

DER LASER ALS MULTIFUNKTIONALES WERKZEUG FÜR DIE PRODUKTION VON MORGEN

Trends und Potenziale

Dominic Bartels

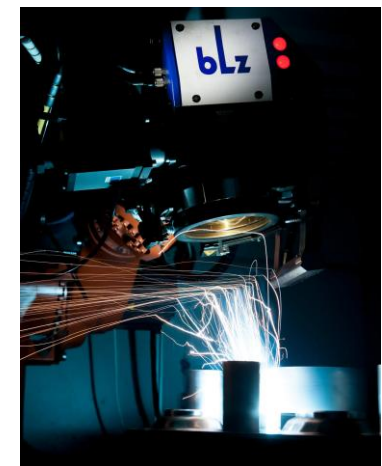
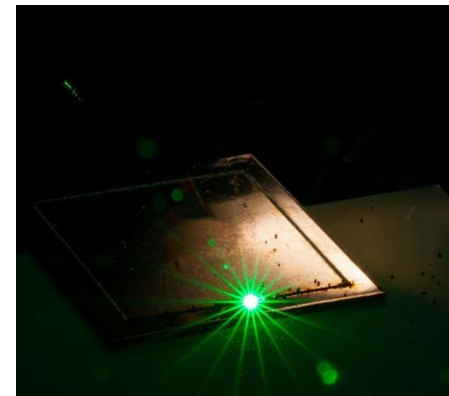
IHK-AnwenderClub Neue Materialien | Prozesstechnik
Zukunftstrends in der Lasertechnik und industriellen
Lasermanwendung



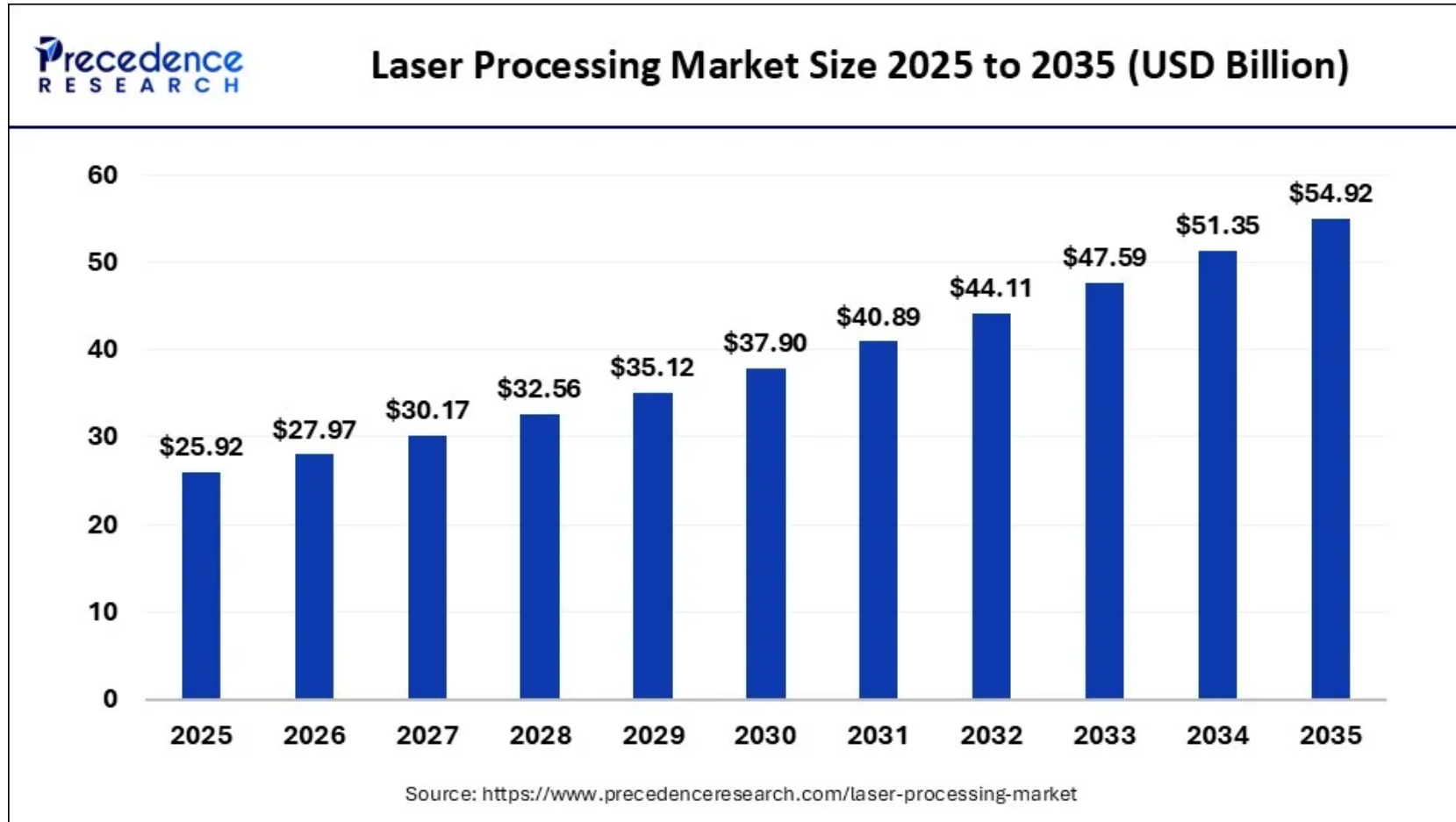
KURZVORSTELLUNG BAYERISCHES LASERZENTRUM

- Gründung als gemeinnützige Forschungseinrichtung in 1993
- Ca. 20 Mitarbeitende
- Schwerpunktthemen
 - Prozessentwicklung für z. B. Laserstrahlschweißen, -löten, Oberflächenstrukturierung & Additive Fertigung
 - Schulungen und Beratungen rund um Themen der Lasermaterialbearbeitung
 - Aus- und Fortbildung im Bereich Laserschutz und -sicherheit

Ziel: Wissenstransfer aus der Grundlagenforschung in die Industrie



MARKTENTWICKLUNG IM BEREICH LASERTECHNIK



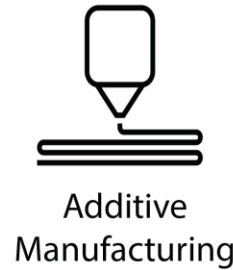
Quelle: precedence research

Wachsende Bedeutung des Werkzeugs Laser

MARKTENTWICKLUNG IM BEREICH LASERTECHNIK

LASER APPLICATIONS

Lasers can be applied in the following processes



NORTH
SLOPE
CHILLERS

Which benefit many different industries



Quelle: north slope chillers

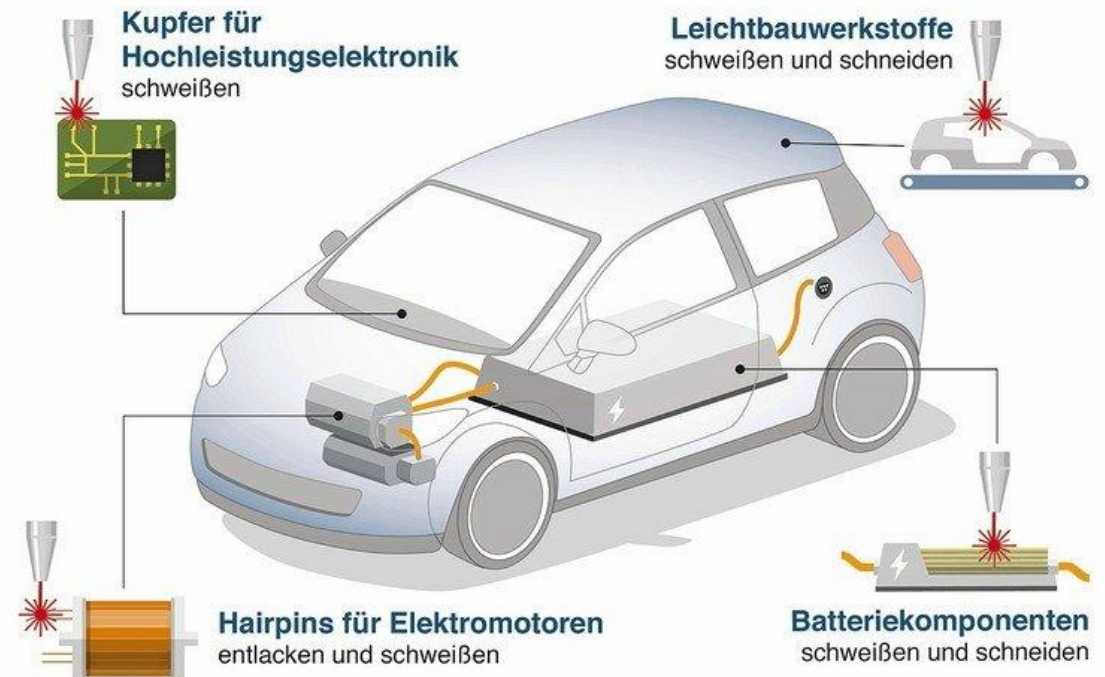
Einsatz des Lasers in (nahezu) allen Industrien

MARKTENTWICKLUNG IM BEREICH LASERTECHNIK

- Wegfall bestehender Komponenten im Automobil (Einspritzdüse, Getriebe, etc.)
- Neue Komponenten im elektrifizierten Automobil erfordern neue Fertigungstechnologien
 - Reinigen
 - Trennen
 - Fügen
 - Sensorik
- Weiterer Drang zur Funktionsintegration und Miniaturisierung

Wie Lasertechnik Elektromobilität ermöglicht

Hochpräzise Lasertechnik ermöglicht die Massenproduktion von Elektroautos



Quelle: TRUMPF

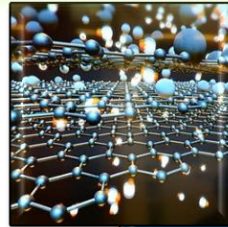
Zunehmende Bedeutung des Werkzeugs Laser in der Elektromobilität

AKTUELLE TRENDS IN DER LASERTECHNIK



Sensorik & KI

- Entwicklung und Implementierung von Inline-Sensorik
- Optimierung der Datenauswertung
- Maschinelles Lernen für verbesserte Dateninterpretation



Prozesstechnik & Werkstoffe

- Schweißen / Additive Fertigung neuer Werkstoffe
- Miniaturisierung der Strukturen
- Strahlformung für Prozessstabilität



Automatisierung

- Automatisierter Datenaustausch
- Autonome Prozesse und Fertigungslinien
- Parallelisierung von Prozessen



(Unweigerliche) Verknüpfung dieser Trends für effiziente Produktion von morgen

NEUE WERKSTOFFE & PROZESSTECHNIK
ADDITIVE FERTIGUNG

LASERPULVERAUFTRAGSCHWEIßEN - NEUE WERKSTOFFE

Forderungen nach neuen Legierungen für Fusionsreaktoren, Formgedächtniswerkstoffe, etc. → Vielzahl an unterschiedlichen Anwendungen

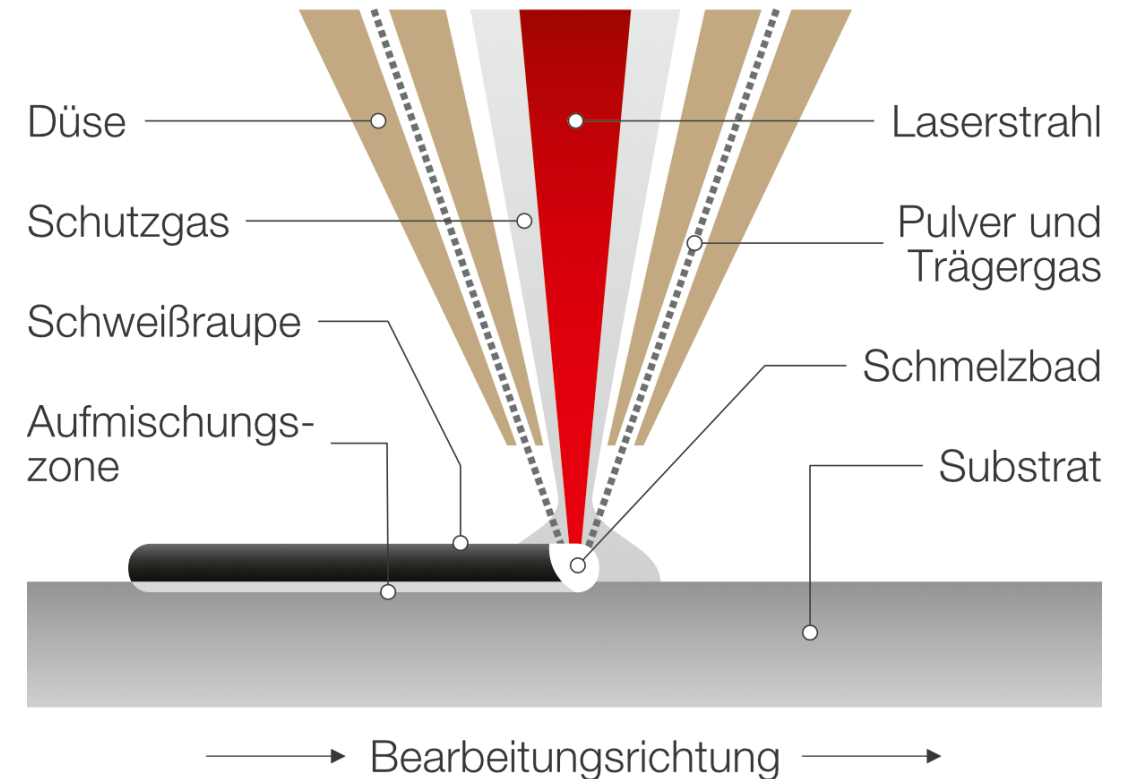
Antwort: Laserbasierte Additive Fertigung mit Elementarpulvern zum Screening von neuen Werkstoffen



Quelle: Laudert

Ta-Mo-Ti-Al-Cr-W

Anwendung: Einsatztemperaturen > 1.400 °C



Quelle: ALOtec Dresden GmbH

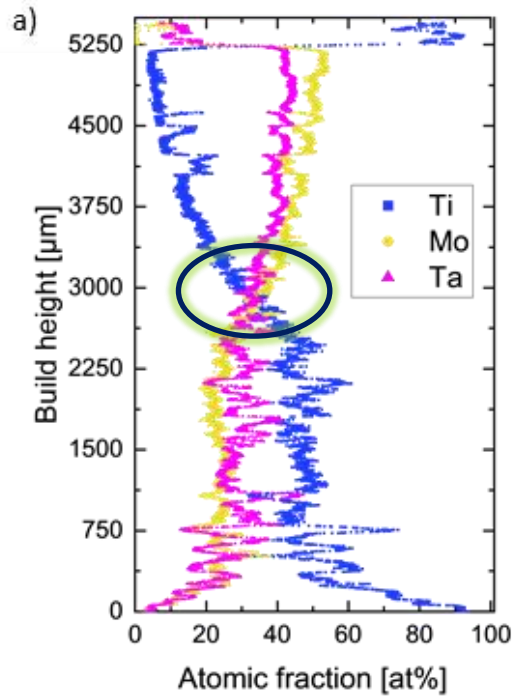
NEUE WERKSTOFFE FÜR HOCHTEMPERATURANWENDUNGEN

Doch wo liegt die Herausforderung? → Was passiert, wenn höchste Temperaturen und Oxidationsbeständigkeit gefordert sind?

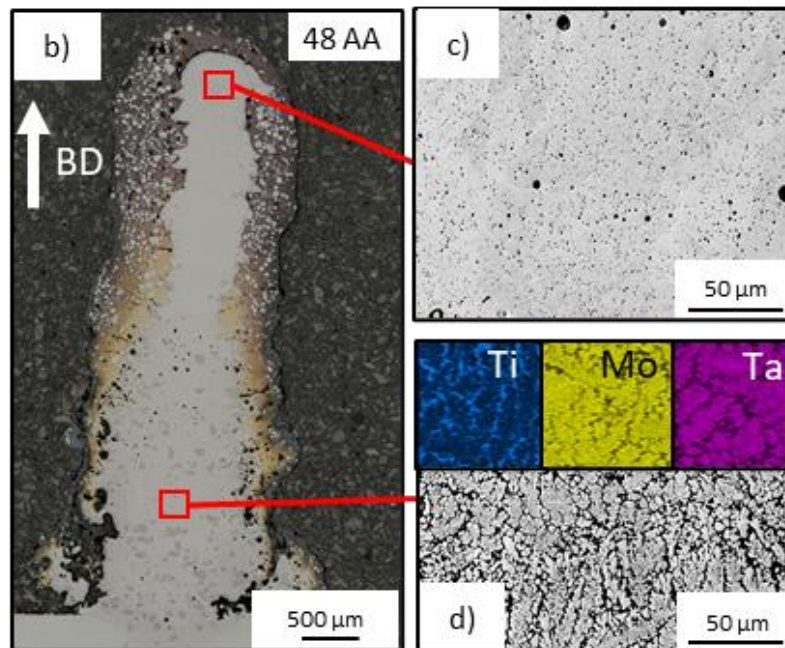
Konflikt zwischen Schmelz- und Verdampfungstemperatur

Umgebungsatmosphäre

Verdampfung nimmt zu →

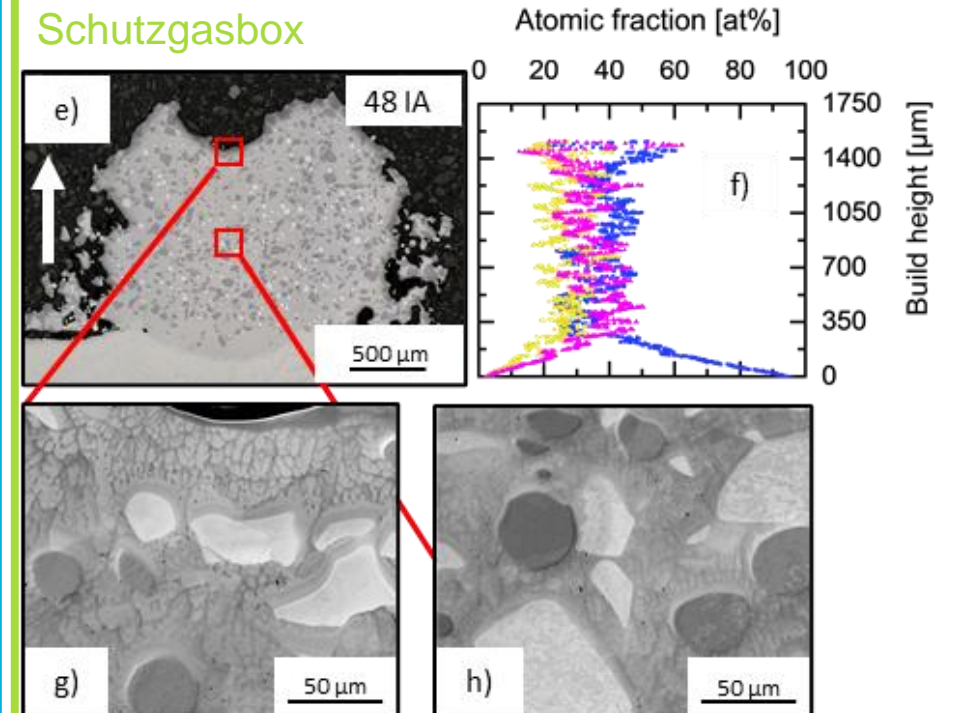


Aufgeschmolzene Partikel



Nicht-geschmolzene Partikel

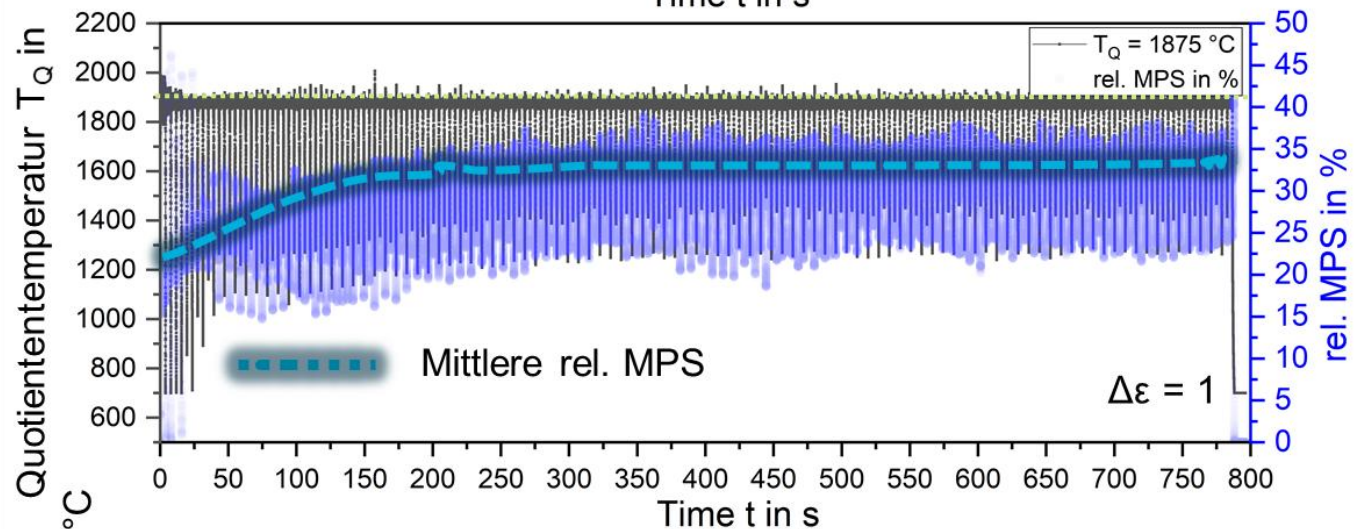
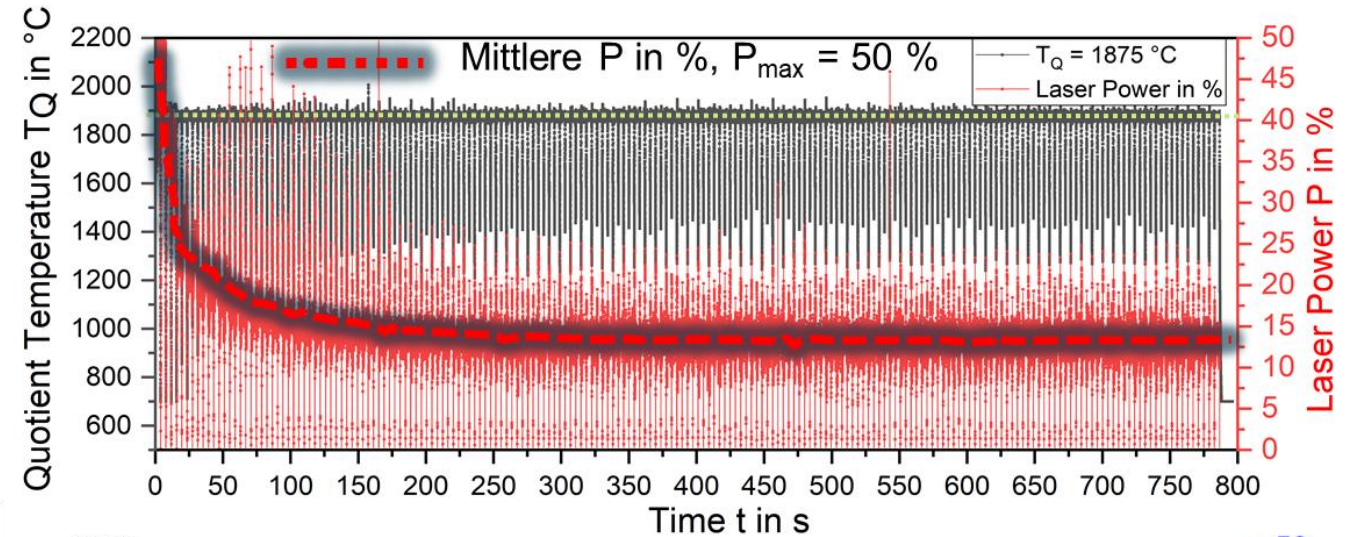
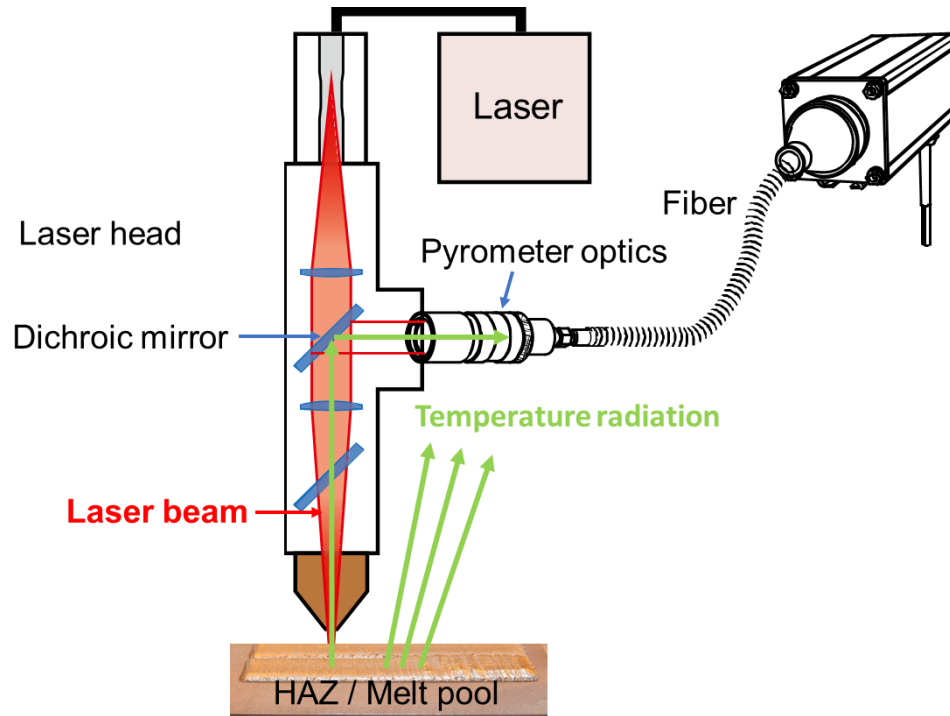
Schutzgasbox



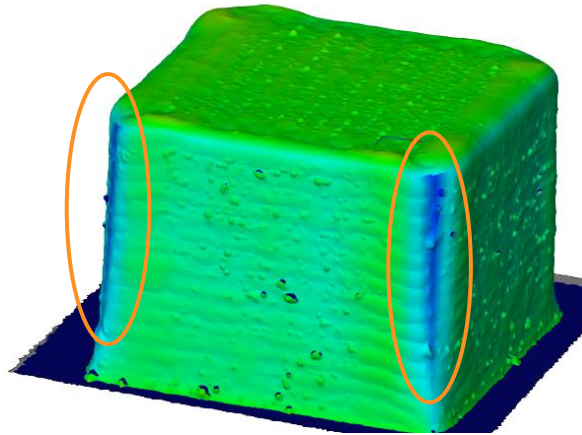
TEMPERATURBASIERTE LEISTUNGSREGELUNG

Vorgehen

- Koaxialintegriertes Q-Pyrometer
- Erfassung der Schmelzbadtemperatur
- Dynamische Regelung der Laserleistung



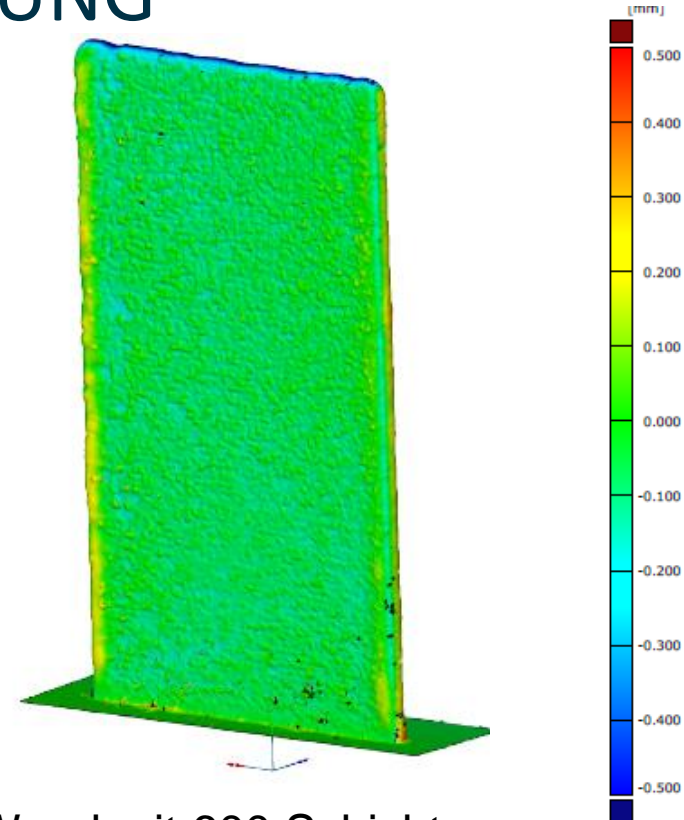
TEMPERATURBASIERTE LEISTUNGSREGELUNG



Würfel mit 30 Schichten
Sollwert: 14,5 x 14,5 x 9.9 mm
Istwert: 14,45 x 14,33 x 10.03 mm



Endkonturnahe Fertigung von
unterschiedlichen Geometrien möglich



Wand mit 600 Schichten
Sollwert: 31,5 x 1,5 x 120,0 mm
Istwert: 31,7 x 1,6 x 120,9 mm

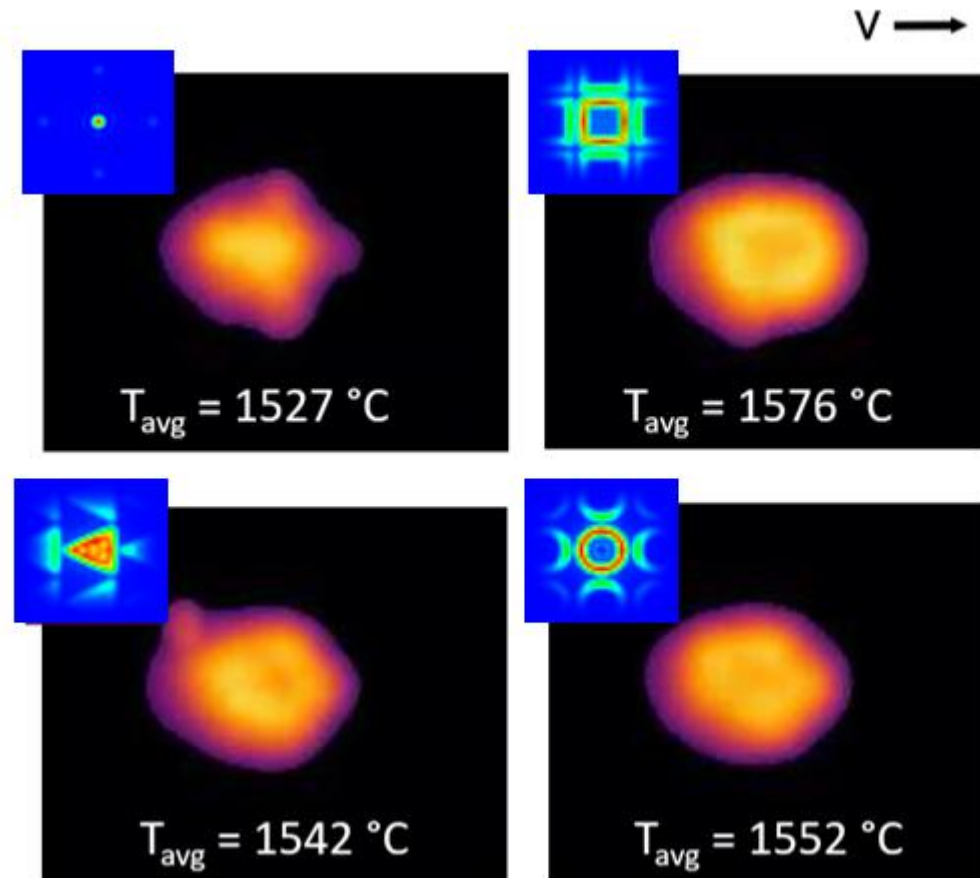
Aber: Übertrag auf neue Werkstoffe, unterschiedliche Geometrien, etc. notwendig → händische Prozesse... oder KI

EINFLUSS VON STRAHLFORMUNG



Einsatz von Strahlformung zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit

Einfluss von Strahlformung



Herausforderung: Wie messe ich bei definierten Einstellungen richtig?

- Bei variablen Schmelzbadgrößen
 - Unterschiedliche Signalstärke
 - Verschiedene Temperaturen
- Einfluss der Intensitätsverteilung auf lokale Temperaturentwicklung vernachlässigt
- Lösung? Ausnutzung der Korrelationen zwischen Schmelzbadtemperatur und Signalstärke mittels KI
 - Weitere Untersuchungen notwendig

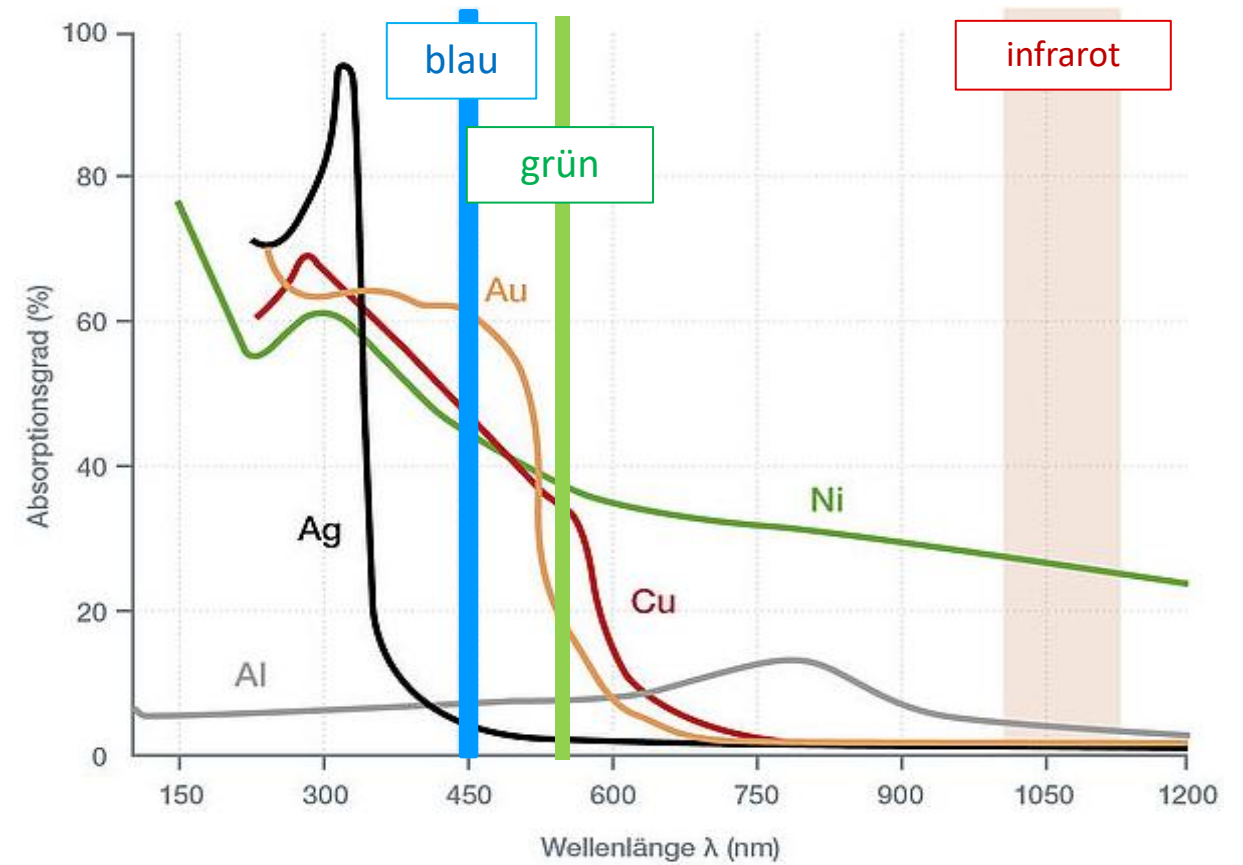
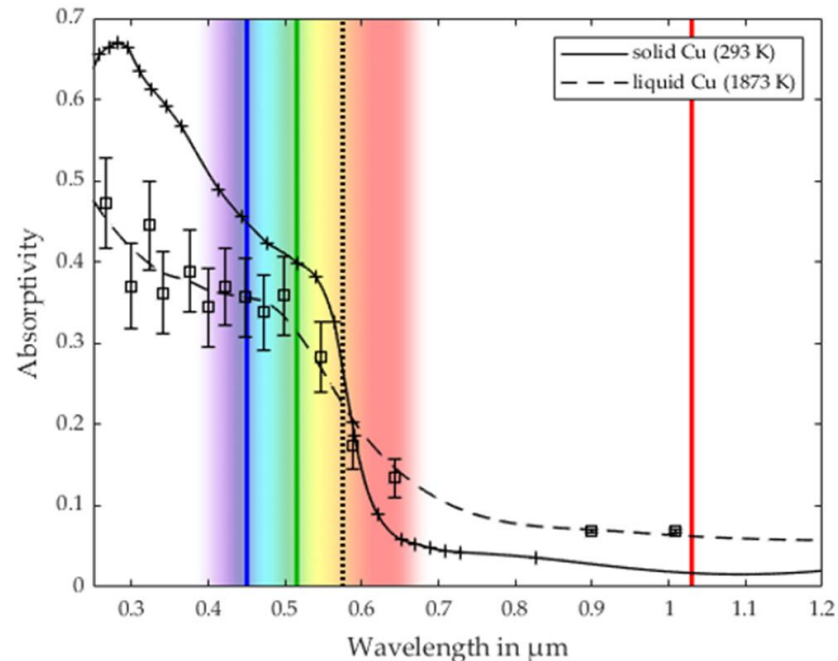
Signifikanter Einfluss der Strahlformung auf die (gemessene) Temperaturentwicklung

NEUE WERKSTOFFE & PROZESSTECHNIK SCHWEIßEN VON KUPFER

LASER-ABSORPTION

Laserstrahlschweißen mit sichtbarer Laserstrahlung ist vorteilhaft bei hochreflektierenden Metallen wie Kupfer, Gold, (Aluminium), ...

- Höhere Absorption bei Raumtemperatur
- Geringere und inverse Absorptionsdifferenz zwischen fester und flüssiger Phase



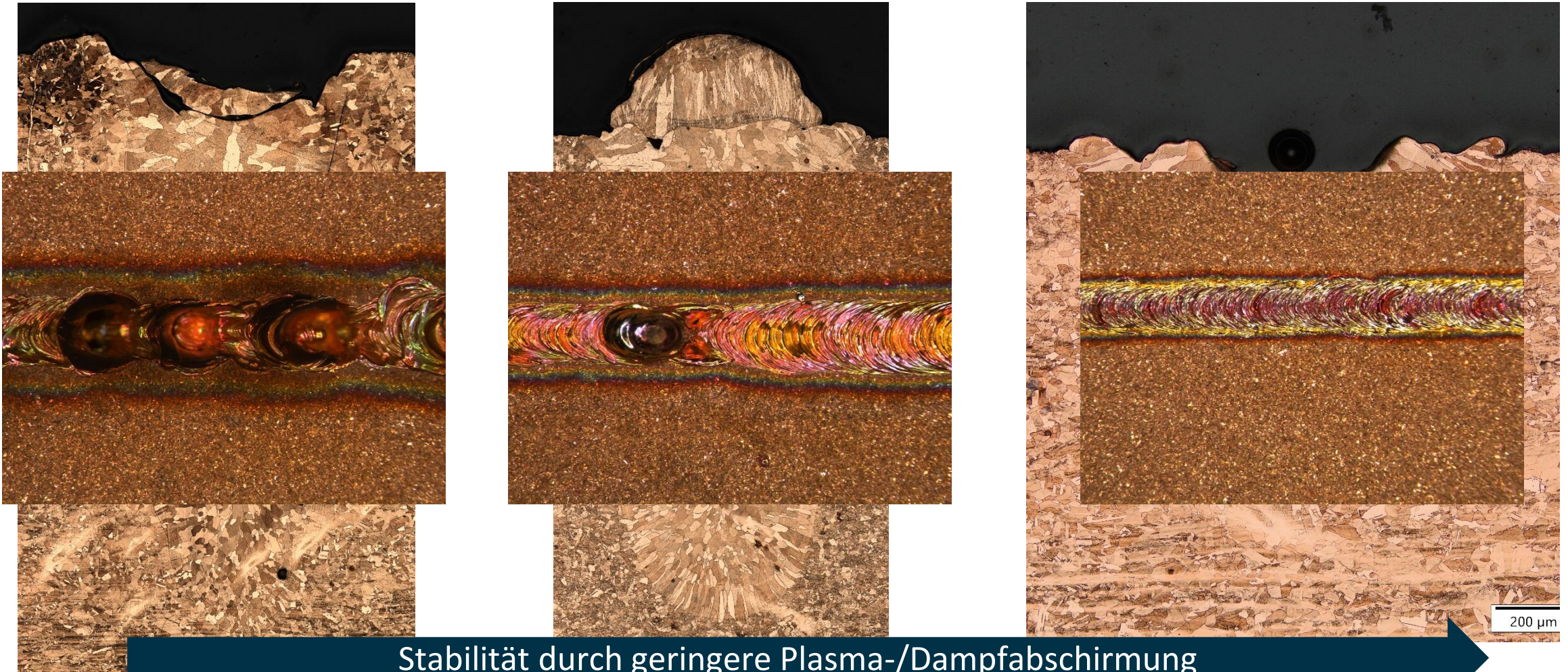
SCHWEIßEN VON KUPFER MIT INFRAROTER LASERSTRAHLUNG

6,0 kW, 50 mm/s

6,0 kW, 100 mm/s

6,0 kW, 200 mm/s

SANDGESTRAHLT

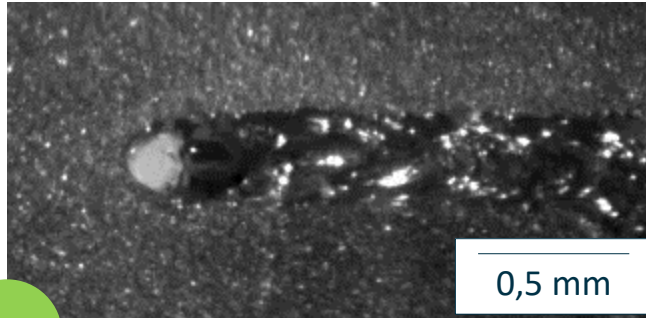


Stabilität durch geringere Plasma-/Dampfabschirmung

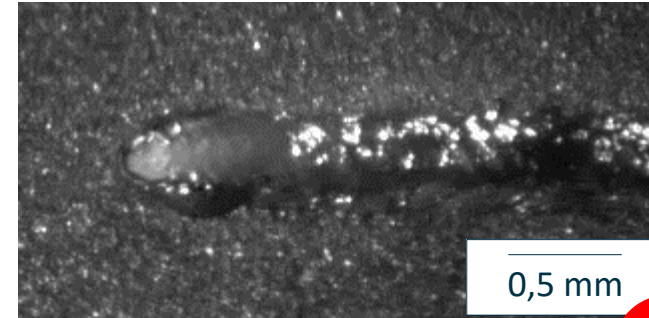
GRÜN VS. IR – HG AUFNAHMEN UND QUERSCHLIFFE

$\lambda = 515 \text{ nm}$,
 $P_L = 2,5 \text{ kW}$,
 $v = 300 \text{ mm/s}$,
 $d_f = 200 \mu\text{m}$

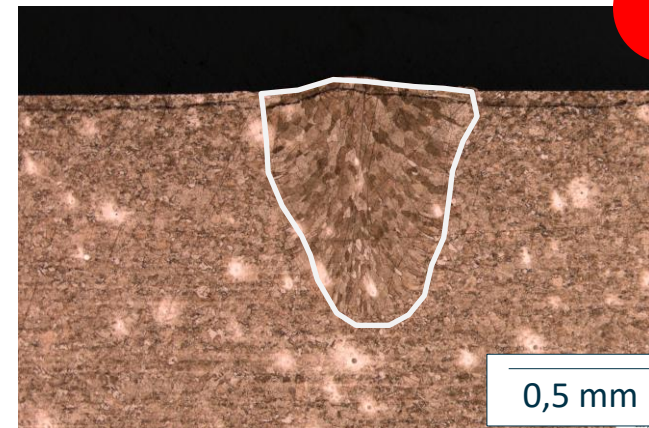
Video



Video

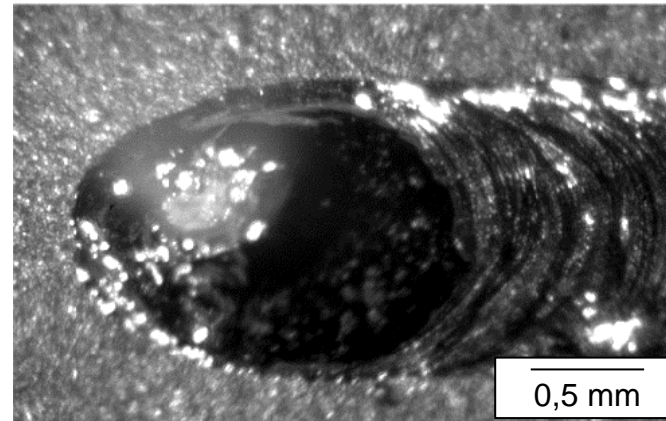
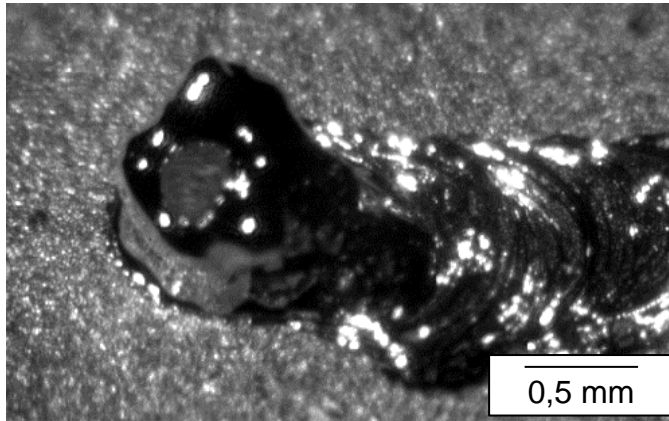


$\lambda = 1030 \text{ nm}$,
 $P_L = 3 \text{ kW}$,
 $v = 300 \text{ mm/s}$,
 $d_f = 200 \mu\text{m}$



Möglichkeit zur Prozessstabilisierung durch
Verwendung kurzweiliger Laserstrahlung

LASERSTRAHLSCHWEIßEN VON KUPFER MIT STRAHLFORMUNG



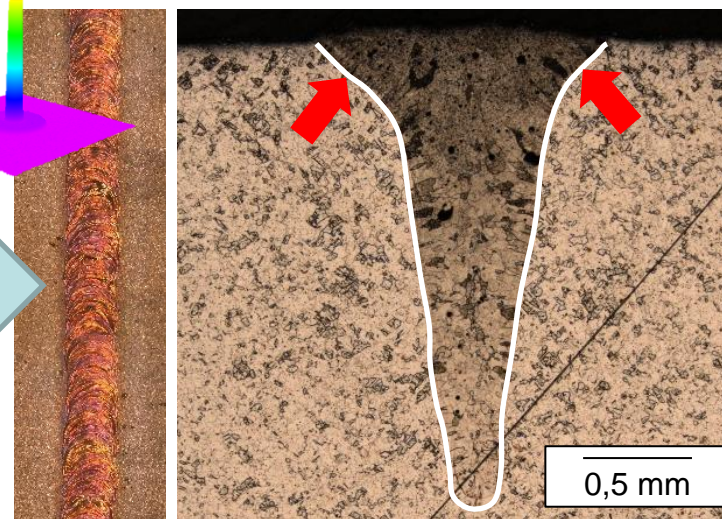
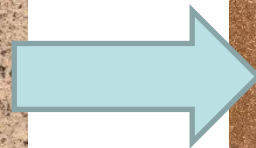
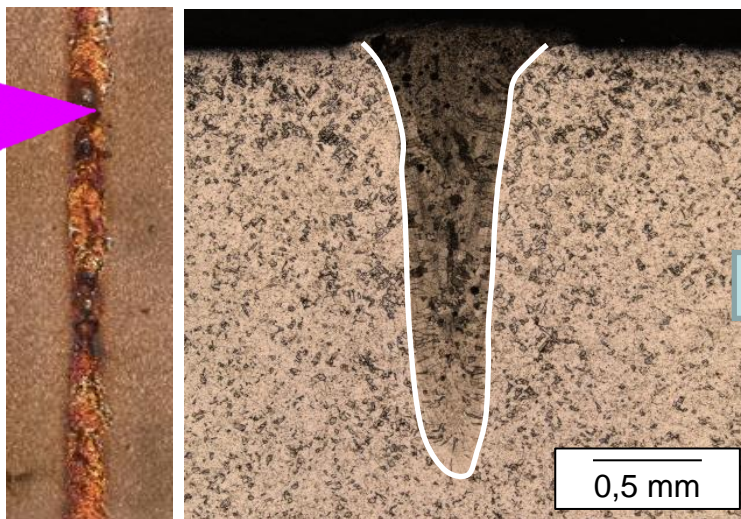
Prozessparameter:

$\lambda = 515 \text{ nm}$, $d_F = 150 \mu\text{m}$ (BSG)

$v = 4 \text{ m/min}$

Material: Cu-ETP, $t = 3 \text{ mm}$, Gas: N₂

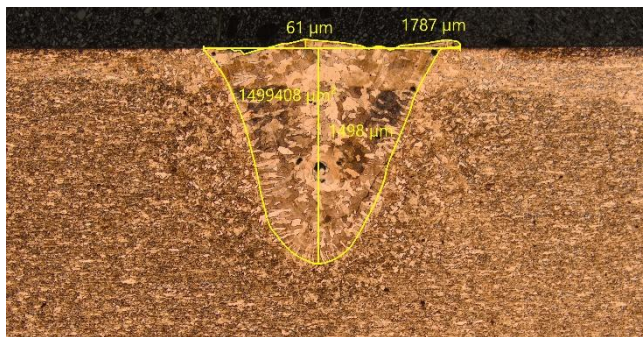
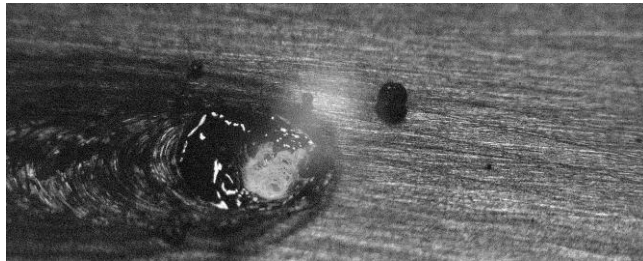
$f = 50 \text{ kHz}$; $\lambda_B = 808 \text{ nm}$



Weitere
Prozessstabilisierung
durch Strahlformung
(Gasentweichung,
Dampfdrücke, etc.)

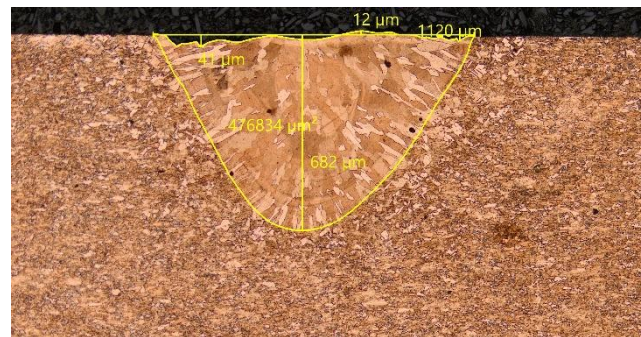
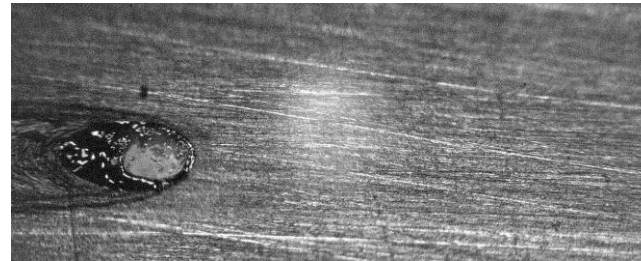
SCHWEIßEN VON KUPFER MIT BLAUER LASERSTRAHLUNG

4 kW, 50 mm/s



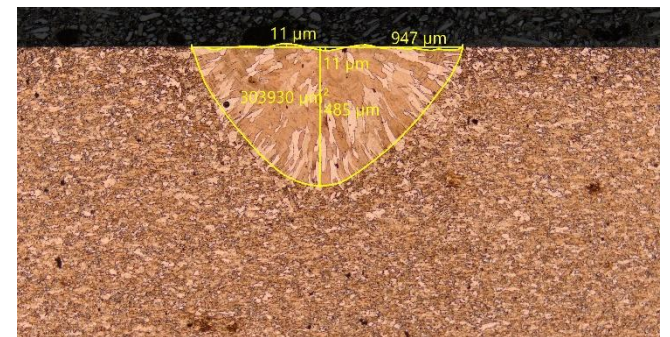
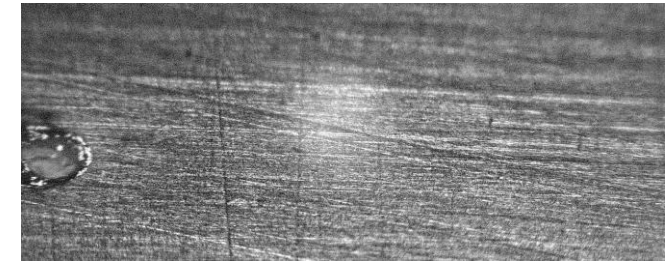
Tiefe \approx 1,6 mm
Breite \approx 1,6 mm
Aspect Ratio \approx 1

4 kW, 150 mm/s



Tiefe \approx 0,85 mm
Breite \approx 1,2 mm
Aspect Ratio \approx 0,7

4 kW, 250 mm/s



Tiefe \approx 0,4 mm
Breite \approx 1 mm
Aspect Ratio \approx 0,4

Zunehmende Prozessstabilität mit steigender Scangeschwindigkeit

SCHWEIßEN VON KUPFER MIT BLAUER LASERSTRAHLUNG

1,4 kW, 100 mm/s

3,0 kW, 200 mm/s

3,0 kW, 100 mm/s

GEWALZT



SANDGESTRAHLT

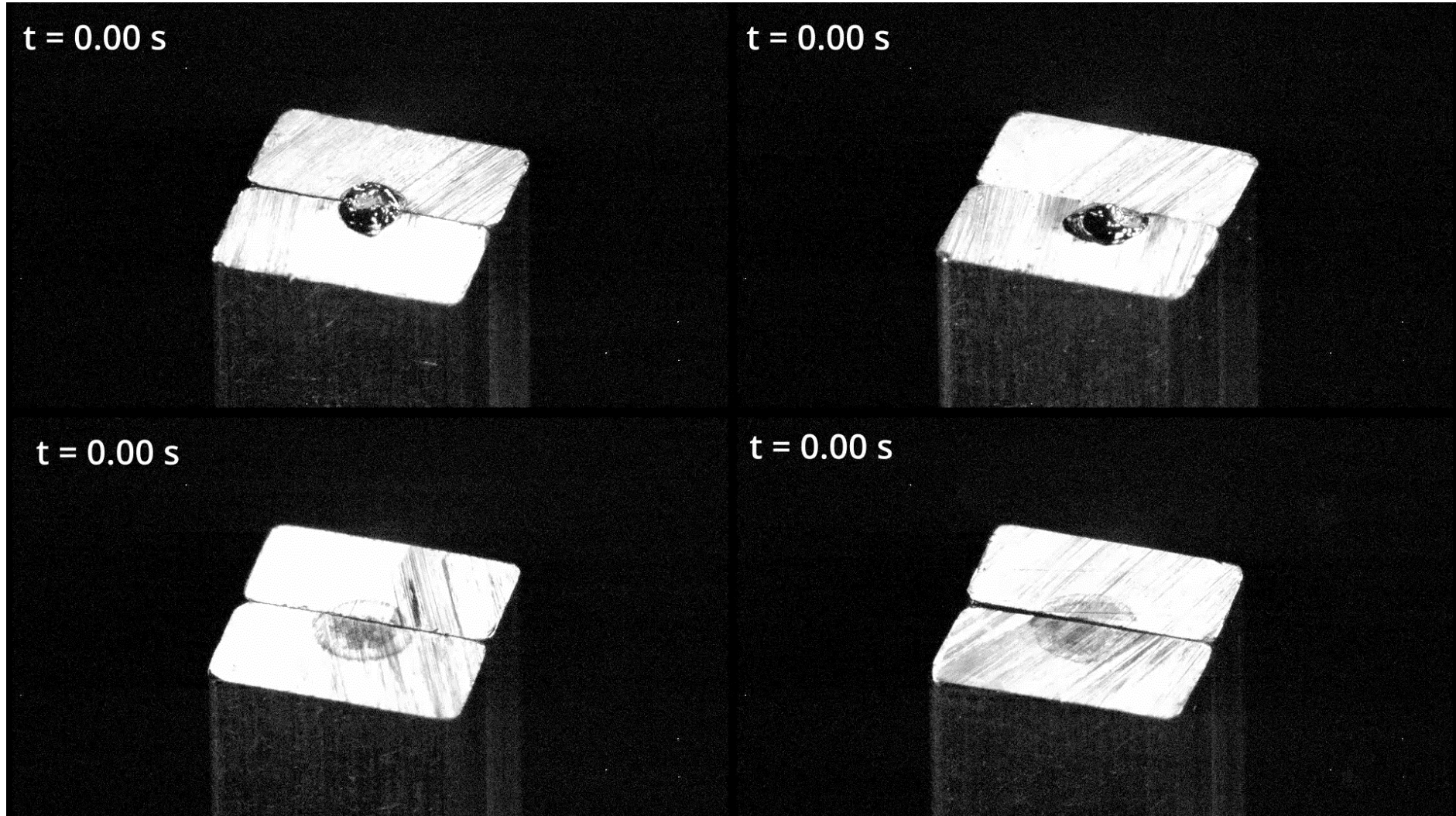


1,4 kW, 100 mm/s

3,0 kW, 200 mm/s

3,0 kW, 100 mm/s

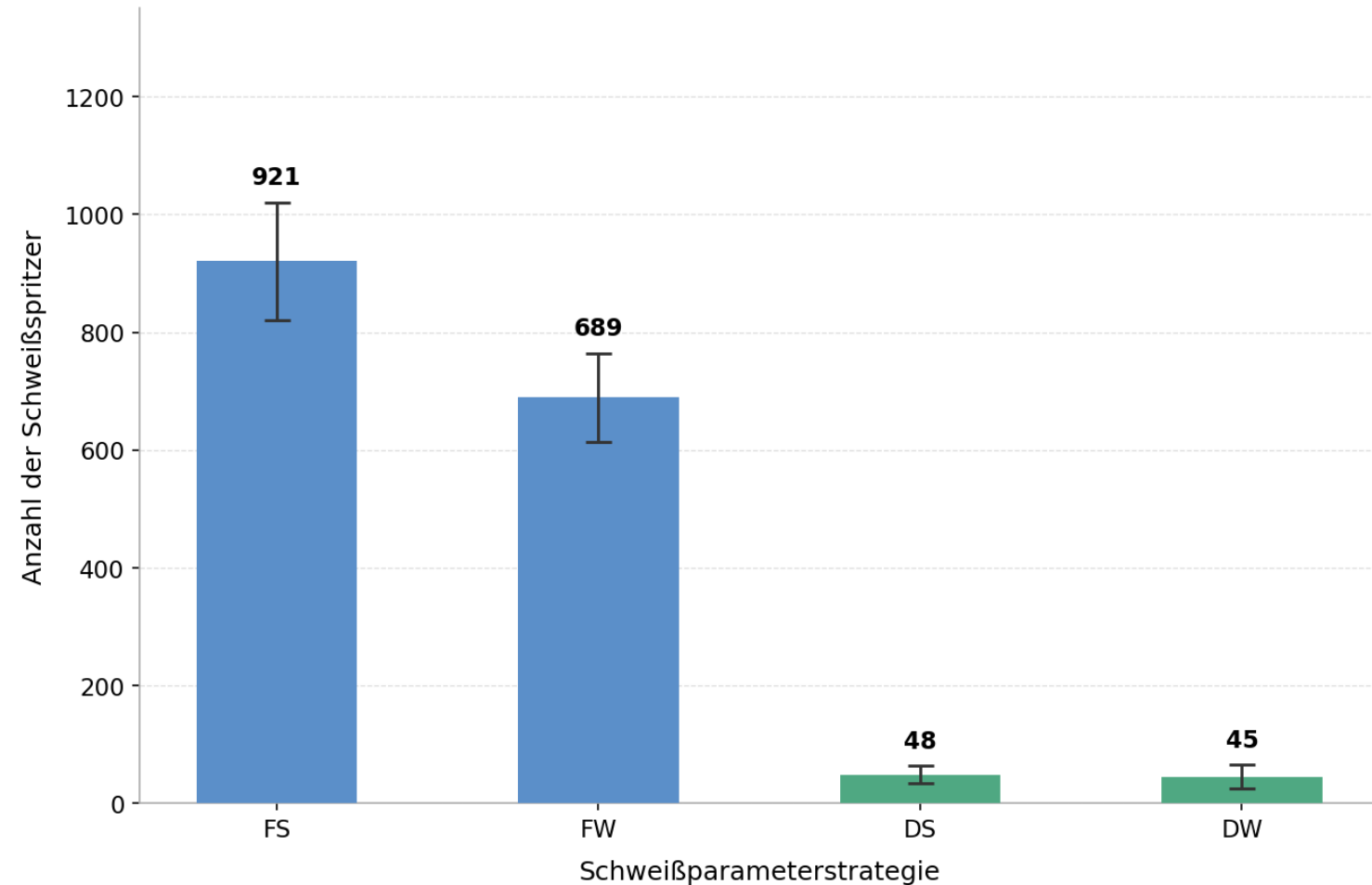
SCHWEIßEN VON HAIRPINS MIT BLAU



SCHWEIßEN VON HAIRPINS MIT BLAU

- Mechanismus beim Tiefschweißen (TS)
→ Hohe Anzahl an Spritzern
- Mechanismus beim
Wärmeleitungsschweißen (WLS)
→ ≈ 90 % Spritzer-Reduktion

Quantitative Spritzer-Analyse: Keyhole- vs. Wärmeleitungsmodus



NEUE WERKSTOFFE & PROZESSTECHNIK SCHWEIßEN VON EDELSTAHL-KUPFER

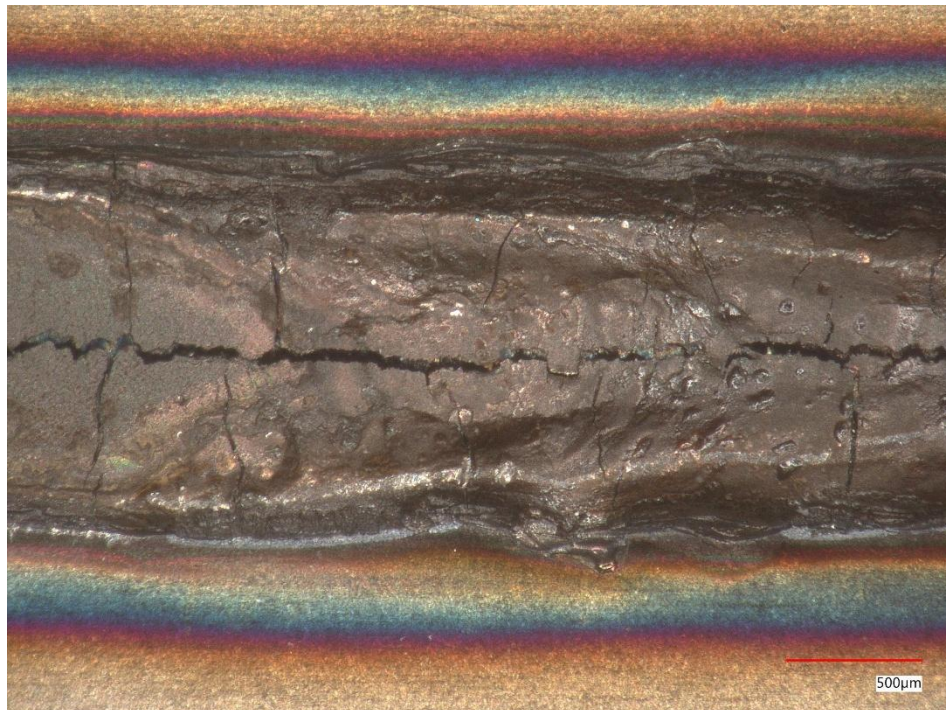
SCHWEIßEN VON KUPFER-STAHL MIT BLAU

Edelstahl

Kupfer

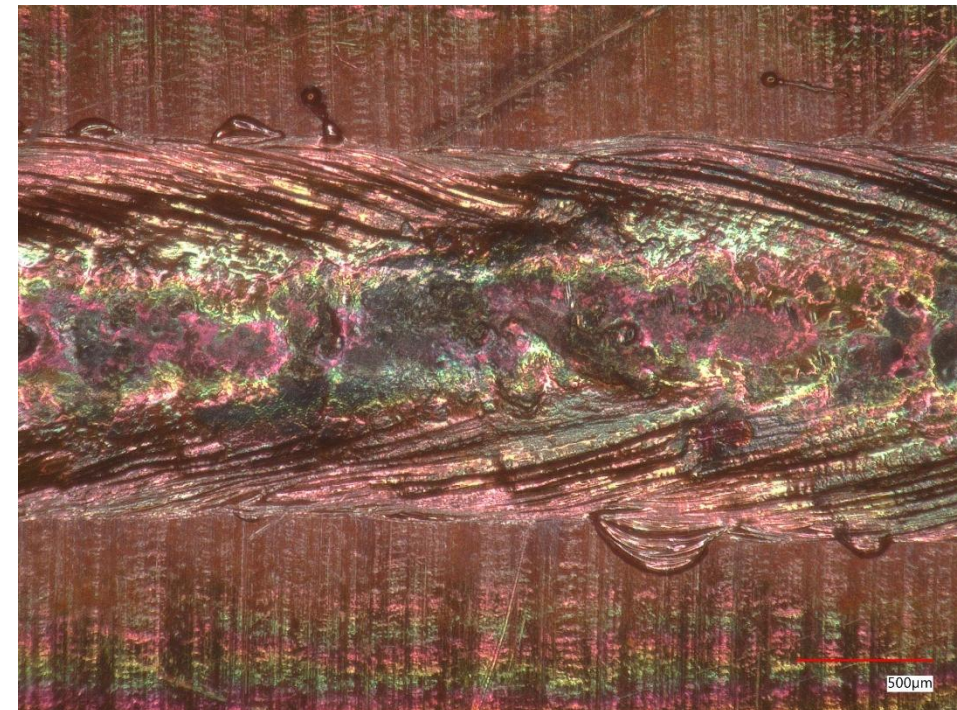
1.4301-Cu-Mischverbindung → Anwendungen in Öl- & Chemie-Industrie

Edelstahl an Oberseite (4 kW)



Naht-Mittensrisse

Kupfer an Oberseite (4 kW)

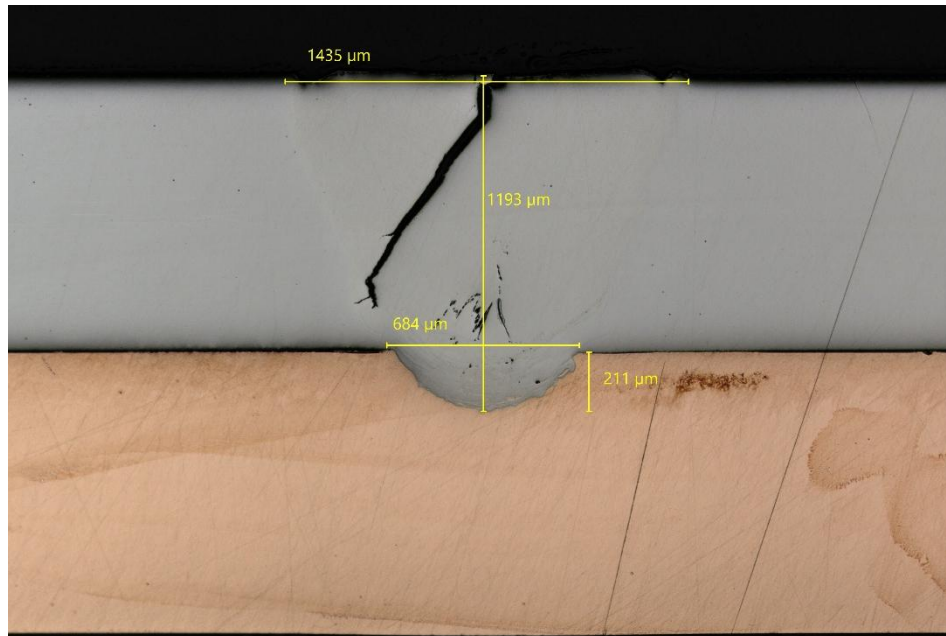


Keine makroskopischen Risse ersichtlich

SCHWEIßEN VON KUPFER-STAHL MIT BLAU

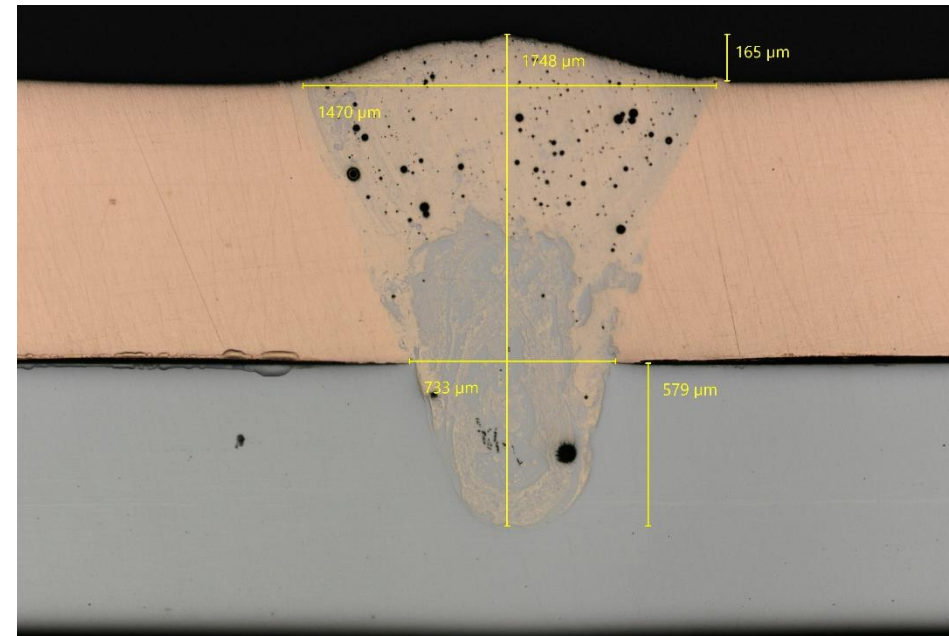
1.4301-Cu-Mischverbindung → Anwendungen in Öl- & Chemie-Industrie

Edelstahl an Oberseite (4 kW)



Rissdurchzogene Querschnitte wenn
Stahl an Oberseite

Kupfer an Oberseite (4 kW)

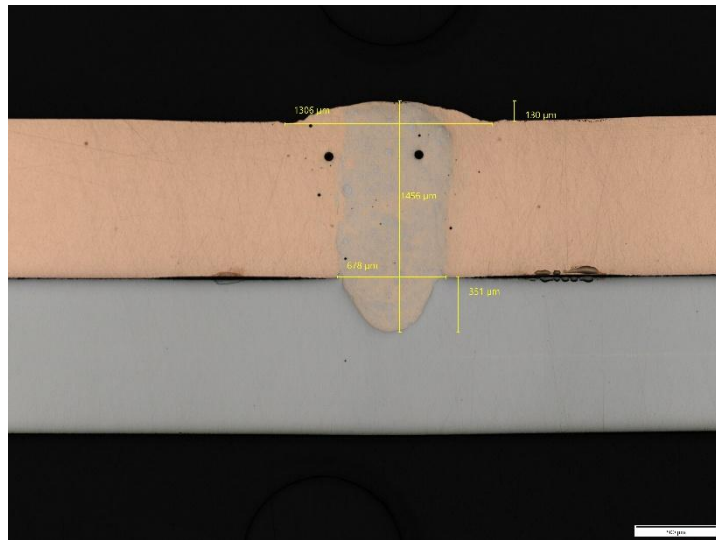


Keine Risse ersichtlich, dafür
parameterabhängige Porosität

SCHWEIßEN VON KUPFER-STAHL MIT BLAU

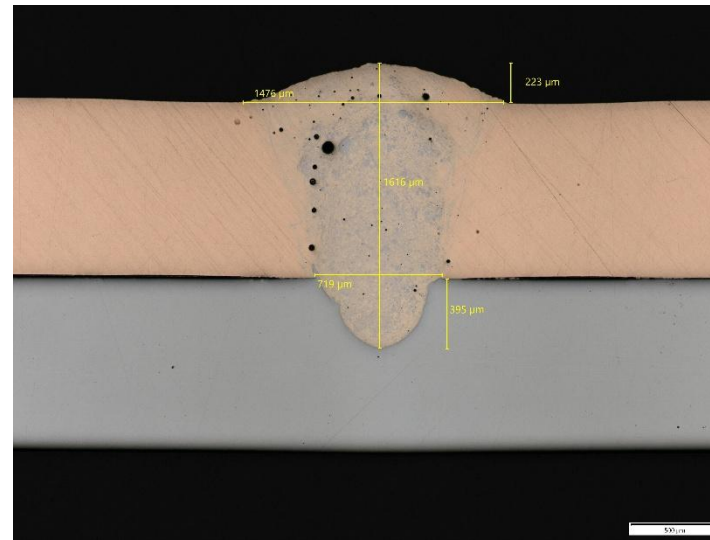
Kupfer-Edelstahl (Kupfer an Oberseite) – Analyse des Einflusses der Durchmischungszone

Geringe Durchmischung



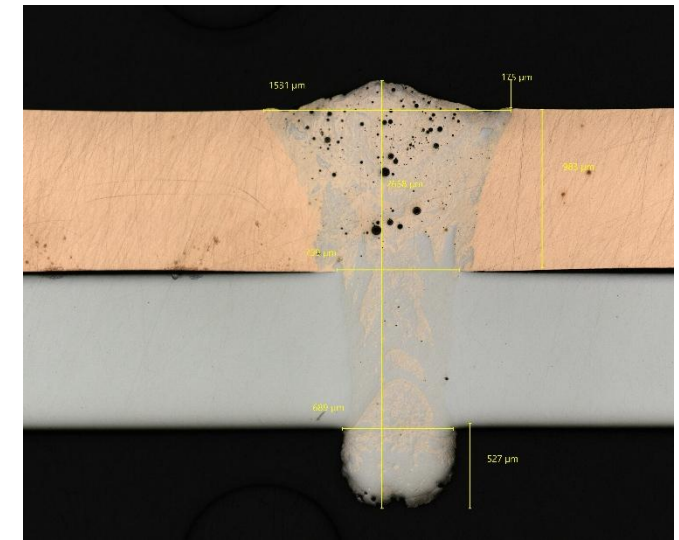
Geringe Porosität

Mittlere Durchmischung



Erhöhte Porosität

Starke Durchmischung



Starke Porosität

Zunehmende Defektbildung (Poren und Gaseinschlüsse) mit steigender Durchmischung

ZUSAMMENFASSUNG

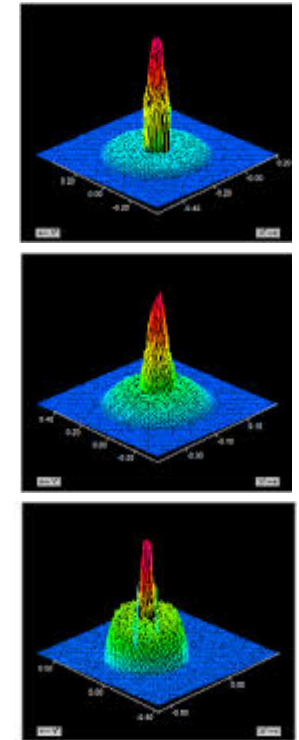
ZUSAMMENFASSUNG & AUSBLICK

Fazit

- Einsatz des Werkzeugs Laser in nahezu allen Industrien
- Vielzahl an Stellhebeln bei der Materialbearbeitung
- Potenzial von Strahlformung zur Prozessstabilisierung
- Wachsende Bedeutung des Werkzeugs Laser

Trends in der Zukunft

- Effiziente Lösungen für die Bearbeitung von hochleitfähigen Materialien
- Einsatz von KI zur Optimierung von Prozessen und automatisierten Interpretation von Prozessdaten
- Entwicklung neuer Werkstoffe und Adaption der Fügeverfahren



Faserlaser mit 9 kW, Strahlformung und OCT am blz Wo liegt die Zukunft?

- Reproduzierbare Einschweißstiefen > 5 mm in Kupfer
- Verbesserte Prozessstabilität bei höheren Schweißgeschwindigkeiten
- In-line Messung der Einschweißtiefe



www.blz.org

VIELEN DANK!

FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!

KONTAKTDATEN:

DR.-ING. DOMINIC BARTELS

E-MAIL: D.BARTELS@BLZ.ORG

MOBIL: 01734508005



ZUSE-GEMEINSCHAFT
FORSCHUNG, DIE ANKOMMT.

Wir sind Mitglied

Bayerisches Laserzentrum GmbH

Konrad-Zuse-Str. 2-6, 91052 Erlangen

Tel.: +49 (0)9131 97790-0, info@blz.org, www.blz.org