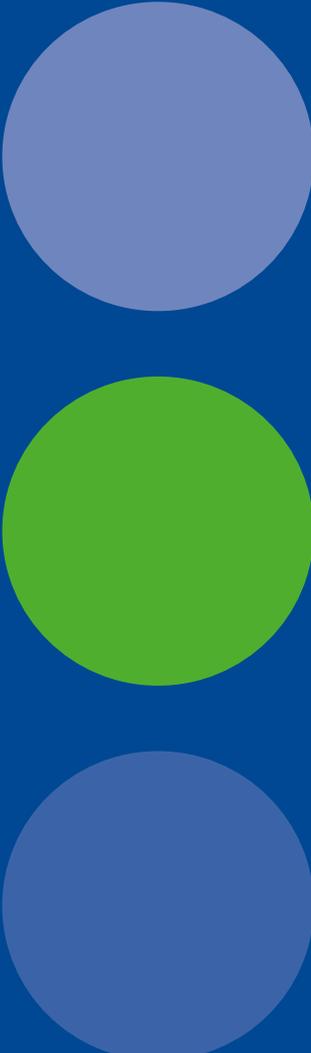


203-093

DGUV Information 203-093



**Handlungshilfe für die
Gefährdungsbeurteilung
beim Betrieb von offenen
Laser-Einrichtungen
zur Materialbearbeitung
mit Handführung oder
Handpositionierung (HLG)**

komm**mit****mensch** ist die bundesweite Kampagne der gesetzlichen Unfallversicherung in Deutschland. Sie will Unternehmen und Bildungseinrichtungen dabei unterstützen eine Präventionskultur zu entwickeln, in der Sicherheit und Gesundheit Grundlage allen Handelns sind. Weitere Informationen unter www.kommmitmensch.de

Impressum

Herausgegeben von:

Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)
Fax: 030 13001-6132
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de

Fachbereich Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (FB ETEM)
Sachgebiet Nichtionisierende Strahlung

Ausgabe: April 2019

DGUV Information 203-093
zu beziehen bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungs-
träger oder unter www.dguv.de/publikationen

Bildnachweis

Abb. 1–5 Alpha Laser GmbH

Handlungshilfe für die Gefährdungsbeurteilung beim Betrieb von offenen Laser-Einrichtungen zur Materialbearbeitung mit Handführung oder Handpositionierung (HLG)

Inhaltsverzeichnis

	Seite		Seite
1	Einleitung	5	
2	Gesetzliche Grundlage	6	
2.2	Altmaschinen	7	
2.3	Prüfung von Lasereinrichtungen	7	
3	Anwendungsbereich und Begriffsbestimmungen	8	
3.1	Anwendungsbereiche	8	
3.1.1	Nicht betrachtete Lasergeräte und Lasereinrichtungen	8	
3.1.2	Laser-Einrichtungen mit Werkstückpositionierung von Hand	8	
3.1.3	Laser-Einrichtungen mit kraftunterstützter Positionierung von Werkstück oder Laserkopf	9	
3.1.4	Handgeführte Laserbearbeitungsgeräte	9	
3.2	Begriffsbestimmungen	9	
4	Gefährdungen	11	
4.1	Gefährdungen durch externe Einflüsse (Umwelteinflüsse)	13	
4.2	Gefährdungen durch besondere Einsatzbedingungen von HLG	14	
4.2.1	Kriterien für die Gefährdungsbeurteilung von HLG hinsichtlich Laserstrahlung	14	
4.2.2	Gefährdungsbeurteilung anhand des Vergleichs der tatsächlichen Exposition mit den Expositionsgrenzwerten (EGW) gem. § 6 Absatz 2 OStrV	15	
4.3	Gefährdungen von Auge und Haut	15	
4.4	Gefahrstoffe	16	
4.5	Brand- und Explosionsgefahr	17	
4.6	Ergonomie	17	
5	Schutzmaßnahmen	18	
5.1	Technisch-konstruktive Schutzmaßnahmen am HLG	18	
5.1.1	Einhausung des Arbeitsbereiches	19	
5.1.2	Beobachtungsfenster	19	
5.1.3	Werkstückbeobachtung durch ein Okular	19	
5.1.4	Technisch konstruktive Steuerungseinrichtungen zur sicheren Laserstrahlfreigabe (und Anzeigeelemente)	19	
5.1.4.1	Bedienungsreinrichtungen, Anzeigen	19	
5.1.4.2	Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen in der Regel vom Hersteller einer Laser-Einrichtung aus geführt	20	
5.2	Zusätzliche technische Schutzmaßnahmen (durch Betreiber)	20	
5.2.1	Periphere Arbeitsraumabsicherung	20	
5.2.2	Baulich umschlossener Arbeitsbereich	20	
5.2.3	Variable Abschirmungen	21	
5.2.4	Absaugung	21	
5.2.5	Beleuchtung am HLG-Arbeitsplatz	22	
5.3	Organisatorische Schutzmaßnahmen (durch die Betreiber)	22	
5.3.1	Absicherung durch Abstand	22	
5.4	Persönliche Schutzmaßnahmen (durch die Betreiber)	23	
5.4.1	Auswahl der Laserschutzbrille	23	
5.4.2	Auswahl der Laserschutzkleidung	23	
6	Laserschutzbeauftragte (LSB)	24	
6.1	Anforderungen und Aufgaben der Laserschutzbeauftragten (LSB)	24	
7	Unterweisung	25	
8	Arbeitsmedizinische Vorsorge	25	
9	Laserarbeiten unter Einbeziehung von Fremdfirmen	26	
10	Maßnahmen bei Unfällen	27	
10.1	Organisation der betrieblichen Ersten Hilfe	27	
10.2	Verbrennungen der Haut	27	
11	Vorschriften, Normen und Literatur	28	
Anhang A1			
Schutzhandschuhe und Schutzkleidung		29	
Anhang A2			
Persönliche Schutzausrüstung		30	

1 Einleitung

In dieser DGUV Information werden Laser-Einrichtungen zur Materialbearbeitung betrachtet, bei denen die Laserstrahlung während des Betriebes zumindest teilweise offen und zugänglich ist. Handgeführt und handpositioniert werden hierbei entweder das Werkstück, ein Laserbearbeitungskopf oder ein Laserhandgerät. Alle hier betrachteten entsprechenden Laser-Einrichtungen werden in dieser DGUV Information als HLG bezeichnet.

Hierzu kommen Lasergeräte zum Einsatz, deren Laserenergie bzw. Laserleistung eine Materialbearbeitung ermöglicht.

Damit sind Schädigungen der Augen und der Haut durch die Laserstrahlung möglich. Die Expositionsgrenzwerte (EGW) werden ohne Verwendung von Schutzmaßnahmen überschritten und es ergibt sich ein bestimmungsgemäß zugänglicher Laserbereich.

Diese DGUV Information 203-093 unterstützt die Arbeitgeber und die Fachkundigen gemäß Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OStrV) bzw. Technische Regeln Laserstrahlung (TROS Laserstrahlung) bei der Gefährdungsbeurteilung an Arbeitsplätzen mit den genannten Lasern.

Die betrachteten Schwerpunkte sind die direkten und indirekten Gefährdungen bezüglich der Laserstrahlung.

2 Gesetzliche Grundlage

2.1 Produkt

Sicherheit und Gesundheit aller Arbeitnehmer gehören zu den herausragenden Zielen der Europäischen Union (EU). Diese Ziele werden in Richtlinien von der EU vorgegeben und sind national umzusetzen. In Deutschland fordert das Produktsicherheitsgesetz (ProdSG) grundsätzlich, dass nur sichere Produkte nicht nur bei bestimmungsgemäßem Einsatz, sondern auch bei jeder vorhersehbaren Verwendung, also auch bei „Vorhersehbarer Fehlanwendung“ – außer Missbrauch – keine Gefahr für Gesundheit und Leben bedeuten.

Für Maschinen, die in den europäischen Markt eingeführt oder dort in Betrieb genommen werden, sind von der EU Mindestanforderungen an die Sicherheit in der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG definiert.

Das ProdSG beinhaltet Anforderungen an die Bereitstellung, das sogenannte Inverkehrbringen, von Produkten auf dem Markt. Auf dem ProdSG basiert die neunte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz, die Maschinenverordnung, die im Wesentlichen die nationale Umsetzung der EG-Maschinenrichtlinie 2006/42/EG darstellt.

In der Maschinenrichtlinie sind „Grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen“ genannt. Bei der Beurteilung, ob ein Produkt diesen „Grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen“ entspricht, können sowohl Normen als auch andere technische Spezifikationen herangezogen werden.

Grundlage für die Hersteller von Produkten ist die Risikobeurteilung, die alle möglichen Risiken einer Maschine bzw. die von einer Maschine ausgehen, erfasst und bewertet. Das Ergebnis ist, dass das Risiko ggf. mit risikomindernden Maßnahmen auf ein akzeptables Restrisiko reduziert wurde.

Die nachfolgenden laserspezifischen Normen können beispielsweise in diese Risikobeurteilung mit einbezogen werden:

DIN EN ISO 12100: 2011-03	Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung
DIN EN ISO 11553-1: 2009-03	Sicherheit von Maschinen – Laserbearbeitungsmaschinen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen
DIN EN ISO 11553-2: 2009-03	Sicherheit von Maschinen – Laserbearbeitungsmaschinen – Teil 2: Sicherheitsanforderungen an handgeführte Laserbearbei- tungsgeräte
DIN EN 60825-1: 2015-07	Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen
DIN EN 60825-4: 2017-03	Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 4: Laserschutzwände
DIN EN 60204-1: 2010-05	Sicherheit von Maschinen – Elektrische Ausrüstung von Maschinen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen
DIN EN ISO 13849-1: 2016-06	Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze
DIN EN ISO 13849-2: 2013-02	Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 2: Validierung
DIN EN ISO 14119: 2014-03	Sicherheit von Maschinen – Verriegelungseinrichtungen in Verbindung mit trennenden Schutzeinrichtungen – Leitsätze für Gestaltung und Auswahl
DIN EN 12254: 2012-04	Abschirmungen an Laserarbeits- plätzen – Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung
DIN EN ISO 14738: 2009-07	Sicherheit von Maschinen – Anthropometrische Anforderungen an die Gestaltung von Maschinenarbeitsplätzen

Anmerkung: Aktuellstes Datum der Norm für neue Maschinen (bei Drucklegung der DGUV Information 203-093)

2.2 Altmaschinen

Nach der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) muss auch für bereits in Verkehr gebrachte Arbeitsmittel eine Gefährdungsbeurteilung durchgeführt werden. Die festgelegten Schutzmaßnahmen müssen dem aktuellen Stand der Technik entsprechen und die Arbeitsmittel entsprechend dem aktuellen Stand der Technik sicher sein. Dies gilt auch für sog. „Altmaschinen“ mit oder ohne Konformitätserklärung. Damit müssen sie faktisch den aktuellen Sicherheitsnormen entsprechen.

Nur wenn bei den „Altmaschinen“ das geforderte Sicherheitsniveau nachweislich nicht durch ergänzende technische Maßnahmen durch den Betreiber erreicht werden kann, können organisatorische oder nachrangig persönliche Schutzmaßnahmen angewandt werden.

Bei Lasereinrichtungen haben sich die geforderten technischen Schutzmaßnahmen im Laufe der Entwicklung der Lasereinrichtungen in der Regel nicht wesentlich geändert, so dass auch die Altmaschinen die aktuellen technischen (konstruktiven) Anforderungen erfüllen können und müssen.

2.3 Prüfung von Lasereinrichtungen

Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung haben die Betreiber Art und Umfang erforderlicher Prüfungen und die Prüffristen festzulegen.

In der Regel unterliegen die Laser-Einrichtungen einer regelmäßigen Wartung. Naheliegend sind hierbei die Laser-Einrichtungen im o. g. Sinne zu prüfen. Die Prüfung erfolgt durch eine befähigte Person nach TRBS (Technische Regel für Betriebssicherheit) 1203, die von den Arbeitgebern beauftragt wird.

3 Anwendungsbereich und Begriffsbestimmungen

3.1 Anwendungsbereiche

Diese DGUV Information kann herangezogen werden für offene Laser-Einrichtungen, bei denen das Werkstück, der Laserkopf oder das Laserhandgerät manuell geführt oder positioniert werden. Das Führen kann kraftunterstützt sein.

3.1.1 Nicht betrachtete Lasergeräte und Lasereinrichtungen

HLG der Laserklasse 1 werden hier nicht betrachtet. Dies können z. B. Lasergeräte zur Beschriftung mit vollständiger Abschirmung (man spricht auch von Kapselung) und Aufsatzkontrolle sein.

Nicht betrachtet werden weiter Geräte der Laserklasse 1C für medizinische oder kosmetische Anwendungen.

3.1.2 Laser-Einrichtungen mit Werkstückpositionierung von Hand

Bei Systemen, bei denen die Werkstückpositionierung von Hand erfolgt, wird das Werkstück unter einem ortsfesten Laserbearbeitungskopf geführt. Die Werkstücke haben eher kleine Dimensionen und Gewichte, die ein exaktes Führen von Hand erlauben.

Der Arbeitsbereich kann nahezu vollständig gekapselt (eingehaust) sein und die Hände werden über Öffnungen in den Arbeitsbereich gebracht. Daneben existieren Systeme, die nicht oder nur teilweise umschlossen sind.

Während des Bearbeitungsvorganges wird die Bearbeitungszone in der Regel über ein Okular beobachtet.

Zum Einsatz kommen typischerweise gepulste Nd:YAG-Laser mit Pulsspitzenleistungen von einigen Kilowatt und mittleren Leistungen bis zu einigen 100 W (siehe Abbildung 1).

Eingesetzt werden diese Laser-Einrichtungen in der industriellen Materialbearbeitung z. B. zur Reparatur von Werkzeugen, im Dentalbereich (Abbildung 2) sowie bei der Schmuckherstellung.

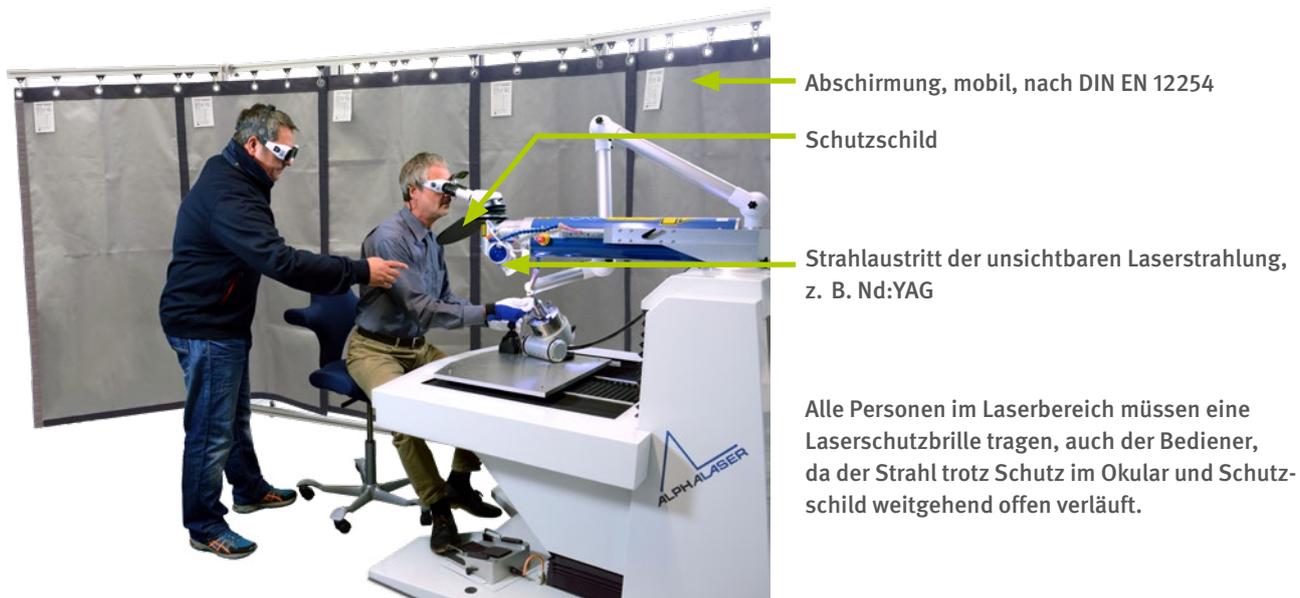


Abb. 1 Offener Materialbearbeitungslaser mit Werkstückpositionierung von Hand



Abb. 2 Teilumschlossener Materialbearbeitungslaser mit Werkstückpositionierung von Hand

3.1.3 Laser-Einrichtungen mit kraftunterstützter Positionierung von Werkstück oder Laserkopf

Die unter 3.1.2 genannten Laser-Einrichtungen können durch eine kraftunterstützte Positionierung des Werkstückes erweitert werden. Die Systeme sind beispielsweise mit einem achspositionierbaren Tisch ausgerüstet, die Positionierung erfolgt über eine „Joystick-Steuerung“. Ergänzende Programmsteuerungen werden angeboten. Hier können die Einrichtungen wie oben beschrieben offen oder teilumhaust ausgeführt sein.

Ähnlich aufgebaut sind Systeme, bei denen der Laserbearbeitungskopf an einem sogenannten Arm angebracht ist und auch über großvolumigen Werkstücken positioniert werden kann. Bei der Bearbeitung erfolgt eine Fein-Positionierung des Laserkopfes beispielsweise über einen Joystick. Diese Einrichtungen sind in der Regel offen.

In beiden Fällen erfolgt eine Beobachtung des Arbeitsbereiches über ein Okular.

Eingesetzt werden hier typischerweise Nd:YAG- oder Faserlaser mit mittleren Leistungen bis 1000 W.

3.1.4 Handgeführte Laserbearbeitungsgeräte

Bei handgeführten Laserbearbeitungsgeräten halten oder führen die Bediener einen Laserbearbeitungskopf am oder über das Werkstück oder entlang des Werkstückes. Entweder ist ein Abstand zwischen Bearbeitungskopf und Werkstück vorhanden oder der Bearbeitungskopf wird aufgesetzt (Abbildung 3).



Abb. 3 Offenes handgeführtes Laserbearbeitungsgerät

Typische Anwendungen sind hier das Reinigen oder Entlacken von Oberflächen, die Beschriftung von Teilen sowie das Fügen und Trennen (Schweißen und Schneiden).

Eingesetzt werden hier hauptsächlich Festkörperlaser und Diodenlaser bis in den kW-Bereich (CW).

3.2 Begriffsbestimmungen

Arbeitsbereich:

Der Arbeitsbereich ist der maximale Bereich, in dem sich die Bediener, bestimmte Körperteile, z. B. die Hände, der Laserbearbeitungskopf, ein Laserhandgerät oder das Werkstück befinden können.

Anmerkung: Der Laserbereich (siehe TROS Laserstrahlung, Teil „Allgemeines“) kann dagegen oft wesentlich größer sein, z. B. der ganze Raum.

Augensicherheitsabstand

(NOHD: Nominal Ocular Hazard Distance):

Unter dem Augensicherheitsabstand versteht man die Entfernung, bei der die Bestrahlungsstärke oder die Bestrahlung gleich dem entsprechenden Expositionsgrenzwert der Hornhaut des Auges ist. Schließt man beim Augensicherheitsabstand auch die Möglichkeit der Betrachtung mit optischen Hilfsmitteln (z. B. Fernrohr, Teleskop) ein, so wird vom erweiterten Augensicherheitsabstand (ENOHD: Enlarged Nominal Ocular Hazard Distance) gesprochen.

Anmerkung: Bei der Verwendung von Sammellinsen kann die Gefährdung ebenfalls erhöht werden. Hierdurch ergibt sich jedoch nicht zwangsläufig ein anderer „erweiterter“ Augensicherheitsabstand (ENOHD).

Bearbeitungszone:

Bereich in dem der Laserstrahl in Wechselwirkung mit dem Werkstoff des Werkstücks tritt.

Expositionsgrenzwert (EGW):

Die Expositionsgrenzwerte nach § 6 Absatz 2 OStrV sind maximal zulässige Werte bei Exposition der Augen oder der Haut gegenüber Laserstrahlung. Diese sind in der TROS Laserstrahlung, Anlage 4 Abschnitt A4.1 des Teils 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung“ aufgeführt.

Anmerkung 1: Der EGW ist das maximale Ausmaß der Laserstrahlung, dem das Auge oder die Haut ausgesetzt werden kann, ohne dass damit akute Gesundheitsschädigungen gemäß Tabelle A3.1 der Anlage 3, der TROS Laserstrahlung Teil 2 „Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber Laserstrahlung“ verbunden sind. Zum Schutz vor langfristigen (chronischen) Schädigungen durch die kanzerogene Wirkung von UV-Strahlung ist das Minimierungsgebot nach § 7 OStrV besonders zu beachten.

Anmerkung 2: In anderen Schriften wird der Begriff „Maximal zulässige Bestrahlung (MZB)“ für den EGW verwendet. Die Werte müssen nicht identisch sein.

Fachkundige:

Fachkundig ist, wer über die erforderlichen Fachkenntnisse zur Ausübung einer in der OStrV bestimmten Aufgabe verfügt. Die Anforderungen an die Fachkunde sind abhängig von der jeweiligen Art der Aufgabe. Zu den Anforderungen zählen eine entsprechende Berufsausbildung oder Berufserfahrung jeweils in Verbindung mit einer zeitnah ausgeübten einschlägigen beruflichen Tätigkeit sowie die Teilnahme an spezifischen Fortbildungsmaßnahmen.

Hautsicherheitsabstand (NSHD: Nominal Skin Hazard Distance):

Unter dem Hautsicherheitsabstand versteht man die Entfernung, bei der die Bestrahlungsstärke oder die Bestrahlung gleich dem entsprechenden Hautexpositionsgrenzwert ist.

Anmerkung: Zur Angabe des Abstandes gehört immer auch die Angabe der Expositionsdauer, die bei der Ermittlung angesetzt wird.

Laserbereich:

Der Laserbereich ist der Bereich, in welchem die Expositionsgrenzwerte überschritten werden können.

Anmerkung: Der Laserbereich muss sich nicht mit dem Arbeitsbereich decken, sondern kann größer sein (siehe auch TROS Laserstrahlung).

Bei den hier betrachteten Anwendungen ist der Laserbereich in der Regel zugänglich.

Oft wird durch Abschätzung ein Bereich als Laserbereich vor Ort festgelegt der wesentlich größer ist. Dies kann z. B. die ganze Werkhalle sein, in dem der Laser betrieben wird. Die Kennzeichnung erfolgt dann an den Zugängen zur Werkhalle. Vielfach wird der Laserbereich durch Laserabschirmungen aber auf einen kleineren Bereich beschränkt (z. B. mittels Abschirmungen, Einhausungen); hier erfolgt die Kennzeichnung dann an den Laserabschirmungen.

4 Gefährdungen

Behandelt werden im Folgenden alle typischen Gefährdungen beim Betrieb dieser handgeführten und handpositionierten Laser, insbesondere alle direkten und indirekten Gefährdungen, die in der TROS Laserstrahlung benannt sind.

Dies bedeutet aber auch, dass in dieser DGUV Information nicht alle Gefährdungen an einem speziellen Arbeitsplatz behandelt werden können. Sie sind daher für jeden speziellen HLG-Arbeitsplatz zusätzlich zu betrachten.

Auf Grund der mannigfaltigen Anwendungsmöglichkeiten von HLG und der daraus resultierenden Bauartenvielfalt kommt der Gefährdungsbeurteilung von Tätigkeiten mit dem jeweiligen HLG eine hohe Bedeutung zu.

Im Folgenden sind wichtige Gefährdungen aufgelistet (Liste nicht abschließend). Eine eingehendere Betrachtung der einzelnen Gefährdungen erfolgt in Unterabschnitten.

Gefährdungen können von dem HLG, in Verbindung mit dem Lasergerät oder weiteren Versorgungseinheiten, selbst oder durch Wechselwirkung von Laserstrahlung mit den zu bearbeitenden Werkstoffen erzeugt werden.

Hierzu gehören (*in TROS Laserstrahlung berücksichtigt):

- a. Mechanische Gefährdungen
- b. Elektrische Gefährdungen
- c. Gefährdungen durch Wärme und heiße Oberflächen
- d. Gefährdungen durch Schwingungen/Vibrationen
- e. *Gefährdungen durch Laserstrahlung
- f. *Gefährdungen durch sekundäre Strahlung oder elektromagnetische Felder
- g. *Gefährdungen, die von Werkstoffen und Substanzen erzeugt werden
- h. *Brand- und Explosionsgefährdung
- i. Gefährdungen, die durch Missachtung ergonomischer Grundsätze bei der Konstruktion der Laserbearbeitungsgeräte entstehen
- j. Sonstige Gefährdungen.

Zu:

- a. **Mechanische Gefährdungen** können z. B. durch Relativbewegungen von Bauteilen, Bauteile mit gefährlichen Oberflächen, durch scharfe Kanten von Blechen, Kanten von Werkstücken aus glasfaserverstärkten (GFK) oder kohlefaserverstärkten (CFK) Kunststoffen entstehen. Handgehaltene Laserbearbeitungsgeräte können herabfallen und die Bediener und weitere Personen gefährden.
- b. **Elektrische Gefährdungen** (z. B. elektrischer Schlag) können durch Fehler in der elektrischen Ausrüstung des HLG oder den Versorgungseinheiten resultieren; insbesondere bei rauer Arbeitsumgebung (u. a. Werft) besteht eine erhöhte Gefährdung.
- c. **Gefährdungen durch Wärme** resultieren aus der Absorption von Laserstrahlung im HLG bzw. den Strahlführungskomponenten durch fehlerhafte Strahlführung oder Fehler in den optischen Komponenten, welche zu einer erhöhten Temperatur der HLG-Gehäuse führen können. Durch die Wechselwirkungen der Laserstrahlung mit den Werkstücken können die Werkstücke heiße Oberflächen aufweisen.
- d. **Gefährdungen für die Bediener durch Schwingungen und Vibrationen** können sich bei HLG durch nicht ergonomisch ausgelegte Vorschubeinrichtungen bei auf dem Werkstück aufgesetzten HLG ergeben.
- e. **Gefährdungen durch Laserstrahlung**
Direkte Gefährdungen können durch den direkten oder reflektierten Laserstrahl erzeugt werden. Bei freigeführten Handlasergeräten kann im Fehlerfall der direkte Laserstrahl die Bediener oder dritte Personen im Arbeitsbereich treffen. Bei für die Laserstrahlung transparenten Werkstücken oder Spalten oder sich ergebenden Schnittspalten sowie an Werkstückkanten kann die Laserstrahlung an dem Werkstück vorbei propagieren und die unteren Extremitäten der Bediener oder dritter Personen am Arbeitsplatz treffen. Bei fehlerhafter Einkopplung der Laserstrahlung in das Werkstück kann der direkt reflektierte Laserstrahl die Bediener oder dritte Personen im Arbeitsbereich gefährden. Auch die diffuse Reflexion der Laserstrahlung aus dem Prozessbereich kann bei leistungsstarken HLG zu einer Gefährdung der ungeschützten Augen sowie auch der Haut führen.
- f. **Gefährdungen durch Sekundärstrahlung oder elektromagnetische Felder**
Sekundärstrahlung entsteht durch Strahlwechselwirkungen mit Werkstoffen in der Prozesszone und

unterscheidet sich signifikant von der Wellenlänge der Laserstrahlung; diese Strahlung kann beim Bediener bzw. der Bedienerin und ggf. Personen im Arbeitsbereich zu temporären Beeinträchtigungen (Blenden, Verblitzen) oder irreversiblen Schädigungen führen. Ein Beispiel für Sekundärstrahlung ist die beim Laser-Schweißen durch das Plasma emittierte UV-, sichtbare und IR-Strahlung (Wärmestrahlung). Bei einer exemplarischen Messung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) und der BG ETEM an einem Laser wurde bei den Parametern $\lambda = 1064 \text{ nm}$, $P_{\text{EI}}^{1)} = 2 \text{ kW}$, $d_{63} = 1 \text{ mm}$ und $T_{\text{EI}}^{2)} = 5 \text{ ms}$ in einer Entfernung von ca. 8 cm vom Fokuspunkt eine effektive UV-Strahlung von ca. $2,2 \text{ mJ/m}^2$ pro Impuls bei der Bearbeitung von Baustahl festgestellt. Dies bedeutet, dass der Tagesexpositionsgrenzwert von 30 J/m^2 nach ca. 14000 Impulsen überschritten wird. Bei einem Abstand z. B. der Finger von nur 4 cm wird dagegen der Expositionsgrenzwert schon nach etwa 3500 Impulsen erreicht. Sind die Impulse statt 5 ms 10 ms lang wird der Tagesexpositionsgrenzwert in 4 cm nach ca. 1750 Impulsen erreicht. Dies würde bei einer Frequenz von 10 Hz bedeuten, dass der Tagesexpositionsgrenzwert nach ca. 175 s erreicht würde. Da in der Regel, wie das obige Beispiel zeigt, zumindest inkohärente UV-Strahlung in der Größenordnung des Expositionsgrenzwertes vorhanden sein kann, sind Anforderungen der Arbeitsmedizinischen Vorsorge (siehe Kap. 8) zu beachten. Ferner muss beim Auftreten von UV-Strahlung gemäß § 3 Abs. 4 OStrV die Gefährdungsbeurteilung 30 Jahre aufbewahrt werden. Die Expositionen hängen dabei insbesondere von dem bearbeiteten Material, der Oberflächenbeschaffenheit, der Form des Werkstücks (mögliche Reflexionen), den Stoffen in der Wechselwirkungszone, den leistungsführenden Prozessparametern (zur Bildung des Plasmas) und dem Winkel des exponierten Körperteils zum einfallenden Laserstrahl ab. Je nach bestrahltem Werkstoff kann es auch zur Entstehung von Fluoreszenzstrahlung kommen. Aufgrund der Charakteristik der Fluoreszenzstrahlung und der sich ergebenden Bestrahlungsstärken ist hier in der

Regel nicht mit Schädigungen des Auges oder der Haut zu rechnen.

Bei der Anwendung hochenergetischer Ultrakurzpulslaser kann es zur Entstehung ionisierender Strahlung (ähnlich Röntgenstrahlung) kommen. Das resultierende Röntgenstrahlungsspektrum (keV–MeV) sowie die Dosisleistung in bestimmten Abständen zur Laserstrahl/Werkstoffwechselwirkungszone hängt entscheidend von den Laserprozessparametern und den bearbeiteten Werkstoffen ab. Derzeit (Stand 2018) sind am Markt jedoch noch keine ultrakurzgepulsten *handgeführten oder handpositionierten* Lasergeräte verfügbar, bei denen Röntgenstrahlung entstehen kann. Gefährliche Sekundärstrahlung kann auch durch Komponenten des Lasergerätes (bei bestimmten Verfahren zur Anregung) emittiert werden. Dieses können u. a. UV- oder Mikrowellenstrahlung sein, die z. B. durch Blitzlampen, Entladungsröhren oder HF-Generatoren erzeugt werden. Insbesondere beim Service der Lasergeräte kann diese Gefährdung auftreten.

1) P_{EI} = Einzelimpulsspitzenleistung

2) T_{EI} = Zeitdauer des Einzelimpulses

g. **Gefährdungen, die von Werkstoffen und Substanzen erzeugt werden**

Durch die Wechselwirkung des Laserstrahls mit den Werkstoffen können gas- und partikelförmige Emissionen entstehen. Diese Gefahrstoffe können aus der Prozesszone in den Arbeitsbereich gelangen und können hauptsächlich durch Inhalation, aber auch durch Aufnahme über die Haut zu Gesundheitsbeeinträchtigungen führen. Für die Gefährdungsbeurteilung müssen die Werkstoffe oder Werkstoffkombinationen, die mit dem HLG bearbeitet werden (und vom Hersteller vorgesehen sind) berücksichtigt werden.

h. **Brand- und Explosionsgefahr**

Eine direkte, reflektierte oder gestreute Laserstrahlung mit ausreichend hoher Energiedichte (Leistungsdichte und Einwirkungsdauer) kann unter bestimmten Umständen Stoffe entzünden (Brandgefahr) oder Gas-, Dampf- bzw. Staubgemische zur Explosion bringen. In der TRBS (Technische Regel für Betriebssicherheit) 2152 Teil 3 werden hierzu detailliertere Aussagen getroffen. Bei leistungsstarken Lasern der Klasse 3B und Klasse 4 besteht in sauerstoffangereicherter Umgebung erhöhte Brandgefahr durch entflammables Material im Strahlführungssystem, an der Bearbeitungsstelle und in der Arbeitsumgebung.

i. **Gefährdungen, die durch Missachtung ergonomischer Grundsätze bei der Konstruktion der Laserbearbeitungsgeräte entstehen**

Hierbei handelt es sich um Gefährdungen, die zu erhöhten Belastungen des Bedieners von HLG führen u. a. aufgrund zu hohen Gewichts des HLG sowie nicht ergonomischer Gestaltung der Bedien- und Führungselemente (Taster/Griffe).

j. **Sonstige Gefährdungen** z. B. durch Absturz

Dieses trifft insbesondere für hochgelegene Arbeitsplätze (u. a. Gerüste) zu.

4.1 Gefährdungen durch externe Einflüsse (Umwelteinflüsse)

Die Umgebung, in der das handgeführte Laserbearbeitungsgerät eingesetzt wird, kann zu Fehlfunktionen des HLG führen, die wiederum Gefährdungen nach sich ziehen und/oder ein Eingreifen in Gefährdungsbereiche erforderlich machen.

Insbesondere bei HLG, die in Außenbereichen u. a. für Restaurationszwecke (Reinigung) an Fassaden oder Denkmälern eingesetzt werden, sind Gefährdungen durch Umwelteinflüsse bei der Gefährdungsbeurteilung mit zu berücksichtigen.

Beeinflussungen durch die Umgebung/Umwelt können Folgendes einschließen:

- Temperatur (Kälte, Wärme),
- Feuchte (Wasser, Regen, Nebel, Hagel),
- externe Stöße / Vibrationen, Winddruck,
- Dämpfe, Staub oder Gase aus der Umgebung,
- elektromagnetische Störungen (Blitzschlag),
- unzureichende Sichtverhältnisse (Beleuchtung, Sonnenlicht),
- Unterbrechungen/Schwankungen der Versorgungsspannung,
- unzureichende Hardware-/Softwarekompatibilität,
- Nichtbeachtung der Schnittstellenspezifikation (einschließlich der Leistungsgrenzen, Steuerungssignale).

4.2 Gefährdungen durch besondere Einsatzbedingungen von HLG

a) Enge Räume:

HLG können in engen Räumen eingesetzt werden. Beispiele hierfür sind das Bearbeiten (Fügen/Trennen) von Bauteilen in kleinen Segmenten im Schiffbau, der Bearbeitung von Rahmenkastenkonstruktionen oder Tanks sowie der Zerlegung von Kraftwerkskomponenten.

Hierdurch können besondere Gefährdungen entstehen wie u. a.:

- Konzentration schädlicher Substanzen in der Luft,
- Anreicherung von Prozessgasen (Stickstoff, Argon, Helium, Sauerstoff) in der Luft,
- Sauerstoffverarmung,
- bei elektrisch leitenden Bauteilen durch elektrischen Strom,
- erhöhte Strahlungsgefährdung durch direkte sowie durch direkt oder diffus reflektierte Laserstrahlung bedingt durch die kurzen Distanzen zwischen Prozessort und Bedienern,
- erhöhte Stolper- und Stoßgefährdung.

b) Arbeiten auf hochgelegenen Arbeitsplätzen:

HLG können auf hochgelegenen Arbeitsplätzen oder in einer anderen Last aufnehmenden Fläche angewendet werden.

Einsatzbeispiele hierfür sind u. a. das Reinigen von hochgelegenen Fassadenteilen oder Denkmälern, das Entlacken von Masten. Gefährdungen entstehen durch:

- Herabfallen von Gegenständen,
- Absturz des Bedieners oder der Bedienerin.

4.2.1 Kriterien für die Gefährdungsbeurteilung von HLG hinsichtlich Laserstrahlung

Die Gefährdungsbeurteilung von Tätigkeiten mit handgeführten Lasern zur Materialbearbeitung muss die jeweiligen Einsatzgrenzen und Einsatzbereiche des HLG berücksichtigen.

Einsatzgrenzen:

- Zu berücksichtigen ist die bestimmungsgemäße Verwendung:
 - Der maximale Bewegungsraum des HLG, d. h. die Lage im Raum und alle möglichen Propagationsrichtungen (Ausbreitungsrichtung) von Laserstrahlung.
- Die Einbeziehung vorhersehbarer Fehlerbedingungen ist von ausgesprochener Wichtigkeit bei HLG. Hierzu gehören u. a.:
 - Reflexion von Laserstrahlung an spiegelnden Bauteilkanten,
 - Durchtritt von Laserstrahlung durch das Werkstück oder Werkstückspalten,
 - Abrutschen des HLG vom Werkstück,
 - Abrutschen, Sturz des Bedieners oder der Bedienerin,
 - nicht angepasste Schnittstellen (z. B. Strahlführung, Faserstecker, max. Leistung, Energieversorgung),
 - fehlerhafte Bedienung (z. B. falsche Leistungseinstellung, falsches Prozessgas).
- Auch vorhersehbare Fehlbenutzung sowie das Umgehen von Verriegelungseinrichtungen von HLG sind in der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen.

Betriebsarten oder Verfahren des HLG:

- Normalbetrieb,
- Wartung,
- Service,
- Sonderbetrieb/Verfahren (mit möglichen Eingriffen durch die Benutzer).

Einsatzbereich des HLG:

- in Gebäuden oder
- in Außenbereichen.

Nutzung des HLG von Personen:

- Rechtshänder, Linkshänder,
- physische Fähigkeiten von Frauen/Männern oder Personen mit körperlichen Beeinträchtigungen,
- Ausbildungsstand der Bediener bzw. der Bedienerinnen.

Personen im Umfeld des HLG:

- Personen im Gebäude, im Außenbereich (Öffentlichkeit).

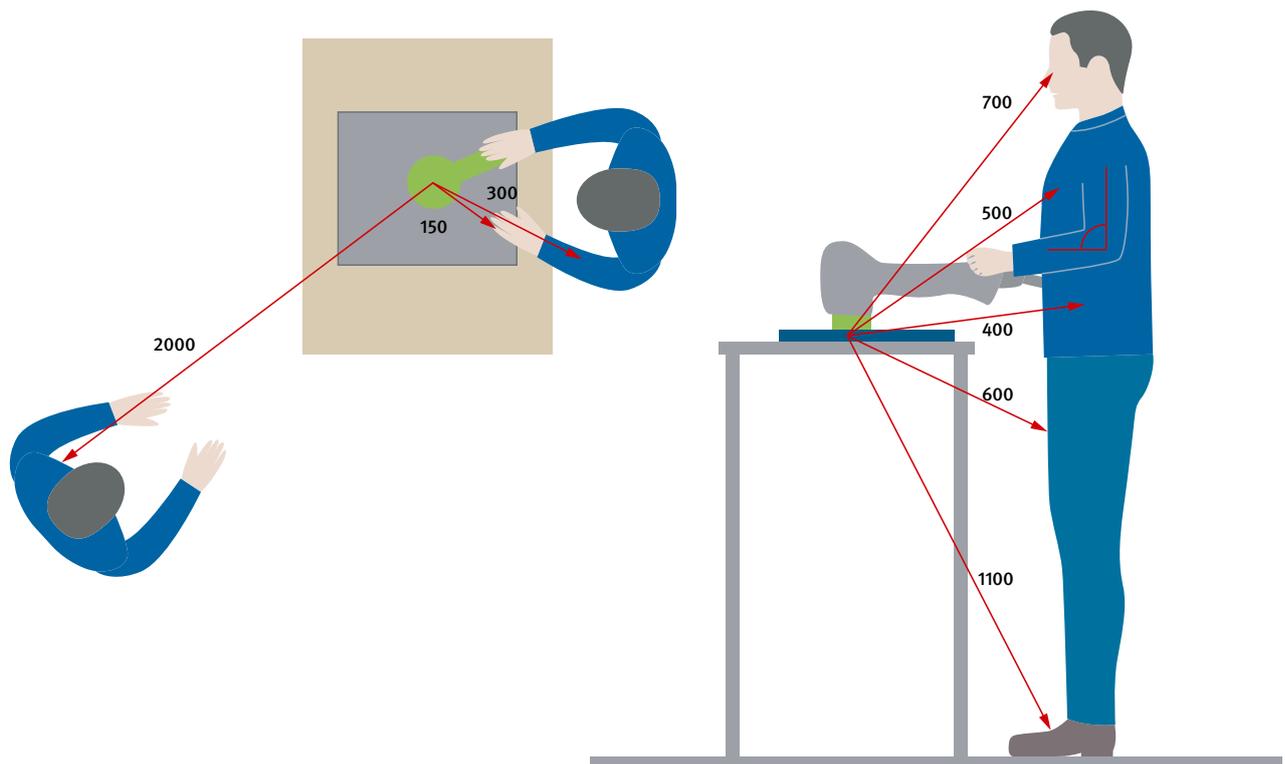


Abb. 4 Typische Abstände von der Bearbeitungsposition zu Körperteilen beim Umgang mit HLG

Die Gefährdungsbeurteilung durch den Betreiber beinhaltet die Betrachtung des HLG über den gesamten Lebenszyklus, u. a.:

- Transport,
- Montage/Konfiguration:
Zusammenbau und Installation, u. a. mit weiteren Komponenten (Strahlführung, Lasergerät), Erstellen technischer Schnittstellen vom HLG zum Lasergerät und zu weiteren Energieversorgungs- (u. a. Strahlführung, Lasergerät) und Entsorgungseinrichtungen (u. a. Abluftreinigungssystem),
- Inbetriebnahme (u. a. Festlegung des Bearbeitungs-ortes, Strahljustage, Prüfungen),
- Betriebsphase/Verwendung (u. a. Festlegung der max. Einsatzdauer, Einsatzpositionen),
- Modifikation des HLG,
- Wiederkehrende Prüfungen,
- Außerbetriebnahme, Demontage.

4.2.2 Gefährdungsbeurteilung anhand des Vergleichs der tatsächlichen Exposition mit den Expositionsgrenzwerten (EGW) gem. § 6 Absatz 2 OStrV

Die Beurteilung der Gefährdung durch Laserstrahlung erfolgt durch Vergleich der:

- Vorhersehbaren Maximalbestrahlungen (VMB) für den bestimmungsgemäßen Betrieb und vorhersehbare Fehlerbedingungen an exponierten Körperteilen vom Bediener oder weiteren Personen im Arbeitsbereich.

Eingeschlossen sind Wartungs- und Servicearbeiten mit Überschreitung der Expositionsgrenzwerte für Auge oder für Haut gemäß der OStrV. In der folgenden Darstellung (Abbildung 4) sind typische Abstände von der Bearbeitungsposition zu Körperteilen beim Umgang mit HLG angegeben.

4.3 Gefährdungen von Auge und Haut

Bei den aufgeführten Laser-Einrichtungen zur Materialbearbeitung handelt es sich überwiegend um Laser der Klasse 4.

Die Gefahr von irreversiblen Augenverletzungen ist in der Regel gegeben. Dies trifft nur dann nicht zu, wenn aufgrund von technischen Schutzmaßnahmen, z. B. vollständige oder Teil-Einhausung und Laserschutzfilter in festinstallierten Okularen, die Exposition der Augen mit Laserstrahlung ausgeschlossen werden kann (Abbildung 2).

Bei einigen Anwendungen befinden sich die Hände im Laserbereich (siehe Abbildung 2). Bei Hautverletzungen hängt deren Schwere von der Bestrahlungsstärke oder Bestrahlung ab. Vereinfacht betrachtet ergibt sich dies aus der maximalen Laserleistung und dem Strahldurchmesser auf der Haut (der sich durch Brennweite und Abstand vom Laserfokus ergibt).

Im folgenden Beispiel wurde eine Berechnung der EGW für ein theoretisches Beispiel durchgeführt. Die Expositionsgrenzwerte für Auge und Haut (EGW für 10 s -30000 s) bei Verwendung eines typischen handgeführten Laserbearbeitungsgeräts ($P_0 = 300\text{ W}$, $f = 150\text{ mm}$, $d_{63} = 8,5\text{ mm}$, $\lambda = 1064\text{ nm}$) werden bei folgenden Abständen unterschritten:

Nr.	Strahlausbreitung	Auge EGW 10 s- 30000 s	Haut EGW 10 s- 30000 s
1	Direkter Strahl/direkte Reflexion mit $P_0 = 300\text{ W}$	49 m	3,5 m
2	Direkte abgeschwächte Reflexion mit $P_0 = 45\text{ W}$ (15 % Reflexionsgrad)	19 m	1,3 m
3	Theoretischer Fall: Isotrope Streuung mit $P_0 = 300\text{ W}$	1 m	0,1 m

Im Falle einer direkten bzw. abgeschwächten direkten Reflexion (Fallbeispiele 1 und 2) wird der Expositionsgrenzwert für Auge und Haut erst in mehreren Metern unterschritten.

Der Fall 3 beschreibt die vollständige isotrope Streuung, die nur unter besonderen Bedingungen vorliegen kann. Selbst unter diesen Bedingungen ergäbe sich noch ein Laserbereich im Meterbereich.

Im Rahmen der Risikobeurteilung, die die Hersteller durchzuführen haben, ist die Art der Strahlausbreitung zu bestimmen bzw. abzuschätzen und es sind entsprechende risikomindernde Schutzmaßnahmen zu treffen.

Bei Laserbearbeitungsgeräten hoher Leistung besteht eine Gefahr von schweren Hautverletzungen auch noch über einen Bereich von mehreren Metern.

Bei Diodenlasern und Nd:YAG-Lasern (typische Wellenlänge im Bereich 900 nm - 1100 nm) kann es zu Schädigungen tief im Gewebe kommen.

Anmerkung: Es wird empfohlen, Verletzungen ärztlich beobachten zu lassen, da die Gefahr einer Entzündung der Wunde groß ist. Siehe auch Kapitel 10.1 Maßnahmen bei Unfällen.

4.4 Gefahrstoffe

Bei der Lasermaterialbearbeitung werden in der Regel partikelförmige (Rauche, Stäube) und/oder gasförmige Gefahrstoffe freigesetzt.

Im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung sind alle gesundheitsgefährdenden Eigenschaften der Gefahrstoffe zu berücksichtigen.

Insbesondere ist zu prüfen, ob bei dem Laserbearbeitungsprozess krebserzeugende, keimzellmutagen oder reproduktionstoxische Stoffe (sogenannte KMR-Stoffe) freigesetzt werden können.

Hinweise finden sich in den entsprechenden Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS), in denen die rechtsverbindlichen Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW, TRGS 900) sowie für krebserzeugende Stoffe der Kategorie 1A und 1B die Akzeptanz- und Toleranzkonzentration (TRGS 910) festgelegt sind. Für Stoffe, für die kein rechtsverbindlicher Grenzwert vorliegt, sollten geeignete Beurteilungsmaßstäbe aus anderen Quellen für die Gefährdungsbeurteilung herangezogen werden.

Bei der Laserbearbeitung metallischer Ausgangsmaterialien muss davon ausgegangen werden, dass Metalloxide gebildet werden. Diese können eine andere Einstufung und andere Grenzwerte als das entsprechende Metall bzw. die Metalllegierung haben (z. B. Chrom(VI)-Verbindungen). Beurteilungsmaßstäbe von krebserzeugenden Metallen und ihren Verbindungen können auch der TRGS 561 „Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen und ihren Verbindungen“ entnommen werden.

Zur Minimierung der Gefahrstoffexposition nach § 7 GefStoffV müssen beim Lasermaterialbearbeitungsprozess entstehende Gefahrstoffe wirksam erfasst und abgesaugt werden. Der Arbeitgeber muss sicherstellen, dass AGW eingehalten werden (§ 7 GefStoffV). Wenn die Bildung von KMR-Stoffen der Kategorie 1A oder 1B nicht ausgeschlossen werden kann, sind besondere

Schutzmaßnahmen nach § 10 GefStoffV umzusetzen. Durch die Umsetzung eines Maßnahmenplans (nach TRGS 910) ist mindestens die Einhaltung der Toleranzkonzentration sicherzustellen. Im Rahmen des Minimierungsgebotes ist darüber hinaus die Einhaltung der Akzeptanzkonzentration anzustreben.

4.5 Brand- und Explosionsgefahr

Bei der Lasermaterialbearbeitung werden Materialien, Stoffe und Oberflächenbeschichtungen hoch erhitzt. Der Wärmeeintrag kann ungewollt an im Voraus nicht definierten Positionen erfolgen. Die Möglichkeit des Brandes oder einer Explosion kann gegeben sein.

Freigesetzte Partikel und Rauche, die bei der Lasermaterialbearbeitung entstehen, können ebenfalls hohe Temperaturen aufweisen. Dies ist bei der Konzeption der Absauganlage zu beachten. Hinweise zur Verringerung von Brandgefährdungen in Absauganlagen werden in der DGUV Regel 109-002 gegeben. Staubablagerungen in den Rohrleitungen der Absauganlage führen zu einer erhöhten Brandgefährdung. Aus diesem Grund ist auf eine strömungstechnische optimierte Ausführung der Absauganlage (z. B. wenige Krümmer und möglichst kurze flexible Schlauchstücke) zu achten. Die Strömungsgeschwindigkeit in der Rohrleitung sollte nach DGUV Regel 109-002 mindestens 12-15 m/s betragen, um Ablagerungen in der Rohrleitung aus den abgesaugten Rauchen wirksam zu vermeiden.

Gegen glühende Schmelzspritzer, die auf den Filter gelangen und diesen entzünden können, eignen sich z. B. Prallbleche im Rohrleitungssystem. Mit Hilfe von Funkenerkennungs- und Löschanlagen lässt sich die Brandgefahr ebenfalls reduzieren.

4.6 Ergonomie

Bei der Gestaltung des Arbeitsplatzes sollten ergonomische Aspekte berücksichtigt werden. Zum Beispiel erfordern Arbeiten insbesondere an kleinen handgehaltenen Werkstücken eine hohe Konzentration und eine weitgehend statische Körperhaltung. Es sind kleine und eng umgrenzte Handbewegungen in engen Bewegungsbereichen erforderlich.

Bei handgehaltenen Laserköpfen (HLG) sind u. a. die Form, das Gewicht und die Körperhaltung zu berücksichtigen.

Weitere Informationen sind auch in der Norm DIN EN ISO 14738 „Sicherheit von Maschinen – Anthropometrische Anforderungen an die Gestaltung von Maschinenarbeitsplätzen“ zu finden.

5 Schutzmaßnahmen

In der Gefährdungsbeurteilung müssen durch die Arbeitgeber oder die Fachkundigen insbesondere gemäß Arbeitsschutzgesetz und OStrV die Schutzmaßnahmen festgelegt werden. Hierbei muss der bzw. die Laserschutzbeauftragte, sofern schon vorhanden, eingebunden werden.

Die folgende Aufzählung erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Es werden grundlegende Schutzmaßnahmen beschrieben, mit denen bei den betrachteten Tätigkeiten an den Lasergeräten die Expositionsgrenzwerte nicht überschritten werden.

Die Schutzmaßnahmen sind in der Reihenfolge „STOP“ (Substitution, Technisch, Organisatorisch, Persönlich) festzulegen und zu dokumentieren. Bereits bei der Beschaffung ist dieses Prinzip zu berücksichtigen.

Dem Betreiber obliegt auf Grund der Betriebssicherheitsverordnung die Pflicht, dass nur sichere Arbeitsmittel verwendet werden dürfen. Bei Tätigkeiten mit HLG ist in der Regel im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung eine Risikominderung durch den Betreiber notwendig.

Maßnahmen zur Risikominderung sind u. a.:

- die Auswahl sicherer Arbeitsverfahren,
- die Betriebserlaubnis zur Ausführung von Arbeiten,
- die Bereitstellung von zusätzlichen technischen Schutzeinrichtungen,
- die Auswahl und Inkraftsetzung von organisatorischen Schutzmaßnahmen,
- die Bereitstellung und Anwendung persönlicher Schutzausrüstung,
- die Auswahl und Unterweisung der Beschäftigten,
- die Überwachung der Einhaltung aller Maßnahmen sowie
- die wiederkehrende Prüfung des Arbeitsmittels (Prüffristen gemäß § 14 BetrSichV).

5.1 Technisch-konstruktive Schutzmaßnahmen am HLG

Gemäß den technischen Normen (u. a. DIN EN ISO 12100) ist der Hersteller eines Produktes verpflichtet, vorrangig eine inhärent sichere Konstruktion vorzunehmen, d. h. technisch-konstruktive Maßnahmen zu ergreifen, um eine Risikominderung und damit ein akzeptables Restrisiko für den Betreiber zu erreichen.

Auch wenn die meisten HLG bezüglich der Laserklasse (gem. DIN EN 60825-1 und DIN EN ISO 11553-2) vom Hersteller in Klasse 4 klassifiziert werden, so lässt sich das Risiko einer Verletzung durch Laserstrahlung mit Hilfe einer inhärent sicheren Konstruktion/technisch-konstruktiver Schutzmaßnahmen am HLG deutlich reduzieren; dieses gilt insbesondere für HLG mit Ausgangsleistungen typischerweise über 1 kW (CW).

Für die Betreiber ist daher die Kenntnis möglicher technisch-konstruktiver Schutzmaßnahmen, die die Hersteller vorgesehen haben, hinsichtlich eines sicheren Betriebs von HLG grundlegend.

Ziel der technisch-konstruktiven Maßnahmen am HLG ist im Wesentlichen:

- a. Die Laserstrahlung im Fehlerfall sicher zu isolieren/deaktivieren.
Mögliche technisch-konstruktive Maßnahmen sind:
 - Zweihandschalter,
 - Zustimmungsschalter.
- b. Im bestimmungsgemäßen Betrieb und im Fehlerfall die unbeabsichtigte Ausbreitung der Laserstrahlung über die Prozesszone hinaus und aus ihr heraus (Reflexionen/Streustrahlung) zu minimieren.
Mögliche technisch-konstruktive Maßnahmen hinsichtlich Befehlsgeräten sind u. a.:
 - mechanische Aufsatzkontrolle (HLG/Werkstück),
 - berührungslose Abstandskontrolle (HLG zum Werkstück),
 - Neigungssensoren,
 - Beschleunigungssensoren.

5.1.1 Einhausung des Arbeitsbereiches

Eine lokale Einhausung des Prozessbereichs oder des Arbeitsbereiches kann das Austreten von Laserstrahlung verhindern oder zumindest reduzieren. Im Falle der Reduzierung wird die Einhaltung der EGW nicht notwendigerweise sichergestellt, darum müssen dann weitere Maßnahmen getroffen werden.

Die Verwendungsmöglichkeit des HLG kann durch die Einhausung eingeschränkt werden.

Wenn durch die Einhausung sichergestellt werden kann, dass außerhalb der Einhausung die Expositionsgrenzwerte unterschritten werden, so sind keine weiteren ergänzenden technischen Maßnahmen erforderlich.

Kann eine Einhausung geöffnet werden, so wird in der Regel die Position der Einhausung über einen Sicherheitsschalter abgefragt und ausgewertet. Bei geöffneter Einhausung darf keine gefährliche Laseremission möglich sein.

Wird die Einhausung herstellerseitig mitgeliefert und ist die Konformität bescheinigt, kann davon ausgegangen werden, dass diese den sicherheitstechnischen Anforderungen genügt.

Auch bei eingehausten oder teileingehausten Lasereinrichtungen kann in Sonderbetriebsarten (z. B. Wartung, Service, Einstellarbeiten) ein offener Betrieb erforderlich sein. Die Anwahl der Sonderbetriebsarten erfolgt in der Regel über einen abschließbaren Betriebsartenwahlschalter. Es gelten dann die Anforderungen an den offenen Betrieb.

5.1.2 Beobachtungsfenster

Ist eine vollständige Einhausung des Laserbereiches und damit auch des Arbeitsbereiches gegeben, kann eine Beobachtung des Arbeitsvorganges über ein Beobachtungsfenster erfolgen. Dieses Beobachtungsfenster ist von den Herstellern in der Regel nach DIN EN 207 oder DIN EN 60825-4 ausgelegt. Fenster nach DIN EN 207 sind entsprechend gekennzeichnet (siehe auch DGUV-Information 203-042 „Auswahl und Benutzung von Laser-Schutzbrillen, Laser-Justierbrillen und Laser-

Schutzabschirmungen“). Alternativ können auch Kameras in der Kabine platziert werden, die das Bild auf einen außerhalb der Kabine befindlichen Monitor übertragen.

5.1.3 Werkstückbeobachtung durch ein Okular

Es werden oft Okulare mit starker Vergrößerung zur Beobachtung des Arbeitsprozesses eingesetzt.

Bei der Beobachtung durch das Okular ist im Beobachtungsweg ein Filter oder ein Shutter (Strahlverschluss) entsprechend der DIN EN 60825-1 und DIN EN ISO 11553-2 von den Herstellern in der Regel integriert worden (Grundlage ist die Risikobeurteilung).

Besteht die Möglichkeit, direkt oder seitlich auf den Prozess zu blicken und den Laser zu betätigen, so können die Expositionsgrenzwerte überschritten werden und es ist mit Laserschutzbrille zu arbeiten.

Bei Anwendungen gemäß Abbildung 2, bei denen der Arbeitsraum geschlossen ist und nur mit den Händen zugänglich ist, braucht in der Regel keine Laserschutzbrille getragen zu werden.

Die Betreiber können mit Unterstützung des Fachkundigen anwendungs- bzw. applikationsspezifisch (kein direkter Blick möglich) durch eine genaue Einzelanalyse andere Schutzmaßnahmen (z. B. partielle Abschirmungen, organisatorische Maßnahmen) in der Gefährdungsbeurteilung festlegen und dokumentieren.

5.1.4 Technisch konstruktive Steuerungseinrichtungen zur sicheren Laserstrahlfreigabe (und Anzeigeelemente)

5.1.4.1 Bedienungseinrichtungen, Anzeigen

Ist eine Gefährdung von Personen durch Laserstrahlung möglich, darf die Auslösung der Laserstrahlung nur durch eine zu haltende Betätigungseinrichtung erfolgen. Ein Fußtaster („Fußschalter“) oder ein Handtaster muss haltend betätigt werden.

An der Laser-Einrichtung muss ein Not-Halt-Taster (früher oft auch als NOT-AUS bezeichnet) vorhanden sein. Ist ein Laserhandgerät weit vom Lasersystem entfernt, muss sowohl am Handgerät als auch am Lasersystem ein Not-Halt-Taster vorhanden sein.

Jede Laser-Einrichtung muss mit einer optischen oder akustischen Warneinrichtung ausgestattet sein, die die Laseremission anzeigt. Die Betriebsbereitschaft des Lasers wird durch eine weitere Warnleuchte angezeigt. Die Warneinrichtung muss ausfallsicher oder redundant sein. An dem Laserbearbeitungsgerät muss ein Schlüsselschalter (oder vergleichbare Einrichtung) zur Autorisierungskontrolle vorhanden sein.

5.1.4.2 Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen in der Regel vom Hersteller einer Laser-Einrichtung aus geführt

Konstruktionsmaßnahmen für Steuerungen müssen so gewählt und ausgelegt werden, dass ihr sicherheitsrelevanter Beitrag zu einer ausreichenden Risikominderung führt.

Die Normenreihe DIN EN ISO 13849 beschreibt die erforderliche Risikominderung bei Gestaltung, Aufbau und Integration von sicherheitsbezogenen Teilen von Steuerungen und Schutzeinrichtungen, gleich ob elektrischer, elektronischer, hydraulischer, pneumatischer oder mechanischer Art. Die Leistungsfähigkeit sicherheitsbezogener Teile von Steuerungen, eine Sicherheitsfunktion unter verschiedenen Bedingungen auszuführen, wird einer von fünf Stufen zugeordnet, den so genannten Performance Level (PL).

Für jede vorgesehene Sicherheitsfunktion wird zunächst ein erforderlicher Performance Level PL_r (r: required) bestimmt – im technischen Sinne der Sollwert – und der ermittelte PL muss $\geq PL_r$ sein.

Typische Beispiele für Sicherheitsfunktionen sind:

- Stillsetzen im Notfall,
- Start- / Stopp-Funktionen,
- Laserstrahlisolierung (Strahlverschluss),
- Freigabesteuerung / Zustimmungseinrichtung,
- Schutz vor unerwartetem Anlauf,
- Verriegelungseinrichtungen,
- Überwachungs-/Diagnosefunktionen,
- Zwei-Hand-Steuerung sowie
- Aufsatzkontrolle.

In der Regel ergibt sich bei diesen Sicherheitsfunktionen ein PL_r von d.

5.2 Zusätzliche technische Schutzmaßnahmen (durch Betreiber)

5.2.1 Periphere Arbeitsraumabsicherung

Sind Laser-Einrichtungen nicht vollständig geschlossen und ist ein Austritt von Laserstrahlung in umgebende Bereiche möglich, ist eine periphere Arbeitsraumabsicherung erforderlich. Diese kann durch im Folgenden beschriebene zusätzliche Schutzmaßnahmen erreicht werden.

5.2.2 Baulich umschlossener Arbeitsbereich

Der Arbeitsbereich mit dem Arbeitsplatz des Bedieners wird vollständig von den umgebenen Bereichen abgetrennt. Der Arbeitsbereich befindet sich in einem separaten Raum oder einer separaten Kabine.

Bei Lasern mittlerer Leistung (100 W Bereich) ist es in der Regel ausreichend, die Wände nicht brennbar aus Blech oder Mauerwerk auszuführen. Bei hohen Laserleistungen kann eine spezielle Ausbildung der Wände erforderlich sein.

Hier ist die DIN EN 12254 zu berücksichtigen, die allerdings nur für beobachtete passive Abschirmungen bis 100 W mittlerer Leistung oder 30 J Einzelpulsenergie anwendbar ist oder die wesentlich universellere Norm DIN EN 60825-4, die aktive und passive Schutzwände in ihrem Anwendungsbereich beinhaltet.

Fenster in Räumen sind hinsichtlich der Lasersicherheit zu berücksichtigen. Als integraler Bestandteil der Abschirmung müssen sie u. a. Anforderungen nach DIN EN 207 und DIN EN 60825-4 erfüllen (s. a. DGVU I 203-042).

Die Zugangstür ist mit einem Sicherheitspositionsschalter auszurüsten, bei dessen Öffnen die Laser-Einrichtung stillgesetzt wird. Aus Gründen der Verfügbarkeit des Lasers kann die Tür auch mit einer z. B. elektromagnetischen Zuhaltung verriegelt werden, wobei Anforderungen an die Notöffnung berücksichtigt werden müssen. Die Tür ist mit einem Laserwarnschild zu kennzeichnen. Außen befindet sich eine Laserwarnlampe, die den aktiven Laser anzeigt.

Eine sinnvolle Alternative ist die Eingänge zum Laserbereich als Schleuse auszuführen, d. h. die Schleuse wird mit zwei gegeneinander verriegelbaren Türen ausgerüstet. Hierdurch lassen sich (im Gegensatz zu einer Tür) Arbeitsunterbrechungen durch Öffnen dieser Tür und Abschaltung des Lasers durch die Sicherheitsverriegelung, vermeiden. Die Tür oder die Türen sind entsprechend DIN EN 60825-1 zu kennzeichnen und ergänzend mit dem Gebotsschild „Augenschutz tragen“ zu versehen.

Im Arbeitsbereich sollen sich nur die für die Tätigkeiten erforderlichen und unterwiesenen Personen aufhalten.

5.2.3 Variable Abschirmungen

Werden offene Laser-Einrichtungen ortsveränderlich eingesetzt, ist ein ausreichender Schutz durch variable Abschirmungen zu gewährleisten.

Sämtliche Möglichkeiten des Austritts direkter oder reflektierter Strahlung sind zu berücksichtigen.

Bei Laser-Einrichtungen mittlerer Leistung können Laserschutzvorhänge gemäß DIN EN 12254 oder nicht leicht entflammbare Schutzwände aus z. B. Blech ausreichend sein. Die Abschirmungen sollten hinsichtlich ihrer Laserresistenz geprüft sein (DIN EN 12254 oder DIN EN 60825-4). In Zweifelsfällen wird eine fachliche Beratung empfohlen.

Durch organisatorische Maßnahmen ist zu gewährleisten, dass während der Tätigkeiten mit dem HLG keine unbefugten Personen den Laserbereich betreten.

Anmerkung: Da variable Laser-Abschirmungen in der Regel nur vertikal positioniert werden, muss durch weitere Schutzmaßnahmen (z. B. organisatorische Schutzmaßnahmen) sichergestellt werden, dass keine Personen durch Laserstrahlung, die nach oben (oder bei HLG-Tätigkeiten auf Gerüsten auch nach unten) strahlt, gefährdet werden. So ist z. B. durch organisatorische Maßnahmen dieser Bereich abzusperren und der Zugang für unautorisierte Personen zu unterbinden.

5.2.4 Absaugung

In unmittelbarer Nähe zur Bearbeitungszone sind die Gefahrstoffe nach TRGS 528 und DGVU Regel 109-002 wirksam zu erfassen und abzusaugen.

Bei der Gestaltung der Erfassungseinrichtung ist zu beachten, dass der Erfassungsgrad in der Reihenfolge geschlossene Bauform > halboffene Bauform > offene Bauform abnimmt.

Daher sollte bei der Konzeption der Erfassungseinrichtung eine geschlossene oder halboffene Bauform angestrebt werden. Ergänzende Hilfsmittel wie z. B. ein Drehteller zur Positionierung des zu bearbeitenden Werkstückes kann bei einer halboffenen Erfassungseinrichtung eine gute Zugänglichkeit des Werkstückes ermöglichen. Bei der Verwendung offener Erfassungseinrichtungen ist darauf zu achten, dass die Erfassungseinrichtung nachgeführt und stets möglichst nahe an die Bearbeitungszone herangeführt wird. In der VDI-Richtlinie 2262 Blatt 4 werden Hinweise zur Auslegung und Ausführung von Erfassungseinrichtungen und Absauganlagen gegeben.

Die Auswahl eines geeigneten Abscheiders hängt von den freigesetzten Gefahrstoffen und damit von den zu bearbeitenden Werkstoffen ab. Da bei der Laserbearbeitung Rauche freigesetzt werden, sollten die Absauganlagen mit einem wirksamen Partikelabscheider ausgestattet sein.

Insbesondere bei der Laserbearbeitung von Kunststoffen oder beschichteten metallischen Werkstoffen muss davon ausgegangen werden, dass gasförmige

Zersetzungsprodukte entstehen. Gasförmige Stoffe können nicht von Partikelfiltern abgeschieden werden. Daher sollte die abgesaugte Luft als Fortluft nach draußen geführt werden. Aktivkohlefilter sind nur bedingt für die Abscheidung gasförmiger Gefahrstoffe geeignet. Insbesondere die Beurteilung der Beladung des Aktivkohlefilters und damit die Festlegung eines Filterwechselintervalls zur Gewährleistung einer wirksamen Abscheidung stellt in der Praxis häufig ein Problem dar.

Wenn beim Laserbearbeitungsprozess die Freisetzung von krebserzeugenden, keimzellmutagenen oder reproduktionstoxischen Stoffen (KMR-Stoffen) der Kategorie 1A und 1B nicht ausgeschlossen werden kann, muss das Luftrückführungsverbot nach § 10 Absatz 5 GefStoffV beachtet werden. Nach GefStoffV ist die Luftrückführung abgesaugter KMR-Stoff haltiger Luft nur dann gestattet, wenn diese durch so genannte anerkannte Verfahren und Geräte ausreichend von solchen Stoffen gereinigt ist.

Zurzeit stehen anerkannte Geräte und Verfahren im Sinne des § 10 GefStoffV nur für partikelförmige Gefahrstoffe (z. B. Stäube, Rauche oder Fasern) zur Verfügung.

Anforderungen zur Luftrückführung regeln die TRGS 560 und stoff- oder verfahrensspezifische technische Regeln, wie die TRGS 528 „Schweißtechnische Arbeiten“.

Kann bei der Lasermaterialbearbeitung nicht ausgeschlossen werden, dass gasförmige KMR-Stoffe (z. B. Zersetzungsprodukte bestimmter Kunststoffe) freigesetzt werden, muss die abgesaugte Luft als Fortluft nach draußen geführt werden. Lediglich für gasförmige KMR-Stoffe, für die ein Arbeitsplatzgrenzwert abgeleitet werden konnte, wie z. B. Formaldehyd, kann eine Luftrückführung möglich sein, wenn der Arbeitsplatzgrenzwert eingehalten wird.

Diesbezügliche Ausnahmen und Anforderungen an Verfahren und Geräte beschreibt die TRGS 560. Luftrückführung kann weiterhin möglich sein, wenn die Luft unter Anwendung von behördlich oder von den Trägern der gesetzlichen Unfallversicherung anerkannten Verfahren oder Geräte ausreichend von solchen Stoffen gereinigt ist. Die Luft muss dann so geführt oder gereinigt werden, dass krebserzeugende, keimzellmutagen oder reproduktionstoxische Stoffe nicht in die Atemluft anderer Beschäftigter gelangen.

5.2.5 Beleuchtung am HLG-Arbeitsplatz

Die Arbeitsstelle ist ausreichend zu beleuchten. Bei handpositionierten Werkstücken und direkter Beobachtung wird eine Beleuchtungsstärke von mindestens 500 lx empfohlen.

Die Verwendung vergrößernder Okulare und von Laser-Schutzbrillen mit eingeschränktem Tageslichttransmissionsgrad ist zu berücksichtigen und die Beleuchtungsstärke entsprechend zu erhöhen. Bei Verwendung von Laserschutzbrillen ist eine Schwächung um 40 % typisch. Dies erfordert eine Erhöhung der Beleuchtungsstärke auf den 1,6-fachen Wert.

5.3 Organisatorische Schutzmaßnahmen (durch die Betreiber)

5.3.1 Absicherung durch Abstand

Wird durch organisatorische Schutzmaßnahmen eine Absicherung durch Abstand zum Laseraustritt realisiert, dann sind Maßnahmen festzulegen. Dieser Abstand (NOHD oder NSHD) kann errechnet werden.

Der Augensicherheitsabstand (NOHD) oder Hautsicherheitsabstand (NSHD) oder der Laserbereich sind zu kennzeichnen, und zwar in der Regel vor der Erreichung des Bereichs.

Der Zutritt von unbefugten (unautorisierten) Personen zu diesem Bereich muss durch organisatorische Maßnahmen unterbunden werden (u. a. Absperrungen, Warnbänder, Kennzeichnungen/Verbotsschilder, Warnposten). Die Personen sind über das richtige Verhalten zu unterweisen.

5.4 Persönliche Schutzmaßnahmen (durch die Betreiber)

In den meisten Fällen wird die Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit HLG ergeben, dass ein Laserbereich entsteht, in dem die Expositionsgrenzwerte (EGW) für das Auge, oft auch für die Haut, überschritten werden können.

5.4.1 Auswahl der Laserschutzbrille

Die Anforderungen an die Laserschutzbrille ergeben sich im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung durch Abschätzung / Berechnung der auf der Brille auftretenden vorhersehbaren Maximalbestrahlung (VMB) und Bestimmung einer erforderlichen Schutzstufe der Laserschutzbrille gemäß DIN EN 207. Erläuterungen finden sich in der DGUV Information 203-042. Für die Abschätzung der VMB ist die Kenntnis der maximalen Ausgangsleistung des Lasers, der Strahlpropagation (Aufweitung des Strahls) und des kürzesten Abstands, in den eine Person zur Strahlquelle gelangen kann, erforderlich.

Auf dem Markt ist eine Vielzahl unterschiedlicher Laserschutzbrillen-Typen mit verschiedenen Gestellen verfügbar. Alle zur Verwendung kommenden Laserschutzbrillen müssen ein CE-Zeichen aufweisen (Bei der Nutzung der PSA sind die Herstellerangaben zu befolgen; dieses gilt insbesondere auch für Verfallszeit der PSA falls diese vom Hersteller festgelegt wurde. PSA-Verordnung 2016/425/EU sowie 8. ProdSV) und über die Angabe einer Schutzstufe nach DIN EN 207 verfügen; sie sind vom Betreiber gemäß der PSA-Benutzungsverordnung einzusetzen.

Anmerkung: Es empfiehlt sich, falls vorhanden eine aktuelle Empfehlung der Hersteller (sofern diese gemäß DGUV I 203-042 ist) zu berücksichtigen. Die Laser-Schutzbrillen-Schutzstufe kann auch z. B. von einem Fachkundigen beim Laser-Schutzbrillen Hersteller berechnet werden.

5.4.2 Auswahl der Laserschutzkleidung

Bei Hochleistungs-HLG können auch die Expositionsgrenzwerte für die Haut überschritten werden, was zu Verbrennungen der Haut führen kann. In diesen Fällen ist persönliche Schutzkleidung, d. h. Hautschutz, vorzusehen.

Konkret bedeutet dieses insbesondere Schutz der Hände, bei leistungsstarken HLG auch Schutz des Körpers. Je nach Gefährdung und Tätigkeit, z. B. Notwendigkeit den Zusatzdraht manuell nachzuführen oder filigrane Werkstücke zu halten, bleibt ein Restrisiko für eine reversible Verletzung (Verbrennung 2. Grades) auf einer kleinen Fingerfläche. Grundsätzlich sollte bei Arbeiten mit offenen Lasern geschlossene, schwer entflammbare Kleidung (z. B. Schweißerschutzkleidung) getragen werden.

In Deutschland existiert seit April 2017 die Technische Produktspezifikation von Laserschutzhandschuhen (DIN SPEC 91250).

Kriterien für die Auswahl von Laserschutzkleidung bzw. Laserschutzhandschuhen sind insbesondere Taktilität bei gleichzeitiger Sicherstellung des Laserschutzes.

Weitergehende Hinweise zu Laserschutzbekleidung sind im Anhang A1 gegeben.

6 Laserschutzbeauftragte (LSB)

Es ist gemäß OStrV bei allen Lasersystemen, bei denen ein Laserbereich entsteht (HLG typisch: Klasse 4 Laser) einen Laserschutzbeauftragten bzw. eine Laserschutzbeauftragte schriftlich vom Arbeitgeber zu bestellen. Diese können auf Grund ihrer speziellen Fachkenntnisse die Fachkundigen bzw. Arbeitgeber bei der Erstellung der Gefährdungsbeurteilung unterstützen und müssen die Unternehmer bei der Umsetzung der Schutzmaßnahmen unterstützen, damit diese den sicheren Betrieb überwachen können. Hierzu müssen die Aufgaben der LSB wie z. B. regelmäßige Überwachung (z. B. wöchentlich) so klar wie möglich im Bestellungsschreiben definiert werden.

Von den Berufsgenossenschaften und Bildungsträgern werden u. a. Seminare bzw. Schulungen zur Erlangung des theoretischen Fachwissens angeboten.

6.1 Anforderungen und Aufgaben der Laserschutzbeauftragten (LSB)

Die LSB müssen entsprechende Fachkenntnisse haben. Hierzu gehören üblicherweise eine abgeschlossene technische oder naturwissenschaftliche Berufsausbildung (jeweils mindestens zwei Jahre) und mindestens zwei Jahre fachbezogene Berufserfahrung. Ferner müssen sie eine zeitnahe berufliche Tätigkeit an Lasern der Klasse 3R, 3B oder 4 vorweisen (siehe TROS Laserstrahlung Teil Allgemein). Die LSB haben einen Nachweis über die erfolgreiche Teilnahme an einem entsprechenden LSB-Lehrgang zu erbringen.

Die LSB müssen schriftlich für den entsprechenden Laser-Arbeitsplatz bestellt werden. Mit der Bestellung überträgt der Arbeitgeber den LSB die konkreten Aufgaben, Befugnisse und Pflichten.

Die LSB unterstützen durch ihre Fachkenntnisse den Arbeitgeber oder die fachkundigen Personen bei der Gefährdungsbeurteilung, die der Arbeitgeber gemäß § 5 Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) i. V. m. § 3 OStrV erstellen müssen. Die LSB unterstützen den Arbeitgeber bei den sich auf Grund der Gefährdungsbeurteilung ergebenden Schutzmaßnahmen und bei der Überwachung der Laser-Einrichtungen für die sie bestellt wurden. Dabei arbeiten die LSB mit den Fachkräften für Arbeitssicherheit und den Betriebsärzten zusammen (siehe auch TROS Laserstrahlung).

7 Unterweisung

Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen sind auf Grundlage der Gefährdungsbeurteilung über Gefährdungen und Schutzmaßnahmen zu unterweisen (u. a. nach DGUV Vorschrift 1 und OStrV bzw. TROS Laserstrahlung). Dies umfasst auch den sicheren Umgang mit Laser-Einrichtungen. Die Unterweisung muss vor Aufnahme der Tätigkeit erfolgen und ist mit maximal einjährigem Abstand zu wiederholen.

Integraler Bestandteil der Unterweisung sollten die Inhalte der jeweiligen Gefährdungsbeurteilung und der zugehörigen Betriebsanweisungen für einen entsprechenden HLG-Arbeitsplatz sein. Die Unterweisungen sind zu dokumentieren.

8 Arbeitsmedizinische Vorsorge

Für Beschäftigte, die in Bereichen mit Laserstrahlung (z. B. eingehauste Laser oder Messlaser) tätig sind, sieht die ArbMedVV in Bezug auf die Exposition gegenüber Laserstrahlung weder eine Pflicht- noch Angebotsvorsorge vor. Der Arbeitgeber hat jedoch den Beschäftigten nach § 11 ArbSchG bzw. § 5 a ArbMedVV eine arbeitsmedizinische Vorsorge (Wunschvorsorge) zu ermöglichen, sofern ein Gesundheitsschaden im Zusammenhang mit der Tätigkeit nicht ausgeschlossen werden kann.

Wie in dem Kapitel 4 „Gefährdungen“ beschrieben, kann es infolge der Laserstrahl- Werkstoffwechselwirkungen jedoch auch zur Entstehung von inkohärenter optischer Strahlung kommen.

Bei den hier betrachteten handgeführten Lasern kann daher eine Belastung der Beschäftigten gegenüber

inkohärenter künstlicher optischer Strahlung im Rahmen der Laseranwendung (z. B. durch UV-Strahlung beim Laserstrahlschweißen) nicht ausgeschlossen werden. D. h. wird z. B. mit Laserschutzhandschuhen gearbeitet und werden dabei in der Regel ohne Berücksichtigung der Schutzhandschuhe die Expositionsgrenzwerte der Haut überschritten, so muss der Arbeitgeber die Durchführung der Pflichtvorsorge (Anhang ArbMedVV Teil 3 Abschn. 1 Ziff. 6) sicherstellen (§ 3 ArbMedVV).

Anmerkung: Weitere arbeitsmedizinische Vorsorge kann aufgrund der Belastung durch z. B. Gefahrstoffe oder Lärm am HLG-Arbeitsplatz erforderlich sein (Pflichtvorsorge) oder ist vom Arbeitgeber anzubieten (Angebotsvorsorge), die Notwendigkeiten und Festlegungen hierüber sollten in Zusammenarbeit mit dem Betriebsarzt bzw. der Betriebsärztin erfolgen.

9 Laserarbeiten unter Einbeziehung von Fremdfirmen

Für den Fall, dass Laserarbeiten bei Drittfirmen (z. B. Kunden) erfolgen oder Fremdfirmen im eigenen Betrieb Zugang haben (z. B. zur Anlieferung von Materialien, Reinigungsfachkräfte) sind die Mitarbeiter bzw. Mitarbeiterinnen dieser Firmen im Rahmen der Fremdfirmenkoordination über die besonderen Gefährdungen durch die Anwendung von Lasern zu informieren und über das richtige Verhalten zu unterweisen. Hierzu gehören insbesondere auch die Abgrenzung von Laserbereichen, in denen mit einer Überschreitung der zulässigen Strahlungsexpositionsgrenzwerte zu rechnen ist und die zu treffenden technischen (z. B. Abschränkung), organisatorischen (z. B. Zutrittsbeschränkungen) und persönlichen (z. B. Tragen von Schutzbrillen und Schutzkleidung) Schutzmaßnahmen sowie die Einbeziehung dieser Mitarbeiter bzw. Mitarbeiterinnen in das System der Ersten Hilfe.

10 Maßnahmen bei Unfällen

Der Arbeitgeber hat entsprechend der Art der Arbeitsstätte und der Tätigkeit sowie der (siehe §10 ArbSchG) Zahl der Beschäftigten Maßnahmen zu treffen, die zur Ersten Hilfe, Brandbekämpfung und Evakuierung der Beschäftigten erforderlich sind. Dabei hat der Arbeitgeber der Anwesenheit anderer Personen Rechnung zu tragen. Sie haben auch dafür zu sorgen, dass im Notfall die erforderlichen Verbindungen zu außerbetrieblichen Stellen, insbesondere in den Bereichen der Ersten Hilfe, der medizinischen Notversorgung, der Bergung und der Brandbekämpfung eingerichtet sind.

10.1 Organisation der betrieblichen Ersten Hilfe

Bei Tätigkeiten mit Lasern bzw. mit handgeführten oder handpositionierten Lasern sollte der Unterpunkt „Erste-Hilfe“ in der Betriebsanweisung beschrieben werden, damit bei Unfällen eine schnelle und kompetente Versorgung der verunfallten Person sichergestellt ist. Da insbesondere Augenverletzungen rasche Erste Hilfe erfordern, sollte im Betrieb neben dem D-Arzt bzw. der D-Ärztin (Durchgangsarzt bzw. Durchgangsarztin) auch der nächste Augenarzt bzw. Augenärztin oder ggf. die nächste Augenklinik durch den Aushang (z. B. BG ETEM Erste Hilfe Plakat BGI/GUV-I 510-1) sowie das hierfür erforderliche innerbetriebliche Meldewesen und das Verhalten der Mitarbeiter bzw. Mitarbeiterinnen und der betrieblichen Ersthelfer bzw. Ersthelferinnen bei der Einbeziehung dieser Ärzte/Kliniken im Falle eines (vermuteten) Unfallgeschehens bekannt gemacht werden. Dies gilt auch für entsprechend qualifizierte Hautärzte/Hautkliniken, die für den Fall von Hautverletzungen durch Laserstrahlung einzubeziehen sind. Diesen Ärzten/Kliniken sollen nach Möglichkeit Informationen zur Wellenlänge, zu der anzunehmenden Eindringtiefe der Laserstrahlung in das Körpergewebe und zur Leistungsstärke (Austrittsleistung) des Lasers gegeben werden. Diese innerbetrieblichen Regelungen und Verhaltensweisen müssen zudem in den regelmäßigen Unterweisungen vermittelt werden. Ebenso ist es sinnvoll Erstversorgung im Falle eines Unfalls innerbetrieblich im Rahmen einer Erste-Hilfe-Übung unter Mitwirkung des Betriebsarztes zu üben (z. B. Wundversorgung). Die betrieblichen Ersthelfer müssen über die regelmäßigen Wiederholungstrainings hinaus zum Verhalten im Falle eines (vermuteten) Laserunfalls innerbetrieblich geschult werden (z. B. Kühlungsmaßnahmen am Auge und an der Haut, Abdecken betroffener Körperoberflächen).

Dieses gilt insbesondere für Arbeitsbereiche und Tätigkeiten mit HLG, die an ortsveränderlichen Einsatzorten eingesetzt werden. Im Folgenden werden Empfehlungen gegeben. Der Betriebsarzt ist zu Fragen der betrieblichen Ersten Hilfe und der Rettungskette mit einzubeziehen.

Vor Aufnahme der Tätigkeiten mit HLG sollten geeignete Augenärzte, Hautärzte bzw. eine Augenklinik/Hautklinik mit guter Erreichbarkeit aus dem Betrieb ermittelt (siehe DGUV Information 204-001, Erste-Hilfe Plakat) werden. Entscheidend für die Beurteilung/Diagnose eines Augenarztes bzw. einer Augenärztin ist die Verfügbarkeit entsprechender Diagnoseverfahren und die Erfahrung mit Laserunfällen. Unter Mitwirkung des Betriebsarztes bzw. der Betriebsärztin sollten entsprechende organisatorische Vereinbarungen und fachliche Absprachen mit diesen Einrichtungen/Ärzten für deren konsiliarische Einbeziehung im Vorfeld getroffen werden.

In der Betriebsanweisung sollten – wenn möglich – die Kontaktdaten von Ärzten und Kliniken benannt und die innerbetrieblichen organisatorischen Maßnahmen zu deren Einbeziehung im Unfallgeschehen bekannt gemacht werden. Bei HLG, die ortsveränderlich eingesetzt werden, sollte dieses für jeden Einsatzort erfolgen.

10.2 Verbrennungen der Haut

Ist es zu schwereren Verbrennungen der Haut/des Gewebes durch leistungsstarke HLG gekommen, so sollten die Rettungskräfte oder der behandelnde Arzt bzw. Ärztin, falls Laserstrahlung im nahen Infrarotbereich die Verbrennung verursacht hat, auf die hohe Eindringtiefe der Strahlung ins Gewebe (z. B. bei Fingern bis zum Fingerknochen) und damit verbundene mögliche Schädigungen hingewiesen werden.

Nähere Informationen zu möglichen Wirkungen von Laserstrahlung sind in der TROS Laserstrahlung gegeben.

11 Vorschriften, Normen und Literatur

DIN EN 60825-1	Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen Achtung: Beim Einsatz von Lasern der Klasse 1 nach DIN EN 60825-1:2015-07 können die Expositionsgrenzwerte der OStrV überschritten werden!
DIN EN 60825-4	Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 4: Laserschutzwände
DIN EN 207	Persönlicher Augenschutz – Filter und Augenschutzgeräte gegen Laserstrahlung (Laserschutzbrillen)
DIN EN 208	Persönlicher Augenschutz – Augenschutzgeräte für Justierarbeiten an Lasern und Laseraufbauten (Laser-Justierbrillen)
DIN EN ISO 11553-1	Sicherheit von Maschinen – Laserbearbeitungsmaschinen – Teil 1: Allgemeine Sicherheitsanforderungen
DIN EN ISO 11553-2	Sicherheit von Maschinen – Laserbearbeitungsmaschinen – Teil 2: Sicherheitsanforderungen an handgeführte Laserbearbeitungsgeräte
DIN EN ISO 13849-1	Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen – Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze
DGUV Information 203-042	Auswahl und Benutzung von Laser-Schutzbrillen , Laser-Justierbrillen und Laser-Schutzabschirmungen
DGUV Regel 109-002	Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen
DGUV Information 213-729	Beschriften von Kunststoffen mit Lasern
Arbeitswissenschaftliche Erkenntnisse Nr. 132	Persönliche Schutzausrüstung für Tätigkeiten mit handgeführten oder handpositionierten Laserbearbeitungsgeräten – Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund 2007, ISSN 0720-1699
OStrV (GV 18)	Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung (Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung – OStrV)
BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
TROS Laserstrahlung	Teil Allgemeines Teil 1 Gefährdungsbeurteilung Teil 2 Messungen und Berechnungen Teil 3 Schutzmaßnahmen
TROS IOS	Teil Allgemeines Teil 1 Gefährdungsbeurteilung Teil 2 Messungen und Berechnungen Teil 3 Schutzmaßnahmen
TRGS 528	Schweißtechnische Arbeiten
TRGS 560	Luftrückführung bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden, erbgutverändernden und fruchtbarkeitsgefährdenden Stäuben
TRGS 561	Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen und ihren Verbindungen
TRGS 800	Brandschutzmaßnahmen
TRGS 900	Arbeitsplatzgrenzwerte
TRBS 2152 T3	Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre
M16	Künstliche optische Strahlung – Eine Handlungshilfe für die Gefährdungsbeurteilung (Land Hamburg)

Anhang A1

Schutzhandschuhe und Schutzkleidung

Wesentliche Anforderungen an Schutzhandschuhe und Schutzkleidung sind:

- Ausreichend geringer Transmissionsgrad, so dass die maximal zulässige Bestrahlung der Haut (EGW_{Haut} gem. TROS Laserstrahlung) nicht überschritten wird.
- Ausreichender Widerstand gegen Lochbildung, so dass keine Schädigungen der Haut durch Überschreitung der EGW_{Haut} auftreten.
- Ausreichend lange Toleranzzeit, d. h. bei Absorption der Laserstrahlung begrenzter Wärmetransport des Schutzsystems an die Haut, so dass innerhalb der Reaktionszeit (zum Entfernen des Körperteils aus dem Expositionsbereichs) keine Schädigungen (Verbrennungen 2. Grades oder höher) der Haut auftreten.
- Sie dürfen keine Gefahr mit sich bringen, z. B. durch Entflammen, Einbrennen in die Haut, Schrumpfen etc.

Anforderungen an Schutzhandschuhe und Schutzkleidung für Laser-Einrichtungen hoher Leistung werden derzeit spezifiziert. Untersuchungsergebnisse sind in den arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen Nr. 132 der BAuA dargestellt.

Bisherige Untersuchungen zeigen:

- Handelsübliche Baumwollbekleidung (T-Shirt, Hemd, Jacke, Handschuh mit geringer Flächenmasse $< 300 \text{ g/m}^2$) bietet kaum Schutz gegen Laserstrahlung, wie sie bei Tätigkeiten mit HLG in Fehlerfällen auftreten kann (Vorhersehbare Maximalbestrahlung VMB: $E > 5 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2$); Baumwoll-Mischgewebe mit hohem Kunstfaserteil (Polyester, Polyamid) stellen auf Grund des Brandverhaltens eine hohe indirekte Gefährdung für die Haut dar.
- Schutzausrüstung aus Baumwolle oder Baumwoll-Mischgeweben gemäß DIN EN 531 sowie DIN EN 470-1, flammhemmend ausgerüstet, mit einer Flächenmasse $\geq 300 \text{ g/m}^2$ bietet begrenzten Schutz gegen Laserstrahlung.
- Schutzausrüstung aus Aramiden mit ausreichender Flächenmasse – aluminisiert, metall-kaschiert, foliert – gemäß DIN EN 531 sowie DIN EN 470-1 bietet im Vergleich den besten Schutz gegen Laserstrahlung; die zum Teil hohe Steifigkeit der Gewebe (bzw. Beschichtung) hat aber einen eingeschränkten Tragekomfort zur Folge; sinnvoll sind Teilbedeckungen als Aufnäher oder Schürzen.
- Schutzausrüstung aus Glasfasergeweben weist ebenfalls einen hohen Schutzgrad auf. Die hohe Steifigkeit der Gewebe schränkt den Tragekomfort ein, das Pflegen/Reinigen der Systeme ist nicht immer gegeben; sinnvoll sind Teilbedeckungen als Aufnäher oder Schürzen.
- Handelsübliche Schutzhandschuhe aus Leder (Schweißerschutzhandschuhe) gemäß DIN EN 12477, ohne spezielle Ausrüstung, sind auf Grund des Schrumpfens (insb. bei 10600 nm) nur bedingt als PSA gegen Laserstrahlung geeignet.

Anhang A2

Persönliche Schutzausrüstung



Laserschutzbrille

mit planen Filtern und Tragekorb, für ergonomisches Arbeiten mit Laserschutzbrille am Mikroskopaufsatz, auch über mehrere Stunden

Blendschutz-Clip
zum Schutz vor Sekundärstrahlung, nur erforderlich bei längerer direkter Beobachtung des grellen Bearbeitungsvorganges



Handschuhe

zum Schutz vor der reflektierten Laserstrahlung und UV-Strahlung

Abb. 5 Persönliche Schutzausrüstung

**Deutsche Gesetzliche
Unfallversicherung e.V. (DGUV)**

Glinkastraße 40
10117 Berlin
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)
Fax: 030 13001-6132
E-Mail: info@dguv.de
Internet: www.dguv.de