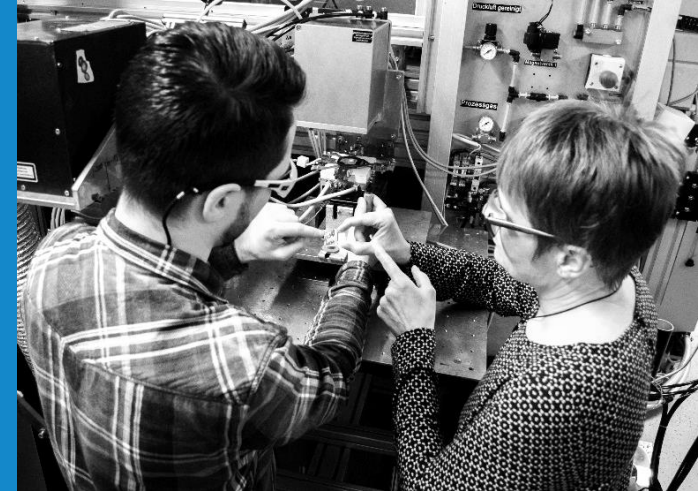


Günter-Köhler-Institut
für Fügetechnik und
Werkstoffprüfung

ifw Jena

„Handgeführtes Laserschweißen – Gefährdungen
und Schutzmaßnahmen:
Erfahrungsbericht aus der Schweißer-Ausbildung“

Simon Jahn, Robert Prowaznik, Martin
Schmitz, Johannes Lange



Warum ist handgeführtes Laserstrahlschweißen im Trend?

- **Kostenfrage:** seit Jahren signifikant fallende Preise haben seit 2022 die Systeme auf ein Niveau gebracht, dass eine Kaufentscheidung erleichtert
- Leichter zu lernen, **Technik gleicht Erfahrung aus** (Drahtvorschub, Strahlpendeln)
- **Schneller schweißen, weniger richten**

→ Fachkräftemangel entgegen wirken

Aber: es ist **keine Substitution** von Lichtbogenprozessen sondern eine Ergänzung

Handschweißlaser – bisheriges Verständnis



Handstück - "gun"/ "Laser-Brenner": kleiner und handlicher



Kleiner, aber mit Strahloszillation

"In addition, the hand welding head has been improved from more than 2 kg to around 700 g today."

Pendelbreite bis zu 7 mm quer zur Vorschubrichtung

Drahtzufuhr (u. a. für bessere Spaltüberbrückbarkeit)

Schweißen

Schweißen bisher
3D – dirty, dull, dangerous



handgeführtes Laserstrahlschweißen
3C – cool, clever, clean



Laserschutz – die Gefahr ist nicht sichtbar!



Emission

Laserstrahl

Exposition



GZS

Grenzwert zugänglicher Strahlung

Klassifizierung durch Hersteller

Laserklasse

EGW

Expositionsgrenzwert

Auge

Haut

Wellenlänge, Bestrahlungsdauer,
Strahlgeometrie, Betriebsart

Sicherheitseinrichtungen am System

1. Kontaktüberwachung (aufgesetzt am Werkstück)
 2. Signalisierung am Handstück "LASER ON"
 3. Weiteres drittes Element
 - Fußschalter
 - Plasmasensor
 - zusätzlicher Sensor/Schalter am Handstück
-
- Schlüsselschalter (nur für autorisierte Personen)
 - Laserschutzbereich (**interlock control circuit**)





Warnlampe

Laser-Info

Notfallbrille

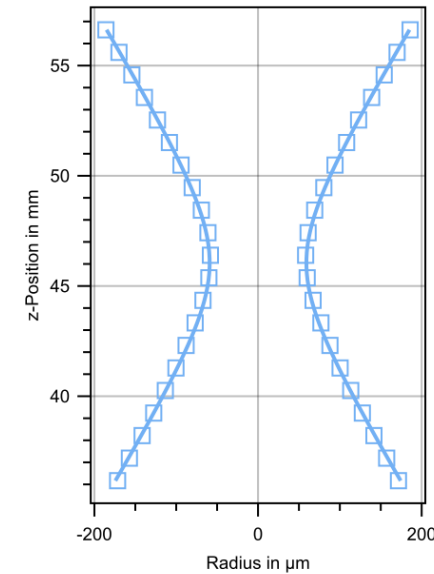


Laserstrahl - Eigenschaften

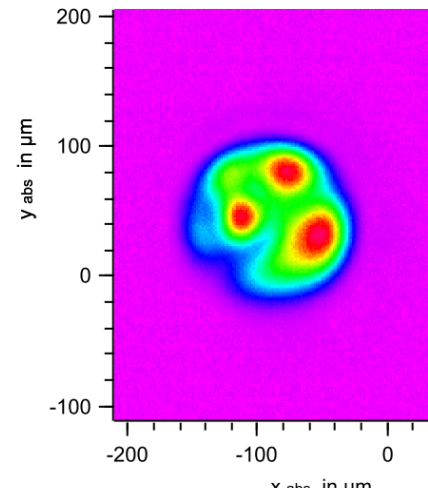
- **Laserleistung in kW**
- **Lasertyp:**
 - Faserlaser: Single- or Multi-mode
 - Diodenlaser
- Wellenlänge (“red” or “blue”)
- cw und/oder pulsed mode
- **min. Fokusbereich**
- **Leistungsdichte**
- **Divergenzwinkel**

Kaustikparameter

Schwerpunkt x bei z_0 in mm (Inv. Mom.)	-0,091
Schwerpunkt y bei z_0 in mm (Inv. Mom.)	0,044
z_0 in mm (Inv. Mom.)	46,216
r_0 in μm (Inv. Mom.)	61,677
k (Inv. Mom.)	0,33
M^2 (Inv. Mom.)	3,027
z_R in mm (Inv. Mom.)	3,689
SPP in mm*mrad (Inv. Mom.)	1,031
Divergenzwinkel θ in mrad (Inv. Mom.)	33,434

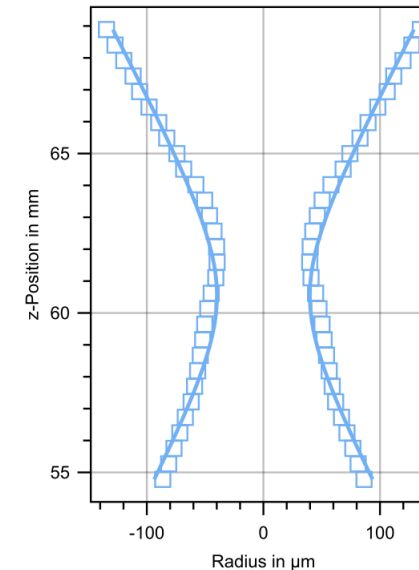


Intensitätsverteilung in der Fokusebene

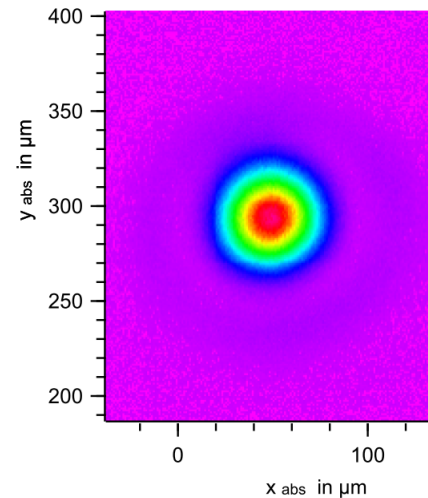


Kaustikparameter

Schwerpunkt x bei z_0 in mm (Inv. Mom.)	0,038
Schwerpunkt y bei z_0 in mm (Inv. Mom.)	0,284
z_0 in mm (Inv. Mom.)	60,626
r_0 in μm (Inv. Mom.)	41,298
k (Inv. Mom.)	0,579
M^2 (Inv. Mom.)	1,726
z_R in mm (Inv. Mom.)	2,901
SPP in mm*mrad (Inv. Mom.)	0,588
Divergenzwinkel θ in mrad (Inv. Mom.)	28,469



Intensitätsverteilung in der Fokusebene



Gefahren:

» Strahlung:

- › Laserstrahlung (typisch 1070 nm)
- › UV (vom Prozess)



- › Reflektion
- › Streuung

- › ungeeignete PSA, z. B. Material: UV-Schutz und Widerstand gegen Laserstrahlung



» Schweißrauch:

- › Rauchabsaugung
- › (Be-)Lüftungssysteme

	Durchschnittliche Exposition (300-700 nm)	Exposition Limit nach
Edelstahl	0,25 W/m ²	6,6 min
Titan	2,30 W/m ²	0,7 min
Baustahl	0,29 W/m ²	5,7 min

„UV-Strahlung bei der Handlasermaterialbearbeitung“ (DGUV-FP439)



Laser – persönliche Schutzausrüstung

Schutz für:

- › **Haut:** Kleidung und Handschuhe -> schweißgeeignet
- › **Gesicht:** Helm oder Faceshield

Augenschutz:

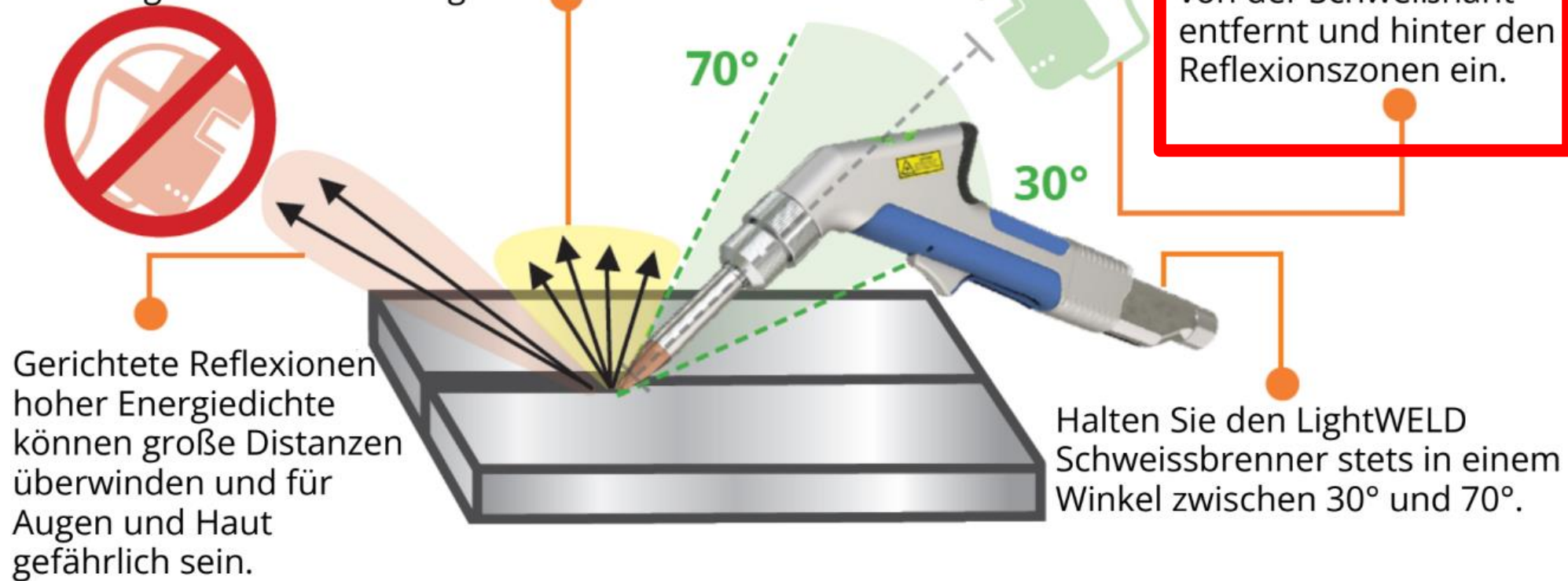
- » Verschiedene Konzepte:
 - › **Laserschutzbrille** -> nicht für längeren Einsatz geeignet (kein Gesichtsschutz)
 - › **Laserschutzbrille und Schweißhelm** -> Vergessen der Brille, Helmmaterial ungeeignet
 - › **Laserschweißhelm / Faceshield** -> nur empfohlen, wenn einzig mit Laser geschweißt wird
 - › **Hybridhelm** -> empfohlen wenn sowohl mit Lichtbogen als auch mit Laser geschweißt wird



Laser – Reflexionen und Streuung

Strahlung mit geringerer Leistungsdichte, die aus dem Prozessbereich gestreut wird, kann bestimmte Entfernungen zurücklegen. Innerhalb des Augensicherheitsabstands kann die gestreute Strahlung gefährlich für die Augen sein. Bei sehr kurzen Entfernungen kann die gestreute Strahlung auch für die Haut gefährlich sein.

Halten Sie stets eine Betrachtungsposition von zumindest 500 mm von der Schweißnaht entfernt und hinter den Reflexionszonen ein.



mit freundlicher Genehmigung von IPG Laser GmbH & Co. KG

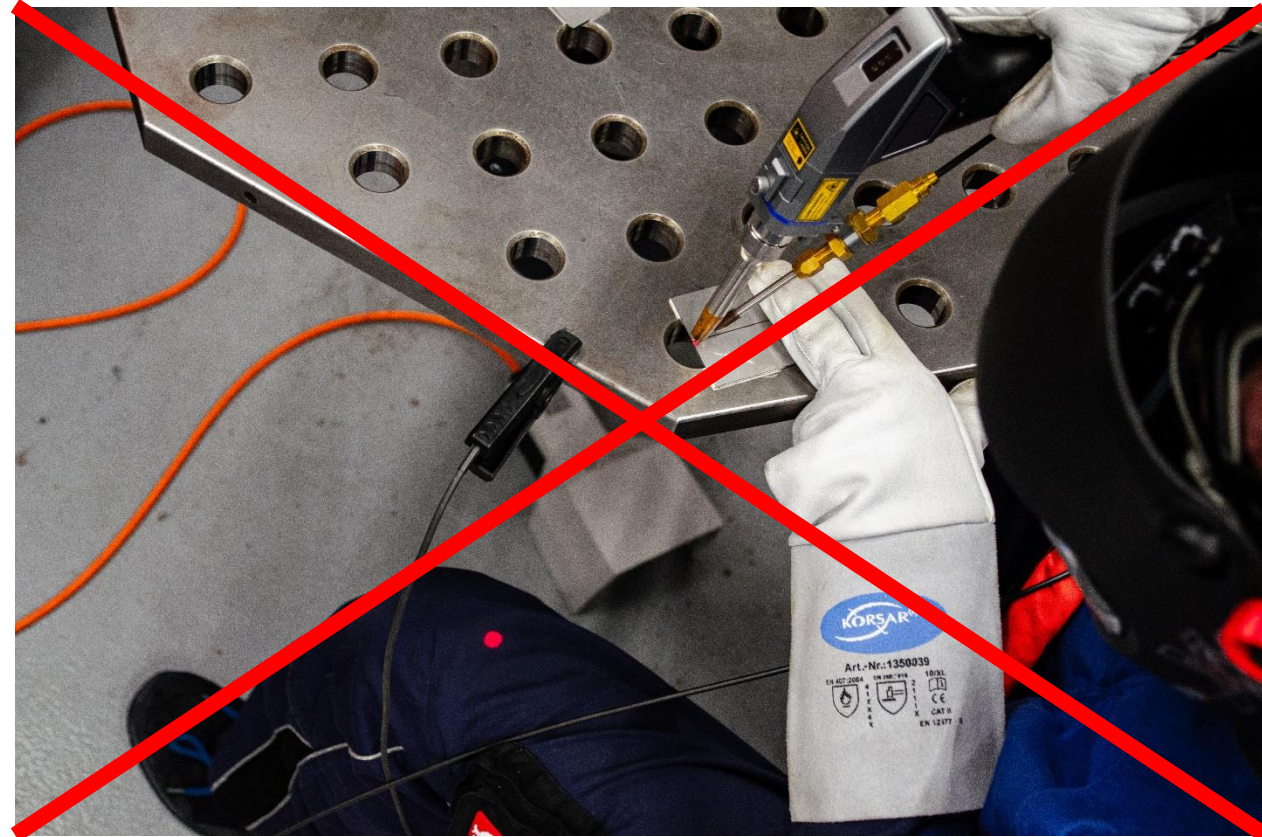
Anwendung



Anwendung – no go!



Anwendung – no go!



Anwendung – no go!



§229 StGB - Fahrlässige Körperverletzung

Wer durch Fahrlässigkeit die Körperverletzung einer anderen Person verursacht, wird mit Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

Checkliste der BG ETEM



Checkliste

Laserstrahlung

Die Checkliste zum Einsatz von Laserstrahlung gemäß der Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OStrV) richtet sich vor allem an den Laserschutzbeauftragten, die Sicherheitsfachkraft, den Fachkundigen und die Führungskräfte. Die Erläuterungen beziehen sich vorwiegend auf die Anwendung von Materialbearbeitungsanlagen.

Nr.	Frage	Bemerkung
1	Sind die Lasereinrichtung und die Tätigkeiten ausreichend beschrieben? • Laserklasse (Normalbetrieb, Service, Wartung, Instandhaltung); Beschilderung • Laserart (CO₂, Nd:YAG, Faserlaser, Diodenlaser) • Strahlparameter (z. B. Leistung, Wellenlängenbereich, Leistungsdichte, Energiedichte, Impulsdauer, Impulswiederholfrequenz)	
2	Ist ein Laserschutzbeauftragter bestellt? • Schriftliche Bestellung nach OStrV für Klasse 1C, 3R, 3B und 4 erforderlich, ggf. Weiterbildung anbieten bzw. mind. alle 5 Jahre einplanen	
3	Sind die direkten Gefährdungen für Anwender und Dritte beschrieben? • Direkter Strahl (Auge und Haut) • Reflektierter/gestreuter Strahl (Auge und Haut)	
4	Sind die indirekten Gefährdungen für Anwender und Dritte beschrieben? • Indirekte Gefährdungen, z. B. entstehende Gefahrstoffe, Lärm, inkohärente optische Strahlung, ionisierende Strahlung, vorübergehende Blendung, Brand- und Explosionsgefahr	
5	Sind alle verantwortlichen Personen mit Namen, Telefonnummer usw. aufgeführt? • Unternehmer, Vorgesetzter, Fachkundiger gemäß OStrV, Betriebsarzt	
6	Wurde die arbeitsmedizinische Vorsorge unter Berücksichtigung der möglichen oder tatsächlichen Expositionsgrenzwerteüberschreitung für inkohärente optische Strahlung geregelt?	
7	Wurde die Gefährdungsbeurteilung bei UV-Strahlung (UV-Laser oder Laser mit inkohärenter Pump- oder Sekundär-UV-Strahlung) für 30 Jahre (seit 2010 lückenlos) gemäß TROS IOS dokumentiert?	

Seite 1 von 2
Bezahl.-Nr. 5217

Nr.	Frage
1	Sind die Lasereinrichtung und die Tätigkeiten ausreichend beschrieben? • Laserklasse (Normalbetrieb, Service, Wartung, Instandhaltung); Beschilderung • Laserart (CO₂, Nd:YAG, Faserlaser, Diodenlaser) • Strahlparameter (z. B. Leistung, Wellenlängenbereich, Leistungsdichte, Energiedichte, Impulsdauer, Impulswiederholfrequenz)
2	Ist ein Laserschutzbeauftragter bestellt? • Schriftliche Bestellung nach OStrV für Klasse 1C, 3R, 3B und 4 erforderlich, ggf. Weiterbildung anbieten bzw. mind. alle 5 Jahre einplanen
3	Sind die direkten Gefährdungen für Anwender und Dritte beschrieben? • Direkter Strahl (Auge und Haut) • Reflektierter/gestreuter Strahl (Auge und Haut)
4	Sind die indirekten Gefährdungen für Anwender und Dritte beschrieben? • Indirekte Gefährdungen, z. B. entstehende Gefahrstoffe, Lärm, inkohärente optische Strahlung, ionisierende Strahlung, vorübergehende Blendung, Brand- und Explosionsgefahr
5	Sind alle verantwortlichen Personen mit Namen, Telefonnummer usw. aufgeführt? • Unternehmer, Vorgesetzter, Fachkundiger gemäß OStrV, Betriebsarzt
6	Wurde die arbeitsmedizinische Vorsorge unter Berücksichtigung der möglichen oder tatsächlichen Expositionsgrenzwerteüberschreitung für inkohärente optische Strahlung geregelt?
7	Wurde die Gefährdungsbeurteilung bei UV-Strahlung (UV-Laser oder Laser mit inkohärenter Pump- oder Sekundär-UV-Strahlung) für 30 Jahre (seit 2010 lückenlos) gemäß TROS IOS dokumentiert?

Nr.	Frage	Bemerkung
8	Sind die wichtigsten Informationsquellen angegeben? • Angewendete Vorschriften, z. B. OStrV, TROS Laserstrahlung, DIN EN 60825-1,-2,-4, DIN ISO 11553-1/-2, DGUV Information 203-042 „Auswahl und Benutzung von Laser-Schutz- und Justierbrillen“, DGUV Information 203-036 „Laser-Einrichtungen für Show- oder Projektionsanwendungen“, DGUV Grundsatz 303-005 „Ausbildung und Fortbildung von Laserschutzbeauftragten sowie Fortbildung von fachkundigen Personen zur Durchführung der Gefährdungsbeurteilung nach OStrV bei Laseranwendungen“, DGUV Information 203-039 „Umgang mit Lichtwellenleiter-Kommunikations-Systemen (LWKS)“, Handlungshilfe (Land Hamburg M16, M14 Laserstrahlung – Eine Handlungshilfe für die Gefährdungsbeurteilung)	
9	Wurden ausreichende, genau spezifizierte Schutzmaßnahmen (STOP-Prinzip) festgelegt und getroffen? • Möglichkeit der Substitution (Muss dieser Laser mit dieser Leistung überhaupt eingesetzt werden?) • Einsatz der Lasereinrichtung nach Normen (Klassifikation nach DIN EN 60825-1), Einhausung gemäß DIN EN 60825-4, Laser zur Materialbearbeitung entsprechend DIN ISO 11553-1; 11553-2 bei handgeführten Lasern (Achtung: Bei einer Klassifizierung gemäß IEC bzw. DIN EN 60825-1: 2015 kann es auch bei Klasse 1 oder 1C zu einer Expositionsgrenzwert-Überschreitung kommen!) • Angabe des Laserbereichs und des Augensicherheitsabstandes nach TROS Laserstrahlung (+Datum) • Festlegung der Schutzmaßnahmen (z. B. Laser-Schutzbrille, Laser-Justierbrille, Abschirmungen, Kennzeichnung, Emmissionswarneinrichtung)	
10	Ist die Unterweisung durchgeführt und dokumentiert? • Namen des Beschäftigten, Vorgesetzten, Durchführenden, Datum, Unterschrift, Themen und Inhalt der Unterweisung (arbeitsmedizinische Beratung)	

LEHRGANG – Schweißerausbildung Laser-Handschweißen (Prüfung nach DIN EN ISO 9606-1)



INHALTE

- Grundlagen der Lasermaterialbearbeitung
- **Laserschutzmaßnahmen**
- **Laserstrahlschweißen – Material, Schweißbeignung, Wechselwirkung und Verfahren**
- Einführung in die Anlagentechnik für das handgeführte Laserstrahlschweißen
- Praktische Übungen an CrNi-Stahl von Stumpfstößen bis zu Kehlnähten
- Praktische und schriftliche Schweißerprüfung nach DIN EN ISO 9606-1

TEILNAHMENACHWEIS

Der 3-tägige Lehrgang endet mit einer Schweißerprüfung nach DIN EN ISO 9606-1. Prüfungsbescheinigung für das Schweißen von CrNi-Stahl nach bestandener Schweißerprüfung.

ifw Jena

Eigene Tests mit Studenten:

- 1 Woche WIG-Training
- 0,5 Tage handgeführtes Laserschweißen

Sehr erfahrene WIG-Schweißer sind nicht immer die besten „Laserschweißer“:

- Vorbehalte
- muss schneller Schweißen
- Draht gibt Geschwindigkeit vor
- Prozess: Sehen, Hören, Fühlen, Riechen und Schmecken ist jeweils anders im Vergleich zu WIG

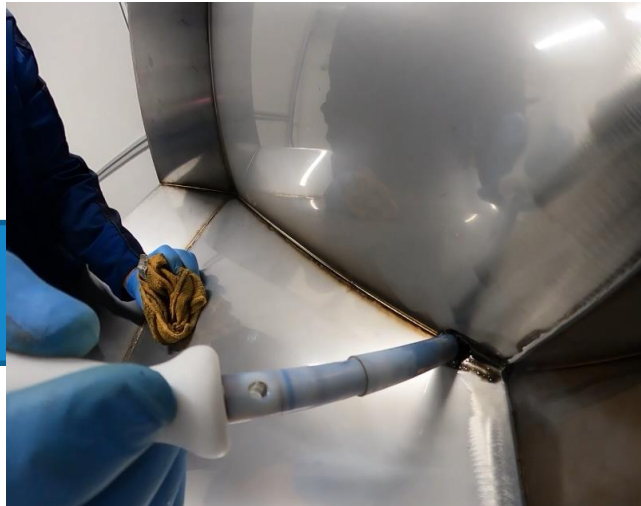
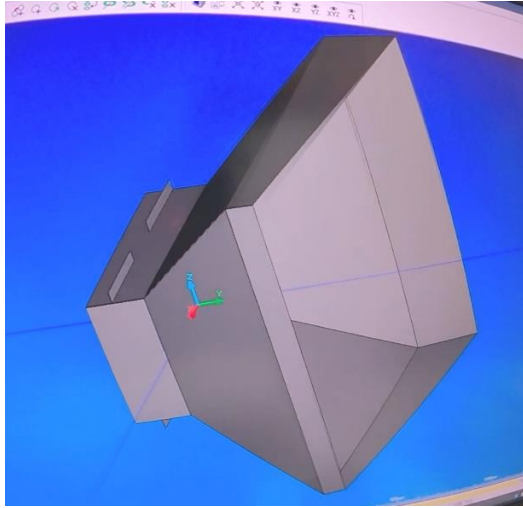


Anpassung von Zeichnungen (Vollanschluß vs. a-Maß -> Doppeldraht)

Anpassungen von Normen (Umsetzen des tiefen Einbrands nicht nur mit automatisierten und mechanisierten Systemen)



„Weintrichter“

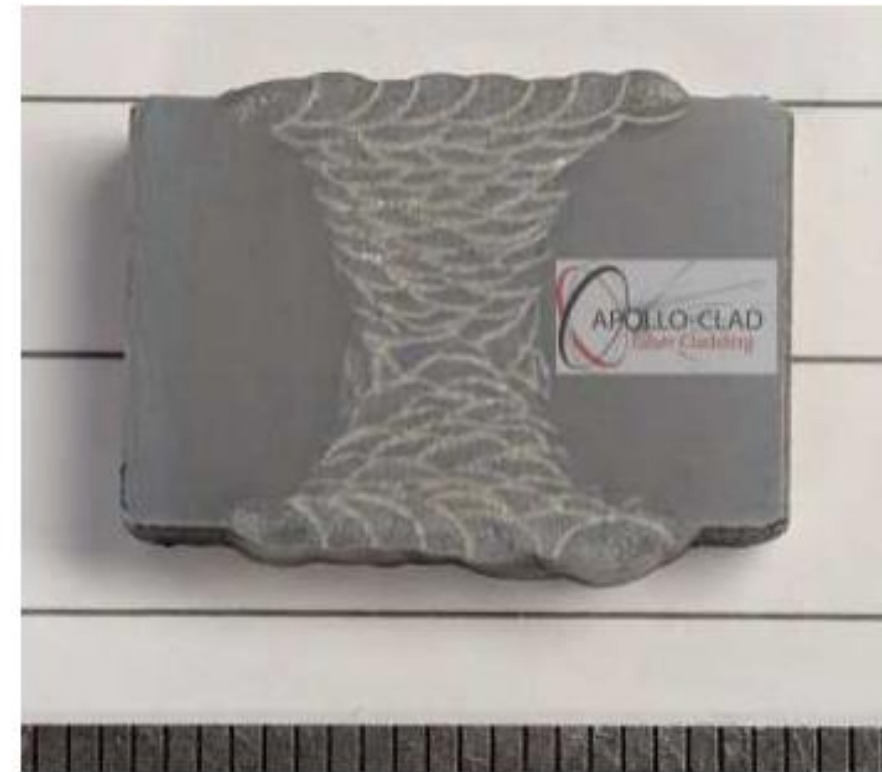


Potential – Überkopfschweißen



Apollo-Clad Laser Cladding
Apollo Machine & Welding

Schweißen von 12,5 mm Stahlblechen



Apollo-Clad Laser Cladding
Apollo Machine & Welding

Handgeführtes Laserstrahlschweißen @ifw Jena

- **seit 1996:** Handlaserschweißen mit feststehender Optik (aktuell 2 Systeme in Betrieb)
- **2020:** Beginn der Forschung zum handgeführten Laserstrahlschweißen
- **2023:** Ausbildungsbereich mit 3 Kabinen zum Laserschweißen und Start Schweißerprüfung nach ISO 9606

2021

Laser-Handsweißgerät 2000W
2,0 kW, wassergekühlt
multi-mode, d = 120 µm
Strahlpendeln: 2-achsig
Drahtförderer



2023

BLT EasyLaserWelder 1500
1,5 kW, luftgekühlt
multi-mode, d = 150 µm
Strahlpendeln: 1-achsig
Drahtförderer
Fußschalter



2024

Lightweld XR
1,5 kW, luftgekühlt
single-mode, d = 50 µm
Strahlpendeln: 1-achsig
Drahtförderer
Plasmasensor



2024

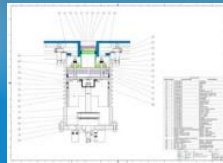
Lightweld XR
2,0 kW, luftgekühlt
single-mode
Strahlpendeln: 1-achsig
Doppel-Drahtförderer
Plasmasensor

5500 m²
Personen: 70+
Umsatz 7,5 Mio. €
gemeinnützig

Simulation,
FEM/CAD

Lasermaterialbearbeitung

Additive Fertigung

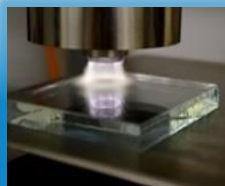
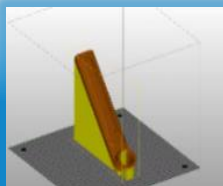
Löten und Schweißen	Diffusions-schweißen	AM PBF-LB/MEX	UKP-Laser	Klebtechnik
				

Akkreditiertes
Werkstoff-
prüflabor
(ISO 17025)

DVS Bildungs-
einrichtung



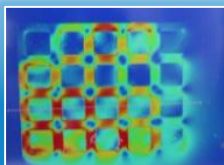
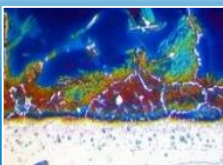
Glas / Keramik



Tochter-
unternehmen



Werkstoffprüfung



Zusammenfassung – Vorteile und Nachteile

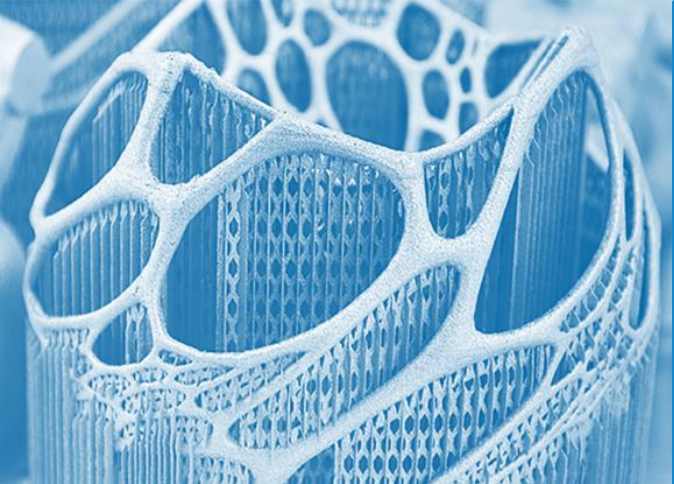
- + Akzeptable Schweißergebnisse, auch bei wenig Erfahrung / Können / Handfertigkeit (u.a.: Drahtvorschub gibt Geschwindigkeit) im Vergleich zu anderen Schweißverfahren
- + Schneller Schweißen -> höhere Produktivität
- + Geringerer Verzug -> höhere Produktivität
- Nicht für alle Geometrien / Abschnitte / Nahtanforderungen geeignet
- Falls noch kein Laser im Unternehmen vorhanden → Lasersicherheit (Schutzbeauftragter, Schutzausrüstung, etc.)

Wenn das Gefährdungspotential beachtet wird, kann das handgeführte Laserstrahlschweißen sicher eingesetzt werden und wird seinen Einsatz vermehrt finden!



Günter-Köhler-Institut
für Fügetechnik und
Werkstoffprüfung

ifw Jena



WISSENSCHAFT VERBINDUNG



Ernst-Ruska-Ring 3 | 07745 Jena

Tel: +49 3641 204-100

info@ifw-jena.de | www.ifw-jena.de

/company/ifw-jena | /ifwJena/