

laservision

Produktsicherheitsgesetz ProdSG nur dann in Verkehr gebracht werden, wenn sie den Laserklassen 1, 1M, 2 oder 2M entsprechen. Weiterhin müssen nach der Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OStrV) beim Betrieb von Lasereinrichtungen der Klasse 3R und höher sachkundige Personen als Laserschutzbeauftragte bestellt werden. Die zum handgeführten Laserschweißen verwendeten Lasergeräte fallen sogar in die Laserklasse 4 und werden damit von diesen Vorschriften erfasst.

Die gemeinhin als Laserschutznormen bezeichneten Standards EN 207, EN 12254 und EN 60825-4 beschäftigen sich dagegen mit der Laserfestigkeit bestimmter Schutzprodukte wie Laserschutzbrillen (EN 207), temporäre Laserschutzvorrichtungen wie z.B. Vorhänge (EN 12254) oder Maschineneinhausungen und Fenster (EN 60825-4). Die in Form von Schutzstufen (LB bzw. AB-Werte), von einem unabhängigen Prüfinstitut, CE-zertifizierte Laserfestigkeit (EN 207 und EN 12254) dient dem Anwender als Entscheidungshilfe, das für den Laser passende Schutzprodukt auszuwählen. Größeren Spielraum bei der Zertifizierung bietet die EN 60825-4, da hier die Schutzgrenzbestrahlung für

eine bestimmte Kombination aus Laserleistung, Spotgröße und Zeit ermittelt wird. Dieser Wert kann aber für eine andere Kombination stark abweichen.

Generell gilt, dass für die Einhaltung der Schutzmaßnahmen und gegebenenfalls die Bestellung eines Laserschutzbeauftragten die Person, die die Lasereinrichtung betreibt, verantwortlich ist. Die Klassifizierung und Kennzeichnung der Lasergeräte liegen dagegen in der Verantwortung des Herstellers.

Die am meisten verbreitete Anwendungen der HLG sind das Laserschweißen und das Laserreinigen. Damit werden auch die Normen, die sich mit dem Augen- und Gesichtsschutz beim Schweißen und ähnlichen Verfahren beschäftigen, relevant. Die beiden Normen, die sich mit diesem Schutz befassen, aber unterschiedliche Schwerpunkte und Anwendungsbereiche haben, sind die EN 169 und die ISO 16321-2.

Die EN 169 spezifiziert die Anforderungen an Schweißfilter, insbesondere in Bezug auf deren optische Eigenschaften, wie Lichtdurchlässigkeit und Schutzwirkung vor optischer Strahlung und wird angewendet, wenn es speziell um die Bewertung und Klassifizierung von Schweißfiltern geht, um sicherzustellen, dass sie ausreichenden Schutz vor schädlicher Strahlung bieten.

Die ISO 16321-2 ist umfassender und deckt zusätzliche Anforderungen für Augen- und Gesichtsschutzgeräte ab, die beim Schweißen und verwandten Verfahren verwendet werden. Sie wird angewendet, wenn eine detailliertere Bewertung von Schweißschutzgeräten erforderlich ist, die über die optischen Eigenschaften hinausgeht und auch mechanische und materialtechnische Anforderungen berücksichtigt. Sie beinhaltet Aspekte wie Materialanforderungen, mechanische Festigkeit und die Konstruktion der Schutzvorrichtungen und stellt sicher, dass die gesamte Schutzvorrichtung den vielfältigen Anforderungen des Schweißens gerecht wird.

Die ISO 16321-2:2021-03 stellt folgende Hauptanforderungen

- Schutzvorrichtungen müssen aus Materialien bestehen, die gegen optische Strahlung, fliegende Partikel und heiße Feststoffe beständig sind.
- Schutzvorrichtungen müssen bestimmte optische und mechanische Anforderungen erfüllen, um einen ausreichenden Schutz zu gewährleisten.
- Die Schutzvorrichtungen müssen eine hohe optische Qualität aufweisen, um Verzerrungen und Unschärfen zu vermeiden.
- Die Geräte müssen schädliche ultraviolette Strahlung effektiv blockieren.
- Die Anforderungen an den Schutz vor infraroter Strahlung müssen erfüllt werden.
- Die Filter müssen bestimmte Lichtdurchlässigkeitsstufen erfüllen, um die Augen vor intensiver Lichtstrahlung zu schützen.
- Automatische Schweißfilter müssen spezielle Anforderungen erfüllen, die sicherstellen, dass sie sich schnell und zuverlässig an wechselnde Lichtverhältnisse anpassen
- Die Schutzvorrichtungen müssen ein ausreichendes Sichtfeld bieten, um die Sicherheit und Effizienz des Benutzers zu gewährleisten.
- Schweißfilter und andere Schweißschutzvorrichtungen müssen speziell gekennzeichnet sein, um sicherzustellen, dass sie korrekt identifiziert und verwendet werden können.

Gesundheitsrisiken bei handgeführten Lasersystemen

Handgeführte Lasergeräte (HLG) ermöglichen eine neue Flexibilität und Qualität der Materialbearbeitung. Gleichzeitig steigt aber auch die Wahrscheinlichkeit unbeabsichtigter, direkter oder indirekter Bestrahlung der Augen, der

laservision

ungeschützten Haut oder des Körpers, sowie das Risiko weiterer sekundärer gesundheitlicher Gefährdungen.

Typischerweise werden HLGs eingesetzt, um Metallbleche zu verschweißen oder zu reinigen. Abhängig vom Material (Aluminium, Kupfer, Stahl), der Oberflächenqualität (glatt, rau, spiegelnd) und der Prozessparameter (Geschwindigkeit, Leistung) steht z.B. beim Schweißen nur ein bestimmter prozentualer Anteil der Laserleistung für den eigentlichen Prozess zur Verfügung, weil ein wesentlicher Teil durch Reflexion verloren geht. Abhängig von den genannten Parametern können die anfänglichen Reflexionsgrade bei Stahl 65%, bei Aluminium bis zu 90% und bei Kupfer 88% bis 93% betragen (Q1). Dieser Teil der Laserstrahlung wird bei rauen Oberflächen diffus, im Fall spiegelnder oder polierter Oberflächen aber auch gerichtet reflektiert.

Auch vom kalten Werkstück wird der Laserstrahl überwiegend gerichtet reflektiert, und so kann es insbesondere während der Startphase des Schweißvorganges zu einer hohen optischen Leistungsdichte in der Reflexion kommen. Während des Prozesses verschiebt sich das Risiko durch die Absorption und die damit verbundene Erwärmung des Werkstücks in Richtung einer diffusen Reflexion.

Diffus oder gerichtet reflektierte Strahlung ist demnach unvermeidbar. Größtmögliche Sorgfalt und ein großer Abstand zwischen Gesicht und Schweißpunkt sind damit besonders wichtig. Eine weitere Gefährdung für ungeschützte Hautpartien (Gesicht, Hand) stellt das UV- oder Blaulicht dar, welches unmittelbar vom, durch den Laser erzeugten, Plasma kugelförmig emittiert wird.

Die im Werkstück absorbierte Laserstrahlung führt zu einer Erwärmung des Materials. Je nach konkreter Schweißsituation kann es damit zu heiß werden, um mit bloßer Hand gehalten zu werden. Es ist daher in jedem Fall anzuraten, die Werkstücke entsprechend zu fixieren, was auch unter Qualitätsaspekten bevorzugt werden sollte. Zusätzlich gilt auch für die ungeschützte Haut der Hand die oben beschriebene Gefährdung durch direkte oder diffus reflektierte Laserstrahlung, Emissionen aus dem Plasma und ggf. auftretenden Funkenflug.

Eine weitere, sekundäre Gefährdung betrifft das Atemsystem des Schweißenden. Die durch den Laser-Schweißprozess entstehenden Mikropartikel stellen ein erhebliches Risiko für die Atemwege dar. Die typischen Partikel fallen in eine sehr kleine Größenordnung, sind damit großteils sogar lungengängig und können krebserzeugend sein (z.B. beim Schweißen von Edelstahl). Eine entsprechend dimensionierte Absaugung ist als technische

Schutzmaßnahme neben PSA zwingend erforderlich (vergl. auch die Gefahrstoffverordnung und TRGS 560 und TRGS 528).

Durch die unmittelbare Einbindung des Anwenders in den Schweißprozess, ist dieser besonderen Risikofaktoren für seine Gesundheit ausgesetzt. Neben den beispielhaft genannten technischen Maßnahmen, wie Absaugungen, Halterungen und Abschirmungen ist bei der Arbeit mit HLGs der Einsatz persönlicher Schutzausrüstung gesetzlich (OStrV) vorgeschrieben, da nur in dieser Kombination die Arbeitssicherheit gewährleistet werden kann.

PSA bei handgeführten Lasersystemen

Laserschutzbrillen

Wie bei allen Laseranwendungen ist der Schutz der Augen einer der wichtigsten Aspekte bei der Auswahl der PSA. Die einfachste Lösung ist der Einsatz einer Laserschutzbrille.

Die meisten Hersteller von Laserschutzbrillen bieten entsprechende Berechnungsprogramme an, mit deren Hilfe die benötigte Schutzwirkung berechnet und passende Brillen vorgeschlagen werden (z.B. eyepro von laservision). Wichtige Parameter bei der Berechnung sind die Betriebsart, die Wellenlänge, die optische Leistung und, ganz entscheidend, die im Notfall auf der Brille vorhandene Spotgröße des Laserstrahls. Diese Abschätzung ist besonders kritisch, da die Leistungsdichte zusammen mit der absoluten Leistung entscheidend für die Widerstandsfähigkeit der Brille und damit deren Widerstandsdauer ist.

Die meisten Laser für das handgeführte Laserschweißen haben eine Mittenwellenlänge von 1070-1080 nm und eine Dauerstrich-Leistung (cw) zwischen 2 und 3 kW. Damit ergibt sich eine typische Schutzstufe von D LB6 oder D LB7, mit der Tendenz in Richtung D LB8, die die Brille bei dieser Wellenlänge mindestens erfüllen muss.

Da das beim Schweißprozess entstehende Plasma breitbandig, d.h. im gesamten Spektralbereich von UV bis IR, emittiert, muss das ausgewählte Filter eine zusätzliche Sperrwirkung auch gegen diese Teile des Spektrums besitzen und, um eine Blendung möglichst zu vermeiden, darf die Tageslichttransmission bestimmte Werte nicht überschreiten. Auch wenn das durch den Laser erzeugte Plasmaleuchten weniger stark als bei konventionellen Schweißverfahren ist, so legen die Normen für Schweißerschutzfilter EN 169 und ISO 16321-2 Grenzwerte für die breitbandige Abschwächung in verschiedenen Spektralbereichen fest. Sofern nicht explizit auf die Schweißerschutznormen Bezug genommen wird,

laservision

werden im Folgenden nur die Anforderungen aus dem Laserschutz betrachtet.



Bild 1: Laserschutzbrille als Überbrille

Eine richtig dimensionierte Laserschutzbrille bietet dann auch bei HLGs einen sicheren Schutz für die Augen vor der primären Laserstrahlung und dem Plasmaleuchten. Weiterhin ungeschützt ist jedoch das Gesicht außerhalb des Abdeckbereiches der Brille. Um dieses ebenfalls zu schützen, ist die einfache Kombination der Laserschutzbrille mit einem konventionellen Schweißhelm möglich. Dabei garantiert die Brille normgerechten Laserschutz, während der Helm den gesamten Kopf gegen Streustrahlung des Lasers und Plasmalicht bietet.

Laserschutzvisiere

Eine andere Möglichkeit, die gleichzeitig auch ein wesentlich größeres Sichtfeld bietet, ist der Einsatz eines kompletten Visiers mit einer großen Laserschutzscheibe.

Diese besteht typischerweise aus dem gleichen Polycarbonat-Filtermaterial wie die vergleichbare Laserschutzbrille, bietet jedoch einen wesentlich größeren Abdeckbereich. Damit sind nicht nur die



Bild 2: Laserschutzvisier FSI von laservision

Augen, sondern auch das gesamte Gesicht geschützt.

Mit der Auswahl der VLT der Filterscheibe kann in geringem Umfang die Helligkeit des Plasmas berücksichtigt werden. Optional ist auch die Kombination mit einer weiteren Laser- oder Schweißbrille möglich.

Bei der Entscheidung für eine solche Visierlösung spielt, neben der Schutzwirkung, vor allem auch der Tragekomfort eine wichtige Rolle. Dabei sind ein sicherer Sitz, maximale Bewegungsfreiheit, einfache Einstellbarkeit in Höhe und Weite und ein möglichst geringes Gewicht entscheidende Parameter.

Für ein längeres, entspanntes Arbeiten ist die Funktionalität bzw. Kinematik nicht weniger wichtig. Hierbei sollte sowohl in der Arbeits-, wie auch in der Parkposition der Visierscheibe das Gewicht so ausbalanciert sein, dass eine zusätzliche, übermäßige Belastung des Nackens vermieden wird. Hierbei hilft ein möglichst breites, vielfach verstellbares Tragesystem (z.B. uvex Spiderneck). Für die typischerweise raue Umgebung beim Schweißen ist eine Kratzfestbeschichtung der Scheibe außen, sowie eine Antibeslagbeschichtung auf der Innenseite unverzichtbar.

Laserschweißhelme

Einen höheren Laserschutz von D LB7 im Abdeckbereich nach EN 207 und damit vergleichbar dem einer hochwertigen Laserschutzbrille mit Glasfiltern, erreichen z.B. die Panoramaxx Laserschutz-Schweißhelme von Optrel, die in Kooperation mit laservision entwickelt wurden. Diese Familie von drei Helmen unterscheidet sich vor allem in Bezug auf das verwendete Filter.

Neben einem rein passiven Kunststofffilter werden auch zwei Versionen mit einem zusätzlich zum Laserfilter aus Kunststoff bzw. aus beschichtetem Infrarot-Filterglas verbauten Auto-Darkening-Filter angeboten. Der Vorteil dieser beiden Hybridlösungen ist, dass diese Helme sowohl für das Laserschweißen, als auch für das konventionelle Schweißen, zertifiziert sind.

Am Markt sind aktuell verschiedene Ausführungen unterschiedlicher Hersteller in allen Preislagen und mit unterschiedlichen Schutzwirkungen verfügbar. Wie bei der vorher aufgezeigten Visierlösung ist auch bei Schweißhelmen der Tragekomfort und das Sichtfeld ein entscheidender Aspekt für die Akzeptanz der PSA.

laservision

Die meisten Schweißhelme besitzen ein rechteckiges Schutzfilter, welches auf Grund seiner Geometrie eher einen größeren Abstand zum Auge hat und



Bild 3: Hybridhelm für Laser- und konventionelles Schweißen von optrel

damit ein eingeschränktes Sichtfeld erzeugt. Für den Einsatz als Laserschweißhelm wird oft nur ein zusätzliches Laserschutzfilter integriert. Im Gegensatz dazu ermöglicht das mit einem Ausschnitt für die Nase versehene Filterdesign der Panoramaxx-Helme von Optrel, durch die Positionierung des Filters direkt vor dem Auge, ein bis zu 6-fach größeres Sichtfeld. Da auch die entsprechenden Laserschutzfilter diese Geometrie haben, ist auch beim Laserschweißen das Sichtfeld deutlich größer als bei Helmen mit rechteckigem Filter.



Bild 4: Laserschutzscheibe von laservision für Optrel PANORAMAXX Helm

Im Vergleich zwischen Schweißhelmen für konventionelles Schweißen und Hybridlösungen oder reinen Laserschweißhelmen, sind auf Grund des zusätzlichen Laserfilters diese Helme oft etwas schwerer. Es ist daher auch hier besonders wichtig

auf ein gutes und in vielen Richtungen einstellbares Haltesystem zu achten. Das Optrel-Isokit-Headgear ist dabei eines der flexibelsten Systeme am Markt.



Bild 5: Isokit Headgear

Atenschutz

Durch die beim Schweißen entstehenden Mikropartikel wird die Lunge besonders belastet. Um dieser Gefährdung zu entgehen, müssen verschiedene Maßnahmen getroffen werden.



Bild 6: uvex FFP3 Maske

Die Größe dieser Partikel liegt zwischen 0,1 und 1 Mikrometer. Teilchen dieser Größe können tief in die Atemwege eindringen und gesundheitsschädlich bzw. krebserzeugend sein. Auf die einfachste und am weitesten verbreitete Maßnahme, der Installation einer entsprechenden Absaugung mit Filtern, wurde bereits hingewiesen. Da dies oft nicht ausreichend, oder räumlich nicht möglich ist, muss zusätzlich entsprechende Atemschutz-PSA getragen werden.

Die Auswahl, Benutzung und der Einsatz von Atemschutz-PSA wird u.a. in der PSA-Benutzungsverordnung (PSA-BV) und der DGUV Regel 112-19012 beschrieben. Diese Normen stellen

laservision

auch sicher, dass die PSA den aktuellen Sicherheitsanforderungen entspricht.

Passive Atemschutzmasken wie FFP2 und FFP3 bieten grundlegenden Schutz gegen Partikel und Dämpfe. FFP3-Masken bieten dabei einen höheren Schutz als FFP2-Masken und sollten bevorzugt werden, wenn die Schadstoffkonzentration höher ist.

Aktive PAPR-Systeme (Powered Air-Purifying Respirators) hingegen bieten einen noch besseren Schutz, da sie die Luft aktiv filtern und dem Träger saubere Luft zuführen. Diese Systeme sind besonders nützlich bei Anwendungen mit hoher Schadstoffbelastung oder bei längeren Arbeitszeiten, da sie den Atemwiderstand reduzieren und den Tragekomfort erhöhen.



Bild 7: optrel Swiss Air PAPR System

Generell sollten PAPR-Systeme bevorzugt werden, wenn die Arbeitsbedingungen besonders belastend sind, ein hoher Emissionsgrad auftritt oder wenn der Träger gesundheitliche Einschränkungen hat, die das Atmen durch eine passive Maske erschweren. Neben Schweißhelmen die ein solches System bereits integriert haben oder damit nachgerüstet werden können, gibt es auch Stand-Alone Systeme die mit den vorher genannten PSA-Produkten (Visier, Helm, Brille) kombiniert werden können. Wichtig ist hierbei, dass weder die ursprüngliche Schutzwirkung noch die Funktionalität durch die Kombination negativ beeinflusst werden. Generell ist aber auch hier der Einsatz einer Absaugung zwingend vorgeschrieben.

Hand- und Hautschutz

Wie oben bereits beschrieben, stellt das Laserschweißen nicht nur eine Gefährdung für die Augen und sekundär der Lunge, sondern auch für die Haut dar. Die DGUV weist daher in ihrer Information 203-093 Kap. 5.4.2. explizit auf die

Notwendigkeit geeigneter Schutzkleidung bzw. Handschuhe beim Einsatz von HLGs hin. Um das Verletzungsrisiko gering zu halten, wird empfohlen hier geschlossene, schwer entflammbare Kleidung (z.B. Schweißerschutzkleidung) zu tragen. Entsprechende Schutzkleidung und Handschuhe bieten die meisten Hersteller von Arbeitsschutzkleidung (z.B. uvex) standardmäßig in verschiedenen Ausführungen und Qualitäten an.



Bild 8: Schweißer-Handschuhe Hexarmor

Zusammenfassung

Der Markt für handgeführte Lasersysteme wächst aufgrund ihrer Präzision, Vielseitigkeit, einfachen Handhabung und Kosteneffizienz dynamisch. Fortschritte in der Lasertechnologie und die steigende Nachfrage in verschiedenen Branchen tragen ebenfalls zu diesem Wachstum bei.

Gleichzeitig hat diese Technologie ein hohes Gefährdungspotential für den Anwender, so dass dem Arbeitsschutz und insbesondere dem Einsatz von persönlicher Schutzausrüstung (PSA) eine besondere Bedeutung zukommt. So sind Schutzbrillen, Schutzhandschuhe und schwer entflammare Kleidung unerlässlich, um umfassenden Schutz zu gewährleisten. Zusätzlich schützen Atemschutzmasken wie FFP2 und FFP3 sowie aktive PAPR-Systeme vor gefährlichen Partikeln, die beim Laserschweißen entstehen. Auf Grund der Komplexität der Anforderungen sollte die Auswahl der PSA immer auf einer gründlichen Gefährdungsbeurteilung basieren und auch den Schutz der Umgebung sowie anderer Personen im Arbeitsbereich umfassen.

Q1: J.Helm, Dissertation Prozessstabilität und Prozesseffizienz beim Laserstrahlfügen, Aprimus Verlag 2022

LASERVISION GmbH & Co. KG
Würzburger Str. 152; DE-90766 Fürth
Info@lv.com | +49.911.9736 8100