

FORSCHUNG | TECHNIK | BILDUNG

IM FOKUS

**Laserstrahlschweißen
und verwandte Verfahren im DVS**

Die technisch-wissenschaftliche Gemeinschaftsarbeit im DVS

Der DVS ist ein technisch-wissenschaftlicher Verband, der sich mit fast 120 Jahren Erfahrung umfassend für die Fügetechnik engagiert. Anders gesagt: Im DVS dreht sich alles um das Fügen, Trennen und Beschichten von metallischen und nicht-metallischen Werkstoffen und Werkstoffverbunden. Ziel aller DVS-Aktivitäten ist es, die Fügetechnik umfassend zu fördern. Dies geschieht auf unterschiedlichste Art und Weise.

Der DVS initiiert und begleitet Forschungsaktivitäten, er erfasst den aktuellen Stand der Technik, schreibt diesen kontinuierlich fort und sorgt dafür, dass auch die DVS-Aus- und Weiterbildungsangebote den jeweils neuesten Wissensstand aus Technik und Forschung widerspiegeln. Dieses enge Netzwerk aus Forschung, Technik und Bildung ist das Kernelement der technisch-wissenschaftlichen Gemeinschaftsarbeit im DVS.

Frei nach dem Prinzip „aus eins mach drei“ werden die fachliche Diskussion, Forschungsfragen oder Arbeitsergebnisse bereichsübergreifend kommuniziert, weshalb sie sich auch gegenseitig positiv beeinflussen. Mit dieser interdisziplinären Arbeitsweise garantiert der DVS, dass seine vielfältigen Arbeitsergebnisse stets auf aktuellen Erkenntnissen beruhen und miteinander kompatibel sind.

Ein eindrucksvolles Beispiel für diese erfolgreiche Arbeitsphilosophie dokumentiert das DVS-Regelwerk, bestehend aus DVS-Merkblättern und -Richtlinien. Für die Aus- und Weiterbildung setzt das DVS-Regelwerk hohe Ausbildungsstandards

und vergleichbare Qualifikationen. Im technischen Bereich werden Füge-, Trenn- und Beschichtungsverfahren, aber auch Aspekte der Prüfung und Qualitätssicherung, der Arbeitssicherheit und des Umweltschutzes sowie die vor- und nachgeschalteten Prozessschritte aktuell beschrieben. Durch das DVS-Regelwerk werden die Grundlagen für höchste Standards und einheitliche Verfahrensweisen gegeben.

Mit der Heftreihe „Im Fokus“ möchten wir Ihnen anhand konkreter Beispiele darlegen, welche praxisnahen Ergebnisse die technisch-wissenschaftliche Gemeinschaftsarbeit im DVS hervorbringt und Sie dazu einladen, 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 nicht nur die jeweilige Branche, sondern der gesamte Wirtschaftsstandort Deutschland profitiert. Der DVS bietet wettbewerbsfähige Lösungen für die Fügetechnik – die Arbeitsergebnisse werden u. a. von der DVS Media GmbH in Fachzeitschriften, Fachbüchern und anderen Publikationen veröffentlicht und somit der Fachwelt zugänglich gemacht.

Dipl.-Ing. Jens Jerzembeck
Leiter Forschung und Technik

Bild: Fotolia



Inhaltsverzeichnis

Die technisch-wissenschaftliche Gemeinschaftsarbeit im DVS	02
Laserstrahlschweißen und verwandte Verfahren	04
Forschung im DVS	06
Die Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS	06
Industrielle Gemeinschaftsforschung	07
Der Fachausschuss 6 „Strahlverfahren“	08
Der Fachausschuss 13 „Generative Fertigung – Rapidtechnologien“	09
Wie anwendungsnahe Forschung funktioniert – ein Beispiel	10
Anwendungsbeispiele	12
Technik im DVS	18
Der Ausschuss für Technik	18
Arbeitsgruppe DVS AG V 9.2 „Laserstrahlschweißen und verwandte Verfahren“	20
Arbeitsgruppe DVS AG A 2.2 „Laserstrahlfügen in Elektronik und Feinwerktechnik“	20
DVS-Regelwerke für die Praxis – zwei Beispiele	21
Bildung im DVS	22
Der Ausschuss für Bildung (AfB) im DVS	22
Ausbildungs- und Karrierewege im Bereich des Laserstrahlschweißens	23
Fachmedien und Lehrunterlagen zum Laserstrahlschweißen und verwandte Verfahren	25
Die DVS Media GmbH.....	25
Publikationen zum Laserstrahlschweißen	26
Ihre Kontakte für den Bereich „Laserstrahlschweißen“	27

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

Titelbild: „Laser-MSG-Hybrid-Schweißen“, Carl Cloos Schweißtechnik GmbH

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. Es existiert eine für den Nichtexperten schwer zu überblickende Vielfalt an Strahlquellen unterschiedlicher Wellenlängen, Pulsleistungen, Energiedichten, aber auch 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. am Beginn 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 Photovoltaik-Solarmarkt oder Anwendungen in der Nanotechnologie. Gleichzeitig sind heute Industriezweige mit Laseranwendungsprozessen konfrontiert, die kaum auf Erfahrungen mit klassischen Schweiß- und Schneidprozessen zurückgreifen können und neben der Einführung von Lasern in Produktionsprozessen mit rechtlichen, normativen aber auch bisher unbekanntem fachlichen Fragen und neuen Anforderungen an den Arbeitsschutz konfrontiert sind.

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.

Dr.-Ing. Ronald Holtz,

Class 4 Laser Professionals AG,
Burgdorf, Schweiz

Vorsitzender des Fachausschusses
„Strahlverfahren“ (FA 6) in der
Forschungsvereinigung des DVS

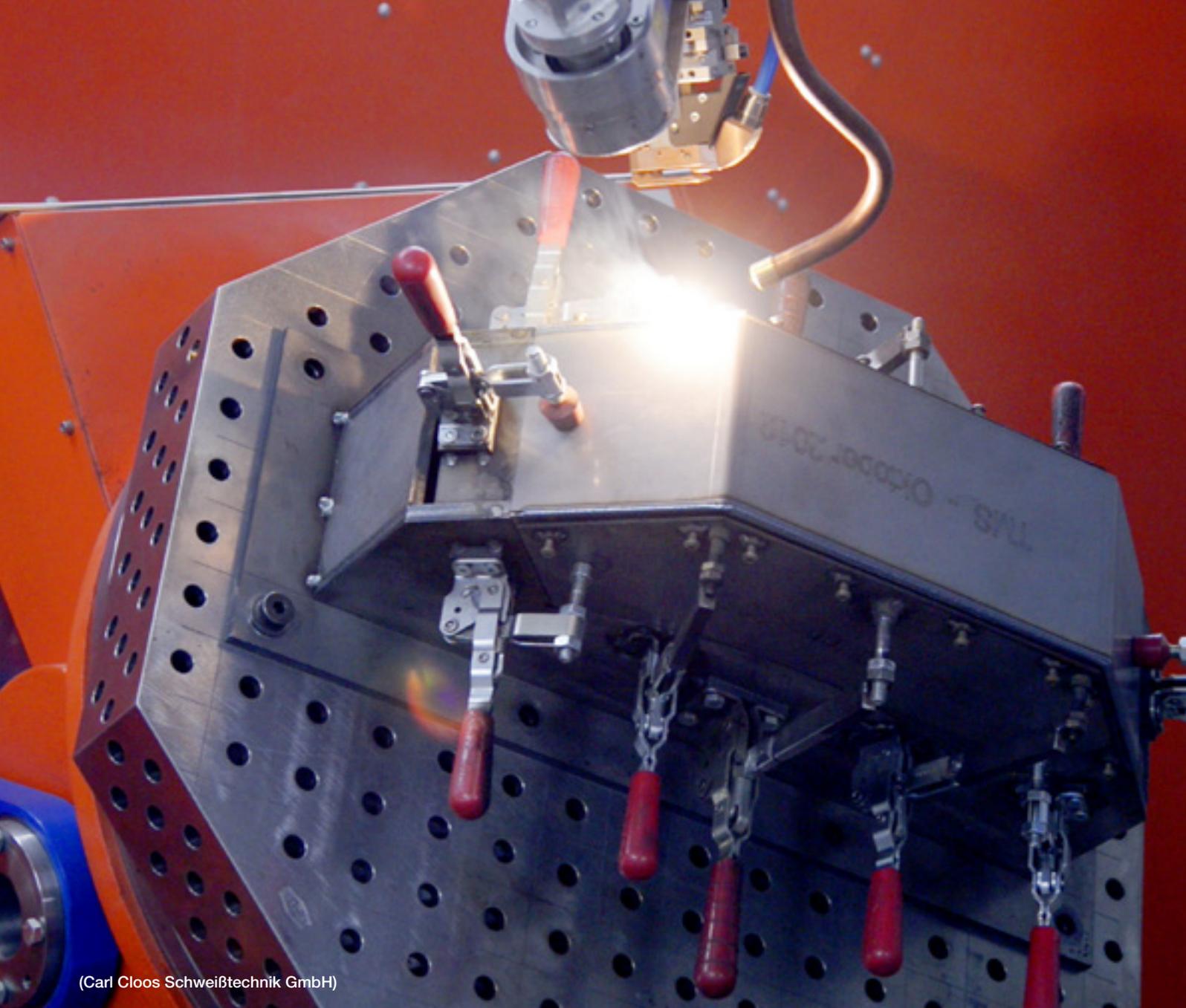
Dipl.-Phys. Jan Hoffmann,

Schweißtechnische Lehr-
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)



(Carl Cloos Schweißtechnik GmbH)

i

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

Durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen der Forschungsvereinigung des DVS, dem Ausschuss für Technik und dem Ausschuss für Bildung ist ein weltweit etabliertes und anerkanntes DVS-Richtlinienwerk geschaffen worden, das ein in sich geschlossenes System darstellt.

DVS-Mitglieder haben kostenlosen Zugriff unter: www.dvs-regelwerk.de

Forschung im DVS

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

Im Zentrum der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS stehen die Fachausschüsse (FA). Sie sind jeweils einem Fachbereich zugeordnet und besitzen dadurch eine fest umrissene inhaltliche Ausrichtung. Die Funktion der Fachausschüsse ist klar definiert: Sie sind die Schnittstellen, in denen das Wissen aus Unternehmen aus Industrie, Handel und Handwerk, aus Forschungsstellen, aus der Forschungsvereinigung selbst und dem DVS zusammenläuft. Jeder bringt sein individuelles Fachwissen in die Fachausschussarbeit ein,

was von Anfang an praxisnahe Forschungsvorhaben und -ergebnisse garantiert. Denn Aufgabe der Fachausschüsse ist es, innerhalb ihres jeweiligen Fachbereiches Forschungsbedarfe abzuleiten und Forschungsergebnisse zu kommunizieren. Deshalb sind die Fachausschüsse der Forschungsvereinigung des DVS auch in alle Phasen eines Forschungsprojektes involviert. Sie initiieren und planen die Projekte, begleiten und steuern deren Umsetzung und bewerten abschließend die Ergebnisse.



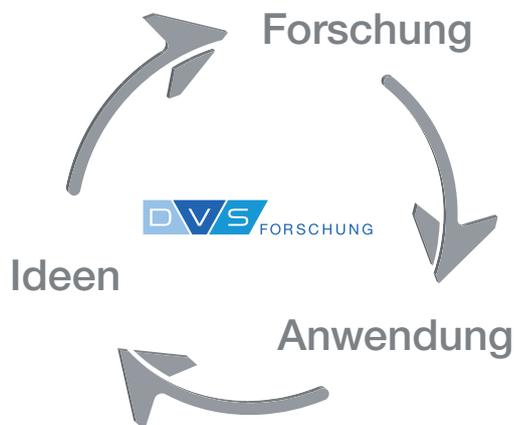
Fachausschüsse der Forschungsvereinigung

Automatisiert schweißen mit dem Laserstrahl (TRUMPF GmbH + Co. KG)

Industrielle Gemeinschaftsforschung

Tätigkeitsschwerpunkt der Forschungsvereinigung ist die Industrielle Gemeinschaftsforschung (IGF), die sich vor allem an den Interessen kleiner und mittlerer Unternehmen aus der fūgetechnischen Branche orientiert, denen häufig die Mittel für eigene Forschungsaktivitäten fehlen. Über die IGF lassen sich diese strukturbedingten Nachteile abfangen und in reale Wettbewerbsvorteile umwandeln, weil die IGF ein minimiertes wirtschaftliches Risiko mit großem Forschungspotenzial kombiniert.

Kernkompetenz der IGF ist die enge Verzahnung von Praxis und Theorie: Anforderungen, die unmittelbar aus der betrieblichen Praxis heraus formuliert werden, bilden die Grundlage für die Forschungsaktivitäten. Im Hinblick auf die fūgetechnische Forschung werden diese Anforderungen innerhalb der einzelnen Fachausschüsse der Forschungsvereinigung angemeldet. In einem zweiten Schritt werden daraus Forschungsschwerpunkte abgeleitet, die nachfolgend von unterschiedlichen Forschungsinstituten in Form von Forschungsprojekten untersucht werden. Durch die permanente Kommunikation mit den Fachausschüssen und die damit einhergehende aktive Mitarbeit von Unternehmen in allen Phasen bleibt der Aspekt der praxisnahen Forschungsarbeit immer gewährleistet. Darüber hinaus bewirkt die Beteiligung von Unternehmen an der IGF einen schnellen Wissenstransfer und damit auch eine Parallelität von Forschung und Ergebnisnutzung. Denn die Unternehmen können erste Ergebnisse aus der Forschung unmittelbar auf deren Praxistauglichkeit hin überprüfen und Erkenntnisse daraus an die Forschungsstellen zurück übermitteln.



Aus der Praxis für die Praxis:
Das Prinzip der Industriellen Gemeinschaftsforschung

Die Finanzierung der Forschungsvorhaben erfolgt über die AiF – Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. durch Fördergelder, die das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) bereitstellt.



Partner und Umsetzung der Industriellen Gemeinschaftsforschung

Auch in diesem Zusammenhang übernehmen die Fachausschüsse der Forschungsvereinigung eine wichtige Funktion, denn sie sind es, die die fūgetechnisch bedeutsamen Forschungsprojekte zur Umsetzung empfehlen. Diese Forschungsbedarfe werden abschließend durch ein Gutachterwesen der AiF fachlich bewertet und bei einem positiven Entscheid an das BMWi zur Förderung vorgeschlagen.

Angesichts der komplexen Abläufe innerhalb der fūgetechnischen Gemeinschaftsforschung zeigt sich in vielfacher Weise die Schnittstellenfunktion der Fachausschüsse in der Forschungsvereinigung. Die Art und Weise, in der diese Fachausschüsse ihre Aufgaben erfüllen, lässt sich dennoch unter einer Überschrift zusammenfassen: „Forschung aus der Praxis für die Praxis“.



Weitere und aktuelle Informationen zur Arbeit der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS gibt es unter www.dvs-forschung.de

Der Fachausschuss 6 „Strahlverfahren“

Eine offene Kommunikation zwischen Unternehmen und Forschungsinstituten kennzeichnet die Arbeitsweise im Fachausschuss „Strahlverfahren“ als engagiertem Ideenpool für Forschung und Anwendung. Ebenfalls sehr intensiv verläuft der Wissensaustausch zwischen dem Fachausschuss 6 und dem thematisch verwandten Fachausschuss 13 „Generative Fertigung – Rapidtechnologien“ sowie den Arbeitsgruppen V 9.1 „Elektronenstrahlschweißen“ und V 9.2 „Laserstrahlschweißen und verwandte Verfahren“. Durch die intensive Zusammenarbeit werden Synergieeffekte für die Forschung und die technische Weiterentwicklung rund um das Thema „Strahlverfahren“ geschaffen.

Die Strahltechnik ist in vielen Industriebereichen zum festen Bestandteil der Fügechnik geworden. Die Aufgabe im Fachausschuss „Strahlverfahren“ ist es, neu- bzw. weiterentwickelte Strahlschweißprozesse unter anwendungstechnischen Aspekten zu beurteilen und Prozessinnovationen durch unterstützende Forschungsaktivitäten beschleunigt in kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) zu transferieren. Dabei steht nicht nur die Entwicklung von Prozessen und Verfahren sondern auch deren Simulation im Vordergrund. 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, sehr schnell zu 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 so genannten Kurzzeitmetallurgie wird dazu ebenso Rechnung getragen, wie den dadurch bedingten mechanisch-technologischen Werkstoffeigenschaften.

Neue Entwicklungen der Technologie „Laserstrahl“ sowie Werkstoffentwicklungen sollen bereits in einem frühen Entwicklungsstadium durch grundlegende bzw. technologische Untersuchungen begleitet werden.

Aktuelle Forschungsfelder sind:

- Erhöhen der Qualität, Geschwindigkeit und Effizienz
- Erweiterung der Anwendungsgrenzen
- Fügen unterschiedlicher Werkstoffkombinationen



- Verbesserung der Prozessüberwachung und Prozessführung
- Sicherstellen der Reproduzierbarkeit
- (Pico-, Femto-) Ultrakurzpulslaser
- Mobile Vakuum-Systeme (mit reduziertem Druck)
- Einfluss auf die Ermüdungsfestigkeit und das Gefüge strahlgeschweißter Verbindungen
- Festkörper- und Diodenlaser
- Laserstrahl-Mikrofügen
- Laserstrahlschweißen mit Zusatzwerkstoff (Spaltüberbrückung)
- Laserstrahl(-plasma)auftragsschweißen
- Lasersicherheit
- Vermeidung von Heißbrissen
- Laserstrahl-(MSG)-Hybridschweißen mit niederenergetischen Lichtbogenprozessen
- Laserstrahllöten (CrNi-Stähle)
- Schweißen von hochfesten Feinkornstählen

Der Fachausschuss 13

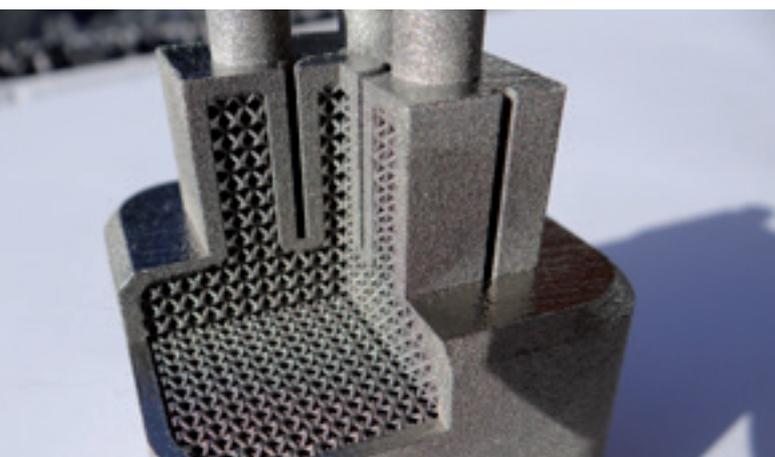
„Generative Fertigung – Rapidtechnologien“

Der Fachausschuss befasst sich mit den Forschungsfeldern in der additiven Fertigung, die die gesamte Prozesskette betreffen, inkl. 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 Fokus wird auf das Bauteil selbst gelegt. Arbeiten zur Entwicklung von kundenrelevanten Oberflächen werden ausgeschlossen.

Aktuelle Forschungsfelder:

- Prozessbezogene Erweiterung der Werkstoffpalette
- Werkstoffe / neue Werkstoffe / Werkstoffveränderung / Gefügestrukturen (Metall, Kunststoff, Keramik)
- Robuste Fertigungsprozesse
- Strahlführungssysteme
- Schaffung von wirtschaftlichen Prozessketten
- Eingliederung in vorhandene Prozessketten
- Lebensdauerbewertung /-steigerung von Komponenten / Qualitätssicherung
- Leichtbau, Funktionsintegration, Steigerung der Bauteilgröße
- Design Bauteil / Konstruktion
- Prozesssimulation (Verzug und Eigenspannung)
- Arbeitsplatzsicherheit

Der DVS kooperiert im Bereich „Additive Manufacturing“ mit dem VDI, um alle Aktivitäten in Forschung, Technik und Bildung zu bündeln. Dabei wird in den Gremien des VDI – Verein Deutscher Ingenieure 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 „Generative Fertigungsverfahren“ des Ausschusses für Bildung im DVS generiert und von den DVS-Bildungseinrichtungen angeboten.



Beispiele der generativen Fertigung,
(Rapid Technology Center Duisburg)

Wie anwendungsnahe Forschung funktioniert – ein Beispiel

Forschungsthema:

„Anwendung der Mehrstrahltechnik zur Reduzierung der Eigenspannungen bei EB und LB-geschweißten Bauteilen“

Forschungsstellen:

Prof. Dr.-Ing. M. Rethmeier, Fachbereich 9.3 „Schweißtechnische Fertigungsverfahren“, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

Prof. Dr.-Ing. U. Reisgen, Institut für Schweißtechnik und Füge-technik (ISF), RWTH Aachen University

Laufzeit: 01.07.2009 - 30.06.2011

IGF-Nr.: 16.139 N / **DVS-Nr.:** 6.069

Ausgangssituation:

Beim Schweißen metallischer Werkstoffe entstehen Eigenspannungen, die aus lokalen thermischen Ausdehnungen und Schrumpfungen des Werkstoffes resultieren. Besonders die hohen Zugspannungen sind eine unerwünschte Folge des Schweißens, da sie lokal die mechanischen Eigenschaften des Werkstoffes gravierend negativ beeinflussen können. Die Eigenspannungen können sich mit den zulässigen Betriebsspannungen überlagern und so zum frühzeitigen Versagen des Bauteils führen, insbesondere in Fällen, in denen die Konstruktionen schwingenden und stark korrosiven Belastungen ausgesetzt sind.

Besonders in der Fertigung von sicherheitsrelevanten Bauteilen können die Aufwendungen für die Kontrolle und Minimierung der Eigenspannungen sehr hoch sein. Beispiele dafür sind Armaturen im Kraftwerksbereich oder auch Teile von Gasturbinen in der Luftfahrtindustrie.

Zielsetzung:

Die modernen Strahlverfahren wie Laser- und Elektronenstrahlschweißen erlauben neben ihrer Flexibilität einen reduzierten bzw. einen exakt dosierten (definierten) Wärmeeintrag, der gerade beim Schweißen von Sonderwerkstoffen eine wichtige Rolle spielt. Hierdurch können der thermische Verzug oder die Eigenspannungen im Bauteil im Vergleich zu herkömmlichen Schweißverfahren reduziert werden. Darüber hinaus bieten die Strahlverfahren die Möglichkeit einer prozessintegrierten lokalen Wärmebehandlung, die u.a. auch zur Reduzierung der Eigenspannungen in der versagensanfälligen Schweißnaht genutzt werden kann. Hier bietet die schnelle Strahlsteuerung (Strahlfokussierung und -positionierung), die in den letzten Jahren sehr große Fortschritte gemacht hat, ein großes Potenzial.

Mit einer Reihe von FEM-Simulationen und experimentellen Untersuchungen an ferritischen und austenitischen Stählen wird den Anwendern von Strahlschweißprozessen ein Eigenspannungsreduktionsverfahren für hohe Längszugspannungen in Strahlschweißnähten qualifiziert und quantifiziert. Dieses Verfahren, das mit Elektronenstrahl- sowie Laserstrahlverfahren getestet wurde, nutzt den Schweißstrahl in defokussierter Form zur Erwärmung und Erzeugung von Zugspannungsbereichen bestimmter Materialbereiche neben der Schweißnaht. Für dieses Verfahren ist eine Vielzahl geeigneter Prozessparameter einstellbar.

Laser-MSG-Hybrid-Schweißen,
(Carl Cloos Schweißtechnik GmbH)



Die Ergebnisse der Forschung sollen dem Anwender Empfehlungen für die Wahl der Prozessparameter und den jeweiligen Anwendungszweck (Werkstoff, Bauteilgeometrie, Möglichkeiten der Strahlanlage) geben.

Ergebnisse:

Mit dem defokussierten Elektronen- bzw. Laserstrahl ist es möglich, die hohen Längseigenstressungen in Strahlschweißnähten beträchtlich zu reduzieren. Nutzt man den defokussierten Strahl zum Erwärmen des Materials neben der Schweißnaht auf den Temperaturbereich, der materialspezifisch einen hohen Streckgrenzengradienten (Verringerung der Streckgrenze mit steigender Temperatur) aufweist, können die in diesen Bereichen erzeugten Druckspannungen durch geringe plastische Deformationen relaxieren. Bei der Abkühlung und der thermischen Schrumpfung dieser wärmebehandelten Zonen, wird das Material zwischen der Schweißnaht und den wärmebehandelten Be-

reichen gestaucht. Die Folge dieser Stauchung ist die Reduzierung des Widerstandes des an die Schweißnaht angrenzenden Materials, das der thermischen Schrumpfung der Schweißnaht beim Abkühlen widerstrebt und so zu den hohen Eigenstressungen in der Schweißnaht führte (Bild 1). Folglich wird diese Spannungsreduktion durch einen mechanischen Entlastungseffekt ermöglicht.

Dieses Verfahren bietet somit eine effiziente Alternative zur Reduktion der hohen Längsspannungen in Strahlschweißnähten. Da dieses Verfahren auch lange nach dem Schweißprozess angewendet werden kann, bietet es auch im Rahmen einer Bauteilwartung an noch nicht nachbehandelten Strahlschweißnähten ein Tool zur Qualitäts- sowie Lebensdauersteigerung.

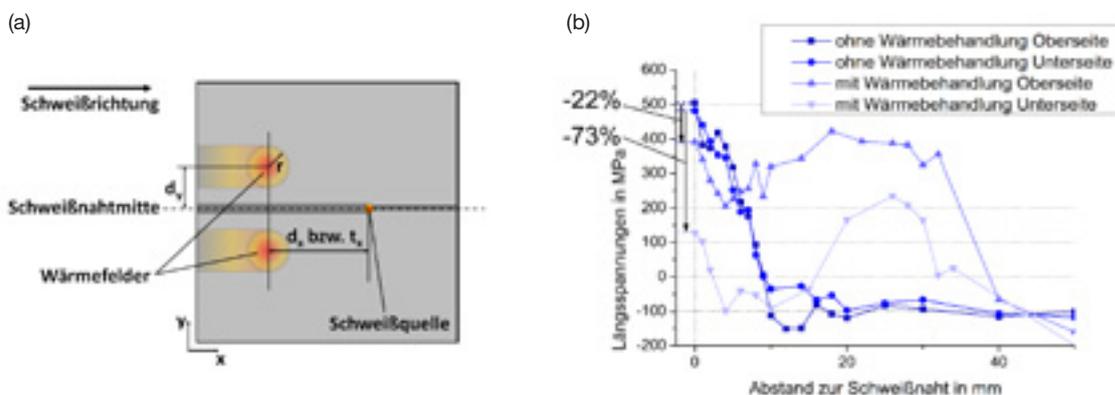


Bild 1: Verfahrensschema mit den geometrischen Prozessparametern r , d_y und d_x bzw. t_x (Bild a) sowie experimentell gemessene Längsspannungsprofile an der Ober- und Unterseite eines geschweißten und eines geschweißten und thermisch nachbehandelten S355J2+N-Prüfkörpers (Bild b)

Referenzen aus der Industrie

Dr. Klaus-Rainer Schulze, Schulze-Consulting, Neuberg:

„In diesem Projekt wurde mit großer Umsicht und Breite sowohl mittels numerischer Modellierung als auch mit Experimenten der - zwar nahe liegende, aber bisher nicht quantitativ untersuchte - Gedanke verfolgt, durch einen zusätzlichen Wärmeeintrag die beim Strahlschweißen eingebrachten Eigenstressungen so zu beeinflussen, dass die Verbindung höhere Belastungen ertragen kann. Dieser Ansatz und das positive Ergebnis belegen die hohe Nützlichkeit der prinzipiellen Untersuchungen für die Praxis. Na-

türlich erfordert die Übertragung auf konkrete Bauteile jeweils eine spezielle Untersuchung, da der konkrete Werkstoff und die Randbedingungen einen starken Einfluss haben werden.

Hervorzuheben ist die - zunächst überraschende - Erkenntnis aus dem Projekt, dass die Wärmebehandlung durchaus nicht in situ erfolgen muss, sondern ein optimaler Spannungsabbau bei einer abgekühlten Probe eintritt. Interessant ist auch die Tatsache, dass bei 5 mm Blechdicke und oberflächlicher nicht anschmelzender Erwärmung auch an der Blechunterseite eine deutliche Eigenstressreduzierung zu erreichen ist.“

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 CO₂-Laser, oder Festkörperlaser, wie klassische Nd:YAG, Scheiben-, Faser- oder Dioden-Laser, die Welt des Laserstrahles ist größer, als es sich hier darstellen ließe und diese Broschüre möchte daher 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
- Schiffsbau
- Medizin
- Stahlindustrie
- Maschinenbau
- Konsumgüterindustrie
- Elektronikindustrie
- Halbleiterindustrie
- Schmuckindustrie

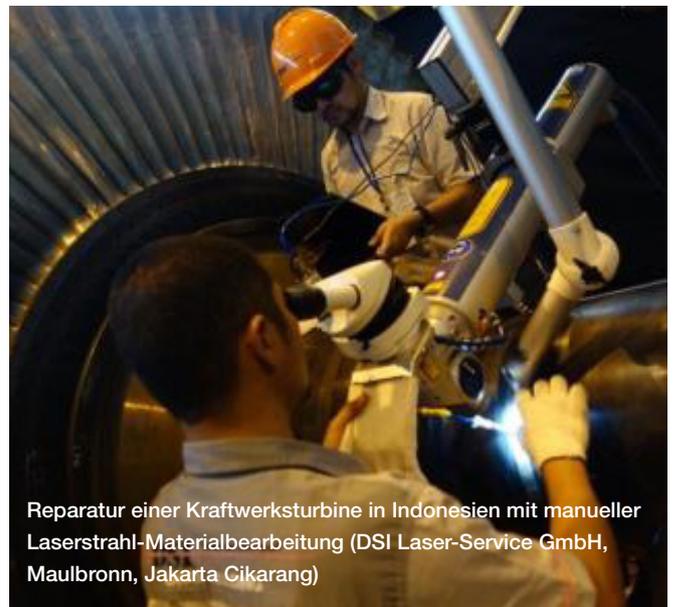
Anwendung und Aufbau des Lasers

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.



Handarbeit – manuelle Laserstrahl-Materialbearbeitung

Unter „manuell“ versteht man die mobile oder stationäre, handgeführte oder handpositionierte Laserstrahl-Materialbearbeitung sowie die Bearbeitung mittels Laserstrahlhandarbeitsplätzen. An Handarbeitsplätzen werden Schweißarbeiten an kleinen Werkstücken ausgeführt, z.B. das Schweißen von Schmuckstücken und Zahnersatz im Dentalhandwerk, wobei das Werkstück handgeführt wird und der Laser feststeht. Mit handgeführten Bearbeitungsköpfen kann der Laser wie ein konventioneller Schweißbrenner über das Werkstück geführt werden. So werden Reparaturen im Werkzeug- und Formenbau an Gussteilen z.B. Aluminiumdruckguss, Grauguss, Stahlguss, aber auch Großbauteile an Maschinen oder Anlagen, wie z.B. Kraftwerksturbinen, Pumpengehäuse, Zylinder möglich.



1D-Anwendungen | Manchmal genügt es, wenn der Laserstrahl nur in einer Bewegungsachse schweißen kann, etwa um Rohre oder Kanten zu schweißen. Hierfür setzt man spezielle Maschinen wie die Kantenschweißmaschine oder die Rohrschweißanlage ein. Dabei wird entweder das Werkstück oder die Bearbeitungsoptik bewegt.

3D-Anlagen und Roboter | Meist verbindet der Laserstrahl dreidimensionale Bauteile mit ebensolchen Nahtgeometrien. Dann nutzt man koordinatengeführte Laserstrahlanlagen mit 5 Bewegungsachsen und einer beweglichen Optik. In der Automobilindustrie werden in der Regel Gelenkarm-Roboter in Kombination mit Festkörperlaser eingesetzt.

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). In der Scanneroptik positionieren 1 oder 2 bewegliche Spiegel den Laserstrahl blitzschnell. Das ermöglicht es, die Strahlquelle höher auszulasten. Denn die Positionierzeiten zwischen 2 Nähten, in denen der Laserstrahl ausgeschaltet wird, verringern sich fast auf null. Der Vorteil des großen Arbeitsabstandes von 1 bis 2 Metern liegt in der Vergrößerung des Arbeitsraumes. In Remote-Schweißstationen ist es möglich, komplette Türen und Karossen zu schweißen.



Laserstrahlschweißen

Das Laserstrahlschweißen wird nahezu in allen Industriezweigen eingesetzt, da es eine Vielzahl von Vorteilen mit sich bringt. Diese sind im Einzelnen die hohe Schweißgeschwindigkeit, kurze Schweißzyklen, gezielte Einwirkung, schlanke Nahtgeometrien, hohe Festigkeit bei geringem Nahtvolumen, geringe Wärmebringung, kleine Wärmeeinflusszone, minimaler Verzug sowie gute Integration in andere Fertigungsschritte. Sekundäre Verfahren wie Schleifen, Endbearbeitung und Richten können teilweise entfallen, weil durch das Laserverfahren hochqualitative Nähte erzielt werden, die oft auch den optischen Ansprüchen ohne Nacharbeit genügen.

Beim Laserstrahlschweißen können artgleiche oder unterschiedliche Werkstoffe ohne Zusatzmaterial gefügt werden. Verschweißbare Werkstoffe sind z.B. un-, niedrig- und hochlegierte Stähle, Edel- und Nichteisenmetalle, Wolfram, Molybdän, Tantal, Nickel, Beryllium, Aluminium, Kupfer und Titan sowie Kunststoffe.

Anwendungsbeispiele des Laserstrahlschweißens:

- Punktschweißen der Scherblätter für Rasierer
- Dichtschweißungen von Herzschrittmachergehäusen
- Stumpfstoßschweißungen von Titan-Blechen
- Wärmeleitungsschweißen von Membranen
- Tiefschweißen von Getriebeteilen
- Dickblechschweißungen
- Hybridschweißen (Laser + MIG)



Nahtschweißung eines Batteriepaketes für einen Herzschrittmacher (ROFIN-LASAG AG)

Laserstrahl-Hybridschweißen

Die Laserstrahl-MSG-Technologie vereint die Vorteile von zwei bewährten Schweißprozessen. Der vorlaufende Laserstrahl schmilzt den Werkstoff an einem kleinen Brennfleck auf und dringt aufgrund der hohen Energiedichte tief in den Werkstoff ein. Der nachfolgende MSG-Prozess bildet ein breiteres Schmelzbad aus und führt dem gemeinsamen Lichtbogen Material zu. Das Zusatzmaterial füllt den durch den Laserstrahl entstandenen Trichter und sorgt für eine sichere Flankenbindung. Das Resultat: sehr tiefer Einbrand, eine höhere Schweißgeschwindigkeit sowie ein sehr stabiler Lichtbogen und eine wesentliche Reduzierung der Wärmebringung in das Werkstück. Diese Eigenschaften haben zur Folge, dass umfangreiche Nahtvorbereitungen bei größeren Blechdicken entfallen und Mehrlagenschweißungen durch eine einzige Laserstrahl-MSG-Schweißnaht ersetzt werden können.



Laserstrahlschneiden

Das Laserstrahlschneiden stellt eines der größten Anwendungsfelder in der Laserstrahltechnik dar. 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 anderen 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 Schnittspalt, sondern blasen es nur nach unten aus.

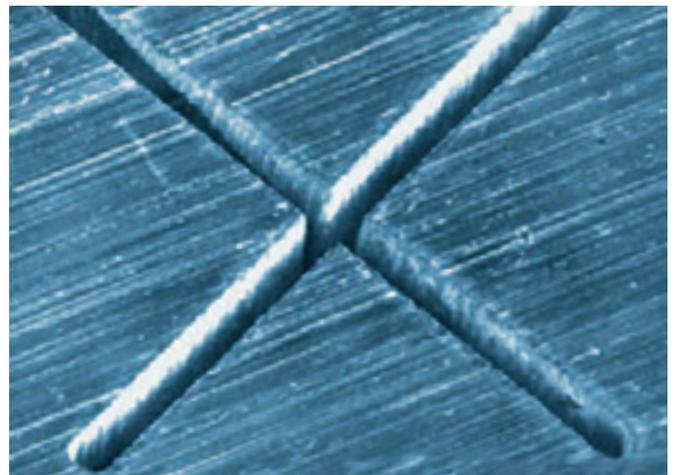
Nach kurzer Zeit durchdringt der Laserstrahl das Material vollständig. Nach dem Einstechen beginnt das eigentliche Schneiden. Der Laserstrahl bewegt sich entlang der Teilekontur und schmilzt das Material fortlaufend auf. Metallschmelze und -schlacke werden nach unten ausgeblasen. Dadurch entsteht ein enger Schnittspalt, der kaum breiter ist als der fokussierte Laserstrahl selbst.

Die Dynamik des Schneidprozesses lässt sich unmittelbar durch die Stellgrößen Laserleistung, Strahlqualität sowie den Fokussdurchmesser beeinflussen. Typische Fokussdurchmesser zum Laserstrahlschneiden liegen heute zwischen 5 und 600 μm . Die Blechbearbeitung war und ist das wichtigste Einsatzgebiet. Beim Schneiden von flachen Blechtafeln (bis zu 50mm), tiefgezogenen Teilen oder Profilen macht dem Laser so schnell kein konventionelles Verfahren etwas vor. Jenseits von massiven, dicken Werkstoffen und großen Teilen liegt die Fein- und Mikrobearbeitung im Trend. Experten gehen davon aus, dass Anwendungen in diesem Bereich in den nächsten Jahren stark zunehmen werden.

Aufgrund ihrer kurzen Wellenlänge und ihrer guten Strahlqualität eignen sich einige Festkörperlaser besonders zum Feinschneiden. Da der Laserstrahl zu einem sehr kleinen Durchmesser mit hoher Präzision fokussiert werden kann, sind Feinschnitte mit Schnittbreiten kleiner 10 μm möglich. Zusätzlich ist die wärmebeeinflusste Zone entlang des Schnittes extrem klein und die bearbeiteten Teile werden nicht verformt.

Fasergeführte Systeme und Faserlaser lassen sich problemlos in mehrachsige Schneidanlagen, sowie in roboter- und scannergeführte Systeme integrieren. Faserlaser eignen sich hervorragend sowohl zum Schneiden von hochfesten Stählen, als auch für neue Anwendungen. Multikilowatt-Faserlaser werden z.B. im Schiffbau für das Schneiden und Schweißen von massiven Stahlplatten eingesetzt.

Präzisionsschnitt in Spinneretts (40 μm) (ROFIN-LASAG AG)





Feinschnitt in Silber
(ROFIN-LASAG AG)

Eine Auswahl laserstrahlschneidbarer 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

Laserauftragschweißen

Diesmal besteht die Aufgabe nicht darin, Material abzutragen, sondern Material hinzuzufügen. 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.

Laserstrahlbohren

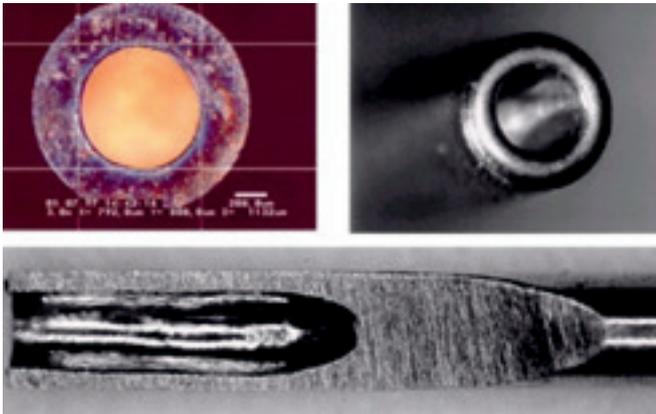
Zum Laserstrahlbohren werden vor allem gepulste Festkörperlaser eingesetzt, weil sie hohe Leistungsdichten und kurze Pulse erzeugen können. Das gilt insbesondere für die Festkörperlaser mit Pulsüberhöhung und Güteschaltung (Q-Switch). In der Mikrobearbeitung kommen Festkörperlaser mit kurzen und ultrakurzen Pulsen im Pico- und Femtosekundenbereich zum Einsatz sowie Excimerlaser. CO₂-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. 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.

Laserstrahlbohren ist ein Verfahren, das überwiegend für Serienteile mit großen Stückzahlen eingesetzt wird. Die Maschinen



Laserstrahlbohren: Leitschaufel für
Flugzeugturbine (ROFIN-LASAG AG)



Chirurgienadel mit Einzelschuss gebohrt, Lochdurchmesser 50 bis 600 μm , Aspektverhältnis 1:4 bis 1:12. (ROFIN-LASAG AG)

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 Silicon
- 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 Laserbearbeitung 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

**i****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 demnach gute Gründe, die Gesundheit der Beschäftigten an ihren Arbeitsplätzen vor künstlicher optischer Strahlung zu schützen. 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

www.dvs-ev.de (Menü: Service & Information/Technische Handlungshilfen)

Technik im DVS

Der Ausschuss für Technik

Angesichts von derzeit mehr als 250 bekannten Fügeverfahren, deren Zahl kontinuierlich steigt, kann und muss die technisch-wissenschaftliche Gemeinschaftsarbeit im DVS systematisch erfolgen. Garant dafür ist der Ausschuss für Technik (AfT) mit seinen über 200 Arbeitsgremien. Der AfT vereint mehr als 2.000 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.

Internationale Partner des DVS:

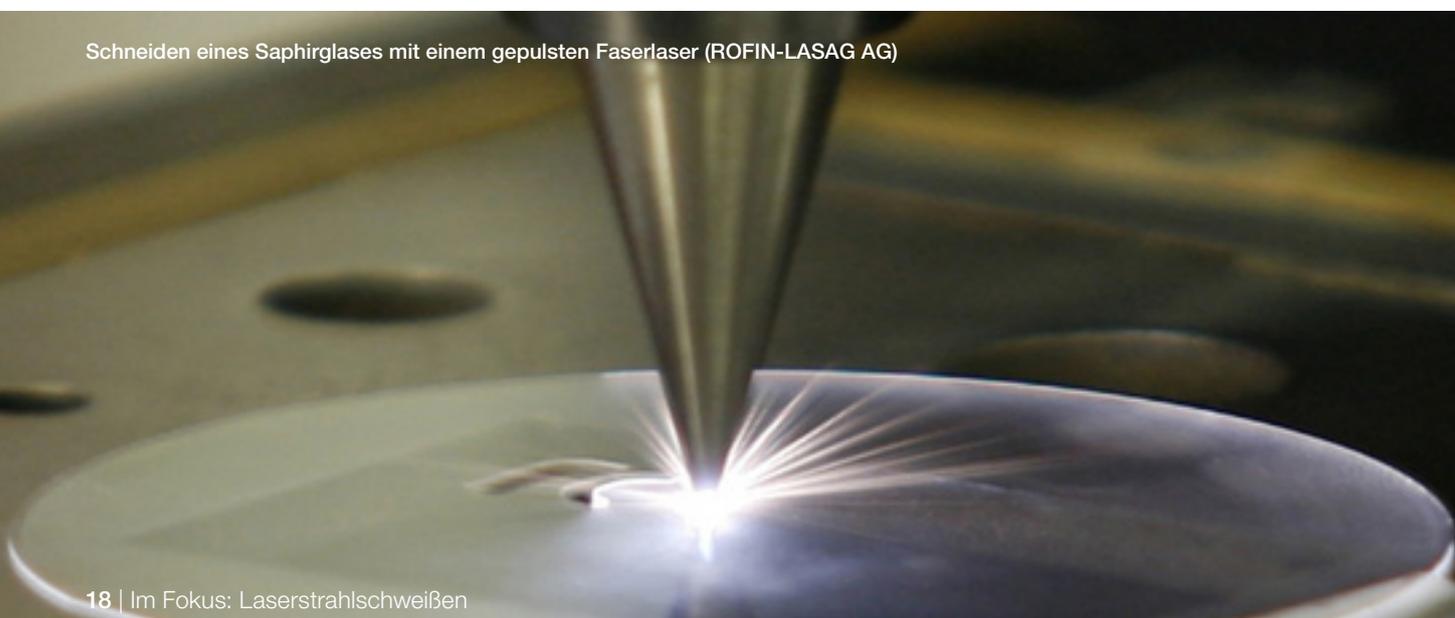
DIN	Deutsches Institut für Normung
CEN	Europäisches Institut für Normung
ISO	Internationales Institut für Normung
IIW	Internationaler Schweißverband
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
VdTÜV	Verband der Technischen Überwachungsvereine
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches
AGFW	Arbeitsgemeinschaft Fernwärme
AWS	Amerikanischer Schweißverband
NIL	Niederländischer Schweißverband
EFW	European Federation for Welding, Joining and Cutting

Die Arbeitsergebnisse im AfT werden als DVS-Merkblätter und -Richtlinien veröffentlicht. Eine enge Zusammenarbeit mit anderen regelsetzenden nationalen und internationalen Institutionen wie dem DIN, dem CEN oder anderen (siehe Tabelle) stellt zudem sicher, dass die Inhalte der DVS-Merkblätter und -Richtlinien sinnvoll auf die Regelwerke der anderen Institutionen abgestimmt sind.

i

DVS-Mitglieder profitieren vom kostenlosen Zugriff auf das deutschsprachige Regelwerk des DVS unter www.dvs-regelwerk.de. Dort sind alle technischen DVS-Merkblätter und -Richtlinien des Verbandes elektronisch abrufbar.

Schneiden eines Saphirglases mit einem gepulsten Faserlaser (ROFIN-LASAG AG)



Struktur des Ausschusses für Technik (AfT)

Hauptbereich W

Werk-, Zusatz- und Hilfsstoffe

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

Hauptbereich V

Verfahren und Geräte

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

Hauptbereich Q

Qualitätssicherung, Konstruktion, Berechnung und Arbeitsschutz

AG Q 1 Konstruktion und Berechnung	AG Q 2* Qualitätssicherung beim Schweißen	AG Q 4* Prüfen von Schweißungen	AG Q 5* Anforderungen an das Schweißpersonal	AG Q 6 Arbeitssicherheit und Umweltschutz
----------------------------------------------	-----------------------------------------------------	-------------------------------------------	--------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------

Hauptbereich I

Information

AG I 1 Informations- u. Kommunikationstechnik	AG I 2* Anwendungsnahe Schweißsimulation	AG I 3 Geschichte der Fügechnik	AG I 4 * Darstellung und Begriffe
---------------------------------------------------------	----------------------------------------------------	-------------------------------------------	---------------------------------------------

Hauptbereich A

Anwendungen

AG A 1 Schweißen im Turbomaschinenbau	AG A 2 Fügen in Elektronik und Feinwerktechnik	AG A 5 Schweißen im Bauwesen	AG A 6 Schweißen im Schiffbau und in der Meerestechnik
AG A 7 Schweißen im Schienenfahrzeugbau	AG A 8 Fügen im Straßenfahrzeugbau	AG A 9 * Schweißen im Luft- und Raumfahrzeugbau	

Fachgesellschaften

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

AG: Arbeitsgruppe, * Gemeinschaftsausschuss mit NAS (Normenausschuss Schweißen und verwandte Verfahren,

** Gemeinschaftsausschüsse mit anderen Verbänden, ***SEMFIRA = Safety in ElectroMagnetic Fields, EMF = Elektromagnetische Felder.

Arbeitsgruppe DVS AG 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 DVS 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 sowie Empfehlungen zum Laserstrahlschweißen metallischer Werkstoffe, und weiteren Themen wie z.B. zum Laserstrahlauftragschweißen, zur Laserstrahl-Remote-Schweißen oder zu neuen Laserstrahl-

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

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

Arbeitsgruppe DVS AG A 2.2 „Laserstrahlfügen in Elektronik und Feinwerktechnik“

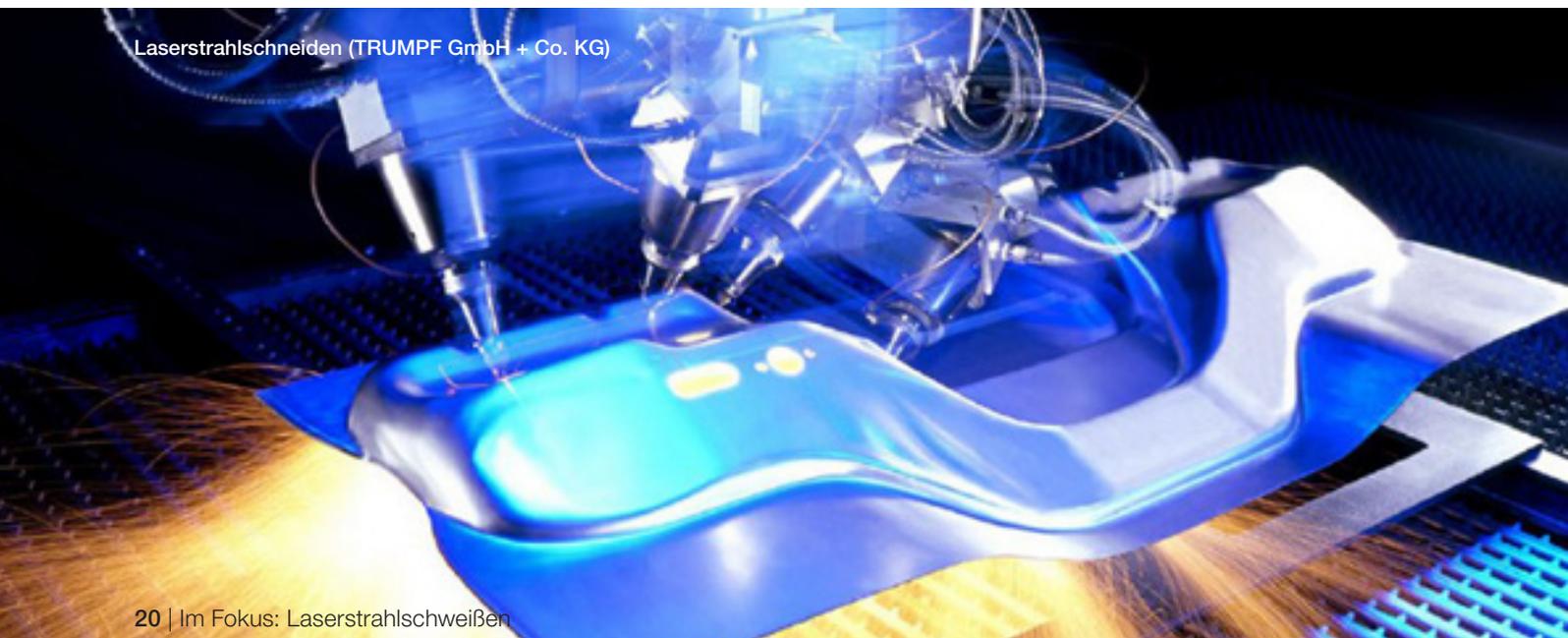
Wenn es um das Schweißen und Lötten mit laserbasierten Technologien zur Verbindung metallischer elektrotechnischer und feinwerktechnischer Komponenten geht, ist die DVS AG A 2.2 „Laserstrahlfügen in Elektronik und Feinwerktechnik“ der richtige Ansprechpartner. Durch die Einbeziehung neuer Werkstoffkombinationen, insbesondere von Verbindungen wie Glas/Kunststoff, Silizium/Metall, wird den neuen Aufgabenstellungen der Mikroelektronik Rechnung getragen.

Durch die steigenden Anforderungen an Miniaturisierung der Fügestelle, Verringerung der thermomechanischen Belastung und Erhöhung der Sauberkeit des Fügeprozesses liegt der Schwerpunkt der Aktivitäten auf den neuen Strahlquellen mit höherer Strahlqualität und alternativen Prozessführungen. Dabei werden

fasergekoppelte Nd:YAG-Laser, Faserlaser und Diodenlaser betrachtet. Neben den Arbeiten zur Strahlquellencharakterisierung und dem Verfahrensvergleich liegt ein weiterer Schwerpunkt in der Einordnung von Methoden zur Prozessüberwachung zum Schweißen und Lötten.

Die Anwendungsfelder erstrecken sich von der Automobilzulieferindustrie bis zur Medizintechnik. Die Arbeitsgruppe setzt sich aus Vertretern der Institute, der Strahlquellenhersteller und der Anwender zusammen. Gemeinsam werden aus den geschilderten Tätigkeitsfeldern Hinweise für Strahlquellenhersteller abgeleitet, Richtlinien für Anwender erarbeitet und Forschungsbedarfe definiert.

Laserstrahlschneiden (TRUMPF GmbH + Co. KG)

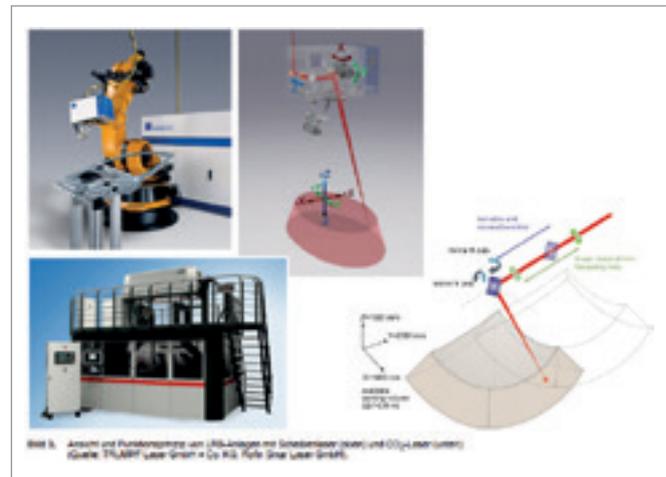


DVS-Regelwerke für die Praxis – zwei Beispiele

Merkblatt DVS 3222 „Laserstrahl-Remote-Bearbeitung“

Die Qualifizierung der Laserstrahl-Verfahren zum Fügen und Trennen und zu wissenschaftlich-technischen Entwicklungen hinsichtlich einer Ausschöpfung ihrer Technologiepotenziale schreitet stetig voran. Dies macht eine Sprachregelung für einen ungehinderten Wissenstransfer und Informationsaustausch notwendig.

Zweck des Merkblattes ist es, die im Weiteren als Laserstrahl-Remote-Bearbeitung bezeichneten Füge- und Trennverfahren zu definieren und besonders praxisrelevante Merkmale wichtiger, bisher bekannt gewordener Verfahrensvarianten zu beschreiben.

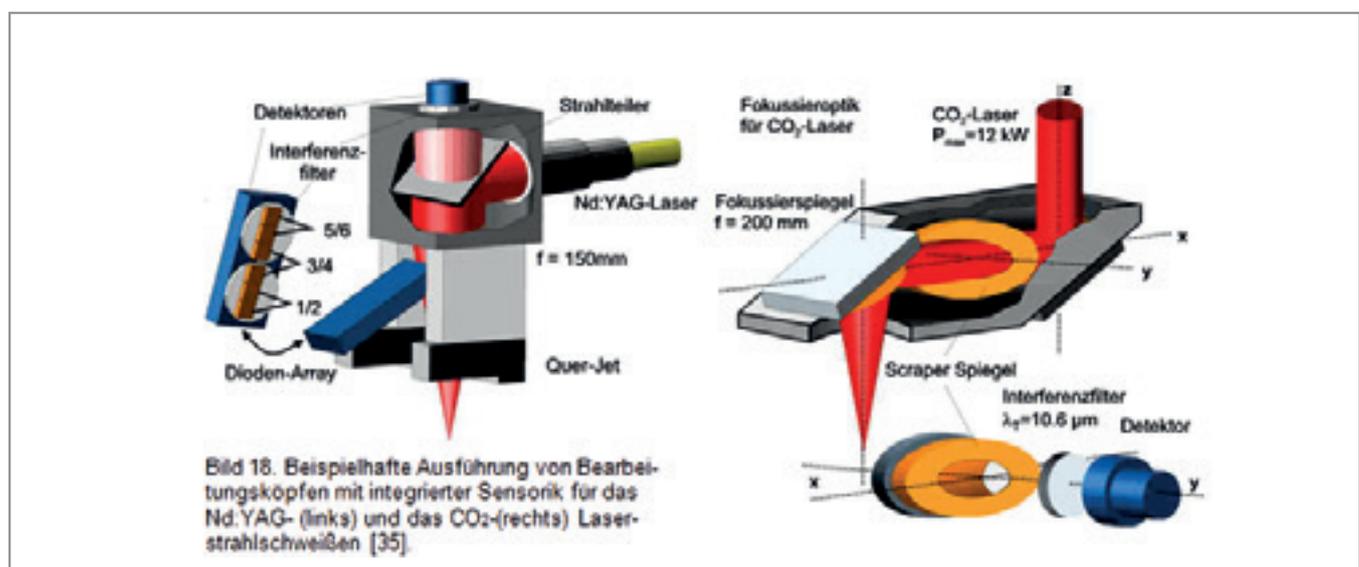


Merkblatt DVS 3219 Qualitätssichernde Sensorik während des Laserstrahlschweißens (in Vorbereitung)

Das Merkblatt gibt dem Anwender der Laserstrahlschweißtechnologie Hinweise auf Sensorik, die während des Laserstrahlschweißens zur Sicherung der Bearbeitungsqualität eingesetzt werden kann. Berücksichtigt werden ausschließlich Sensorsysteme, die während oder parallel zum Schweißprozess Messungen durchführen, von den Herstellern auch als Online-Sensorik bezeichnet. Grundsätzlich ist mit den nachfolgend vorgestellten Sensoren eine Regelung möglich bzw. heute bereits realisiert. Häufig ist ein einzelner Sensor allein aber nicht ausreichend, um die geforderte Qualität zu sichern. Die Gliederung des Merkblatts unterscheidet zwischen Sensoren zur

- Erfassung der Fugengeometrie (Abschnitt 2)
- Prozessüberwachung (Abschnitt 3)
- Erfassung der Nahtigenschaften (Abschnitt 4)

Abschnitt 1 des Merkblatts gibt eine tabellarische Übersicht zu den Sensorprinzipien. In Abschnitt 5 schließlich finden sich zu jedem Sensorprinzip Datenblätter mit Erläuterungen zum Messprinzip, schematischen Aufbau und Hinweisen zur Anwendung wie z. B. Messgenauigkeit und -geschwindigkeit



Bildung im DVS

Der Ausschuss für Bildung

Der Ausschuss für Bildung (AfB) initiiert Maßnahmen, um das Bildungs- und Zertifizierungsangebot des DVS gegenwärtigen Entwicklungen anzupassen und auf zukünftige Anforderungen vorzubereiten. Gleichzeitig fungiert der AfB als Lenkungsgremium für die Personalzertifizierungsstelle DVS-PersZert® und deren Aktivitäten. Insofern übernimmt der AfB die Rolle eines Strategieausschusses. Unterstützt wird er dabei von der Arbeitsgruppe Schulung und Prüfung (AG SP).

Die Arbeitsgruppe Schulung und Prüfung übernimmt im Bereich „Bildung und Zertifizierung“ die Aufgabe, einheitliches Schulungs- und Prüfungsmaterial im Rahmen der Qualifizierung fūgetechnischer Fach- und Führungskräfte zu erstellen. Dabei werden nationale, aber auch aktuelle europäische und internationale Anforderungen der EWF – European Federation for Welding, Joining Cutting oder des International Institute for Welding (IIW) in den Ausbildungs- und Prüfungsstandards umgesetzt. Weil die AG SP in ihrer Arbeit gleichermaßen die Interessen von Industrie und Handwerk berücksichtigt, schlägt sich der Bedarf der Wirtschaft unmittelbar in den erarbeiteten Richtlinien nieder. In den Zuständigkeitsbereich der AG SP gehören die Erarbeitung der konkreten Lehr- und Lerninhalte der fūgetechnischen

Aus- und Weiterbildung, darüber hinaus aber auch 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 „Generative Forschungsverfahren“ entwickelt Ausbildungskonzepte im Bereich „Rapid Manufacturing“ in den Fachrichtungen Kunststoff und Metall.

i

Das aktuelle Aus- und Weiterbildungsangebot des DVS finden Sie unter www.dvs-bildungskatalog.de

Bild: Fotolia



Struktur des Ausschusses für Bildung (AfB)



FG: Fachgruppe

Ausbildungs- und Karrierewege im Bereich des Laserstrahlschweißens

Richtlinie DVS 1187 „Laserstrahlfachkraft – Fachkraft für die Metallbearbeitung durch Laserstrahl“ in den Teilen Schweißtechnik, Schneidtechnik oder Oberflächentechnik

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 Konstruktionen 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 Sachkunde als Laserschutzbeauftragter nach Unfallverhütungsvorschrift „Laserstrahlung“ BGV B2 bzw. zukünftig nach OStrV.

Richtlinie DVS 1187-2 „Fachkraft für die manuelle Laserstrahl-Materialbearbeitung“

Die Fachkraft für die manuelle Laserstrahl-Materialbearbeitung kann die Aufgabenstellungen des Laserstrahlschweißens, des Laserstrahlschneidens und des Laserstrahl-Auftragschweißens mit mobilen, handgeführten oder handpositionierten Lasersystemen selbstständig und eigenverantwortlich lösen. Ferner kann sie im von den Herstellern vorgesehenen Rahmen die Bearbeitungsköpfe und die Laserstrahlanlagen pflegen und warten. Unter „manuell“ versteht sich die mobile oder stationäre, handgeführte oder handpositionierte Laserstrahl-Materialbearbeitung

sowie die Bearbeitung mittels Laserstrahlhandarbeitsplätzen. Der DVS-Lehrgang ist modular aufgebaut. Es können mehrere qualitative Stufen in zeitlicher Unabhängigkeit durchgeführt werden. Die Ausbildungsmodulare sind thematisch gegliedert und schließen mit Prüfungen ab. Nach erfolgreichem Abschluss aller Ausbildungsmodulare erhalten die Teilnehmer das Zeugnis „Fachkraft für die manuelle Laserstrahl-Materialbearbeitung“.

Richtlinie DVS 3601 „Fachkraft Rapid Manufacturing mit generativen Fertigungsverfahren – Fachrichtung Kunststoff“ (in Vorbereitung)

Die „Fachkraft Rapid Manufacturing – Fachrichtung Kunststoff“ besitzt Kenntnisse in den folgenden Bereichen:

- Grundlagen Generative Fertigung
- Laserstrahlgenerieren von Metallbauteilen
- Qualitätssicherung bei Metallbauteilen
- Aufbau der Anlage für das Laserstrahlgenerieren (Metall)
- Aufbereitung der Daten für einen Bauprozess
- Vorbereiten, Nachbereiten und Endbearbeitung der Fertigungsanlage

Sie erhält damit die grundlegenden Kenntnisse und Fertigkeiten für die generative Fertigung von Kunststoffen.

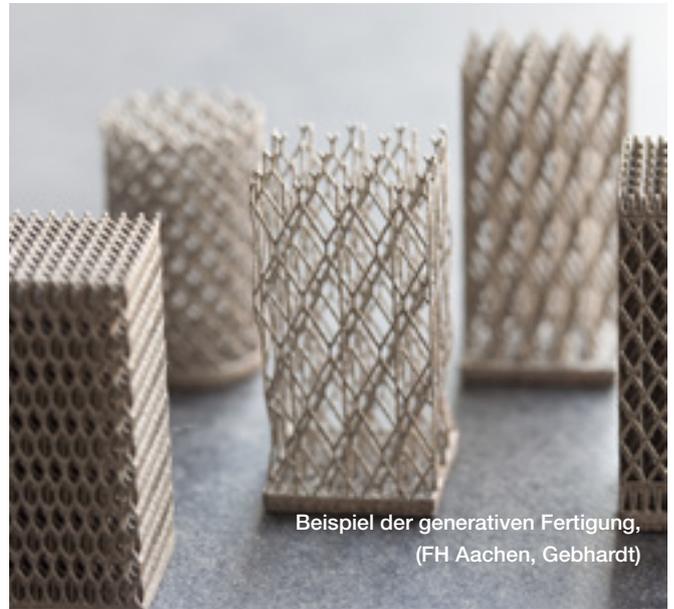
Richtlinie DVS 3602 „Fachkraft Rapid Manufacturing mit generativen Fertigungsverfahren – Fachrichtung Metall“ (in Vorbereitung)

Die Anforderungen für die Herstellung von metallischen Bauteilen durch Rapid Manufacturing mit generativen Fertigungsverfahren

werden durch die „Fachkraft Rapid Manufacturing“ – Fachrichtung Metall“ erfüllt. Der Lehrgang ist thematisch in die folgenden Bereiche gegliedert:

- Grundlagen Generative Fertigung
- Laserstrahlgenerieren von Metallbauteilen
- Qualitätssicherung bei Metallbauteilen
- Aufbau der Anlage für das Laserstrahlgenerieren (Metall)
- Aufbereitung der Daten für einen Bauprozess
- Vorbereiten, Nachbereiten und Endbearbeitung der Fertigungsanlage

Eine ausgebildete Fachkraft nach dieser Richtlinie besitzt ein systematisches Überblickswissen, kennt die Fachbegriffe und kann diese sachgerecht anwenden, kennt die Prozesskette, die Möglichkeiten und Grenzen der Verfahren in Bezug auf Qualität, Kosten, Anwendungsgebiete, kann die Qualitätsmerkmale bewerten. Sie kennt die zur Verfügung stehende Anlagentechnik und kann beispielhaft ein Bauteil fertigen.



Beispiel der generativen Fertigung,
(FH Aachen, Gebhardt)

Fachmedien und Lehrunterlagen zum Laserstrahlschweißen und verwandte Verfahren

Die DVS Media GmbH

Geht es um Publikationen und Medien rund um die Themen Fügen, Trennen und Beschichten, ist die DVS Media GmbH die richtige Anlaufstelle. Das Verlagsprogramm umfasst deutsche und fremdsprachige Fachzeitschriften, Fachbücher, Lehrmedien, 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 kostenlosen Zugriff auf alle DVS-Merkblätter und -Richtlinien. Nicht-DVS-Mitglieder können das DVS-Regelwerk unter www.dvs-media.info beziehen.

Ihre Ansprechpartner für Fachmedien und Lehrunterlagen



DVS Media GmbH

Aachener Str. 172, D-40223 Düsseldorf
www.dvs-media.info

Elke Kleine

T +49. (0)2 11. 15 91-161, F +49. (0)2 11. 15 91-150
elke.kleine@dvs-hg.de

Bernd Hübner

T +49. (0)2 11. 15 91-162, F +49. (0)2 11. 15 91-150
bernd.huebner@dvs-hg.de

Bild: istockphoto

Publikationen zum Laserstrahlschweißen



Schweißtechnische Praxis Band 29 Laserstrahlschweißen - Leitfaden für die Praxis

In diesem Buch werden dem Praktiker die Vorteile und Besonderheiten des Laserstrahls beim Einsatz zum Schmelzschweißen vorgestellt. Es beginnt mit der Beschreibung des Prozesses, der Schweißanlagen und der Schweißparameter. Dann folgen Hybridverfahren, Nahtgestaltung und -vorbereitung und sowie qualitätssichernde Maßnahmen in der Fertigung. Ein wichtiges Hauptkapitel widmet sich der Schmelzschweißbeugung der metallischen Werkstoffe. Dieser Band wendet sich an Ingenieure und Techniker in Planung und Fertigung, an Konstrukteure, Aufsichtspersonen der Schweißtechnik sowie an das Personal in der Prüf- und Werkstofftechnik.

1. Auflage 2009
Dipl.-Ing. J. Neubert, G. Weilhammer
140 Seiten, 220 Bilder u. Abbildungen / 18 Tabellen
ISBN: 978-3-87155-536-7, Artikelnummer: 200029



DVS-Berichte Band 288 Lasertagung Jena 2012

Vorträge und Posterbeiträge der 8. Jenaer Lasertagung am 22. und 23. November 2012. Die Beiträge in diesem Tagungsband geben Einblick in aktuelle Forschungs- und Entwicklungsthemen der Lasermaterialbearbeitung unterschiedlichster Werkstoffe, der Prozessentwicklung sowie der Effizienzsteigerung verschiedener Lasertypen und -bearbeitungsprozesse. Es werden Anwendungsmöglichkeiten der Lasertechnik auf den Gebieten der Mikrostrukturierung, Texturierung, des Schweißens und des Feinschneidens sowie der Laserstrahlpolitur unterschiedlicher Werkstoffe vorgestellt. Auch wird gezeigt, wie Laserstrahlung zur Unterstützung anderer Fertigungsprozesse eingesetzt werden kann, welche Maßnahmen die Strahlüberwachung verbessern helfen und welche Potenziale asphärische Optikkomponenten für Lasermaterialbearbeitungssysteme bieten.

1. Auflage 2012
176 Seiten, 302 Bilder u. Abbildungen / 19 Tabellen
ISBN: 978-3-87155-595-4, Artikelnummer: 300288



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.

4. Auflage September 2010
554 Seiten, 278 Bilder und Abbildungen / 82 Tabellen
ISBN: 978-3-87155-289-2, Artikelnummer: 502890

Ihre Kontakte für den Bereich „Laserstrahlschweißen“

Ihr Ansprechpartner für Forschung | Technik | Bildung



Fachreferent:

Dipl.-Ing. (FH) Christoph Eßer-Ayertey
T +49. (0)2 11. 15 91-178
F +49. (0)2 11. 15 91-200

christoph.esser@dvs-hg.de



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

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

Ausschuss für Technik

www.dvs-aft.de

AG 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

Stellvertretender Obmann:

Dr. rer. nat. Martin Koch,
ThyssenKrupp Steel Europe AG

**AG A 2.2 „Laserstrahlfügen in Elektronik
und Feinwerktechnik“**

www.dvs-aft.de/AfT/A/A2/A2.2

Obmann:

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



DVS PersZert

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

Ausschuss für Bildung

www.dvs-afb.de

FG 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

FG 4.13 „Generative Fertigungsverfahren“

Obmann:

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



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

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

Fachausschuss 6 „Strahlverfahren“

www.dvs-forschung.de/fa06

Vorsitzender:

Dr.-Ing. Ronald Holtz,
Class 4 Laser Professionals AG, Burgdorf, SCHWEIZ

Stellvertretender Vorsitzender:

Dr.-Ing. Johannes Weiser, BBW Lasertechnik GmbH, Prutting

Fachausschuss 13 „GF-Rapidtechnologien“

www.dvs-forschung.de/fa13

Vorsitzender:

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

Stellvertretender Vorsitzender:

Dipl.-Ing. Christian Kolbe,
FKT Formenbau u. Kunststofftechnik GmbH, Triptis

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!

Dipl.-Ing. (FH) Christoph Eßer-Ayertey
T +49. (0)2 11. 1591-178
christoph.esser@dvs-hg.de

Im Fokus: Laserstrahlschweißen im DVS

wird gesponsert durch



CARL CLOOS SCHWEISSTECHNIK GmbH, Haiger



DSI Laser-Service GmbH, Maulbronn



ESI GmbH, Neu-Isenburg



Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik, Aachen



LZH Laser Akademie GmbH, Hannover



TEKA Absaug- und Entsorgungstechnologie GmbH, Velen