deren Entzünden zu vermeiden. Hierbei kommen im Wesentlichen die gleichen Verfahren zum Einsatz wie zur Vermeidung von Explosionen.

Ist es nicht möglich, Brände durch Maßnahmen zur Brandverhütung ausreichend sicher zu vermeiden, können durch Maßnahmen der Schadensbegrenzung die Auswirkungen von Bränden gemindert werden. Hierzu ist es erforderlich, einen Brand

möglichst frühzeitig mithilfe von Branderkennungseinrichtungen zu detektieren und zu bekämpfen.

Die Richtlinie VDI 2263 Blatt 6 [13] gibt einen Überblick über Branderkennungs- und Löscheinrichtungen, die für Entstauungsanlagen geeignet sind. Außerdem werden Brandschutzmaßnahmen in Abhängigkeit von Brennverhalten, Glimmtemperatur und Selbstentzündungsverhalten der Stäube empfohlen.

Zur Vermeidung von Explosionen muss die Anlage im Fall einer Branderkennung schnellstmöglich abgeschaltet und filternde Abscheider dürfen nicht mehr abgereinigt werden. Außerdem sind Löschanlagen so zu gestalten, dass beim Löschen kein Staub aufwirbelt wird. Weiter ist bei Löschanlagen zu beachten, dass diese zum Löschen von Bränden ausgelegt und i. Allg. zu langsam sind, anlaufende Explosionen abzulöschen. Hierzu sind Explosionsunterdrückungsanlagen erforderlich.

## **Fazit**

Die Auswertung von 210 Strahlstäuben in der GESTIS-STAU-EX-Datenbank hat gezeigt, dass nicht nur von Strahlanlagen, in denen Leichtmetallwerkstücke gestrahlt werden können, Brand- und Explosionsgefahren ausgehen, sondern auch von Anlagen, in denen Stahlteile gestrahlt werden. Anhand der ermittelten Kenngrößen und der Erfahrung aus Explosionsereignissen sind die zu erwartenden Auswirkungen

einer Explosion allerdings in den meisten Fällen weniger kritisch, als bei Leichtmetallen. Häufig kommt es lediglich zu Bränden oder druckschwachen Explosionen, die in den betroffenen Betrieben meist als Verpuffungen bezeichnet werden. Dennoch sollten Brand- auch Explosionsgefahren bei der Auslegung von Strahlanlagen berücksichtigt werden, es sei denn, Untersuchungen zum Brenn- und Explosionsverhalten bei den entstehenden Stäuben haben keine Gefahr ergeben. Insbesondere bei Strahlstäuben mit einer Brennzahl  $\geq$  BZ 3 und Kombinationen aus Stahl oder Stahlguss und Aluminium ist besondere Vorsicht geboten. In jedem Fall muss verhindert werden, dass sich ein Brand auf angrenzende Anlagen oder die gesamte Werkshalle ausbreitet oder dass es als Folge eines Brands zu einer Explosion kommt.

Zur Auslegung von Abscheidern wird auf die Richtlinien VDI 2263 Blatt 6 [13] und Blatt 6.1 [14] verwiesen. TÜ 935

Dr. **Klaus-Werner Stahmer** und **Hans-Jörg Teske**, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.  
Dr. **Marc. Scheid**, BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin.