

Auswahl von Schutzbrillen für Materialbearbeitungslaser

Dr. Friedrich Offenhaeuser, Offenhaeuser+Berger GmbH
Meeboldstraße 30, 89522 Heidenheim, Deutschland

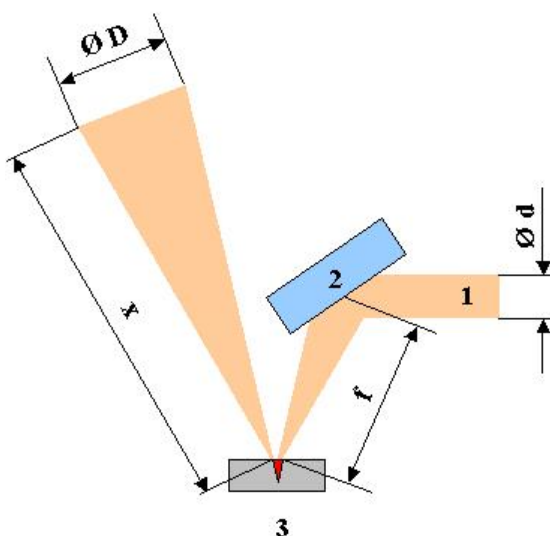
Die Auswahl von Laserschutzbrillen erfolgt in Europa nach der Norm EN 207 (1). Die Auswahlregeln finden sich im Anhang B dieser Norm und sind leider nicht einfach. Es werden für einzelne Wellenlängen oder Wellenlängenbereiche die Betriebsarten D für Dauerstrichbetrieb, I für Impulsbetrieb, R für Riesenimpulsbetrieb und M für modengekoppelten Betrieb unterschieden und jeweils mit Schutzstufen L1 bis L10 gekennzeichnet. Nach der überarbeiteten Norm vom April 2010 (2) werden die Schutzstufen mit LB1 bis LB10 angegeben, damit der Benutzer erkennen kann, nach welcher Norm die Brille geprüft wurde. An einem Beispiel wollen wir die richtige Vorgehensweise nach alter und neuer Norm zeigen.

Zunächst muss festgelegt werden, gegen welche Gefährdungen ein Schutz erforderlich ist. Im unserem Beispiel nehmen wir zwei Szenarien an:

- Beobachtung des Bearbeitungsprozesses durch den Maschinenführer aus einer Entfernung von mindestens 2 m
- Serviceeinsatz am Lasersystem mit Justierarbeiten an der gesamten Strahlführung von der Strahlquelle bis zum Objektiv

Ein typisches Lasersystem zum Schneiden und Schweißen ist beispielsweise ein CO₂-Laser mit folgenden Daten:

Wellenlänge	10600	nm
Maximale Dauerstrichleistung	5	kW
Maximale mittlere Leistung bei Impulsbetrieb bei Impulswiederholrate 100 kHz	7	kW
Impulsdauer bei Impulswiederholrate 10 kHz	<100	µs
Strahldurchmesser an der Laserapertur	13	mm
Brennweite des Fokussierspiegels	135	mm



Wir betrachten nun die Gefährdung aufgrund des ersten Szenarios genauer: Der kollimierte Rohstrahl 1 mit dem Durchmesser d wird durch den Hohlspiegel 2 der Brennweite f auf das Ziel 3 fokussiert. Während des Anfahrprozesses werden nahezu 100% der Laserleistung am Werkstück 3 reflektiert. Der reflektierte Laserstrahl hat dann in der Entfernung x den Durchmesser D , der wie folgt abgeschätzt werden kann:

$$D = d \cdot \frac{x}{f}$$

Aufgrund der Laserdaten ergibt sich für D

abgerundet 192 mm. Ausschlaggebend für die erforderliche Schutzstufe ist die Leistungsdichte $E = \frac{P}{A}$, wobei $A = \frac{\pi}{4} \cdot D^2$ die Querschnittsfläche des Laserstrahl ist.

Bei $P = 5 \text{ kW}$ Dauerstrichleistung ist die mittlere Leistungsdichte in 2 m Entfernung vom Werkstück also $E = 1,73 \cdot 10^5 \text{ W/m}^2$. Aus Tabelle B.1 der Norm EN 207:2002 Anhang B entnimmt man für Wellenlängen oberhalb 1400 nm die erforderliche Schutzstufe D L3. Nach der neueren Norm EN 207:2010 erhält man das vergleichbare Ergebnis D LB3, wenn die Brille mit einem Laserstrahl von mindestens 1 mm Durchmesser geprüft wurde. Bei mittlerer Leistung $P_m = 7 \text{ kW}$ im Impulsbetrieb ergibt sich in gleicher Weise die mittlere Leistungsdichte $E_m = 2,42 \cdot 10^5 \text{ W/m}^2$ und somit ebenfalls die Schutzstufen D L3 und D LB3.

Für eine Impulsdauer bis 0,1 s muss auch das Impulsverhalten untersucht werden. Aus der mittleren Laserleistung P_m und der Impulswiederholrate ν erhält man die Impulsenergie $Q = \frac{P_m}{\nu}$, im vorliegenden Fall also 0,7 J und daraus mit dem Strahldurchmesser 192 mm die aufgerundete Energiedichte $24,18 \text{ J/m}^2$. Für Wellenlängen oberhalb 400 nm, Impulszeiten unterhalb 0,25 s und Impulswiederholraten oberhalb 1 Hz muss diese Energiedichte mit dem Faktor $k = N^{0,25}$ multipliziert werden. Dabei ist N nach EN 207:2002 die Zahl der Impulse innerhalb von 10 s und nach EN 207:2010 die Zahl der Impulse innerhalb von 5 s. Nach alter Norm ergibt sich aufgerundet $k = 17,79$ und nach neuer Norm $k = 14,96$, so dass man für die korrigierten Energiedichten $H^* = 430 \text{ J/m}^2$ und $H^* = 362 \text{ J/m}^2$ erhält. Aus Tabelle B.1 erhält man für Impulsbetrieb die erforderlichen Schutzstufen I L1 und I LB1. Die neue Norm EN 207:2010 (2) berücksichtigt im Anhang B auch die Vorgaben der Richtlinie 2006/25/EG (3) zur Berücksichtigung des zeitlichen Abstands zwischen dem Ende des eines Impulses und Beginn des darauf folgenden Impulses. Bei kurz aufeinander folgenden Impulsen hat das bestrahlte Gewebe keine Möglichkeit, zwischen zwei Impulsen wieder abzukühlen. Bei 10600 nm liegt die Grenze für den zeitlichen Abstand bei 0,1 μs . Bei einer Repetitionsrate von 10 kHz ist die Periode 100 μs . Wenn für die Impulsdauer $< 100 \mu\text{s}$ gilt, kann die zeitliche Trennung zwischen zwei aufeinander folgenden Impulsen tatsächlich kleiner als der Grenzwert 0,1 μs sein und es wären weitere Rechenschritte zur Ermittlung der Schutzstufe erforderlich. Da die zeitliche Trennung aber wesentlich kleiner als die Impulsdauer ist, macht die Anwendung dieser neuen Regel in unserem Beispiel keinen Sinn.

Im Servicefall ist die wichtigste Gefährdungslage meist die Bestrahlung durch den Rohstrahl. Bei einem Strahldurchmesser von 13 mm erhält man bei Dauerstrichbetrieb die Leistungsdichte $E = 3,77 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$ und aufgrund der mittleren Leistung bei Impulsbetrieb die Leistungsdichte $E_m = 5,28 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$. Aus Tabelle B.1 erhält man in diesem Fall die erforderliche Schutzstufen D L5 nach EN 207:2002 und D LB 5 nach EN 207:2010.

Bei Impulsbetrieb liegt im Servicefall die Impulsenergie $Q = 0,7 \text{ J}$ bei einem Strahldurchmesser von 13 mm vor, so dass sich die Energiedichte $H = 5274 \text{ J/m}^2$ ergibt und daraus mit den zuvor berechneten Korrekturfaktoren k die korrigierten Energiedichten $H^* = 9,38 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ nach EN 207:2001 und $H^* = 7,89 \cdot 10^4 \text{ J/m}^2$ nach EN 207:2010. Aus Tabelle B.1 erhält man für Impulsbetrieb die erforderlichen Schutzstufen I L3 und I LB3.

Tatsächlich würde man Justagearbeiten normalerweise nicht bei höchster Leistung durchführen, so dass sich unter Umständen niedrigere Schutzstufen rechtfertigen lassen.

Literatur:

(1) EN 207:2002

(2) EN 207:2010

(3) Richtlinie 2006/25/EG „Künstliche optische Strahlung“