



**FORSCHUNG | TECHNIK | BILDUNG**

## **IM FOKUS**

**Laserstrahlschweißen  
und verwandte Verfahren im DVS**

# Die technisch-wissenschaftliche Gemeinschaftsarbeit im DVS

Der DVS als technisch-wissenschaftlicher Verband engagiert sich umfassend für die Fügetechnik. So initiiert und begleitet der DVS u. a. Forschungsaktivitäten, erfasst und dokumentiert den aktuellen Stand der Technik und sorgt dafür, dass auch die Aus- und -Weiterbildungsangebote des DVS den jeweils aktuellen Anforderungen gerecht werden. Dieses enge Netzwerk aus Forschung, Technik und Bildung ist das Kernelement der technisch-wissenschaftlichen Gemeinschaftsarbeit im DVS. Mit dieser interdisziplinären Arbeitsweise garantiert der Verband, dass seine vielfältigen Arbeitsergebnisse stets auf aktuellen Erkenntnissen beruhen und miteinander kompatibel sind.

Ein eindrucksvolles Beispiel für diese erfolgreiche Arbeitsphilosophie stellt das DVS-Regelwerk dar, bestehend aus über 500 DVS-Merkblättern und -Richtlinien. Auch in der Aus- und Weiterbildung setzt das DVS-Regelwerk hohe Ausbildungsstandards und vergleichbare Qualifikationen, wodurch es die Grundlagen für höchstes Niveau sowie einheitliche nationale und internationale Akzeptanz und Verfahrensweisen schafft.

Die Ergebnisse der DVS-Arbeit finden sich auch in Veranstaltungen des DVS wieder und werden von der DVS Media GmbH u. a. in Fachzeitschriften, Fachbüchern und anderen Publikationen veröffentlicht und somit der Fachwelt zugänglich gemacht.

Die Hefereihe „Im Fokus“ legt Ihnen anhand konkreter Beispiele dar, welche praxisnahen Ergebnisse die technisch-wissenschaftliche Gemeinschaftsarbeit im DVS hervorbringt und lädt Sie dazu ein, sich an den vielfältigen Aktivitäten im DVS zu beteiligen. Jedes Heft widmet sich einem Schwerpunktthema und zeigt auf, wie von der engen Verknüpfung von Forschung, Technik und Bildung im DVS neben der jeweiligen Branche auch der gesamte Wirtschaftsstandort Deutschland profitiert.

Dipl.-Ing. Jens Jerzembeck  
Leiter Forschung und Technik



# Inhaltsverzeichnis

<b>Die technisch-wissenschaftliche Gemeinschaftsarbeit im DVS</b> .....	<b>02</b>
<b>Laserstrahlschweißen und verwandte Verfahren</b> .....	<b>04</b>
Laserstrahl-Anwendungsbeispiele .....	06
<b>Forschung im DVS</b> .....	<b>09</b>
Die Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS .....	09
Der Fachausschuss 6 „Strahlverfahren“ .....	10
Wie anwendungsnahe Forschung funktioniert .....	11
Der Fachausschuss 13 „Generative Fertigungsverfahren – Rapidtechnologien“ .....	13
Wie anwendungsnahe Forschung funktioniert .....	14
<b>Technik im DVS</b> .....	<b>16</b>
Der Ausschuss für Technik (AfT) .....	16
Arbeitsgruppe V 9.2 „Laserstrahlschweißen und verwandte Verfahren“ .....	18
Arbeitsgruppe V 9.2.1 „Ultrakurzpuls laser“ .....	18
DVS-Regelwerke für die Praxis .....	19
<b>Bildung im DVS</b> .....	<b>20</b>
Der Ausschuss für Bildung (AfB) .....	20
Ausbildungs- und Karrierewege im Bereich „Laserstrahlschweißen“ .....	21
<b>Fachmedien und Lehrunterlagen zum „Laserstrahlschweißen und verwandte Verfahren“</b> .....	<b>22</b>
Die DVS Media GmbH .....	22
Publikationen zum Laserstrahlschweißen .....	23
<b>Externe Veröffentlichungen</b> .....	<b>24</b>
<b>Ihre Kontakte für den Bereich „Laserstrahlschweißen“</b> .....	<b>25</b>

Herausgeber:  
DVS – Deutscher Verband für Schweißen  
und verwandte Verfahren e. V.  
Aachener Straße 172  
40223 Düsseldorf  
info@dvs-hg.de  
www.dvs-ev.de

September 2017

Titelbild: LZH Hannover

# Laserstrahlschweißen und verwandte Verfahren

Die Laserstrahlquellenentwicklung hat in den letzten Jahren einen unglaublichen Technologieschub erlebt. Das Ergebnis ist die Verfügbarkeit von Strahlquellen mit nahezu beliebiger Leistung und Strahlqualität für industrielle Anwendungen. Für den Nicht-Experten existiert damit eine schwer zu überblickende Vielfalt an Strahlquellen unterschiedlicher Wellenlängen, Leistungen und Preislagen, die enormes Anwendungspotenzial in unterschiedlichsten Industriezweigen besitzen.

Ursache für diese Entwicklung ist die Einführung der industriellen Scheiben- und Faserlasertechnologie, aber auch von Kurzpuls-lasertechnologien, die zu einer breitbandigen Ergänzung verfügbarer, aber auch zur Substitution etablierter Lasertechnologien geführt haben. Eine Folge der breiten Verfügbarkeit an unterschiedlichen Laserstrahlquellen ist eine Wandlung des Lasers vom exotischen Werkzeug hin zu einem Standardwerkzeug in der Materialbearbeitung.

Gleichzeitig hat in den letzten Jahren eine zunehmende Spezialisierung stattgefunden. Während vor einigen Jahren Laserstrahlquellen üblich waren, die verschiedene Anwendungsprozesse bedienen konnten, sind aufgrund der steigenden Anforderungen an Prozessqualität und Prozesseffizienz immer mehr Laserstrahlquellen mit bestimmten, hoch spezialisierten Eigenschaften entwickelt worden.

Die dynamische Entwicklung von neuen Laserstrahlquellen ist noch nicht abgeschlossen. Neue optische Faserverstärker, die neue Oszillator-Verstärker-Systeme erlauben, befinden sich in der Entwicklung. Die Verfügbarkeit von stabilen Kurzpuls-lasersystemen mit höheren Pulsenergien sowie deren Preisverfall führen zu einer steigenden Attraktivität für industrielle Anwendungen. Fasergeführte Diodenlaser mit stetig steigender Leistung und hohem Wirkungsgrad und gleichzeitig verfügbaren kleineren Spotdurchmessern drängen in den Markt.

Die Laseranwendungstechnologie, insbesondere das Wissen um die optimale Verwendung der jeweiligen Laserstrahlquelle, hat aber mit der enormen Entwicklungsgeschwindigkeit nur zum

Teil Schritt gehalten. Das optimale Zusammenwirken zwischen Laserstrahl und Werkstück ist in vielen Fällen nur unvollständig geklärt. Vor allem komplexe Anwendungen der Mikrobearbeitung, aber auch Prozesse der Mikro- und Kurzzeitmetallurgie befinden sich noch im Bereich der Grundlagenforschung bzw. im Anfang des Verstehens der Wechselwirkungsprozesse.

Die Anforderungen der Industrie an die Qualität der Anwendungsprozesse, egal ob Laserstrahlschweißen, -bohren, -schneiden oder -abtragen, sind stetig gestiegen. Aufgrund der zunehmenden Entwicklung maßgeschneiderter Werkstoffe ist deren Bearbeitung anspruchsvoller geworden, und die gewünschten Anwendungsgrenzen haben sich in Relation zur maximal erreichbaren Prozessmöglichkeit erhöht. Darüber hinaus steigt der Bedarf an neuartigen Prozessentwicklungen in schnell wachsenden Industriezweigen, die Lasertechnologien bisher eher begrenzt oder gar nicht eingesetzt haben, wie der Fotovoltaik-Solarmarkt oder Anwendungen in der Nanotechnologie. Gleichzeitig sind mit Laseranwendungsprozessen heute Industriezweige konfrontiert, die kaum auf Erfahrungen mit klassischen Schweiß- und Schneidprozessen zurückgreifen können und die neben der Einführung von Lasern in Produktionsprozessen mit rechtlichen, normativen, aber auch bisher unbekanntem fachlichen Fragen und neuen Anforderungen an den Arbeitsschutz konfrontiert werden.

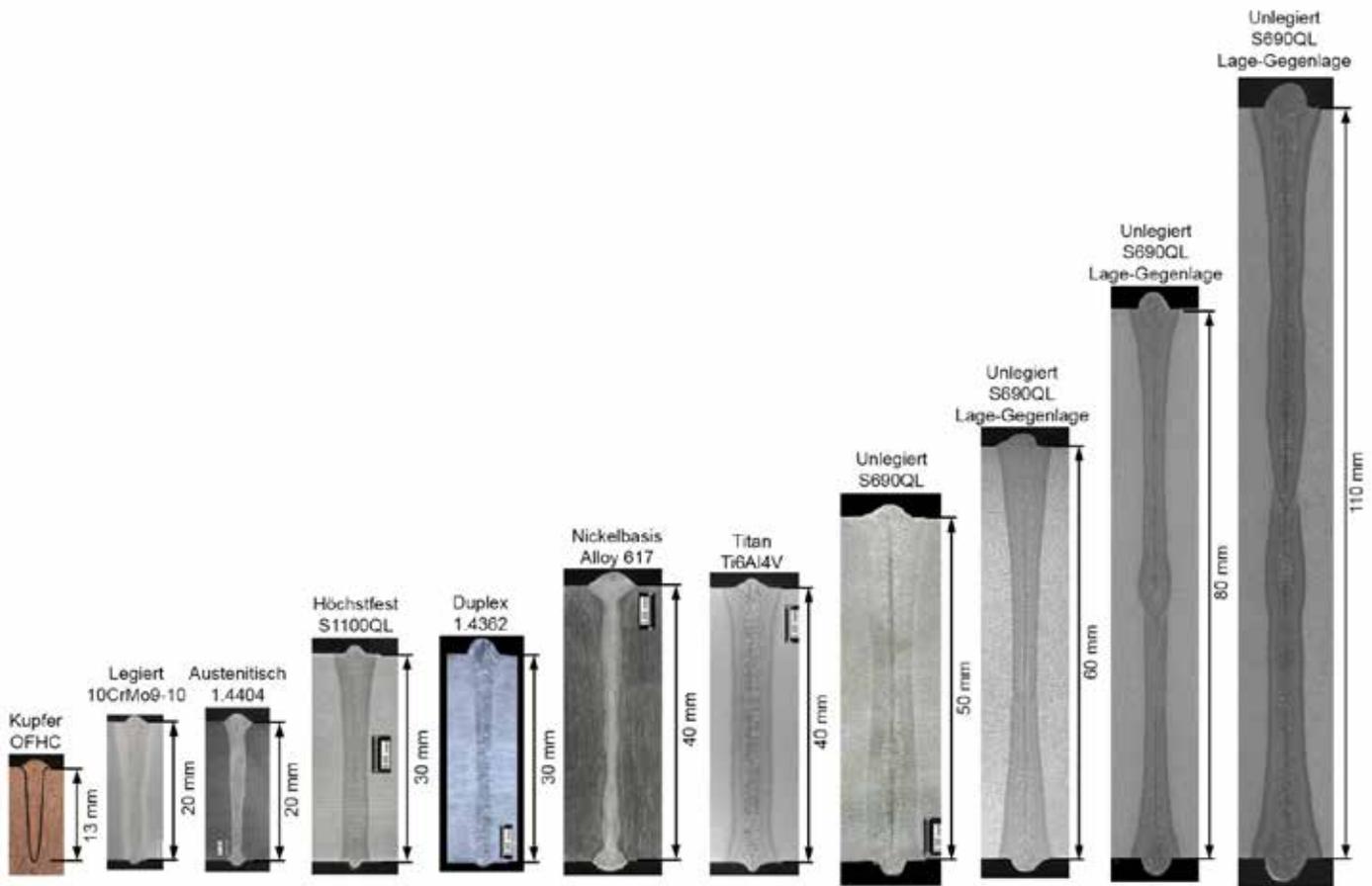
Um einen Wettbewerbsvorteil der deutschen Industrie im internationalen Vergleich aufrecht zu erhalten, ist es notwendig, die Ergebnisse aus der Forschung auch für kleinere und mittlere Unternehmen (KMU) zur Verfügung zu stellen, den Wissenstransfer und Handlungsempfehlungen über ein technisches Regelwerk abzubilden sowie moderne Aus- und Weiterbildungen für das Personal anzubieten.

In der vorliegenden Broschüre werden die umfangreichen Aktivitäten des DVS zum Thema „Laserstrahlschweißen und verwandte Verfahren“ in den Schwerpunkten Forschung, Technik und Bildung zusammengefasst.

**Prof. Dr.-Ing. Ronald Holtz,**  
Class 4 Laser Professionals AG,  
Burgdorf, Schweiz  
Vorsitzender des Fachausschusses  
„Strahlverfahren“ (FA 6) in der  
Forschungsvereinigung Schweißen und  
verwandte Verfahren e. V. des DVS

**Dipl.-Phys. Jan Hoffmann,**  
Schweißtechnische Lehr- und  
Versuchsanstalt Mecklenburg-Vorpom-  
mern GmbH, Rostock  
Obmann der Arbeitsgruppe „Laserstrahl-  
schweißen und verwandte Verfahren“  
(AG V 9.2) im DVS

**Dipl.-Ing. (FH) Ilka Zajons,**  
LZH Laser Akademie GmbH, Hannover  
Obfrau der Fachgruppe „Ausbildung  
Strahlschweißen“ (FG 4.7) im DVS



Quelle: Institut für Schweißtechnik und Fügtechnik (ISF) der RWTH Aachen

Mögliche Nahtquerschnitte und verschweißbare Materialien beim Laserstrahlschweißen unter Vakuum.

## i

### Das DVS-Regelwerk

Das DVS-Regelwerk zum „Laserstrahlschweißen“ bietet umfangreiche, anwendungsnahe Informationen zu Verfahren, Qualitätssicherung, Prüfung, Konstruktion, Ausbildung, Werkstoffe etc. und definiert darüber hinaus auch die besonderen Anforderungen, die an Fachkräfte im Bereich des Laserstrahlschweißens gestellt werden.

Durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS, dem Ausschuss für Technik (AfT) und dem Ausschuss für Bildung (AfB) ist ein weltweit etabliertes und anerkanntes DVS-Regelwerk geschaffen worden, das ein in sich geschlossenes System darstellt.

DVS-Mitglieder haben kostenlosen Zugriff unter: [www.dvs-regelwerk.de](http://www.dvs-regelwerk.de)

## Laserstrahl-Anwendungsbeispiele

Es gibt heute eine Vielzahl unterschiedlicher Laserstrahlquellen und -verfahren, die sich zunehmend auf bestimmte Anwendungen spezialisieren. Ob nun Gaslaser, wie schnell geströmt oder diffusionsgekühlte CO<sub>2</sub>-Laser, oder Festkörperlaser, wie klassische Nd:YAG, Scheiben-, Faser- oder Dioden-Laser, die Welt des Laserstrahles ist größer, als es sich hier darstellen ließe, daher möchte diese Broschüre anhand einiger Beispiele nur einen Überblick über typische Anwendungen geben. Mehr Informationen können über die in dieser Broschüre genannten Fachgruppen und ihre Ansprechpartner erhalten werden.

Hauptanwendungsbereiche der Laserstrahl-Technologie sind:

- Blechbearbeitung
- Automobil und Fahrzeugbau
- Luft- und Raumfahrzeugbau
- Schiffbau
- Medizin
- Stahlindustrie
- Maschinenbau
- Konsumgüterindustrie
- Elektronikindustrie
- Halbleiterindustrie
- Schmuckindustrie

### Anwendung und Aufbau des Laserstrahls

Wie die Laserstrahlschweißanlage aufgebaut ist, hängt von vielen Faktoren ab: Form des Werkstücks, Nahtgeometrie- und Nahtart, Stückzahl, Automationsgrad der Fertigung, Verfahren und Werkstoff spielen dabei eine wichtige Rolle (Bild 1).



Bild 1: Laserstrahlschweißen eines Getriebeteils.

### Laserstrahlauftragschweißen

Bei dem Laserstrahlauftragschweißen wird Material hinzugefügt. Man spricht von generierenden Verfahren und unterscheidet dabei zwei Anwendungsfälle:

- Material auf eine Grundform aufbringen, zum Beispiel ein Werkzeug reparieren oder veredeln
- ein Bauteil komplett aufbauen, zum Beispiel einen Prototyp oder Funktionsteile herstellen

Manuelles Auftragschweißen ist eines der ältesten Auftragverfahren und im Prinzip nichts anderes als Schmelzschweißen mit Zusatzwerkstoff. Der Unterschied: Der Zusatzwerkstoff dient nicht dazu, breite Fügespalte aufzufüllen. Vielmehr wird damit eine bestimmte Form auf die Werkstückoberfläche aufgetragen. Der Zusatzwerkstoff gelangt als dünner Draht an die Bearbeitungsstelle. Der Laserstrahl schmilzt den Draht auf. Die Schmelze verbindet sich fest mit dem Grundwerkstoff, der ebenfalls angeschmolzen wird, und erstarrt wieder. Zurück bleibt eine kleine Erhebung. Punkt für Punkt, Linie für Linie und Schicht für Schicht trägt der Schweißer die gewünschte Form auf. Der Arbeitsprozess wird durch einen Gasstrom aus Argon von der Luft abgeschirmt.

Auftragschweißen kommt überall dort zum Einsatz, wo Material durch Verschleiß und Beschädigung oder wegen einer Designänderung fehlt.

### Laserstrahlschweißen unter Vakuum

Das Laserstrahlschweißen unter Vakuum vereint die Vorteile des Laserstrahlschweißens mit denen des Elektronenstrahlschweißens. Durch Nutzung des Vakuums beim Laserstrahlschweißen können aufgrund verschiedener Effekte, die z.T. noch nicht in ihrer Gänze vollständig verstanden sind und an denen die Forschungsstellen intensiv arbeiten, qualitativ ähnliche Schweißnähte erstellt werden wie beim Elektronenstrahlschweißen. Jedoch werden nicht so hohe Anforderungen an das benötigte Vakuum gestellt wie beim „Schwesterverfahren“ Elektronenstrahlschweißen. Ferner müssen die Bauteile nicht entmagnetisiert werden. Fast alle gängigen metallischen Werkstoffe lassen sich gut bis sehr gut mit höchster Qualität schweißen. Baustahl, nichtrostender Stahl, Nickelbasislegierungen, Titan- und Nioblegierungen sowie Aluminiumlegierungen, Kupfer lassen sich verarbeiten.

Für das Laserstrahlschweißen unter Vakuum wird augenblicklich in der Arbeitsgruppe V 9.2 ein Merkblatt erarbeitet. Im Fachausschuss (FA) 6 „Strahlverfahren“ sind mehrere Projekte zu diesem Thema bearbeitet worden bzw. aktuell in Bearbeitung.

## Remote-Schweißen

Der Laserstrahl wird nicht durch eine Bearbeitungsoptik nah am Werkstück geführt, sondern von einer Scanneroptik mit großem Abstand zum Werkstück (remote = englisch für fern) (Bild 2). In der Scanneroptik positionieren ein oder zwei bewegliche Spiegel den Laserstrahl blitzschnell. Das ermöglicht es, die Strahlquelle höher auszulasten. Denn die Positionierzeiten zwischen zwei Nähten, in denen der Laserstrahl ausgeschaltet wird, verringern sich fast auf Null. Der Vorteil des großen Arbeitsabstandes von ein bis zwei Metern liegt in der Vergrößerung des Arbeitsraumes. In Remote-Schweißstationen ist es möglich, komplette Türen und Karossen zu schweißen.

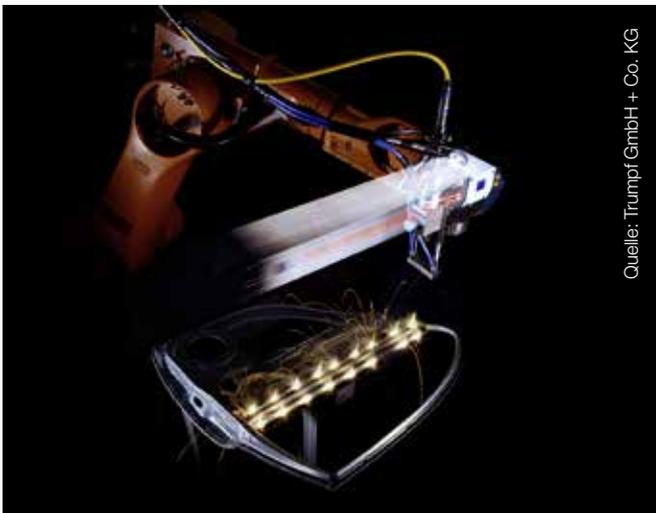


Bild 2: Scannerschweißen einer Automobiltür mit der programmierbaren Fokussieroptik.

## Laserstrahlbohren

Zum Laserstrahlbohren werden vor allem gepulste Festkörperlaser eingesetzt, weil sie hohe Leistungsdichten und kurze Pulse erzeugen können. Das gilt insbesondere für die Festkörperlaser mit Pulsüberhöhung und Güteschaltung (Q-Switch). In der Mikrobearbeitung kommen Festkörperlaser mit kurzen und ultrakurzen Pulsen im Pico- und Femtosekundenbereich zum Einsatz sowie Excimerlaser. CO<sub>2</sub>-Laser können ebenfalls bohren. Sie tun dies vor allem in Laserstrahlschneidanlagen. Dort erzeugen sie die Startlöcher für das Laserstrahlschneiden. Zu den Materialien, die mit dem Laser gebohrt werden können, gehören Metalle und Sintermetalle, Halbleiter wie Silizium, Kunststoffe sowie Kohlenstoff (Bild 3 und 4). Edelsteine wie Rubine oder Diamant werden ebenfalls laserstrahlgebohrt. Der Laserstrahl bohrt auch Löcher in Papier. Ein solches Anwendungsbeispiel ist Zigarettenpapier, das mit 500 000 Löchern pro Sekunde perforiert wird.

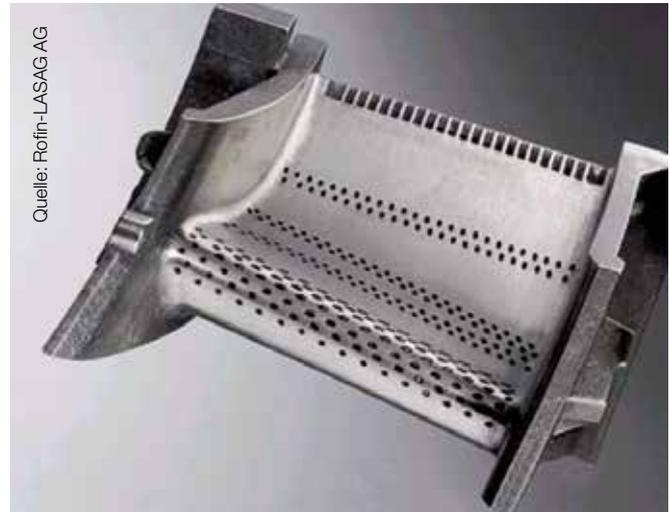


Bild 3: Laserstrahlbohren in einer Leitschaufel für eine Flugzeugturbine.

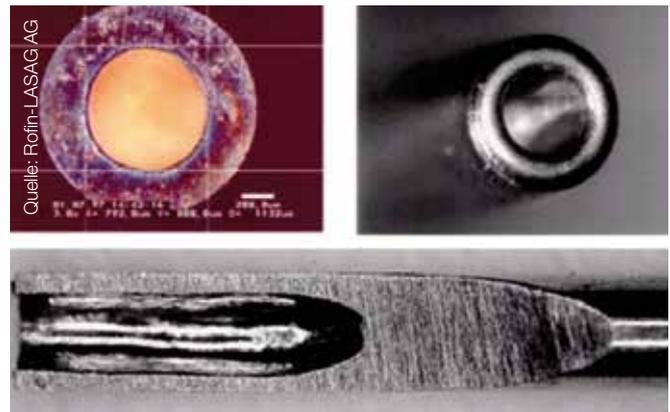


Bild 4: Chirurgienadel mit Einzelschuss gebohrt, Lochdurchmesser 50 bis 600 µm, Aspektverhältnis 1:4 bis 1:12.

Laserstrahlbohren ist ein Verfahren, das überwiegend für Serienteile mit großen Stückzahlen eingesetzt wird. Die Maschinen und Anlagen sind daher meist auf eine Anwendung und einen Arbeitsprozess spezialisiert.

Weitere Anwendungsbeispiele:

- Bohren von Durchfluss-Filtern und -Sieben
- Mikrobohrungen in biegsamen Keramikrollen
- Hochgeschwindigkeitsbohren von Turbinen-Leitschaufeln
- Bohren von Silikon
- Bohren von Diamanten zur Entfernung von Fehlerstellen

### Laserstrahl-Materialbearbeitung, Markieren und Beschriften

Die Möglichkeit, eine Vielzahl von Materialien zu bearbeiten, und die vielfältigen Vorteile der Laserstrahlbearbeitung im Vergleich zu konventionellen Verfahren haben Laser zu einem bevorzugten Werkzeug in der Materialbearbeitung gemacht. Laser können für nahezu alle Markieranwendungen und -anforderungen für Metall, Keramik, Kunststoff und andere Materialien eingesetzt werden.

Beim Strukturieren und Abtragen werden Werkstücke in kleinen und kleinsten Dimensionen bearbeitet. Strukturieren bedeutet, regelmäßig angeordnete Geometrien in Oberflächen zu erzeugen, die deren technische Eigenschaften gezielt verändern, zum Beispiel die Reflektivität oder die Reibeigenschaften. Das einzelne Element einer solchen Struktur ist oft nur einige Mikrometer groß. Abtragen unterscheidet sich vom Strukturieren nur in folgender Hinsicht: Die Vertiefungen, die die einzelnen Pulse erzeugen, überlappen sich zu Linien und Linien zu Flächen. Schicht für Schicht trägt der Laserstrahl das Material ab, bis die Vertiefung die gewünschte Form und Tiefe hat.

Im Fertigungsprozess sollen in Sekunden oder sogar in Sekundenbruchteilen Logos, Codes, Symbole und Informationen auf das Teil gebracht werden. Hohe Qualität in kurzer Zeit bei flexiblen Formen und Inhalten werden durch Laserstrahlbeschriften möglich. Die Eigenschaften des Laserstrahls und des Materials entscheiden darüber, ob graviert oder ein Farbumschlag erzeugt wird.

Realisierte Anwendungen:

- Barcode Markierung auf Werkzeugen
- Markierungen auf medizinischen Instrumenten
- Kontrastmarkierung auf Metallanhängern
- Kantenisolierung bei Solar-Panels
- Entfernung dünner Schichten auf Metallen und Kunststoffen.
- Wafer-Markierung
- Beschriftung von Tastaturen und Ohrmarken
- Keramikfilter-Fertigung
- Mehrfarben-Markierung von Titan
- Markierung von Dioden
- Lasergravur auf Schmuck

### Laserstrahlschneiden

Das Laserstrahlschneiden stellt eines der größten Anwendungsfelder in der Laserstrahltechnik dar (Bild 5 und 6). Das Trennen unterschiedlichster Materialien (Metalle, Kunststoffe, Glas, Keramik, Halbleiter, Textilien, Holz und Papier etc.) ist mit dieser Technik möglich. Zum Schneiden wird der Laserstrahl fokussiert. Seine ganze Leistung bündelt sich dann auf einen Punkt. Wo der fokussierte Strahl auf das Werkstück trifft, beginnt das Metall sofort zu schmelzen. Teilweise verbrennt oder verdampft es sogar. Zum Brennschneiden von Baustählen wird Sauerstoff als Schneidgas eingesetzt. Zum Schmelzschneiden von ande-

ren Metallen oder Keramiken werden Stickstoff oder Argon als Schneidgas eingesetzt. Argon und Stickstoff sind inerte Gase. Das heißt, sie reagieren nicht mit dem aufgeschmolzenen Metall im Schnittpalt, sondern blasen es nur nach unten aus.

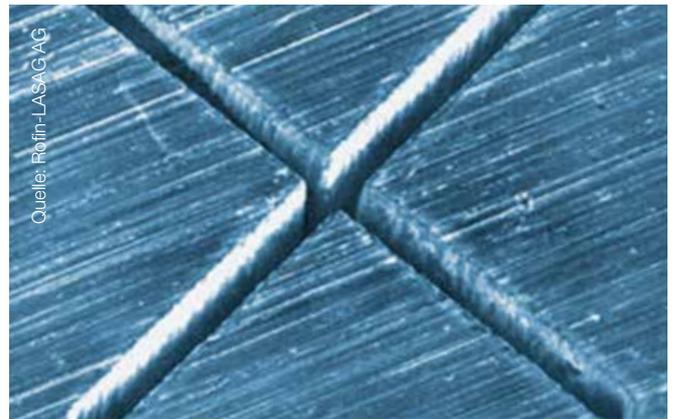


Bild 5: Präzisionsschnitt in Spinneretts (40 µm).



Bild 6: Feinschnitt in Silber.

Eine Auswahl laserstrahlschneiderbarer Materialien:

- Un- und niedrig legierte Stähle
- Hochlegierte Stähle
- Edel- und Buntmetalle
- Aluminiumlegierungen
- Titanlegierungen
- Wolfram und Molybdän
- Keramik wie z.B. Aluminiumoxid und Silizium
- Faser-Verbund-Werkstoffe
- Hartmetall und polykristalliner Diamant
- Nickel-Titan-Legierung, Inconel, Hastalloy
- Kunststoffe, auch kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK)
- Beschichtete, verzinkte Stähle
- Holz



Automatisiertes Schweißen mit dem Laserstrahl.

## Forschung im DVS



### Die Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS

Die fÜgetechnische Gemeinschaftsforschung im DVS ist eine erfolgreiche Partnerschaft zwischen Industrie, Forschung und Staat. Die Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS prÄsentiert sich als eine moderne, professionell und serviceorientiert ausgerichtete Institution für die FÜgetechnik. Als forschungsfördernde Einrichtung in Gestalt eines als gemeinnützig eingetragenen Vereins bietet sie über ihre Fachausschüsse der Fachwelt und der interessierten Öffentlichkeit werkstoff-, verfahrens- und branchenspezifische Forschungsschwerpunkte rund um das Fügen, Trennen und Beschichten. Die Fachausschüsse decken dabei thematisch die gesamte Wertschöpfungs- und Prozesskette der FÜgetechnik ab.

Im Netzwerk der Forschungsvereinigung engagieren sich erfolgreich mehr als 500 Experten aus Industrie und Wissenschaft. Jährlich werden über 100 laufende Forschungsprojekte unterstützt und begleitet. Über die inhaltliche Themenvielfalt ist die Forschungsvereinigung interdisziplinär ausgerichtet und aufgeschlossen für unterschiedliche, branchenübergreifende Forschungsk Kooperationen.

<b>FA 1</b> Schweißmetallurgie & Werkstoffverhalten	<b>FA 2</b> Thermisches Beschichten & Autogentechnik	<b>FA 3</b> Lichtbogen-schweißen
<b>FA 4</b> Widerstandsschweißen	<b>FA 5</b> Sonderschweißverfahren	<b>FA 6</b> Strahlverfahren
<b>FA 7</b> LÖten	<b>FA 8</b> GA-K Klebtechnik	<b>FA 9</b> Konstruktion & Festigkeit
<b>FA 10</b> Mikroverbindungs-technik	<b>FA 11</b> Kunststoff-fügen	<b>FA 13</b> GF - Rapidtechnologien
<b>FA I2</b> Anwendungsnah Schweißsimulation	<b>FA Q6</b> Arbeitssicherheit und Umweltschutz	<b>FA V4</b> Unterwasser-technik

Die Fachausschüsse der Forschungsvereinigung.

**i** Weitere und aktuelle Informationen zur Arbeit der Forschungsvereinigung gibt es unter: [www.dvs-forschung.de](http://www.dvs-forschung.de)

## Der Fachausschuss 6 „Strahlverfahren“

### Grundsätze/Aufgaben des Fachausschusses

Die Aufgabe des Fachausschusses ist es, neue und weiterentwickelte Strahlschweißprozesse unter anwendungstechnischen Aspekten zu beurteilen und Prozessinnovationen durch unterstützende Forschung beschleunigt in kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) zu transferieren. Es wird auf eine Ausgewogenheit zwischen den Technologien Laser- und Elektronenstrahl geachtet. Hierbei steht nicht nur die Entwicklung von Prozessen und Verfahren im Vordergrund, sondern auch deren Simulation.

Die Erfahrungen der letzten Jahre zeigen, dass häufig schon Verbesserungen in der Handhabung, Hilfen für die Vereinfachung und Verfahrensoptimierungen bzw. anwendungsspezifische Optimierungen von Anlagenkomponenten, z. B. verbesserte Strahlführungs-, Strahlauskopplungssysteme oder Bearbeitungsoptiken, schnell zu sehr erfolgreichen, umsetzbaren Ergebnissen in KMU führen.

Eine wichtige Hilfestellung für KMU ist es, im Rahmen von Projekten sinnvolle Prozess- und Anwendungsgrenzen aufzuzeigen. Neben der Prozesstechnik ist das besondere Verhalten der Werkstoffe beim wärmearmen, strahltechnischen Bearbeiten mit hohen Abkühlgeschwindigkeiten zu berücksichtigen. Den Besonderheiten der sogenannten Kurzzeitmetallurgie soll ebenso Rechnung getragen werden wie den dadurch bedingten mechanisch-technologischen Werkstoffeigenschaften.

Neue Entwicklungen beim Laser- bzw. Elektronenstrahl sowie bei den Werkstoffen sollen bereits in einem frühen Entwicklungsstadium durch grundlegende bzw. technologische Untersuchungen begleitet werden.

Die Forschungsarbeiten des Fachausschusses 6 werden eng mit den Arbeitsgruppen V 9.1 „Elektronenstrahlschweißen“ und V 9.2 „Laserstrahlschweißen und verwandte Verfahren“ im Ausschuss für Technik (Aft) des DVS abgestimmt.

### Forschungsfelder und Schwerpunktthemen

■ In Zukunft sollen verstärkt die Fügемöglichkeiten von anspruchsvollen Werkstoffen untersucht werden, da hier in nahezu allen Industriezweigen ein hohes Anforderungspotenzial besteht und sich hieraus Produktionsinnovationen erwarten lassen.



- Im Zusammenhang mit der dynamischen Weiterentwicklung von Laserquellen, Strahlführungssystemen und Werkzeugen der Prozesserkennung sollen damit die Voraussetzungen geschaffen werden, die Prozessbeherrschbarkeit bekannter Werkstoffe zu verbessern und neue Werkstoffe bzw. Werkstoffkombinationen zu entwickeln. Schwerpunkte bilden die Kennwerte Qualität, Kosten und Wettbewerbsfähigkeit.
- Die Kombinationen oder Kopplungen von Strahlprozessen untereinander oder mit konventionellen Technologien und somit die Erweiterung der Anwendungsgebiete der Laserstrahltechnik sollen weiter im Fokus der Forschungsaktivitäten stehen. Die strahltechnischen Prozesse gelten hierbei als Hauptprozesse, die durch unterstützende Werkzeuge, z. B. einen Lichtbogen, überlagert werden.
- Die Simulation der Prozesse und des Werkstoffverhaltens ist ein weiteres wichtiges Gebiet.
- Arbeiten zur Verbesserung der Prozessüberwachung und -führung und somit die Verbesserung der produktionsrelevanten Sicherstellung der Reproduzierbarkeit und Prozesssicherheit von Laser- und Elektronenstrahlprozessen sind weiterhin von außerordentlich hoher Bedeutung, da dies häufig eines der wichtigsten Kriterien für die Anwendung der Strahltechnik in der Industrie darstellt.
- In diesem Zusammenhang erhält die Aufarbeitung und Vernetzung des bekannten Wissens eine zunehmende Bedeutung. Ergebnisse von nationalen und internationalen Forschungsprojekten sollen analysiert und auf komplexe Zusammenhänge untersucht werden.
- Ein erweitertes Ziel sind die Zusammenführungen von Werkstoff und Prozessdaten mit Hilfe von Datenbanken, Simulationswerkzeugen und neuronalen Netzen, um die Basis für intelligente Prozessregelungssysteme zu schaffen.

## Wie anwendungsnahe Forschung funktioniert

### Forschungsbilanz – Ergebnistransfer und Umsetzung im Projekt:

#### Oberflächenkonditionierung von Kupferwerkstoffen zur Stabilisierung des Dauerstrich-Lasermikroschweißens

(IGF-Nr. 18.335 N / DVS-Nr. 06.094)

Laufzeit: 1. September 2014 – 31. August 2016

Dr. rer. nat. D. Kracht, Laser Zentrum Hannover (LZH) e. V.

Das Forschungsprojekt befasste sich mit der Weiterentwicklung des prozesssicheren Fügens von Kupfer und Kupferwerkstoffen für den wettbewerbsfähigen industriellen Einsatz. In diesem Zusammenhang wurde untersucht, wie und in welchem Umfang sich die Vorteile einer Oberflächenkonditionierung mithilfe eines frequenzkonvertierten, kostengünstigen, gepulsten Nanosekundenlasermoduls (Konditionierlaser) auf das Schweißen (Bild 1) mit kontinuierlicher infraroter Laserstrahlung übertragen lassen.

Zu den grundlegenden Untersuchungen zur Wirkung der Konditionierung gehörte die experimentelle Charakterisierung der verwendeten Materialien Kupferwerkstoff Cu-OFE und die Kupferlegierung CuSn6 mit Blechdicken von 0,15 mm bis 1 mm im Hinblick auf die Variabilität ihrer Oberfläche. Für den Konditionierungsprozess wurde gezeigt, dass sowohl der Sauerstoffgehalt als auch die Rauheit und Oberflächenvergrößerung mit steigender Pulsleistung und steigendem Überlappungsgrad der Konditionierpulse zunimmt. Damit einhergehend wurde eine er-

höhte Absorption der infraroten (IR) Laserstrahlung festgestellt. Es wurde gezeigt, dass die Konditionierung der Kupferoberflächen den Nahtanfang wiederholbar definiert und eine Energieeinsparung durch geringere Reflexionsverluste hervorruft (Bild 2). Die Höhe des Einflusses dieses Effektes ist in besonderem Maße von der Fluence des Laserstrahls sowie der Materialdicke und den Materialeigenschaften abhängig.

Wesentliche Ergebnisse des Forschungsprojektes sind:

- Der Nahtanfang der Kupferwerkstoffe wird wiederholbar definiert
- Verbesserte Robustheit gegenüber wechselnden Legierungen und Chargen
- Größere Prozessgeschwindigkeit als beim gepulsten Nahtschweißen
- Energieeinsparung durch geringere Reflexionsverluste
- Prozesssicheres Nahtschweißen von Kupferwerkstoffen mit Blechstärken von < 0,5 mm

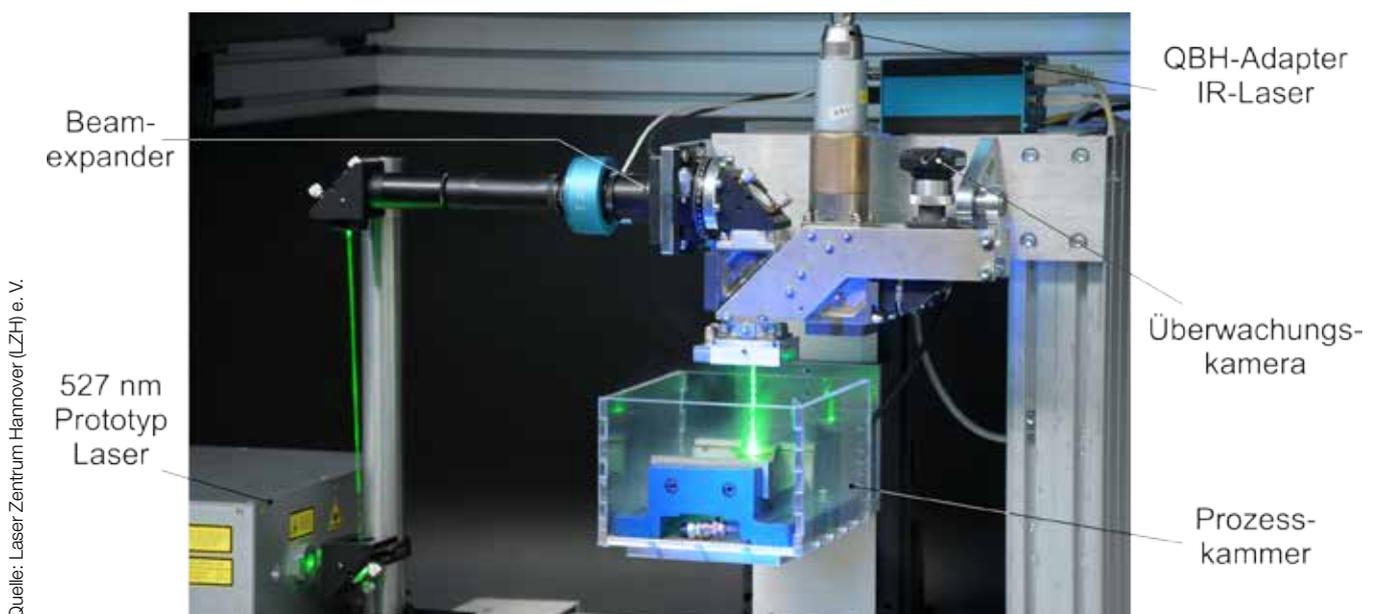
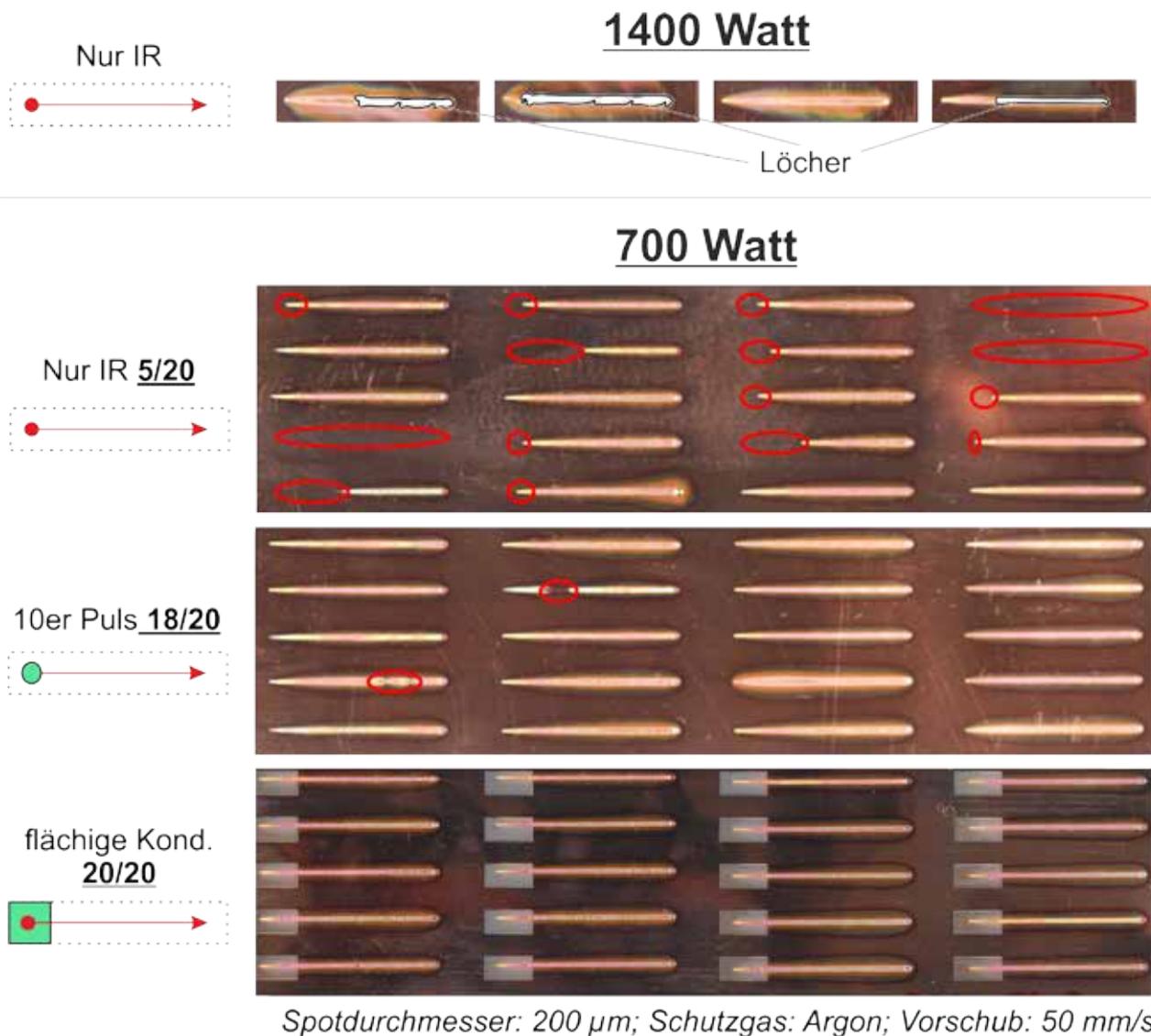


Bild 1: Foto des Versuchsaufbaus – wellenlängenkombinierter Laserkopf.



Quelle: Laser Zentrum Hannover (LZH) e. V.

Bild 2: Untersuchungsergebnisse zum prozesssicheren Nahtschweißen des Werkstoffs Cu-OFE mit einer Blechstärke von 0,15 mm. Die Konditionierung der Kupferoberflächen definiert den Nahtanfang wiederholbar und bewirkt eine ausschlaggebende Erhöhung der Prozessstabilität. Ohne Konditionierung konnten lediglich 25 %, mit einer Spotkonditionierung am Schweißnahtanfang bereits 90 % und mit einer flächigen Konditionierung am Schweißnahtanfang sogar 100 % qualitativ hochwertige Schweißungen hergestellt werden.

### Meinungen aus den Unternehmen

**Dipl.-Ing. Peter Schlüter, LMB Automation GmbH, Iserlohn:**

„Durch unsere guten Kontakte im Bereich der Elektronik lagen immer wieder Anforderungen auf dem Tisch, dünnes Cu-Material zu verschweißen. Da die Einkoppelschwelle beim Cu-Schweißen recht hoch ist, musste bislang mit einer hohen Pulsspitzenleistung gearbeitet werden. Dies führte immer wieder dazu, dass das dünne Material zerstört wurde. Mit der Vorkonditionierung durch grüne Laserstrahlung ergibt sich der Effekt, dass mit wesentlich weniger Leistung gearbeitet werden kann. Es wird nur etwa ein Viertel der Pulsspitzenleistung benötigt. Damit kann in der Produktion eine wesentliche Verbesserung der Qualität und der Produktionssicherheit erreicht werden. Als Nebeneffekt wird darüber hinaus Energie eingespart.“

**Dipl.-Ing. SFI/IWE Peter Stahl, Wieland-Werke AG, Ulm:**

„Durch die Forschungsarbeiten im Projekt „OKuDaLas“ konnte nicht nur ein wesentlicher Beitrag zur Stabilisierung des Laserschweißprozesses in Kupfer geliefert, sondern auch das Prozessverständnis zum Laserschweißen von dünnen Kupferblechen insgesamt signifikant erhöht werden. Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse und die daraus abgeleiteten Schweißstrategien zur Erzeugung einwandfreier Nähte lassen sich hervorragend in die industrielle Serienfertigung umsetzen. Die Projektergebnisse stellen dem Endanwender eine simple und gleichzeitig effektive Methodik zur Vermeidung von Nahtfehlern bei dünnen Kupferblechen zur Verfügung.“

## Der Fachausschuss 13

### „Generative Fertigungsverfahren – Rapidtechnologien“



#### Grundsätze/Aufgaben des Fachausschusses

Der Fachausschuss 13 befasst sich mit den Forschungsfeldern der additiven Fertigung mit metallischen und nicht-metallischen Werkstoffen und betrachtet diese unter Berücksichtigung der gesamten Prozesskette hinweg, inklusive der Vor- und Nachbehandlung. Dabei stehen die Technologieentwicklung, die Steigerung der Akzeptanz zur Nutzung dieser Technologie bei KMU und die Schaffung neuer Anwendungsbereiche im Vordergrund. Der Fachausschuss ist das Expertengremium in Deutschland, in dem Hersteller und Anwender der additiven Fertigung sowie federführende Forschungsstellen vertreten sind, um gemeinsam die Forschungslandschaft zu prägen. Der Fachausschuss 13 arbeitet im Bereich der additiven Fertigung

eng mit dem Fachausschuss 105 des VDI – Verein Deutscher Ingenieure zusammen, um alle Aktivitäten in Forschung, Technik und Bildung zu bündeln. Dabei wird in den Gremien des VDI das technische Regelwerk erstellt und hierüber auch die Normung im Normenausschuss Werkstofftechnologie (NWT) „Additive Manufacturing“ vorangetrieben. Die Forschungsarbeiten werden im FA 13 der DVS-Forschungsvereinigung durchgeführt, entsprechende Ausbildungskonzepte in der Fachgruppe 4.13 „Ausbildung in der additiven Fertigung“ des Ausschusses für Bildung im DVS generiert und von den DVS-Bildungseinrichtungen angeboten.

#### Forschungsfelder und Schwerpunktthemen

##### Selektives Laserstrahlschmelzen:

- Größe der Bauteile (Zeitvorteil gegenüber Gussbauteilen)
- Kostenreduzierung
- Prozesseffizienz (insbesondere bei Nickelbasislegierungen)
- Rissneigung (Parameterfenster für Rissfreiheit)

##### Kunststoffsintern:

- Prozessfähigkeit, Prozesssicherheit, Reproduzierbarkeit (bei wiederholten Baujobs)
- Oberflächenqualitäten verbessern
- Serienprozesse wirtschaftlich gestalten bei großen Stückzahlen (> 10.000 Stück)

##### Pulver:

- Verzahnung/Abstimmung von Anlagenherstellern und Werkstoffherstellern
- Brand- und Explosionsschutz
- Toxizitätsuntersuchungen
- Langzeitatmosphärenbelastung

##### Serienfertigung:

- Fertigungsprobleme bekommen mit Einführung und Umsetzung der Serienfertigung einen neuen Stellenwert. Seit wenigen Jahren werden Probleme sichtbar.
- Große Einflussfaktoren evaluieren. Der wissenschaftliche Anspruch wird hier wesentlich gesehen.
- Werkstoffe global evaluieren, dabei sollen keramische Werkstoffe immer mit untersucht werden.
- Produkthaftung, Wirtschaftlichkeit und Eigenschaftsgewährleistung berücksichtigen.

## Wie anwendungsnahe Forschung funktioniert

### Forschungsbilanz – Ergebnistransfer und Umsetzung im Projekt:

#### Qualitätssicherung beim Laserstrahlschmelzen von metallischen Bauteilen durch thermografische Schichtüberwachung

(IGF-Nr. 17.911 N/ DVS-Nr. 13.007)

Laufzeit: 1. Januar 2014 – 30. Juni 2016

Prof. Dr.-Ing. M. F. Zäh, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb), TU München

Eine wesentliche Herausforderung bei der additiven Fertigung ist, dass die mechanischen Eigenschaften der hergestellten Bauteile allgemein einer Vielzahl an Einflussgrößen unterliegen. Diese sind teilweise systematischer und teilweise zufälliger Natur. In der Folge entstehen Unregelmäßigkeiten in Form von Bindefehlern, Lunkern und Poren, die zu Schwankungen der resultierenden Bauteilqualität führen. In aktuellen Systemen begegnet man diesen Problemen überwiegend mit der Überwachung einer Vielzahl an globalen Prozessparametern (Ausgangsleistung der Laserquelle, Restsauerstoff-

gehalt in der Prozesskammer, Motorstrom des Beschichters, Bauplattentemperatur).

Aus diesen Informationen können zwar zeitlich hoch aufgelöste, aber im Ortsbereich meist nur gemittelte Aussagen über den Bauprozess getroffen werden. Der Anwender wird in der Regel nur darüber informiert, dass ein gewisser Grenzwert über- oder unterschritten ist, beispielsweise dass unzulässige Schwankungen gemessen wurden, und die geforderte Bauteilqualität damit nicht ohne weitere Maßnahmen gewährleistet werden kann.

Quelle: Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb), TU München

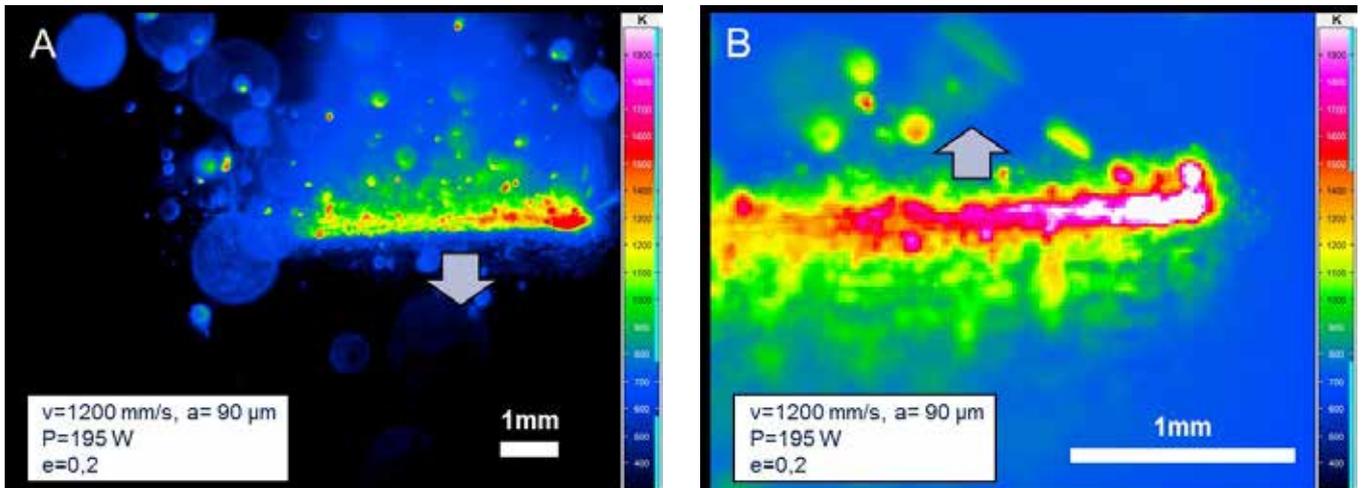


Bild 1: Beispielaufnahmen eines Hochgeschwindigkeits-Thermografiesystems in unterschiedlichen Messbereichen A (links) und B (rechts); die Farbskala entspricht dabei jeweils Temperaturen zwischen 300 und 2000 Kelvin.

Komplementär zu bestehenden Ansätzen wurde im Forschungsprojekt die Strategie der schichtweisen Prozessüberwachung genutzt. Es wurden Grundlagen geschaffen, einzelne Schichten während der Verfestigung als Ganzes zu beobachten. Dazu wurden Schichtinformationen mit Messdaten aus der aktuell verfestigten Schicht und mit Informationen aus vorhergehenden Schichten abgeglichen sowie mit resultierenden Bauteileigenschaften korreliert. Auf Basis einer Datenbank können dann im Produktionseinsatz Aussagen über die erziel-

te Bauteilqualität durch Bewertung der einzelnen Schichten getroffen werden. Hierzu kommen thermografische Verfahren zum Einsatz, die die Charakterisierung des Wärmehaushaltes beispielsweise der Temperaturverteilung einer Schicht ermöglichen (Bild 1). Diese Größen haben einen wesentlichen Einfluss auf die resultierende Mikrostruktur und lassen Wechselwirkungen zwischen benachbarten Teilen bzw. Unregelmäßigkeiten im Prozessablauf erkennen (Bild 2).

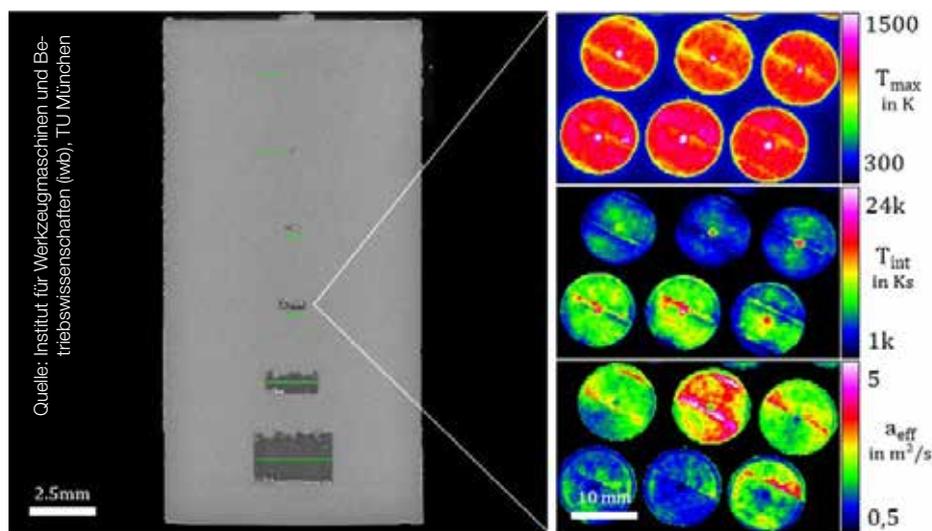


Bild 2: Versuch zur Erkennung von lokalen Fehlstellen; durch eine nachgelagerte Auswertung mithilfe der Computertomografie (links) ist jeweils ein Vergleich zwischen der tatsächlich verbliebenen und der detektierten Fehlstelle möglich. Im Bild rechts sind die drei Indikatoren Maximaltemperatur ( $T_{\max}$ ), Integral der Abkühlkurve über  $550\text{ °C}$  ( $T_{\text{int}}$ ) und effektive Temperaturleitfähigkeit ( $a_{\text{eff}}$ ) dargestellt.

## Meinungen aus den Unternehmen

### Rainer Rauschenbach, Thermografiesysteme, InfraTec GmbH, Dresden:

„Es hat sich bestätigt, dass professionelle Thermografie-Technik bei Laser-Sinter-Prozessen wertvolle Unterstützung bieten kann, um Fehlstellen in der Entstehungsphase zu detektieren. Die InfraTec GmbH konnte aufgrund dieses Projektes wichtige technologische Erkenntnisse gewinnen, um den Anwendern in dieser zukunftssträchtigen Fertigungstechnologie geeignete innovative Thermografie-Technik anbieten zu können.“

### Dr. Joachim Bamberg, Zerstörungsfreie Prüfverfahren, MTU Aero Engines AG, München:

„Ziel von MTU ist es, neben einer konventionellen Bauteilprüfung bereits im Fertigungsprozess eine Prüfung durchzuführen. Auf diese Weise sollte der Nachweis kleinster Fehlstellen möglich sein. Genau dies leistet die im Rahmen des Projekts entwickelte Thermografie-Prüftechnik. In umfangreichen Untersuchungen wurde gezeigt, dass kritische Fehlertypen, wie nicht konsolidier-

tes Pulver oder Bindefehler, online und mit hoher Ortsauflösung nachweisbar sind. Durch fortschrittliche Signalverarbeitung war es möglich, eine Korrelation von Thermografie-Anzeigen zu tatsächlichen Fehlergrößen herzustellen. Damit liefern die Ergebnisse des Projekts die solide Basis für eine effiziente Qualitätssicherung bei der additiven Fertigung mittels Laserpulverbetttschmelzen. Die entwickelte Online-Thermografie wird ein wesentlicher Bestandteil zukünftiger additiver Fertigungsanlagen für die Luft- und Raumfahrt sein.“

### Bernd Klötzer, bkl-Lasertechnik, Rödental:

„bkl-lasertechnik wird dieses Thema auch in Zukunft für seine eigenen Entwicklungen weiter vertiefen. Die Fertigung in Echtzeit zu überwachen, ist ein sehr wichtiger Punkt, der bei einer Fertigung von mehreren Tagen unumgänglich ist. Auf Grund der optisch nicht verfolgbaren Fertigung sind solche Hilfsmittel in Zukunft nicht weg zu denken. Auch für eine Sicherung der Qualität ist diese Überwachung wichtig.“

# Technik im DVS



## Der Ausschuss für Technik (AfT)

Angesichts von derzeit mehr als 250 etablierten Fügeverfahren kann und muss die technisch-wissenschaftliche Gemeinschaftsarbeit im DVS systematisch erfolgen. Garant dafür ist der Ausschuss für Technik mit seinen über 200 Arbeitsgremien. Der AfT vereint mehr als 2.300 Experten aus Wirtschaft, Wissenschaft, Organisationen und Körperschaften, die gemeinsam daran arbeiten, den Stand der Technik zu erfassen und kontinuierlich fortzuschreiben. Dass der DVS mit diesem gebündelten Fachwissen auch auf internationalem Parkett als souveräner und kompetenter Partner in allen fügetechnischen Fragen anerkannt ist, liegt nahe.

Durch sein Engagement im International Institute of Welding (IIW) und der EWF – European Federation for Welding, Joining

and Cutting unterstützt der DVS das internationale fügetechnische Netzwerk bei dessen Aktivitäten maßgeblich. Die Arbeitsergebnisse im AfT werden als DVS-Merkblätter und -Richtlinien veröffentlicht.

Auf nationaler Ebene arbeitet der AfT sehr eng mit dem Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren (NAS) des DIN e. V. zusammen, insbesondere in den zahlreichen Gemeinschaftsausschüssen. Die konstruktive Zusammenarbeit mit dem NAS ermöglicht eine optimale Abstimmung des DVS-Regelwerkes auf normative Anforderungen hin. Die DVS-Regelwerke geben dabei wertvolle Anwendungshinweise für die Praxis.

### i

DVS-Mitglieder profitieren vom kostenlosen Zugriff auf das Regelwerk des DVS unter [www.dvs-regelwerk.de](http://www.dvs-regelwerk.de). Dort sind alle technischen DVS-Merkblätter und -Richtlinien des Verbandes elektronisch abrufbar.

## Laserstrahlschneiden unter Wasser.



## Struktur des Ausschusses für Technik (AfT)



### Hauptbereich W

Werk-, Zusatz- und Hilfsstoffe

<b>AG W 1</b> Technische Gase	<b>AG W 2 **</b> Schweißen von Gusswerkstoffen	<b>AG W 3 **</b> Fügen von Metall, Keramik und Glas	<b>AG W 4 *</b> Fügen von Kunststoffen	<b>AG W 5 *</b> Schweißzusätze	<b>AG W 6 *</b> Schweißen von Aluminium und anderen Leichtmetallen
----------------------------------	---	--	---	-----------------------------------	---

### Hauptbereich V

Verfahren und Geräte

<b>AG V 1 *</b> Gasschweißen	<b>AG V 2 *</b> Lichtbogenschweißen	<b>AG V 3 *</b> Widerstandsschweißen	<b>AG V 4</b> Unterwassertechnik	<b>AG V 5 *</b> Schneidtechnik	
<b>AG V 6.1 *</b> Hartlöten	<b>AG V 7 *</b> Thermisches Spritzen und thermisch gespritzte Schichten	<b>AG V 8</b> Klebtechnik	<b>AG V 9.1 *</b> Elektronenstrahlschweißen	<b>AG V 10 **</b> Mechanisches Fügen	<b>AG V 11</b> Reibschweißen
<b>AG V 6.2 *</b> Weichlöten			<b>AG V 9.2 *</b> Laserstrahlschweißen und verwandte Verfahren		

### Hauptbereich Q

Qualitätssicherung, Konstruktion, Berechnung und Arbeitsschutz

<b>AG Q 1</b> Konstruktion und Berechnung	<b>AG Q 2*</b> Qualitätssicherung beim Schweißen	<b>AG Q 4*</b> Prüfen von Schweißungen	<b>AG Q 5*</b> Qualifizierung von Personal	<b>AG Q 6</b> Arbeitssicherheit und Umweltschutz
--	---	---	---	---

### Hauptbereich I

Information

<b>AG I 1</b> Informations- u. Kommunikationstechnik	<b>AG I 2*</b> Anwendungsnahe Schweißsimulation	<b>AG I 3</b> Geschichte der Fügetechnik	<b>AG I 4 *</b> Darstellung und Begriffe
---	--	---	---

### Hauptbereich A

Anwendungen

<b>AG A 1</b> Schweißen im Turbomaschinenbau	<b>AG A 2</b> Fügen in Elektronik und Feinwerktechnik	<b>AG A 3</b> Schweißen im Anlagen- und Behälterbau	<b>AG A 5</b> Schweißen im Bauwesen	<b>AG A 6</b> Schweißen im Schiffbau und in der Meerestechnik
<b>AG A 7</b> Schweißen im Schienenfahrzeugbau	<b>AG A 8</b> Fügen im Straßenfahrzeugbau	<b>AG A 9 *</b> Schweißen im Luft- und Raumfahrzeugbau		

### Fachgesellschaften

Fachgesellschaft „Löten“	Fachgesellschaft SEMFIRA/EMF ***
--------------------------	----------------------------------

AG: Arbeitsgruppe, \* Gemeinschaftsausschuss mit dem NAS (Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren des DIN e. V.), \*\* Gemeinschaftsausschüsse mit anderen Verbänden, \*\*\*SEMFIRA = Safety in ElectroMagnetic Fields, EMF = Elektromagnetische Felder.

## Arbeitsgruppe V 9.2 „Laserstrahlschweißen und verwandte Verfahren“

Anwendern der Laserstrahltechnik zu helfen, ihnen Empfehlungen und Handlungshinweise, Richtwerte für den Einsatz des Lasers und die Fertigung mit ihm zu geben sowie den Stand der Technik zu beschreiben, das ist die Aufgabe, der sich der Gemeinschaftsausschuss AG V 9.2/NA 092-00-21 AA „Laserstrahlschweißen und verwandte Verfahren“ verschrieben hat. Experten der Laserstrahlschweißtechnik (Hersteller, Anwender, Forschungsinstitute) arbeiten gemeinsam an technischen Regelwerken, die Begriffe für Prozesse und Geräte, Empfehlungen zum Laserstrahlschweißen metallischer Werkstoffe und weitere Themen wie z.B. zum Laserstrahlaufragschweißen, zum Laserstrahl-Remote-Schweißen oder zu neuen Laserstrahltechnolo-

gien festlegen. Zukünftig werden auch Inhalte erarbeitet, um die Anwendungsmöglichkeiten der neuen Strahlquellen (Gas-, Scheibe-, Stab-, Faserlaser) und (Pico-, Femto-)Ultrakurzpulslaser zu beschreiben.

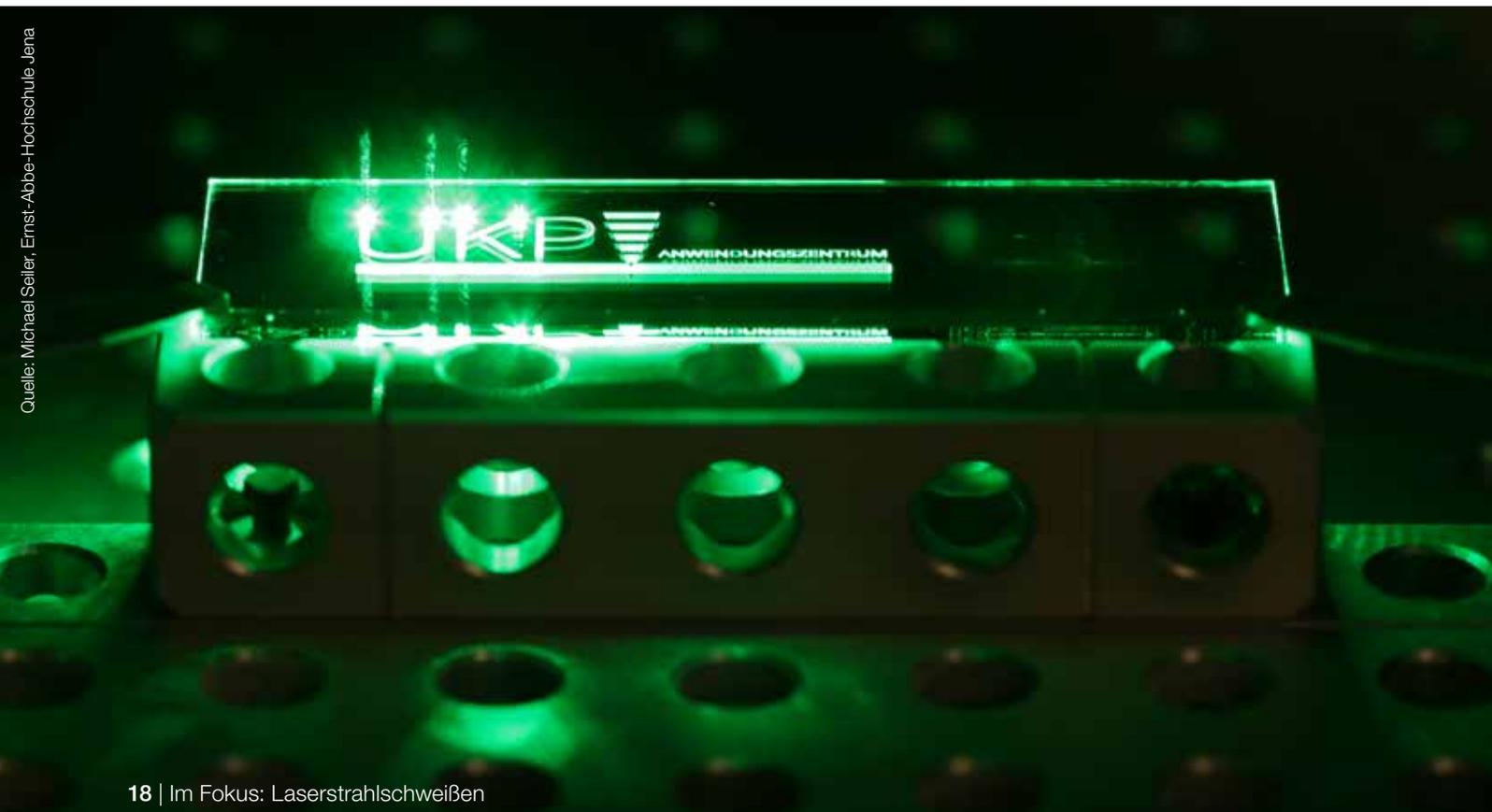
In Bereichen, in denen die Gegenüberstellung des Elektronenstrahls und des Laserstrahls sinnvoll ist oder ein Thema beide Strahltechniken betrifft, kooperieren die Arbeitsgruppen AG V 9.1 „Elektronenstrahlschweißen“ und AG V 9.2 „Laserstrahlschweißen und verwandte Verfahren“ und erstellen gemeinsame Regelwerke.

### Arbeitsgruppe V 9.2.1 „Ultrakurzpulslaser“

Wenn es um die Materialbearbeitung von strahlbasierten Abtragverfahren geht, ist die Arbeitsgruppe AG V 9.2.1 „Ultrakurzpulslaser“ der richtige Ansprechpartner. Zurzeit werden bei den Sitzungen die Richtlinienentwürfe „UKP-Grundlagen und Systemtechnik“ und „UKP-Laserstrahlverfahren in der Fertigung“ erstellt. Diese sollen zeitnah veröffentlicht und den An-

wendern zur Verfügung gestellt werden. Der Bedarf an weiteren DVS-Richtlinien und Normen für die sicherheitstechnische Auslegung der Anlagen wird ebenfalls diskutiert. An einer Ausbildungsrichtlinie für ein weiteres Beiblatt der DVS 1187 „Laserstrahlfachkraft“ bezüglich des Ultrakurzpulslasers arbeitet zurzeit die Fachgruppe 4.7 „Ausbildung Strahlschweißen“.

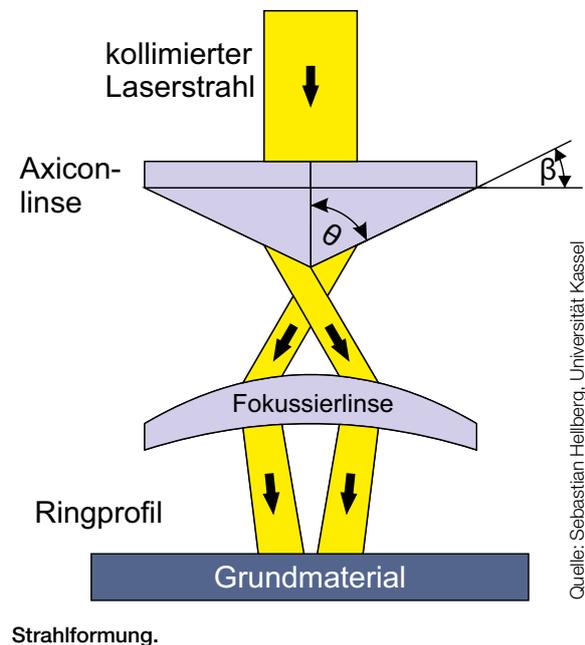
#### Strahlbasiertes Abtragen.



## DVS-Regelwerke für die Praxis

### Merkblatt DVS 3218 „Strahlformung für das Schweißen metallischer Werkstoffe mit dem Laser“

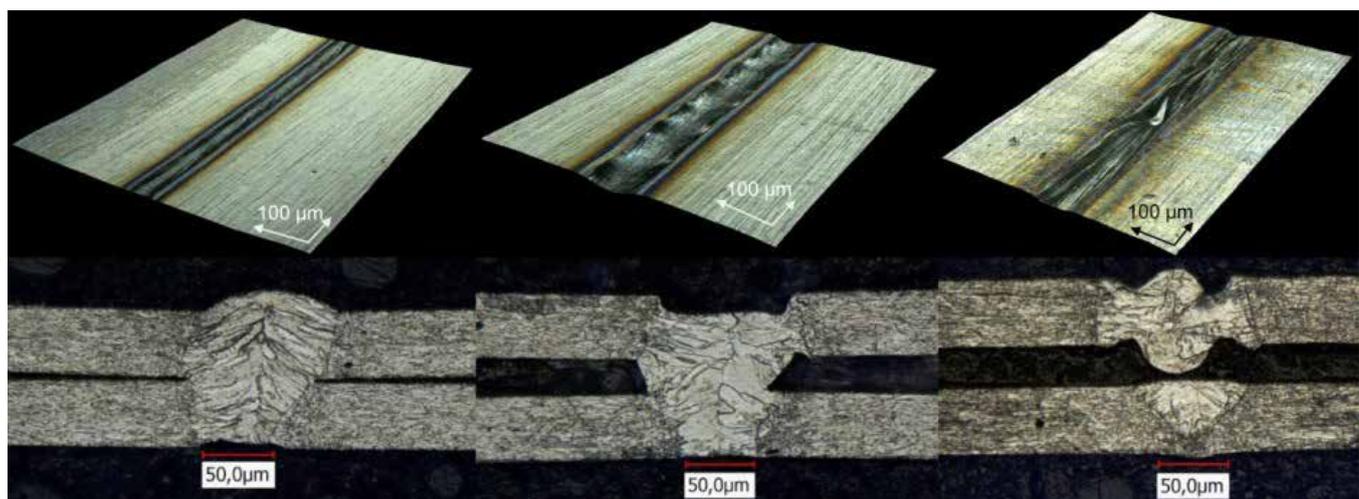
Keine Materialbearbeitung ohne Strahlformung – diese Devise gilt in der Lasertechnik. Dabei ist die Strahlformung aber weit mehr als nur das Fokussieren des Laserlichts auf einen Brennfleck vorgegebenen Durchmessers. Über verschiedene optische Elemente im Strahlengang bzw. in der Bearbeitungsoptik lassen sich bedarfsgerechte Intensitätsverteilungen einstellen, mit denen beispielsweise verbesserte Spaltüberbrückbarkeiten oder höhere Schweißgeschwindigkeiten realisiert werden können. Das Merkblatt DVS 3218 gibt dem Anwender einen Überblick, welche Möglichkeiten zur Strahlformung vorhanden sind, mit welcher Art von Strahlquelle sie kombiniert werden können und welche Prozessbeeinflussung damit ermöglicht wird. Weiterhin werden Anwendungsbeispiele aus der Praxis aufgeführt. Insbesondere wird auf die Strahlformung mittels optischer Elemente, Spiegel, Scanner sowie Lichtleitkabeln eingegangen.



### Merkblatt DVS 3224 „Laserstrahl-Mikroschweißen“ (in Vorbereitung)

Mit abnehmender Materialdicke sinken die Biegesteifigkeit und der Widerstand gegen den thermisch induzierten Verzug während des Laserstrahlschweißens. Zusätzlich nehmen Kapillarkräfte, die auf das Schmelzbad wirken, zu. Daher ist das Laserstrahl-Mikroschweißen ein Verfahren, das sich gegenüber dem

konventionellen Laserstrahlschweißen in daraus resultierenden Prozessbesonderheiten unterscheidet. Dieses Merkblatt dient dazu, praxisrelevante Verfahrensmerkmale zu kennzeichnen und dem Anwender Verfahrensempfehlungen an die Hand zu geben.



3D-Aufnahmen der Schweißnähte.

# Bildung im DVS



## Der Ausschuss für Bildung (AfB)

Der Ausschuss für Bildung (AfB) initiiert Maßnahmen, um das Bildungs- und Zertifizierungsangebot des DVS gegenwärtigen Entwicklungen anzupassen und auf zukünftige Anforderungen vorzubereiten. Unterstützt wird er dabei von der Arbeitsgruppe Schulung und Prüfung (AG SP), die im Bereich „Bildung und Zertifizierung“ die Aufgabe übernimmt, einheitliches Schulungs- und Prüfungsmaterial im Rahmen der Qualifizierung fūgetechnischer Fach- und Führungskräfte zu erstellen. Dabei werden nationale, aber auch aktuelle europäische und internationale Anforderungen in den Ausbildungs- und Prüfungsstandards umgesetzt. In den Zuständigkeitsbereich der AG SP gehören die Erarbeitung der Lehr- und Lerninhalte der fūgetechnischen Aus- und Weiterbildung sowie alle weiteren Bereiche, die mit der Schulung und Prüfung zusammenhängen. Dass diese Ausbildungs- und Prüfungsstandards letzten Endes wirklich bundesweit eingehalten und umgesetzt werden, wird durch DVS-PersZert, die Personalzertifizierungsstelle des DVS, gewährleistet.

Um den Transfer neuester Erkenntnisse in der Laser- und Elektronenstrahlschweißtechnik in methodisch-didaktische Bildungskonzepte zu gewährleisten, arbeitet die Fachgruppe 4.7 „Ausbildung Strahlschweißen“ kontinuierlich an neuen Ausbildungsrichtlinien und richtet diese am Bedarf der Wirtschaft aus. So wurde neben der etablierten Weiterbildung zur „Laserstrahlfachkraft“ aktuell auch die Weiterbildung für die „Fachkraft für die manuelle Laserstrahl-Materialbearbeitung“ erstellt. Ebenso ist die Fachgruppe mit der Erarbeitung neuer Angebote zur „Fachkundigen Person“ im Rahmen der Umsetzung der Optischen Strahlenverordnung (OStrV) beschäftigt. Die Fachgruppe 4.13 „Ausbildung in der additiven Fertigung“ entwickelt Bildungskonzepte im Bereich der additiven Fertigung in den Fachrichtungen Kunststoff und Metall.

i

Das aktuelle Aus- und Weiterbildungsangebot des DVS finden Sie unter [www.dvs-bildungskatalog.de](http://www.dvs-bildungskatalog.de)



## Struktur des Ausschusses für Bildung (AfB)



FG: Fachgruppe

## Ausbildungs- und Karrierewege im Bereich „Laserstrahlschweißen“

Die Richtlinie DVS 1187 „Laserstrahlfachkraft – Fachkraft für die Metallbearbeitung durch Laserstrahl“ wurde mit den Beiblättern 1-3 in den Teilen Schweißtechnik, Schneidtechnik oder Oberflächentechnik überarbeitet

Die „DVS-Laserstrahlfachkraft“ kann Laserstrahlanlagen der Metallbearbeitung einrichten und bedienen, Laserstrahlschweiß- und -schneidaufgaben sowie Oberflächenbearbeitung mit dem Laserstrahl selbstständig und eigenverantwortlich lösen sowie Bedienpersonal anleiten und beaufsichtigen. Ferner ist sie als Bindeglied zwischen Fertigungs- und Konstruktionsabteilung hinsichtlich laserstrahlgerechter Konstruktio-

nen tätig und kann, im vom Hersteller vorgesehenen Rahmen, die Laserstrahlanlagen optimal bedienen, pflegen und warten. Der DVS-Lehrgang wird in drei Spezialisierungen (Oberflächentechnik, Schweißtechnik und Schneidtechnik) angeboten, die unabhängig voneinander absolviert werden können. Inbegriffen ist jeweils der Erwerb der Fachkenntnisse als Laserschutzbeauftragter gemäß OStrV.

Die Richtlinie DVS 3601-1 „Fachkraft für additive Fertigungsverfahren – Fachrichtung Kunststoff“ und DVS 3602-1 „Fachkraft für additive Fertigungsverfahren – Fachrichtung Metall“

Eine ausgebildete Fachkraft für additive Fertigungsverfahren besitzt Kenntnisse in folgenden Bereichen:

- Grundlagen der additiven Fertigung
- Laserstrahlgenerieren von Bauteilen
- Qualitätssicherung bei Bauteilen
- Aufbau der Anlage für das Laserstrahlgenerieren
- Aufbereitung der Daten für einen Bauprozess
- Vorbereiten, Nachbereiten und Endbearbeitung der Fertigungsanlage

Eine Fachkraft besitzt ein systematisches Überblickswissen. Sie kennt die Fachbegriffe, die Prozesskette, die Möglichkeiten und Grenzen der Verfahren in Bezug auf Qualität, die Kosten sowie die Anwendungsgebiete und kann die Qualitätsmerkmale be-

werten. Sie bedient die zur Verfügung stehende Anlagentechnik und kann beispielhaft ein Bauteil herstellen. Mit den Weiterbildungen ihrer Mitarbeiter zu Fachkräften in den beschriebenen DVS-Lehrgängen profitieren Unternehmen von unerlässlichen Kenntnissen für eine moderne Fertigung.

i

Nähere Informationen zu den DVS-Bildungseinrichtungen in Ihrer Nähe finden Sie unter:  
[www.dvs-bildungseinrichtungen.de](http://www.dvs-bildungseinrichtungen.de)

# Fachmedien und Lehrunterlagen zum Laserstrahlschweißen



## Die DVS Media GmbH

Geht es um Publikationen und Medien rund um das Fügen, Trennen und Beschichten, ist die DVS Media GmbH die richtige Anlaufstelle. Das Verlagsprogramm umfasst deutsche und fremdsprachige Fachzeitschriften, Fachbücher, Lehrmedien, DVS-Merkblätter und Richtlinien, Videos und Software. Die Produkte der DVS Media GmbH bilden sämtliche Tätigkeitsfelder des DVS-Verbandes und alle dort erarbeiteten Ergebnisse ab.

Zahlreiche Fachmedien der DVS Media GmbH widmen sich den Arbeitsergebnissen, die in den Bereichen Forschung, Technik und Bildung rund um das Laserstrahlschweißen entstanden sind: Dazu zählen Fachbücher und Zeitschriften genauso wie Ausbildungsunterlagen und einzeln oder in Sammlung erhältliche DVS-Merkblätter und -Richtlinien.



### Bezugsmöglichkeiten für das DVS-Regelwerk

DVS-Mitglieder haben unter [www.dvs-regelwerk.de](http://www.dvs-regelwerk.de) kostenlosen Zugriff auf alle DVS-Merkblätter und -Richtlinien. Interessierte, die nicht DVS-Mitglied sind, können das DVS-Regelwerk unter [www.dvs-media.info](http://www.dvs-media.info) beziehen.

## Ihre Ansprechpartner für Fachmedien und Lehrunterlagen

### DVS Media GmbH

Aachener Str. 172, 40223 Düsseldorf  
[www.dvs-media.info](http://www.dvs-media.info)

### Bernd Hübner

T +49 211 1591-162, F +49 211 1591-150  
[bernd.huebner@dvs-hg.de](mailto:bernd.huebner@dvs-hg.de)



## Publikationen zum „Laserstrahlschweißen“



### DIN/DVS-Taschenbuch 283

#### Schweißtechnik 6: „Elektronenstrahlschweißen, Laserstrahlschweißen. Normen, Richtlinien und Merkblätter“

Die im Originaltext abgedruckten Normen, Norm-Entwürfe und DVS-Merkblätter dokumentieren den aktuellen Stand der Technik für die Bereiche Elektronenstrahlschweißen und Laserstrahlschweißen. Neu dazu gekommen sind im Bereich Strahlschweißen z. B. die DIN 32532:2009-08 mit Begriffen für Prozesse und Geräte zur Materialbearbeitung und das Merkblatt DVS 3214 zu Ursachen und Abhilfemaßnahmen bei Unregelmäßigkeiten an Laserstrahlschweißnähten.

5. Auflage, Oktober 2017

554 Seiten, 278 Bilder und Abbildungen/82 Tabellen

ISBN: 978-3-96144-017-7, Artikelnummer: 505720

### DVS-Bericht (in Vorbereitung)

#### Laser- und Elektronenstrahlschweißen von Aluminiumwerkstoffen

Der Band „Laser- und Elektronenstrahlschweißen von Aluminiumwerkstoffen“ ist in der Reihe der DVS-Berichte in Vorbereitung. Darin werden praxisnahe Ergebnisse wesentlicher aktueller Forschungsprojekte zusammengefasst, die durch die Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS zum Thema realisiert wurden.

Die Forschungsprojekte beschäftigen sich u.a. mit der Verbesserung der Nahtqualität von laserstrahlgeschweißten Verbindungen aus Aluminiumlegierungen mittels oszillierender Magnetfelder oder mit dem Laserstrahl-Mehrlagen-Engspaltschweißen zum verzugsarmen und heißrisssfreien Fügen von Aluminium-Legierungen im Dickblechbereich.

Eine Veröffentlichung ist im Dezember 2017 geplant.

## Externe Veröffentlichungen



### Broschüre „Handlungsfelder Additive Fertigungsverfahren“

Zwischen dem VDI – Verein Deutscher Ingenieure e. V. und dem DVS existiert eine enge und sehr erfolgreiche Abstimmung zum Thema „Additive Fertigung“. Der VDI hat den Statusreport „Handlungsfelder Additive Fertigungsverfahren“ erstellt. Dieser beschreibt den Stand der Technik und die Zukunftsperspektiven additiver Technologien. Zusätzlich gibt er auch einen Überblick über den DVS und weitere Verbände, die im Bereich der additiven Fertigung tätig sind. Zudem wurde zwischen dem VDI, dem DVS und der Forschungsvereinigung des DVS eine Vereinbarung in Bezug auf die zukünftige Regelwerksarbeit in diesem Bereich getroffen. Ziel ist es, die Forschungsergebnisse aus dem FA 13 in gemeinsame VDI/DVS-Richtlinien zu überführen und so einem möglichst großen Anwenderkreis zugänglich zu machen.

Den Statusreport erhalten Sie unter:

[www.dvs-forschung.de/FA13](http://www.dvs-forschung.de/FA13)



### Broschüre „Künstliche optische Strahlung“ – Eine Handlungshilfe für die Gefährdungsbeurteilung

Diese Broschüre unterstützt Arbeitgeber bei der Gefährdungsbeurteilung, die sie für Tätigkeiten mit künstlicher optischer Strahlung durchführen müssen. Beschäftigte sind dieser Strahlung ausgesetzt, und es gibt aufgrund der Verletzungsgefahr gute Gründe, Schutzmaßnahmen an den Arbeitsplätzen mit künstlicher optischer Strahlung zu ergreifen. Wie Sie Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung ermitteln und bewerten, welche Schutzmaßnahmen Sie ergreifen und wie Sie ihre Beschäftigten informieren – dafür finden sie zahlreiche Hilfsmittel in dieser Broschüre. Die rechtliche Grundlage für die Gefährdungsbeurteilung ist die Verordnung zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch künstliche optische Strahlung (siehe OStrV).

Diese Broschüre wurde vom Amt für Arbeitsschutz gemeinsam erarbeitet mit der Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro und Medienerzeugnisse (BG ETEM), der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), der Unfallkasse Nord (UK Nord) sowie der Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt Nord gGmbH (GSI SLV Nord), Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V. (DVS). Die Kooperationspartner erarbeiteten die Handlungshilfen während eines Projektes, um Betriebe bei der Umsetzung der Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OstrV) zu unterstützen.

Herausgegeben von der Behörde für Gesundheit und Verbraucherschutz, Amt für Arbeitsschutz, Hamburg

[www.hamburg.de/arbeitsschutz](http://www.hamburg.de/arbeitsschutz)

[www.dvs-ev.de](http://www.dvs-ev.de) (Menü: Medien des DVS/Technische Handlungshilfen)

# Ihre Kontakte für den Bereich „Laserstrahlschweißen“

## Ihr Ansprechpartner für Forschung | Technik | Bildung



**Fachreferent:**  
Marvin Keinert, M.Sc. IWE  
T +49 211 1591-188  
F +49 211 1591-200  
  
marvin.keinert@dvs-hg.de



### Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V.

Aachener Str. 172, 40223 Düsseldorf  
www.dvs-ev.de

### Ausschuss für Technik

www.dvs-aft.de

### Arbeitsgruppe V 9.1 „Elektronenstrahlschweißen“

www.dvs-aft.de/AfT/V/V9/V9.1

#### Obmann:

Dr.-Ing. Wilfried Behr  
Forschungszentrum Jülich GmbH

### Arbeitsgruppe V 9.2 „Laserstrahlschweißen und verwandte Verfahren“

www.dvs-aft.de/AfT/V/V9/V9.2

#### Obmann:

Dipl.-Phys. Jan Hoffmann,  
SLV Mecklenburg-Vorpommern GmbH

### Arbeitsgruppe V 9.2.1 „Ultrakurzpuls laser“

www.dvs-aft.de/AfT/V/V9/V9.2/V9.2.1

#### Obmann:

Dr.-Ing. Arnold Gillner,  
Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen



### DVS PersZert

Aachener Str. 172, 40223 Düsseldorf  
www.dvs-perszert.de

### Ausschuss für Bildung

www.dvs-afb.de

### Fachgruppe 4.7 „Ausbildung Strahlschweißen“

www.dvs-aft.de/DVS/ABT/AfB/AGSP/FG4/FG4.7

#### Obfrau:

Dipl.-Ing. (FH) Ilka Zajons, LZH Laser Akademie GmbH, Hannover

### Fachgruppe 4.13 „Ausbildung in der additiven Fertigung“

www.dvs-aft.de/AfT/AfB/AGSP/FG4/FG4.13

#### Obmann:

Prof. Dr.-Ing. Claus Emmelmann,  
Laser Zentrum Nord GmbH, Hamburg



### Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. im DVS

Aachener Str. 172, 40223 Düsseldorf  
www.dvs-forschung.de

### Fachausschuss 6 „Strahlverfahren“

www.dvs-forschung.de/fa06

#### Vorsitzender:

Prof. Dr.-Ing. Ronald Holtz  
Class 4 Laser Professionals AG, Burgdorf/CH

#### Stellvertretender Vorsitzender:

Dr.-Ing. Johannes Weiser  
EWM AG, Mündersbach

### Fachausschuss 13 „Generative Fertigungsverfahren – Rapidtechnologien“

www.dvs-forschung.de/fa13

#### Vorsitzender:

Prof. Dr.-Ing. Andreas Gebhardt  
Centrum für Prototypenbau GmbH, Erkelenz

#### Stellvertretender Vorsitzender:

Dipl.-Ing. Frank Palm  
Airbus Defense and Space GmbH, München

Der DVS unterhält ein enges Netzwerk aus **Forschung, Technik** und **Bildung** als Kernelement der technisch-wissenschaftlichen Gemeinschaftsarbeit.

## Laserstrahlschweißen ist Ihre Verbindungstechnik?

Der DVS steht Ihnen offen.  
Ihre Mitarbeit in unseren Gremien lohnt sich!

- Weil Sie wichtige Neuerungen bei der Regelwerksarbeit als erste(r) erfahren.
- Weil Sie Technologiefelder aktiv mitgestalten.
- Weil Sie technischen Wissenstransfer aus erster Hand erleben.
- Weil Sie Trends frühzeitig erkennen.
- Weil Sie von wichtigen nationalen und internationalen Kontakten profitieren.

Werden Sie ein Teil unseres Netzwerkes, von über **3.000 Unternehmen** und **16.000 Fachleuten**, die mit der Fügetechnik verbunden sind.

Sprechen Sie uns an!

Marvin Keinert, M.Sc. IWE  
T +49 211 1591-188  
marvin.keinert@dvs-hg.de



### Im Fokus: Laserstrahlschweißen im DVS

wird gesponsert durch



BBW Lasertechnik GmbH, Prutting



BIAS – Bremer Institut für angewandte Strahltechnik GmbH, Bremen



Weld your way.

CARL CLOOS SCHWEISSTECHNIK GmbH, Haiger



LZH Laser Akademie GmbH, Hannover



LASER on demand GmbH, Burgdorf



ROFIN-LASAG AG, Belp (CH)



TRUMPF GmbH + Co. KG, Ditzingen