Entstehung und Beseitigung brennbarer/explosionsfähiger Laserstäube – Herausforderungen und Lösungen

Einleitung

In industriellen Laserprozessen stellen die Abprodukte der Bearbeitung oft eine große Herausforderung für die Bewertung einer Explosionsgefährdung dar. Dieses Thema interessiert sowohl Betreiber als auch Hersteller.
Es ist die Verantwortung der Betreiber, eine Gefährdungsbeurteilung für Entstaubungsanlagen in deren Aufstellungsbereichen vorzunehmen. Sie müssen ein Explosionsschutzdokument nach der Gefahrstoffverordnung erstellen und die Wirksamkeit der getroffenen Maßnahmen prüfen.
Auf der anderen Seite sind Hersteller verpflichtet, ein Sicherheitskonzept entsprechend der Explosionsschutzrichtlinie vorzulegen. Sie müssen den Betreiber auf die bestimmungsgemäße Verwendung, Restrisiken und die ergriffenen Schutzmaßnahmen hinweisen. In dem folgenden Artikel werden die dafür nötigen Randbedingungen erörtert.

Entstehung von Laserstäuben

Während der Materialbearbeitung mittels Laser entsteht oft feiner Staub, weil der Laser das Material stark erhitzt und in kleine Partikel zerlegt. Je nach Einstellung des Lasers – d.h. je nach Leistungsstärke, wie klein der Laserpunkt fokussiert ist und wie schnell der Laser über das Material geführt wird – entstehen unterschiedlich große und unterschiedlich viele Staubpartikel. Auch das Material spielt eine Rolle: Metalle, Kunststoffe und Keramiken verhalten sich unterschiedlich. Für kontinuierlich arbeitende Laser, zum Beispiel Faserlaser, gilt: Metalle können sehr kleine, energiereiche Partikel erzeugen – bis zu 100 nm Durchmesser – während Kunststoffe eher größere, faserige Partikel bilden oder gar ganz verbrennen.

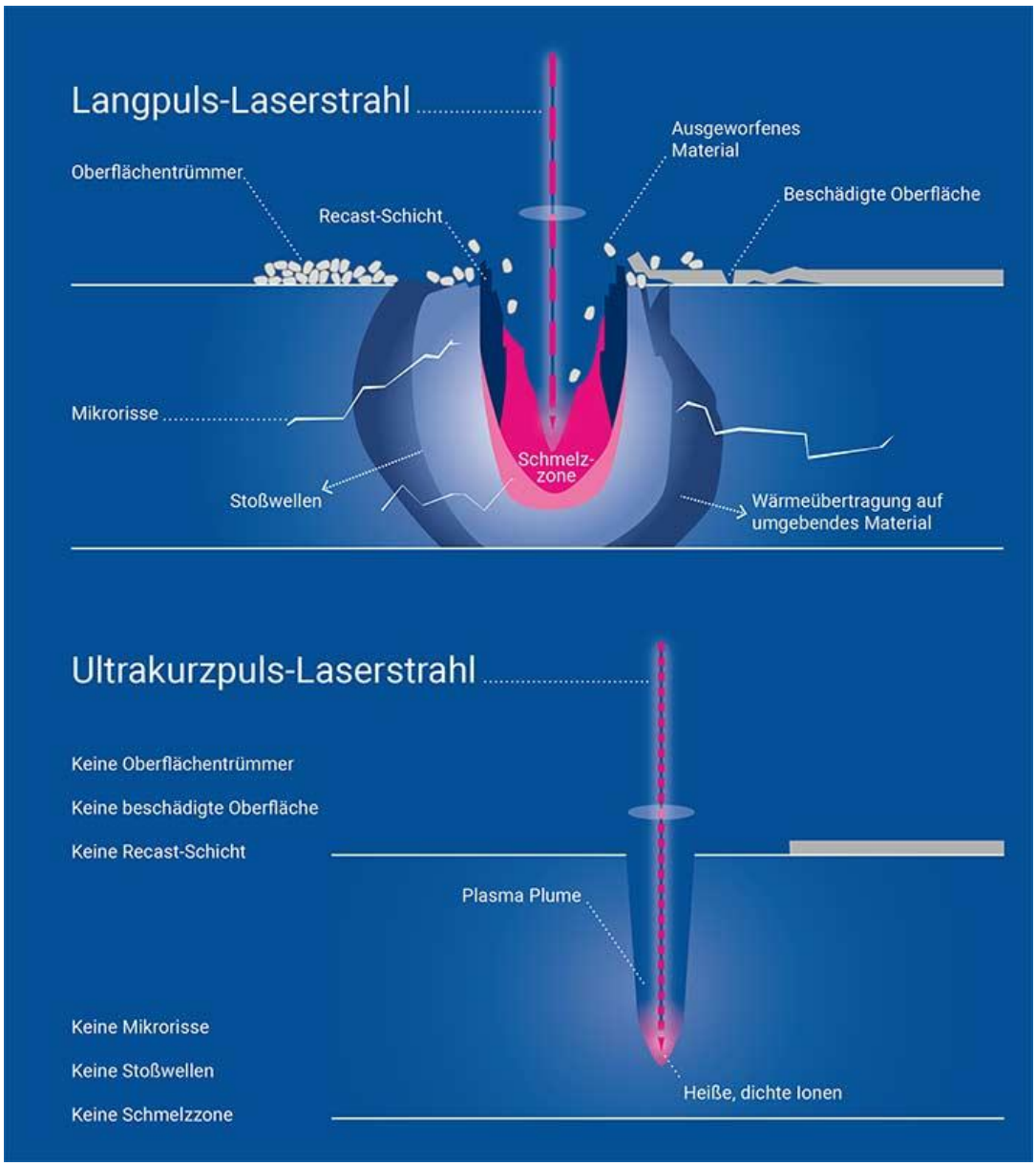

Bild 1: Vergleich Langpuls- vs. Kurzpulsverfahren und jeweilige Partikelbildung

Eigenschaften und Charakterisierung

Partikel, die durch Laserbearbeitung entstehen, können verschiedene Formen haben – kugelförmig, faserig oder unregelmäßig. Diese Formen hängen davon ab, wie das Material durch den Laser abgetragen wird. Die chemische Zusammensetzung dieser Stäube kann ebenfalls variieren und beeinflusst, wie gefährlich der Staub ist. Methoden wie EDX (energiedispersive Röntgenspektroskopie) helfen dabei, die chemische Zusammensetzung der Stäube zu bestimmen. Oft lagern sich die feinen Partikel zu größeren Agglomeraten zusammen. Kritisch sind vor allem Metallpartikel. Auch wenn der Laser ein thermischer Prozess ist, sind nicht zwingend alle Partikel verbrannt bzw. oxidiert. Verschiedene Suboxide – zum Beispiel von Werkzeugstahl – können sogar selbstentzündlich sein.

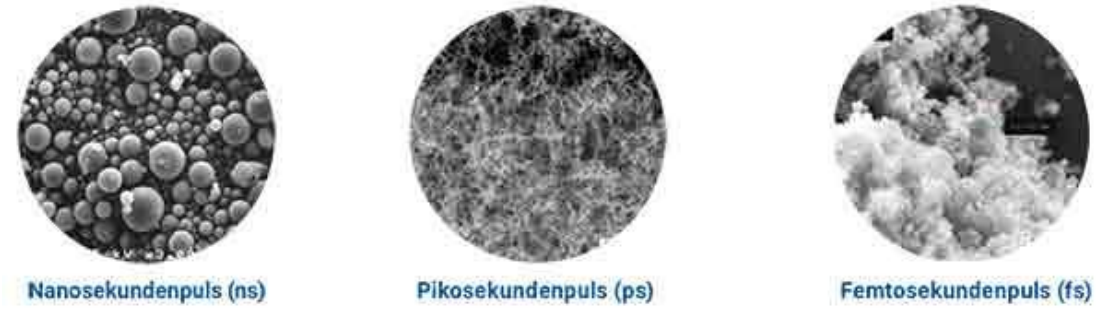

Bild 2: Partikelformen nach deren Bearbeitung mit verschiedenen Lasertechniken

Zündmechanismen

Sind Größe und Zusammensetzung des Staubes bekannt, müssen Zündquellenarten bewertet werden. Die TRGS 723 benennt 13 verschiedene Zündquellenarten:

- Heiße Oberflächen: Flächen, die prozessbedingt oder maschinenbedingt erwärmt werden. Beispielsweise ist in einigen Maschinen eine Heizung integriert, z.B. um eine für den Prozess notwendige Vorwärmung zu erreichen. Auch beheizte Sensoren sind kritisch zu bewerten.
- Flammen und heiße Gase: Der Laser ist ein thermisches Werkzeug – daher ist es sehr wahrscheinlich, dass in der Prozessführung auch Flammen oder heiße Gase entstehen können. Eine dahingehende Bewertung ist besonders gründlich vorzunehmen. Besonders bei der Bearbeitung brennbarer Stoffe wie Kunststoffe kann es sehr schnell zur Flammenbildung kommen.
- Zündquellen durch mechanische Reib-, Schlag- und Abtrennvorgänge: Solche Gefahren entstehen etwa, wenn größere Partikel mitgerissen werden und diese in der Filteranlage Schlagfunken erzeugen könnten. Hier ist besonderes Augenmerk auf die Abreinigungsmechanismen innerhalb der Filteranlage zu legen.
- Elektrische Anlagen: Alle elektrischen Elemente, die Berührung mit explosionsfähigen Staub-Luft-Gemischen haben können, müssen explosionssicher ausgeführt werden. In vielen Fällen bedeutet das, eine effektive Kapselung zu erreichen.
- Elektrische Ausgleichsströme, kathodischer Korrosionsschutz.
- Statische Elektrizität: Dies beinhaltet auch die elektrostatische Aufladung von Personen und Oberflächen. Jeder durch Kontakt entstehende Funke kann als Zündquelle wirken und muss ausgeschlossen werden.
- Blitzschlag.
- Elektromagnetische Felder im Bereich der Frequenzen von 9 kHz bis 300 GHz.
- Elektromagnetische Strahlung im Bereich der Frequenzen von 300 GHz bis 3000 THz bzw. Wellenlängen im Bereich von 1000 µm bis 0,1 µm (optischer Spektralbereich).
- Ionisierende Strahlung.
- Ultraschall.
- Adiabatische Kompression, Stoßwellen, strömende Gase.

- Chemische Reaktionen: Besondere Beachtung ist dieser Form der Zündquellen zu geben, da manche Stoffe als pyrophor gelten

Selbstentzündung: Bei Selbstentzündung kommt ein Stoff bei allseitiger Wärmeentwicklung in Anwesenheit von Luft ohne weitere Zündquelle zur Entzündung. Der Grund sind Oxidationsvorgänge. Als pyrophor werden Substanzen betrachtet, die sich in kleinen Mengen nach kurzer Zeit an der Luft bei Raumtemperatur (etwa 20 °C) selbst entzünden. Selbstentzündung ist im Wesentlichen auf Feststoffe mit großer Oberfläche (z.B. Stäube) beschränkt, wobei es zunächst zur Selbsterhitzung kommt. Selbstentzündung ist aber auch bei schwer flüchtigen organischen Flüssigkeiten möglich.

Risiken und Regularien

Laserstäube können, wenn sie in ungünstiger Konzentration mit Sauerstoff vorliegen, ein Explosionsrisiko darstellen und zudem beim Einatmen gesundheitsschädlich sein. Es gibt verschiedene Regelwerke, die den Umgang mit solchen Stäuben regeln, zum Beispiel die ATEX-Richtlinien für den Explosionsschutz und die TRGS (Technische Regeln für Gefahrstoffe).

ATEX-Richtlinie 2014/34/EU: Diese europäische Richtlinie regelt die Anforderungen an Geräte und Schutzsysteme, die in explosionsgefährdeten Bereichen verwendet werden Für die Aufstellung in Zonen (20/21/22) ist dies besonders relevant. Geräte müssen entsprechend zertifiziert sein und mit dem ATEX-Zeichen versehen werden.

DIN EN IEC 60079-Serie: Diese Normenreihe beschäftigt sich mit der Klassifizierung von explosionsgefährdeten Bereichen und den Anforderungen an elektrische und nicht-elektrische Betriebsmittel.

- DIN EN IEC 60079-0: Allgemeine Anforderungen an Betriebsmittel.
- DIN EN IEC 60079-15: Betriebsmittel der Zündschutzart "n" für den Einsatz in Zone 2 (zum Teil auch für Zone 22 relevant).
- DIN EN IEC 60079-31: Schutz durch Gehäuse "t", speziell für Zone 21 und Zone 22.

DIN EN 1127-1: Diese Norm beschreibt allgemeine Konzepte und Methoden für den Explosionsschutz. Sie enthält grundlegende Sicherheitsanforderungen zur Vermeidung von Zündquellen und zur Begrenzung von Explosionsauswirkungen.

Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV): Diese deutsche Verordnung regelt den Betrieb von Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen und gibt Vorgaben zur Gefährdungsbeurteilung, die bei der Aufstellung der Maschine in Zone 22 zu berücksichtigen sind.

DGUV Regel 113-001 (ehemals BGR 104): Diese Regel der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) bietet praktische Hinweise zum sicheren Betrieb in

explosionsgefährdeten Bereichen, einschließlich der Zoneneinteilung und des Umgangs mit möglichen Zündquellen.

VDE 0165: Diese Norm behandelt den Explosionsschutz in der Planung, Installation und Wartung elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen.

Wichtige Punkte:

- Gerätekategorie**:** In Zone 22 dürfen nur Geräte der Kategorie 3D verwendet werden (nach ATEX-Richtlinie).
- Kennzeichnung: Kennzeichnung der Maschine nach ATEX (z.B. II 3D Ex tc IIIB T135°C Dc für Zone 22).

Herausforderungen für die Absaug- und Filtertechnik

Man benennt drei Stufen des Explosionsschutzes für Absaug- und Filteranlagen:

- Primärer Explosionsschutz: Vermeidung explosionsfähiger Atmosphären. Das kann zum Beispiel durch den Austausch von Stoffen oder die Begrenzung der Menge erfolgen.
- Sekundärer Explosionsschutz: Vermeidung wirksamer Zündquellen. Hier ist auf eine geeignete Auswahl von Materialien zu achten, häufig ableitfähige Materialien oder Stoffe, die Funkenschlag verhindern.
- Tertiärer Explosionsschutz: Wenn diese beiden Mittel nicht greifen, werden Explosionen begrenzt oder abgeschwächt, bis hin zu einem für Mensch und Umgebung unbedenklichen Maß. Das können u.a. eine druckstoßfeste Bauweise, eine Explosionsunterdrückung durch geeignete und schnelle Löschsysteme, eine Explosionsdruckentlastung oder auch eine Explosionsentkopplung von Zonen, beispielsweise durch Schnellschlussklappen und Zellradschleusen, sein.

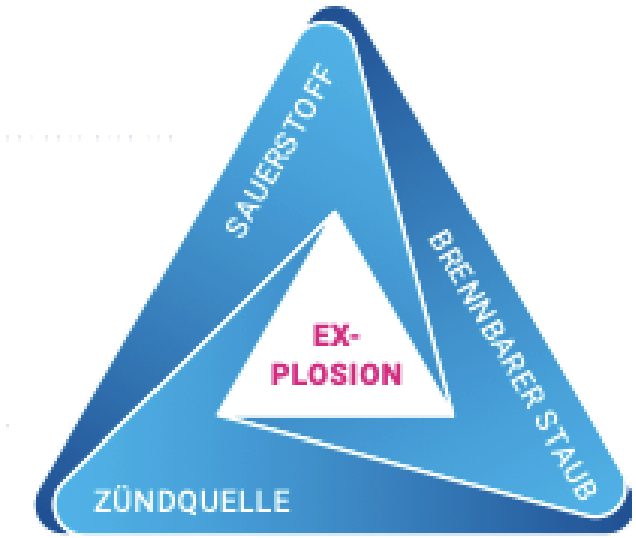

Bild 3: Explosionsdreieck – wenn alle drei Komponenten vorhanden sind, besteht Explosionsgefahr

Die Absaug- und Filtertechnik steht aus Sicht der Auslegung vor verschiedenen Herausforderungen. Ein Filtergerät sollte so konstruiert sein, dass es in jedem erdenklichen Fall sicher bleibt. Das Gerät LAS 260 H/Ex von ULT ist ein Beispiel für eine solche Lösung. Es ist zündquellenfrei konstruiert, hat eine hohe Filtrationseffizienz und robuste Bauweise und verfügt vor allem über integrierte Sicherheitsmechanismen, die eine sichere Handhabung der Laserstäube gewährleisten. Auch von außen ist sichergestellt, dass das Gerät immer ableitfähig und dicht bleibt.

Bild 4: LAS 260 H/Ex – Absaug- und Filteranlage für explosionsfähige Laserstäube

Durch die zündquellenfreie Bauweise können alle anlagenbedingten Risiken ausgeschlossen werden. Wenn keine Zündquellen eingesaugt oder chemische Reaktionen erzeugt werden, erfüllt dieses Gerät die notwendigen Voraussetzungen für eine ATEX-Kennzeichnung. Durch die zusätzliche Dichtbauweise ist auch der Elektrobauraum dicht gekapselt und eine Entzündung von Staub-Luft-Gemischen außerhalb des Gerätes kann ausgeschlossen werden. Dies ermöglicht zusätzlich die Aufstellung in einer potenziellen ATEX Zone 22. Dem Betreiber ist jedoch in jedem Fall zu empfehlen, möglichst keine oder nur sehr wenige Anlagen in Zonen, in denen explosionsfähige Staub-Luft-Gemische entstehen können, aufzustellen.

Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Laserstäube ein erhebliches Risiko darstellen können – sowohl für die Gesundheit als auch für die Sicherheit am Arbeitsplatz. Daher sind geeignete Schutzmaßnahmen und eine sorgfältige Absaug- und Filtertechnik unerlässlich. Mit der richtigen Technik lassen sich diese Herausforderungen jedoch meistern und sichere Arbeitsbedingungen schaffen.

Autoren:
Dr. Stefan Jakschik, Vorstand ULT AG
Madeleine Berger, Forschungskoordinatorin ULT AG