



# Prüfbericht Nr. 2025-002402

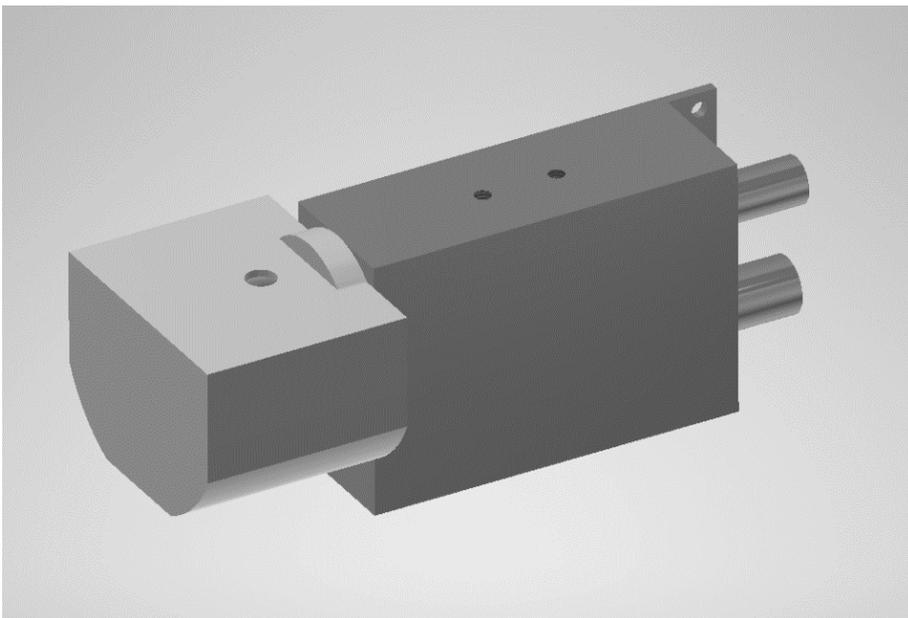
<i>Gegenstand</i>	<b>Prüfung einer handgeführten Laserschweissanlage bei LWB WeldTech AG IPG Laser LightWELD Handheld Laser Welding System Model Nr. SYSHHW000000001G S/N: LWHH42412111 Deklarierte Laserklasse: 4 Deklarierte Leistung: 1500 W Wellenlänge: 1070 nm</b>
<i>Auftrag</i>	Messung der reflektierten optischen Strahlung auf verschiedenen Materialien einer handgeführten Laserschweissanlage und einer Bewertung gemäss der Norm IEC 60825-1:2014.
<i>Auftraggeber</i>	SUVA Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz Rösslimattstrasse 39 6005 Luzern
<i>Rückführbarkeit</i>	Die angegebenen Messresultate sind auf nationale Normale und damit auf international abgestützte Realisierungen der SI-Einheiten rückführbar.
<i>Datum der Prüfung</i>	5. März 2025
3003 Bern-Wabern, 15. Juli 2025	
<i>Für die Prüfung</i>	Fabio Rinderer, Technischer Experte
<i>Freigabe durch</i>	Dr. Florian Stuker, Laborleiter

## **1. Umfang der Prüfung**

Eine handgeführte Laserschweissanlage wird von einem Fachmann mit realen Parametern betrieben und auf verschiedene Schweissaufgaben verschiedenster Materialien angewandt. Es wird jeweils die reflektierte optische Strahlung in unterschiedlichen Geometrien gemessen.

## **2. Prüfverfahren**

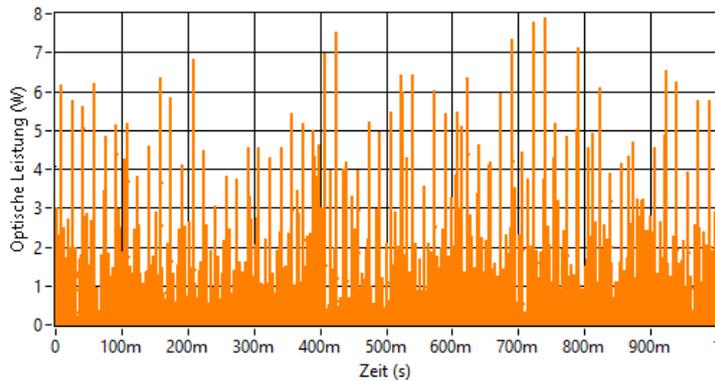
Für die Prüfung wird ein Messsystem (Metas Nr. 10600) bestehend aus einer InGaAs Photodiode und der entsprechenden Empfindlichkeit im infraroten Spektralbereich verwendet. Damit die Gefährdungsbeurteilung für das Auge durchgeführt werden kann, wird eine Ulbrichtkugel mit einer 7 mm Eintrittsblende verwendet. Für die Signalverstärkung wird ein schneller Transimpedanzverstärker eingesetzt. Die Datenerfassung erfolgt mit einem Spannungswandler mit einer Abtastrate von 2 MHz. Die Messungen erfolgen Stichprobenweise während verschiedenen Schweißprozessen. Durch die Kalibrierung kann die gemessene Spannung einer optischen Strahlungsleistung in der 7 mm Blende zugeordnet werden.



**Abbildung 1:** Skizze des Messsystems mit der Ulbrichtkugel und der 7 mm Öffnung (hellgrau) und dem Transimpedanzverstärker mit integrierter InGaAs Photodiode (dunkelgrau).

Nachfolgend sind die Auswertungen eines Bearbeitungsprozesses dargestellt. In Abhängigkeit der gesuchten Messgröße sind verschiedene Bereiche der Auswertung zu Betrachten.

**Messdaten Auswertung**



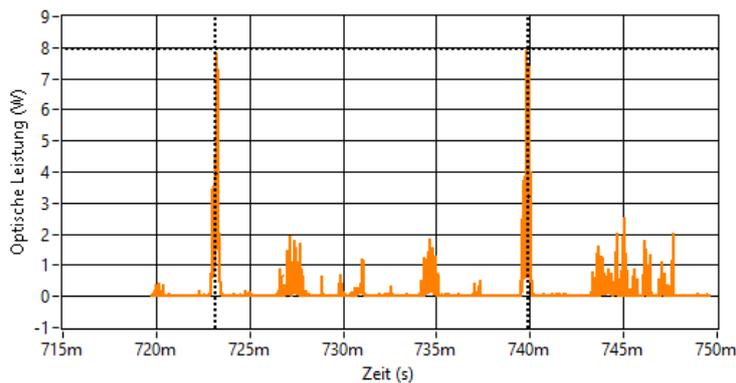
**Gesamte Darstellung**

Zeitliche Darstellung:

1 s

Ersichtlich sind sich wiederholende Pulsspitzen. Beim Prozess sind wiederkehrende Leistungsspitzen zu erkennen.

**Messdaten Auswertung**



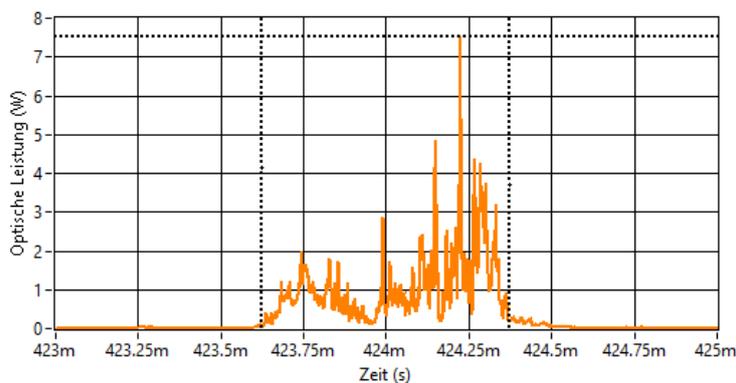
**Periode**

Zeitliche Darstellung:

30 ms

Ersichtlich sind die einzelnen repetitiven Pulsspitzen. Die Zeitdauer zwischen den Einzelpulsen beträgt 16.7 ms

**Messdaten Auswertung**

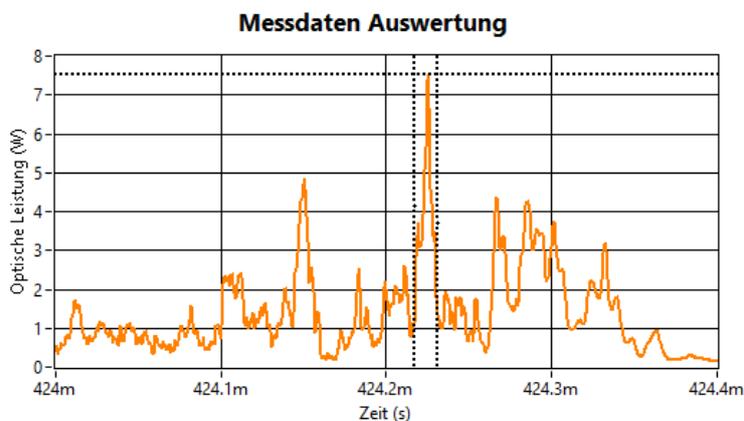


**Pulssequenz**

Zeitliche Darstellung:

2 ms

Ersichtlich ist eine einzelne Pulsform. Die Zeitdauer des gesamten Pulses beträgt 750  $\mu$ s



### **Einzelpuls**

Zeitliche Darstellung

400  $\mu$ s

Ersichtlich ist eine einzelne Pulsspitze. Die Pulsbreite beträgt in dieser Auswertung 14  $\mu$ s.

Die gemessene Pulsfolge eines Schweissvorgangs der jeweiligen Messanordnung und Materialien werden mit einer Software ausgewertet. Die Bewertung der Analyse erfolgt anhand der Norm *Sicherheit von Lasereinrichtungen – Teil 1: Klassifizierung von Anlagen und Anforderungen IEC 60825-1:2014*.

Die Berechnung der Werte für das Auge bezieht sich auf die von der Norm geforderte Beurteilungsdistanz von 100 mm und für die Gefährdungsbeurteilung des Auges eine Messblende mit einem Durchmesser von 7 mm.

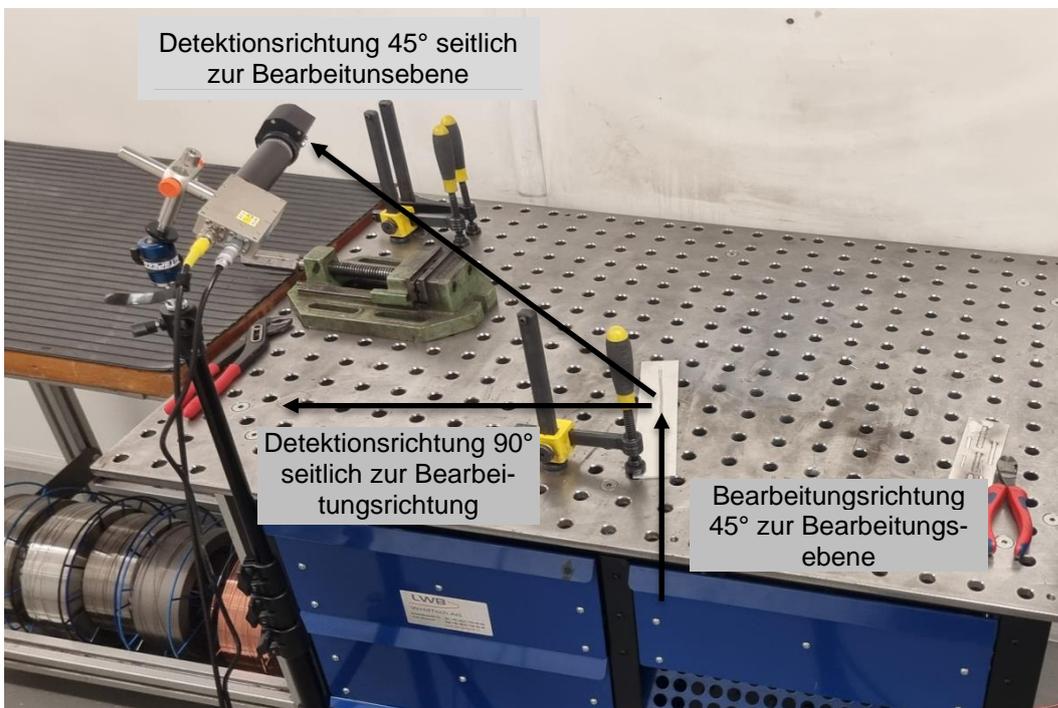
Die Berechnung der Werte für die Haut bezieht sich auf die Beurteilungsdistanz von 100 mm und eine Messblende für die Haut gemäss Norm mit einem Durchmesser von 3.5 mm. Die Beurteilung der Haut basiert auf einem geringen Strahldurchmesser. Die zu berücksichtigende Pulsdauer für Beurteilung der Haut geht aufgrund des Bearbeitungsprozesses von 10 s aus. Gemessene Bestrahlungswerte während der Dauer von 1 s werden als gleichwertend während 10 s angenommen.

Der Korrekturfaktor  $C_5$  (Beurteilung für das Auge) wird gemäss der Klassifizierungsregeln in der Norm (Kap. 4.3f) definiert: Als Zeitbasis wird  $T = 30'000$  s verwendet (Beim handgeführten Laserschweissen ist eine Sehaufgabe für die Bearbeitung vorhanden). Bei einem regelmässigen Pulsabstand von 25 ms erreicht  $C_5$  das Minimum von 0.4 nach einer Dauer von 625 s (Anzahl Pulse = 25'000). Für die Gefährdungsbeurteilungen des Auges wird der Korrekturfaktor  $C_5 = 0.4$  verwendet.

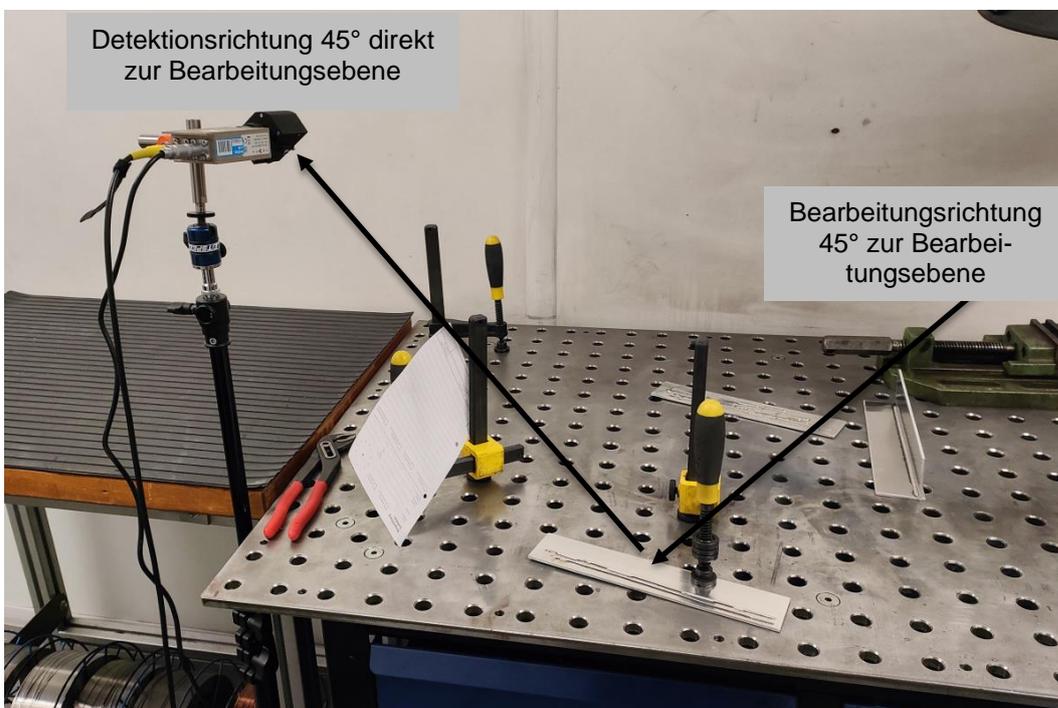
Der Korrekturfaktor  $C_6 = 1$  wird verwendet. Es wird angenommen, dass der Bearbeitungsprozess im Brennpunkt des Lasers stattfindet. Dies entspricht einem geringen Beobachtungswinkel, was in diesem Fall als "Worst-Case-Szenario" angenommen wird.

Alle Messungen beruhen auf einer Reflexionsmessung und nicht auf der Messung des direkten optischen Strahls. Es wird angenommen, dass es sich um Mischreflexionen (diffuse und gerichtete Anteile) handelt.

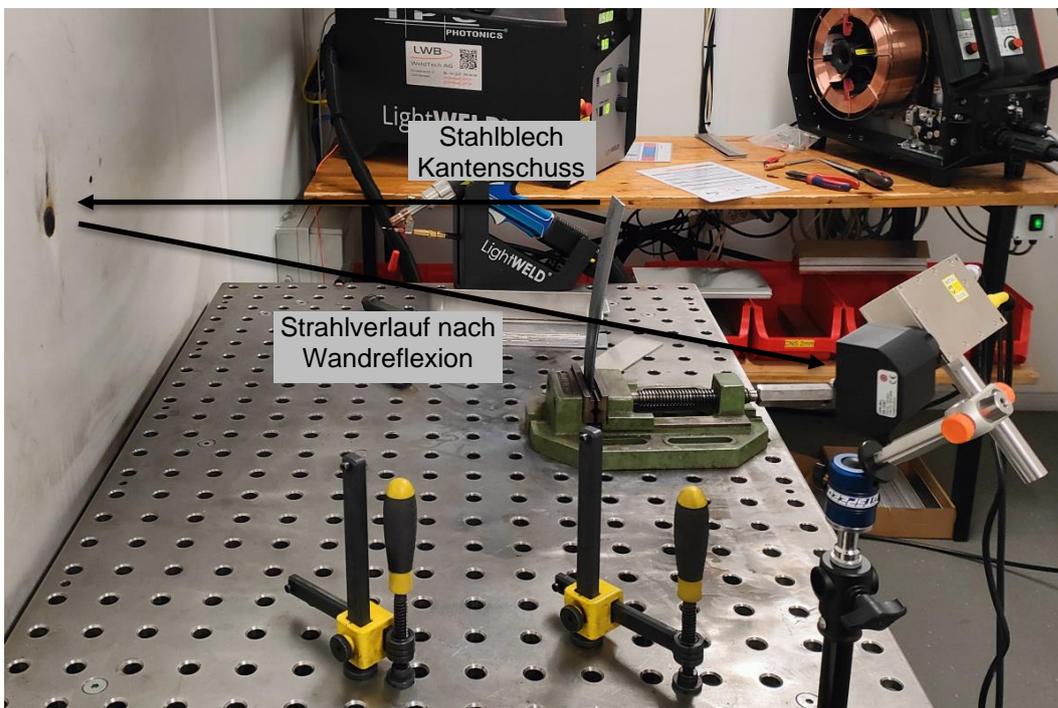
Bei der Auswertung der Pulse wird jeweils das "Worst-Case-Szenario" für die Beurteilung ausgewählt. Entsprechend wird jeweils der Puls mit der potentiell höchsten Gefährdung in der Auswertung verwendet.



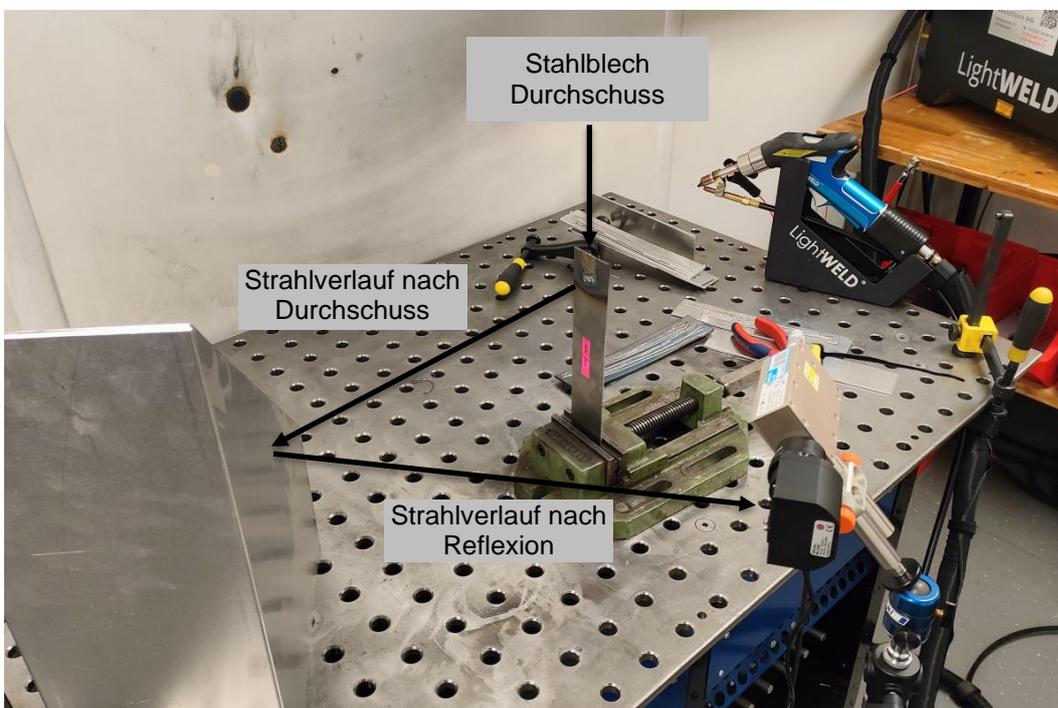
**Abbildung 2:** Prüfungsaufbau 4.1.1, Stumpfnah, 1000 W, Wobble (0,0), Detektionsrichtung 90°seitlich zur Bearbeitungsrichtung und 45° seitlich zur Bearbeitungsrichtung



**Abbildung 3:** Prüfungsaufbau 4.1.6, Stumpfnah, 500 W, Wobble (0,0), Detektionsrichtung 45° direkt zur Bearbeitungsebene



**Abbildung 4:** Prüfungsaufbau 4.5.1 Reflexion an der Kunststoffwand der Schweisskabine, Kantenschuss über ein Stahl Blech Baustahl S355J2, 1500 W



**Abbildung 5:** Prüfungsaufbau 4.5.3, Blechreflexion Stahl Blech Baustahl S355J2, Durchschuss durch ein Stahl Blech Baustahl S355J2, 1500 W

### 3. Prüfbedingungen

Die Umgebungstemperatur beträgt  $(23.0 \pm 0.5) \text{ }^\circ\text{C}$

### 4. Prüfergebnisse

Für die Beurteilung des Gefährdungspotential wird jeweils die grösste Gefährdung beurteilt, welche abhängig von der jeweiligen Beurteilungsart ist:

- Bei der Auswertung für die Gefährdung des Auges sind die Leistungsspitzen relevant.
- Bei der Auswertung für die Gefährdung der Haut sind es die mittleren Leistungen relevant.

#### 4.1 Aluminium AlMg5-3.3555 Blech mit 1.2 mm Durchmesser Zusatzdraht, Argon Schutzgas

##### 4.1.1 Stumpfnah, 1000 W, Wobble (0,0), Detektionsrichtung seitlich 90° zur Bearbeitungsrichtung und 45° zur Bearbeitungsebene (M2)

Max. Leistung $P_{\max} / \text{W}$	Pulsdauer $t_P / \mu\text{s}$	Überschreitung der MZB-Werte, $\text{MZB}_{\text{Faktor}}$	Geforderte opti- sche Dichte, OD	NOHD $d_{\text{NOHD}} / \text{m}$
7.8	103.2	560	2.7	7.9

*Gefährdungsbeurteilung für das Auge*

Mittlere Leistung $P_{\text{Haut}} / \text{W}$	Pulsdauer $t_P / \text{s}$	Überschreitung der MZB-Werte, $\text{MZB}_{\text{Faktor}}$	Gefährdungsabstand Haut, $d_{\text{Haut}} / \text{m}$
0.17	10	1.8	0.3

*Gefährdungsbeurteilung für die Haut*

##### 4.1.2 Stumpfnah, 1500 W, Wobble (0,0), Detektionsrichtung seitlich 90° zur Bearbeitungsrichtung und 45° zur Bearbeitungsebene (M3)

Max. Leistung $P_{\max} / \text{W}$	Pulsdauer $t_P / \mu\text{s}$	Überschreitung der MZB-Werte, $\text{MZB}_{\text{Faktor}}$	Geforderte opti- sche Dichte, OD	NOHD $d_{\text{NOHD}} / \text{m}$
13.1	91.7	913	3.0	10.2

*Gefährdungsbeurteilung für das Auge*

Mittlere Leistung $P_{\text{Haut}} / \text{W}$	Pulsdauer $t_P / \text{s}$	Überschreitung der MZB-Werte, $\text{MZB}_{\text{Faktor}}$	Gefährdungsabstand Haut, $d_{\text{Haut}} / \text{m}$
0.23	10	2.5	0.5

*Gefährdungsbeurteilung für die Haut*

**4.1.3 Stumpfnaht, 500 W, Wobble (0,0), Detektionsrichtung seitlich 90° zur Bearbeitungsrichtung und 45° zur Bearbeitungsebene (M5)**

Max. Leistung $P_{\max} / W$	Pulsdauer $t_P / \mu s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Geforderte opti- sche Dichte, OD	NOHD $d_{\text{NOHD}} / m$
30.0	27.8	1'513	3.2	13.3

*Gefährdungsbeurteilung für das Auge*

Mittlere Leistung $P_{\text{Haut}} / W$	Pulsdauer $t_P / s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Gefährdungsabstand Haut, $d_{\text{Haut}} / m$
0.07	10	0.7	< 0.1

*Gefährdungsbeurteilung für die Haut*

**4.1.4 Kehlnaht, 1200 W, Wobble (0,0), Detektionsrichtung seitlich 90° zur Bearbeitungsrichtung und 45° zur Bearbeitungsebene (M7)**

Max. Leistung $P_{\max} / W$	Pulsdauer $t_P / \mu s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Geforderte opti- sche Dichte, OD	NOHD $d_{\text{NOHD}} / m$
11.2	160.6	900	3.0	10.2

*Gefährdungsbeurteilung für das Auge*

Mittlere Leistung $P_{\text{Haut}} / W$	Pulsdauer $t_P / s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Gefährdungsabstand Haut, $d_{\text{Haut}} / m$
0.30	10	3.2	0.7

*Gefährdungsbeurteilung für die Haut*

**4.1.5 Stumpfnaht, 1000 W, Wobble (0,0), Detektionsrichtung Reflexion direkt 45° zum Bearbeitungsmuster (M9)**

Max. Leistung $P_{\max} / W$	Pulsdauer $t_P / \mu s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Geforderte opti- sche Dichte, OD	NOHD $d_{\text{NOHD}} / m$
11.7	110.1	860	2.9	9.9

*Gefährdungsbeurteilung für das Auge*

Mittlere Leistung $P_{\text{Haut}} / W$	Pulsdauer $t_P / s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Gefährdungsabstand Haut, $d_{\text{Haut}} / m$
0.15	10	1.6	0.3

*Gefährdungsbeurteilung für die Haut*

**4.1.6 Stumpfnah, 500 W, Wobble (0,0), Detektionsrichtung Reflexion direkt 45° zum Bearbeitungsmuster (M10)**

Max. Leistung $P_{\max} / W$	Pulsdauer $t_P / \mu s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Geforderte opti- sche Dichte, OD	NOHD $d_{\text{NOHD}} / m$
176	660.8	20'175	4.3	49.4

*Gefährdungsbeurteilung für das Auge*

Mittlere Leistung $P_{\text{Haut}} / W$	Pulsdauer $t_P / s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Gefährdungsabstand Haut, $d_{\text{Haut}} / m$
2.09	10	22	2.7

*Gefährdungsbeurteilung für die Haut*

**4.2 Chrom-Nickel-Stahl 1.4301 Blech mit 1 mm Durchmesser Zusatzdraht, CO Schutzgas**

**4.2.1 Stumpfnah, 850 W, Wobble (0,0), Detektionsrichtung Reflexion direkt 45° zum Bearbeitungsmuster (M13)**

Max. Leistung $P_{\max} / W$	Pulsdauer $t_P / \mu s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Geforderte opti- sche Dichte, OD	NOHD $d_{\text{NOHD}} / m$
2.7	55.1	167	2.2	4.2

*Gefährdungsbeurteilung für das Auge*

Mittlere Leistung $P_{\text{Haut}} / W$	Pulsdauer $t_P / s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Gefährdungsabstand Haut, $d_{\text{Haut}} / m$
0.05	10	0.5	< 0.1

*Gefährdungsbeurteilung für die Haut*

**4.2.2 Stumpfnah, 500 W, Wobble (0,0), Detektionsrichtung Reflexion direkt 45° zum Bearbeitungsmuster (M14)**

Max. Leistung $P_{\max} / W$	Pulsdauer $t_P / \mu s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Geforderte opti- sche Dichte, OD	NOHD $d_{\text{NOHD}} / m$
9.5	110.1	698	2.8	8.9

*Gefährdungsbeurteilung für das Auge*

Mittlere Leistung $P_{\text{Haut}} / W$	Pulsdauer $t_P / s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Gefährdungsabstand Haut, $d_{\text{Haut}} / m$
0.07	10	0.7	< 0.1

*Gefährdungsbeurteilung für die Haut*

**4.2.3 Stumpfnah, 1500 W, Wobble (0,0), Detektionsrichtung Reflexion direkt 45° zum Bearbeitungsmuster (M15)**

Max. Leistung $P_{\max} / W$	Pulsdauer $t_P / \mu s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Geforderte opti- sche Dichte, OD	NOHD $d_{\text{NOHD}} / m$
3.9	275.2	363	2.6	6.3

*Gefährdungsbeurteilung für das Auge*

Mittlere Leistung $P_{\text{Haut}} / W$	Pulsdauer $t_P / s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Gefährdungsabstand Haut, $d_{\text{Haut}} / m$
0.09	10	1.0	0.1

*Gefährdungsbeurteilung für die Haut*

**4.3 Kupfer Blech CW024A oder CW008A mit 1 mm Durchmesser Zusatzdraht, Argon Schutzgas**

**4.3.1 Stumpfnah, 500 W, Wobble (0,0), Detektionsrichtung seitlich 90° zur Bearbeitungsrichtung und 45° zur Bearbeitungsebene (M16)**

Max. Leistung $P_{\max} / W$	Pulsdauer $t_P / \mu s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Geforderte opti- sche Dichte, OD	NOHD $d_{\text{NOHD}} / m$
22.8	69.6	1'490	3.2	13.2

*Gefährdungsbeurteilung für das Auge*

Mittlere Leistung $P_{\text{Haut}} / W$	Pulsdauer $t_P / s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Gefährdungsabstand Haut, $d_{\text{Haut}} / m$
0.10	10	1.1	0.1

*Gefährdungsbeurteilung für die Haut*

**4.3.2 Stumpfnah, 1500 W, Wobble (0,0), Detektionsrichtung seitlich 90° zur Bearbeitungsrichtung und 45° zur Bearbeitungsebene (M17)**

Max. Leistung $P_{\max} / W$	Pulsdauer $t_P / \mu s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Geforderte opti- sche Dichte, OD	NOHD $d_{\text{NOHD}} / m$
13.6	111.4	995	3.0	10.7

*Gefährdungsbeurteilung für das Auge*

Mittlere Leistung $P_{\text{Haut}} / W$	Pulsdauer $t_P / s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Gefährdungsabstand Haut, $d_{\text{Haut}} / m$
0.25	10	2.6	0.5

*Gefährdungsbeurteilung für die Haut*

**4.4 Stahl Blech Baustahl S355J2 mit 1mm Durchmesser Zusatzdraht, CO Schutzgas**

**4.4.1 Stumpfnah, 500 W, Wobble (0,0), Detektionsrichtung seitlich 90° zur Bearbeitungsrichtung und 45° zur Bearbeitungsebene (M18)**

Max. Leistung $P_{\max} / W$	Pulsdauer $t_P / \mu s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Geforderte opti- sche Dichte, OD	NOHD $d_{\text{NOHD}} / m$
3.0	73.4	197	2.3	4.6

*Gefährdungsbeurteilung für das Auge*

Mittlere Leistung $P_{\text{Haut}} / W$	Pulsdauer $t_P / s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Gefährdungsabstand Haut, $d_{\text{Haut}} / m$
0.06	10	0.6	< 0.1

*Gefährdungsbeurteilung für die Haut*

**4.4.2 Stumpfnah, 1000 W, Wobble (0,0), Detektionsrichtung seitlich 90° zur Bearbeitungsrichtung und 45° zur Bearbeitungsebene (M19)**

Max. Leistung $P_{\max} / W$	Pulsdauer $t_P / \mu s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Geforderte opti- sche Dichte, OD	NOHD $d_{\text{NOHD}} / m$
3.8	114.7	278	2.4	5.5

*Gefährdungsbeurteilung für das Auge*

Mittlere Leistung $P_{\text{Haut}} / W$	Pulsdauer $t_P / s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Gefährdungsabstand Haut, $d_{\text{Haut}} / m$
0.09	10	0.9	0.1

*Gefährdungsbeurteilung für die Haut*

**4.4.3 Stumpfnah, 1500 W, Wobble (0,0), Detektionsrichtung seitlich 90° zur Bearbeitungsrichtung und 45° zur Bearbeitungsebene (M20)**

Max. Leistung $P_{\max} / W$	Pulsdauer $t_P / \mu s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Geforderte opti- sche Dichte, OD	NOHD $d_{\text{NOHD}} / m$
2.3	91.7	162	2.2	4.1

*Gefährdungsbeurteilung für das Auge*

Mittlere Leistung $P_{\text{Haut}} / W$	Pulsdauer $t_P / s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Gefährdungsabstand Haut, $d_{\text{Haut}} / m$
0.07	10	0.8	< 0.1

*Gefährdungsbeurteilung für die Haut*

**4.4.4 Stumpfnah, 1500 W, Wobble (0,0), Detektionsrichtung Reflexion direkt 45° zum Bearbeitungsmuster (M21)**

Max. Leistung $P_{\max} / W$	Pulsdauer $t_P / \mu s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Geforderte opti- sche Dichte, OD	NOHD $d_{\text{NOHD}} / m$
4.7	114.7	345	2.5	6.2

*Gefährdungsbeurteilung für das Auge*

Mittlere Leistung $P_{\text{Haut}} / W$	Pulsdauer $t_P / s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Gefährdungsabstand Haut, $d_{\text{Haut}} / m$
0.14	10	1.5	0.2

*Gefährdungsbeurteilung für die Haut*

**4.4.5 Stumpfnah, 1000 W, Wobble (0,0), Detektionsrichtung Reflexion direkt 45° zum Bearbeitungsmuster (M22)**

Max. Leistung $P_{\max} / W$	Pulsdauer $t_P / \mu s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Geforderte opti- sche Dichte, OD	NOHD $d_{\text{NOHD}} / m$
8.4	114.7	620	2.8	8.4

*Gefährdungsbeurteilung für das Auge*

Mittlere Leistung $P_{\text{Haut}} / W$	Pulsdauer $t_P / s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Gefährdungsabstand Haut, $d_{\text{Haut}} / m$
0.11	10	1.2	0.2

*Gefährdungsbeurteilung für die Haut*

**4.4.6 Stumpfnah, 500 W, Wobble (0,0), Detektionsrichtung Reflexion direkt 45° zum Bearbeitungsmuster (M24)**

Max. Leistung $P_{\max} / W$	Pulsdauer $t_P / \mu s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Geforderte opti- sche Dichte, OD	NOHD $d_{\text{NOHD}} / m$
6.7	91.7	468	2.7	7.2

*Gefährdungsbeurteilung für das Auge*

Mittlere Leistung $P_{\text{Haut}} / W$	Pulsdauer $t_P / s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Gefährdungsabstand Haut, $d_{\text{Haut}} / m$
0.12	10	1.3	0.2

*Gefährdungsbeurteilung für die Haut*

#### 4.5 Sondersettings

##### 4.5.1 Reflexion an der Kunststoffwand der Schweisskabine, Kantenschuss über ein Stahl Blech Baustahl S355J2, 1500 W (M25)

Bemerkung: Aufgrund des Prüfungsaufbaus ist unklar, welche optische Leistung während der Bearbeitung des Materials die zu prüfende Oberfläche trifft.

Max. Leistung $P_{\max} / W$	Pulsdauer $t_P / \mu s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Geforderte opti- sche Dichte, OD	NOHD $d_{\text{NOHD}} / m$
4.9	137.3	378	2.6	6.5

*Gefährdungsbeurteilung für das Auge*

Mittlere Leistung $P_{\text{Haut}} / W$	Pulsdauer $t_P / s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Gefährdungsabstand Haut, $d_{\text{Haut}} / m$
0.25	10	2.7	0.5

*Gefährdungsbeurteilung für die Haut*

##### 4.5.2 Blechreflexion Stahl Blech Baustahl S355J2, Durchschuss durch ein Stahl Blech Baustahl S355J2, 1500 W (M26)

Bemerkung: Aufgrund des Prüfungsaufbaus ist unklar, welche optische Leistung während der Bearbeitung des Materials die zu prüfende Oberfläche trifft.

Max. Leistung $P_{\max} / W$	Pulsdauer $t_P / \mu s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Geforderte opti- sche Dichte, OD	NOHD $d_{\text{NOHD}} / m$
4.4	164.8	355	2.5	6.2

*Gefährdungsbeurteilung für das Auge*

Mittlere Leistung $P_{\text{Haut}} / W$	Pulsdauer $t_P / s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Gefährdungsabstand Haut, $d_{\text{Haut}} / m$
0.18	10	1.9	0.4

*Gefährdungsbeurteilung für die Haut*

**4.5.3 Blechreflexion Stahl Blech Baustahl S355J2, Freischuss 1500 W, Wobble (0,0) (M29)**

Max. Leistung $P_{\max} / W$	Pulsdauer $t_P / \mu s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Geforderte opti- sche Dichte, OD	NOHD $d_{\text{NOHD}} / m$
12.5	275	1'150	3.1	11.5

*Gefährdungsbeurteilung für das Auge*

Mittlere Leistung $P_{\text{Haut}} / W$	Pulsdauer $t_P / s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Gefährdungsabstand Haut, $d_{\text{Haut}} / m$
1.28	10	14	2.0

*Gefährdungsbeurteilung für die Haut*

**4.5.4 Keramikplatte Rückseite Reflexion, Überbrückt und auf dem Draht geschweisst,  
1500 W, Wobble (0,0), 1mm Zusatzdraht (M32)**

Max. Leistung $P_{\max} / W$	Pulsdauer $t_P / \mu s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Geforderte opti- sche Dichte, OD	NOHD $d_{\text{NOHD}} / m$
9.9	27.5	205	2.3	4.7

*Gefährdungsbeurteilung für das Auge*

Mittlere Leistung $P_{\text{Haut}} / W$	Pulsdauer $t_P / s$	Überschreitung der MZB-Werte, $MZB_{\text{Faktor}}$	Gefährdungsabstand Haut, $d_{\text{Haut}} / m$
1.11	10	11.8	1.7

*Gefährdungsbeurteilung für die Haut*

## **5. Gefährdungsbeurteilung**

Lasereinrichtungen der Laserklasse 4 sind Geräte, die bei einem direkten Blick in den Strahl normalerweise gefährlich sind, einschliesslich zufälliger Bestrahlung. Gemäss Lasernorm ist Laserstrahlung für das ungeschützte Auge innerhalb des Sicherheitsabstandes (NOHD) gefährlich. Der Grenzwert für die Haut wird innerhalb des "Gefährdungsabstandes Haut" überschritten.

Im Allgemeinen, kann die Haut wesentlich höhere Bestrahlungen durch die Energie von Laserstrahlung ertragen als das Auge.

Ein Laser-Gefahrenbereich, ist der Bereich, in dem die Exposition des Auges und/oder der Haut die jeweiligen maximal zulässigen Bestrahlungswerte (MZB) überschreiten. Um Unklarheiten zu vermeiden, sollten zusätzliche Informationen angegeben werden, ob der Gefahrenbereich auf den Augen- und/oder Haut-MZB-Werten basiert. Im Laser-Gefahrenbereich muss eine ausreichende persönliche Schutzausrüstung verwendet werden, um weder die Augen und/oder die Haut zu gefährden.

## 6. Messunsicherheit

Optische Leistung  $U = 0.08 \cdot P_{\max}$

Pulsdauer  $U = 0.01 \cdot t_p$

MZB  $U = 0.10 \cdot \text{MZB}$

OD  $U = 0.2$

NOHD  $U = 0.25 \cdot d_{\text{NOHD}}$

Gefährdungsabstand Haut  $U = 0.25 \cdot d_{\text{Haut}}$

Der angegebene Messwert ( $y$ ) und die dazugehörige Unsicherheit ( $U$ ) geben den Bereich ( $y \pm U$ ) an, welcher den Wert der gemessenen Grösse mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 95 % enthält.

Die Messunsicherheit beinhaltet Unsicherheitsbeiträge vom benutzten Normal, vom Messverfahren, von den Umgebungsbedingungen und vom Prüfling. Das Langzeitverhalten des Prüflings wurde nicht berücksichtigt.