



## **DVS-Technikreport 2018**

Forschung und Technik im DVS

Mit dem Thema „DVS – Ein Zuhause für die Kunststoffwelt“

# Inhaltsverzeichnis

Vielfältig und lebendig: Forschung & Technik im DVS.....	03
Interaktiv im DVS-Regelwerksportal unterwegs .....	04
Die Top 10 im Jahr 2017.....	05
Die Alleskönner: Verfahren mit Laser- und Elektronenstrahl .....	06
Laserstrahl und Elektronenstrahl im Vergleich .....	07
Ausbildungsangebote .....	08
Ganz aktuell: Laserstrahl unter Vakuum.....	09
DVS – Ein Zuhause für die Kunststoffwelt.....	10
Kunststoff und andere Werkstoffe.....	11
„Serienschweißen“ und „Schweißen im Anlagen-, Behälter- und Rohrleitungsbau“ .....	11
Ausbildung im Kunststofffügen .....	12
Additive Fertigung: Eine neue industrielle Revolution? .....	14
Studie der Additiven Fertigung – Ergebnis der Befragung.....	16
Blick in die Zukunft.....	18
Ihre Ansprechpartner .....	19



## Impressum

### Herausgeber:

DVS – Deutscher Verband für Schweißen  
und verwandte Verfahren e. V.  
Aachener Straße 172  
40223 Düsseldorf  
Postfach 101965  
40010 Düsseldorf  
  
T +49 211 1591-0  
F +49 211 1591-200  
www.dvs-ev.de

### Realisation:

DVS Media GmbH  
Aachener Straße 172  
40223 Düsseldorf  
Postfach 101965  
40010 Düsseldorf  
  
T +49 211 1591-0  
F +49 211 1591-150  
www.dvs-media.eu

### Druck:

Das Druckhaus Beineke Dickmanns GmbH  
Im Hasseldamm 6  
41352 Korschenbroich  
Deutschland

**Erscheinungsdatum:** September 2018

**Titelbild:** pixabay

**Der DVS bietet der Kunststoffwelt ein Zuhause.**

Diese Broschüre richtet sich an Männer und Frauen in gleichem Maße. Zur besseren Lesbarkeit wurde im Text jedoch auf die durchgängige Formulierung in männlicher/weiblicher Form verzichtet und nur die männliche Form genutzt.

# Vielfältig und lebendig: Forschung & Technik im DVS

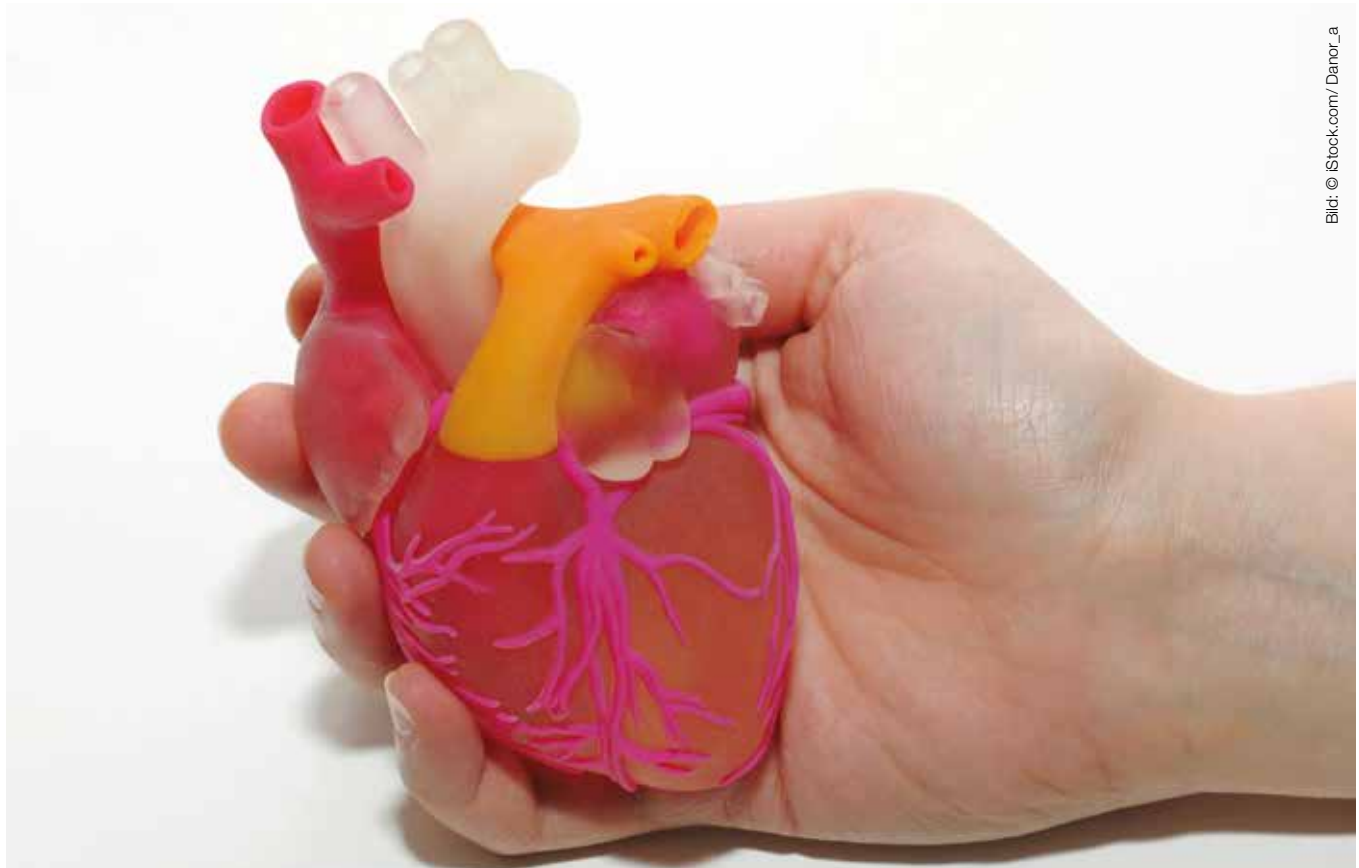


Bild: © iStock.com/Danor\_a

*Die Additive Fertigung hat in der Medizin Einzug gehalten.*

Die intensive Zusammenarbeit aus Forschung, Technik und Bildung ist ein Kernelement der technisch-wissenschaftlichen Gemeinschaftsarbeit des DVS – Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V. Die Ziele sind der zeitnahe Informationsaustausch und die Bereitstellung praxisnaher Fachinformationen für Industrie, Handwerk und Wissenschaft. Technologische Neuerungen werden im fūgetechnischen Regelwerk erfasst, um die Branche kontinuierlich über die Entwicklungen und die Ergebnisse zu informieren. Das DVS-Regelwerk, bestehend aus Merkblättern und Richtlinien, zeigt den jeweils aktuellen Stand der Technik auf und definiert vergleichbare Standards. Weil der DVS außerdem eng mit verschiedenen Instituten und Organisationen aus dem Bereich der Normung und Standardisierung zusammenarbeitet, fließen die Arbeitsergebnisse des DVS auch in nationale und internationale Normungsaktivitäten ein.

Die Abteilung „Forschung und Technik“ fasst im DVS alle Aktivitäten der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS und des Ausschusses für Technik (AFT) zusammen. Die Forschungsvereinigung und der AFT sind dabei eng miteinander verzahnt. Dies bedeutet, dass Forschungsergebnisse aus der Forschungsvereinigung umgehend in den

technischen Arbeitsgruppen des Ausschusses für Technik aufgegriffen werden und sich im technischen DVS-Regelwerk widerspiegeln. Wissenschaftliche Fragestellungen, mit denen sich der AFT beschäftigt, finden wiederum eine direkte Berücksichtigung in den Forschungsaktivitäten der Forschungsvereinigung.

Der DVS-Technikreport gibt jedes Jahr einen Einblick in die umfangreichen Aktivitäten aus Forschung und Technik. In der vorliegenden Ausgabe stehen die Schwerpunkte „Laser- und Elektronenstrahlverfahren“, „Kunststofffügen“ und „Additive Fertigung mit dem Lichtbogen“ im Fokus. Es zeigt sich, dass jedes Verfahren individuell bezogen auf fūgetechnische Aspekte betrachtet werden muss. Es lohnt sich, diese genauer zu erläutern. Ein Blick auf das neue DVS-Regelwerksportal mit seinen gut 500 DVS-Merkblättern und -Richtlinien rundet das vielfältige Themenspektrum des Verbandes ab.

Der DVS-Technikreport macht einmal mehr deutlich, welche praxisnahen Ergebnisse die technisch-wissenschaftliche Gemeinschaftsarbeit im DVS hervorbringt. Gleichzeitig lädt der DVS Sie herzlich dazu ein, sich an den vielfältigen Aktivitäten im Verband zu beteiligen.



## Interaktiv im DVS-Regelwerksportal unterwegs

Die fügetechnische Branche weiß es zu schätzen: das DVS-Regelwerksportal. Mit fast 62.000 Dokumentenaufrufen im Jahr 2017 hat das Portal gegenüber dem Jahr 2016 (ca. 61.000 Aufrufe) noch einmal an Bedeutung zugenommen. Unter dem Link [www.dvs-regelwerk.de](http://www.dvs-regelwerk.de) stellt der DVS bereits seit vielen Jahren seine über 500 DVS-Merkblätter und -Richtlinien den Verbandsmitgliedern zum kostenlosen Download zur Verfügung. Seit dem 1. Februar 2018 ist das DVS-Regelwerksportal jetzt interaktiv und noch komfortabler geworden – und das auch für Interessierte, die noch kein Mitglied im Verband sind.

Die Ergebnisse der technisch-wissenschaftlichen Gemeinschaftsarbeit in Form von DVS-Merkblättern und -Richtlinien stehen den DVS-Mitgliedern wie gewohnt zur Verfügung. Neben einem modernen Layout hält das neue DVS-Regelwerksportal viele neue Funktionen bereit. Im Archiv werden Dokumente, die

zwischenzeitlich überarbeitet oder zurückgezogen worden sind, ab dem Jahrgang 1974 zur Verfügung gestellt. Damit gehen auch Informationen aus zurückgezogenen DVS-Merkblättern und -Richtlinien nicht verloren. Sie können bei Interesse eingesehen und beispielsweise mit der Neuauflage verglichen werden. Ein Filter nach Themengebiet und/oder Jahr hilft bei der Suche.

Ein besonderes Novum, auf das viele Nutzer schon lange gewartet haben, ist die Bereitstellung **englischsprachiger DVS-Merkblätter und -Richtlinien**. Verbandsmitglieder können jetzt kostenlos auf eine große Anzahl an englischen Dokumenten zugreifen. Diesen exklusiven Mehrwert hat der Verband für seine gut 19.000 Mitglieder zusammen mit der DVS Media GmbH geschaffen, damit die internationale Arbeit von Fachleuten vereinfacht wird.

Einen besonderen Stellenwert im DVS-Regelwerkportal nimmt vor allem die neue Kommentarfunktion ein. Damit viele Experten ihr Wissen einbringen können, haben nicht nur DVS-Mitglieder, sondern alle Interessierten nach einer vorherigen Registrierung die Möglichkeit, die DVS-Merkblätter und -Richtlinien zu kommentieren. Alle Nutzer des DVS-Regelwerkportals können ihren Kommentar zu einem Dokument abgeben. DVS-Mitglieder haben die komfortable Gelegenheit, zusätzlich einzelne Elemente – wie Texte, Bilder, Formeln etc. – detailliert zu kommentieren.

Mit diesen Neuerungen ist das DVS-Regelwerkportal zu einer bedeutenden interaktiven Wissensplattform für alle Experten und Interessierten in der Branche gewachsen.

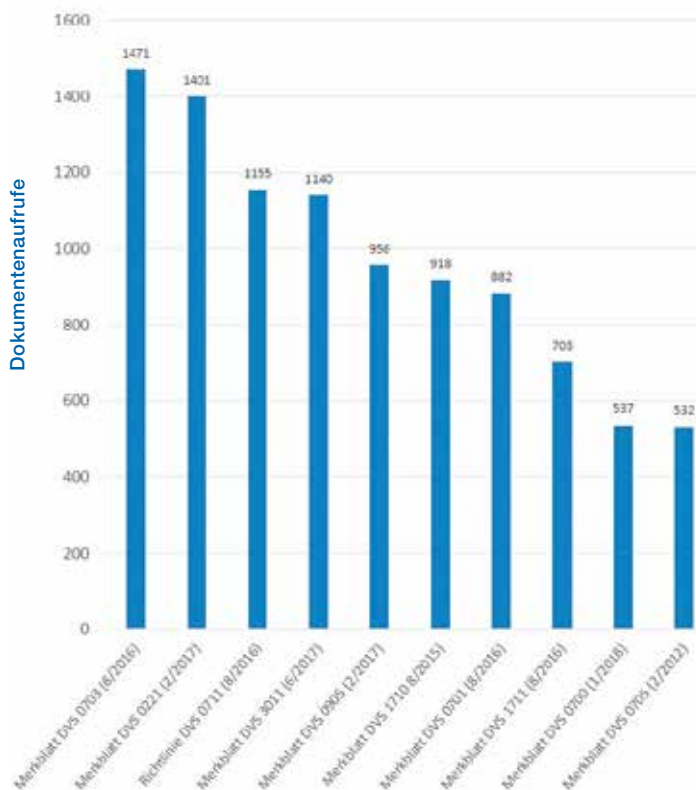


Die technischen DVS-Merkblätter und -Richtlinien gibt es unter: [www.dvs-regelwerk.de](http://www.dvs-regelwerk.de)

## Die Top 10 im Jahr 2017

Unter den Top 10-Aufrufen der DVS-Merkblätter und -Richtlinien steht das Merkblatt DVS 0703 „Grenzwerte für Unregelmäßigkeiten von Schmelzschweißverbindungen nach DIN EN ISO 5817“ (1.471 Aufrufe), dicht gefolgt vom Merkblatt DVS 0221 „Gasversorgungsanlagen für Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren – Empfehlungen für Prüffristen und die Gefährdungsbeurteilung“ (1.401 Aufrufe). Auch der Spitzenreiter 2016, das Merkblatt DVS 1710 „Schweißplan im Metallbau“, ist mit Platz sechs wieder unter den Top 10 (Bild1).

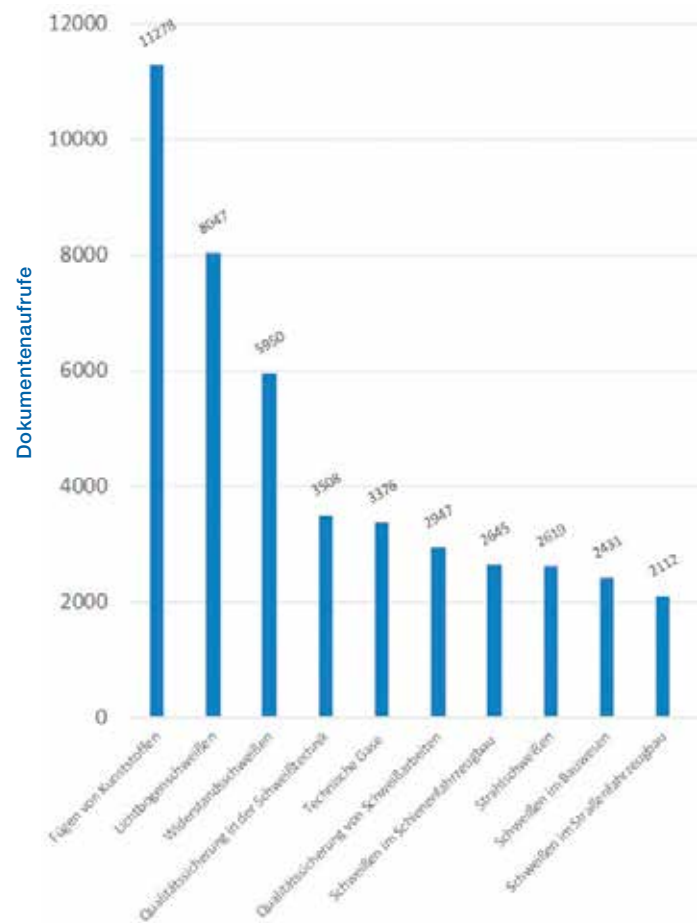
Betrachtet man die Top-Themen des DVS-Regelwerkportals, so steht mit über 11.000 Dokumentenaufrufen „Fügen von Kunststoffen“ an erster Stelle. „Lichtbogenschweißen“ und „Widerstandsschweißen“ wurden mit über 8.000 Aufrufen bzw. knapp 6.000 Aufrufen von den DVS-Mitgliedern im Portal gesucht (Bild 2).



Merkblätter

**Bild 1:**  
Top 10 der Dokumentenaufrufe 2017

Quelle: DVS Media GmbH



Themenbereiche

**Bild 2:**  
Dokumentenaufrufe 2017 nach Themenbereichen

## Die Alleskönner: Verfahren mit Laser- und Elektronenstrahl

Es gibt verschiedene Strahlverfahren, die in den unterschiedlichsten Branchen ihren Einsatz finden, wie im Fahrzeugbau, in der Medizin, im Maschinenbau, in der Elektroindustrie oder auch in der Schmuckindustrie. In seiner Arbeitsgruppe (AG) V9 „Strahlverfahren“ im Ausschuss für Technik und im gleichnamigen Fachausschuss (FA) 6 der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS beschäftigt sich der DVS eingehend mit der Verbreitung, den Einsatzmöglichkeiten und der Weiterentwicklung von Strahlverfahren für alle Belange der Füge-, Trenn- und Beschichtungstechnik.

Dabei spielt die Anwendung des „Laserstrahls“ eine bedeutende Rolle. „LASER“, was eigentlich ein Kunstwort ist und sich aus

dem Englischen – Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – ableitet, wird insbesondere in der Fertigungstechnik, Messtechnik, Medizintechnik sowie in den Bereichen Umwelttechnik und Energietechnik angewandt. In der Materialbearbeitung verwendet man die verschiedenen Laserarten Festkörperlaser, Gaslaser, Halbleiterlaser und Eximerlaser. Anfang der 1960er-Jahre wurde das Laserstrahlschweißen entwickelt und hat sich seither in der Industrie fest etabliert.

Neben dem Laserstrahl steht auch die Nutzung des Elektronenstrahls für die Belange der Fügetechnik im Fokus der Aktivitäten des Verbandes. Bereits in den 1950er Jahren beschäftigte sich die Industrie mit dem Elektronenstrahlschweißen. Vom Elektro-

nenmikroskop zur Darstellung des Mikrokosmos, der Bestrahlung von Lebensmitteln und als Werkzeug in der Strahlentherapie bis hin zum einlagigen Schweißen dickwandiger Bauteile bis 300 mm Wandstärke kann der Elektronenstrahl stets mit einzigartigen Eigenschaften gewinnbringend eingesetzt werden. Im Laufe der Zeit hat er darüber hinaus in weiteren Gebieten – wie im Luft- und Raumfahrzeugbau, in der Energieanlagentechnik oder im Schwermaschinenbau – Einzug gehalten.

Der DVS widmet sich in seinen Gremien intensiv den Laser- und Elektronenstrahlverfahren für Anwendungen rund um das Schweißen und Schneiden. In 25 DVS-Merkblättern und -Richtlinien ist der Stand der Technik, bezogen auf vielfältige Einsatzmöglichkeiten dieser Strahlverfahren, dokumentiert. Eine Übersicht dieser DVS-Merkblätter und Richtlinien ist im DVS-Regelwerksportal verfügbar.



Bild: © iStock/DanBrandenburg

## Laserstrahl und Elektronenstrahl im Vergleich

Vergleicht man Laserstrahl und Elektronenstrahl für fügetechnische Anwendungen, dann könnte man simpel folgendes feststellen: Beim Laserstrahl gibt es einen Strahl, der an einer Stelle auftrifft. Beim Elektronenstrahl dagegen gibt es die Möglichkeit der Mehrstrahltechnik, die man in unterschiedlichen Zeitdichten setzen kann. Das bedeutet, dass mit Hilfe des Elektronenstrahlverfahrens zeitgleich verschiedene Stellen bearbeitet werden können. Während der Einsatz des Laserstrahls in Industrie und Wissenschaft einen festen Platz gefunden hat, ist die Nutzung des Elektronenstrahls in dieser Anwendungsbreite noch ausbaufähig.

Es sind verschiedene Faktoren wie Stückzahl, Wirtschaftlichkeit oder Zugänglichkeit, die für die Auswahl des optimalen Strahlverfahrens entscheidend sind. Das Schweißen mit dem Elektronenstrahl wird im Vakuum durchgeführt. Es werden dementsprechend für große Bauteile auch große Kammern benötigt. Die Investitionskosten sind damit recht hoch und somit nicht für jedes Unternehmen rentabel. Als eine Herausforderung für die Arbeit mit dem Elektronenstrahl ist die eingeschränkte Zu-

gänglichkeit der Schweißstelle zu nennen. Für den Einsatz des Elektronenstrahls sprechen hingegen die geringe Wärmeeinbringung, die geringe Temperaturbelastung der Bauteile, der optimale Kontaminationsschutz der Schmelze durch das Vakuum sowie die Möglichkeit, Werkstoffkombinationen zu schweißen.

Diese positiven Eigenschaften werden von den Unternehmen auch konsequent für ihre Bauteile genutzt. Im Luft- und Raumfahrzeugbau kommt das Elektronenstrahlschweißen bei der Herstellung von Bauteilen für Raketen zum Einsatz. Wirtschaftliche Faktoren sind hier gegenüber dem Nutzen und den hohen Qualitätsanforderungen an die Schweißtechnik untergeordnet.

Dagegen ist das Laserstrahlschweißen trotz einer allgemein aufwendigen Nahtvorbereitung und schmalen Schweißnähten aus dem industriellen Alltag nicht wegzudenken. Auch wenn eine teils besondere aufwändige, laserstrahlgerechte Konstruktion für den Einsatz dieser Verfahren erforderlich ist. Denn über eine laserstrahlgerechte Konstruktion erschließen sich neue innovative Produkte. Darüber hinaus punktet der Einsatz des



Bild: LZH Laser Akademie GmbH

Ein Beispiel für das Laserstrahlschweißen ist dieses Zündkerzengehäuse.



Bild: © PRILL Mediedesign/Fotolia.com

Oft große Bauteile wie im Luft- und Raumfahrtbereich sind mit dem Elektronenstrahl geschweißt.

Laserstrahls mit einem hohen Automatisierungsgrad und einer hohen Schweißgeschwindigkeit. Die Einsatzgebiete des Laserstrahls sind vielfältig und in unterschiedlichen Bereichen anzutreffen. Immer neue Arten des Laserstrahls werden entwickelt und als neue Themenstellungen in Forschung und Technik des DVS aufgegriffen.

Seit Kurzem beschäftigt sich der Verband mit der Entwicklung des UltrakurzpulsLasers. „UltrakurzpulsLasers“ ist eine Technologie, die erst jetzt in Deutschland vermehrt eingesetzt wird. Der DVS hat früh den industriellen Bedarf an dieser Technologie erkannt und die Arbeitsgruppe (AG) V9.4 „UltrakurzpulsLasers“ gegründet. So wurde frühzeitig ein fachlicher Expertenaustausch ermöglicht und mit der technischen Dokumentation in Form von entsprechenden DVS-Merkblättern und -Richtlinien begonnen.



#### Hinweis

Die AG V9.4 benötigt weitere Unterstützung bei der Erstellung der folgenden drei DVS-Merkblätter, die dann der Forschung und Industrie zur Verfügung gestellt werden:

- UKP-Grundlagen und Systemtechnik
- UKP-Laserverfahren in der Fertigung
- UKP-Sicherheitstechnische Auslegung der Anlagen



Bild: Ernst-Abbe-Hochschule, Jena

Strahlbasiertes Abtragen – hier kommt der UltrakurzpulsLasers zum Einsatz.

## Ausbildungsangebote

Weil sich die Anwendung mit dem Laserstrahl etabliert hat, gibt es bereits verschiedene Ausbildungsrichtlinien, die im Ausschuss für Bildung im DVS erarbeitet wurden. Insbesondere ist die Ausbildungsrichtlinie DVS 1187 „DVS-Lehrgang Laserstrahl-fachkraft – Fachkraft für die Metallbearbeitung durch Laserstrahl“ mit den drei Beiblättern Schweißtechnik, Schneidtechnik und Oberflächentechnik sehr gefragt. Das Beiblatt „DVS-Lehrgang Laserstrahl-fachkraft – Fachkraft für die Metallbearbeitung durch Laserstrahl – Schneidtechnik“ wird nach einer Überarbeitung auch den UltrakurzpulsLasers berücksichtigt.

Dagegen wird die aktuell noch integrierte Ausbildung zum Laserschutzbeauftragten zugunsten neuer Inhalte aus den Beiblättern entnommen, um weitere Kenntnisse der verschiedenen Technologien an die Teilnehmer zu vermitteln. Dafür wird die DVS-Richtlinie 1190 „Laserschutzbeauftragter für technische Anwendungen“ erstellt, die sich ausschließlich den Themen der Sicherheit entsprechend gültiger Gesetzgebung widmet.

Für das Elektronenstrahlschweißen werden aktuell Ausbildungsinhalte beim DVS-Lehrgang zum Schweißfachingenieur angeboten. Dieses Angebot wird der DVS jetzt erweitern. In der Fachgruppe 4.7 „Ausbildung Strahlschweißen“ werden zurzeit zwei Ausbildungsrichtlinien zum Elektronenstrahlschweißen er-

arbeitet. Diese lauten Richtlinie DVS 3803 „DVS-Lehrgang für die theoretische Ausbildung im Elektronenstrahlschweißen“ und Richtlinie DVS 3804 „DVS-Lehrgang für die praktische Ausbildung im Elektronenstrahlschweißen“. Denn die Nachfrage von Unternehmen, die Anlagen für den Elektronenstrahl herstellen, sowie auch von Anwendern wächst stetig. Es besteht der dringende Bedarf an qualifizierten Mitarbeitern. Mit dem neuen theoretischen DVS-Lehrgang erhält das Personal innerhalb einer Woche die Grundkenntnisse in einer DVS-zugelassenen Bildungseinrichtung. Da die Anlagen für das Elektronenstrahlschweißen unterschiedlich sind, findet der praktische Teil zurzeit direkt beim Anwender oder Anlagenhersteller statt. Der praktische DVS-Lehrgang wird natürlich an die Situation der Personen und Unternehmen angepasst.

Während jetzt erste Ausbildungsrichtlinien zum Verfahren mit dem Elektronenstrahl definiert werden, gibt es aus der AG V9.1 „Elektronenstrahlschweißen“ bereits einige DVS-Merkblätter und -Richtlinien. Beispielsweise das Merkblatt DVS 3213 „Empfehlungen für das Reinigen von Nahtfugen für das Elektronenstrahlschweißen“ ist bei den Anwendern als praxisorientierte Empfehlung sehr gefragt. Das DVS-Merkblatt ist über das DVS-Regelwerksportal in Deutsch und Englisch verfügbar.



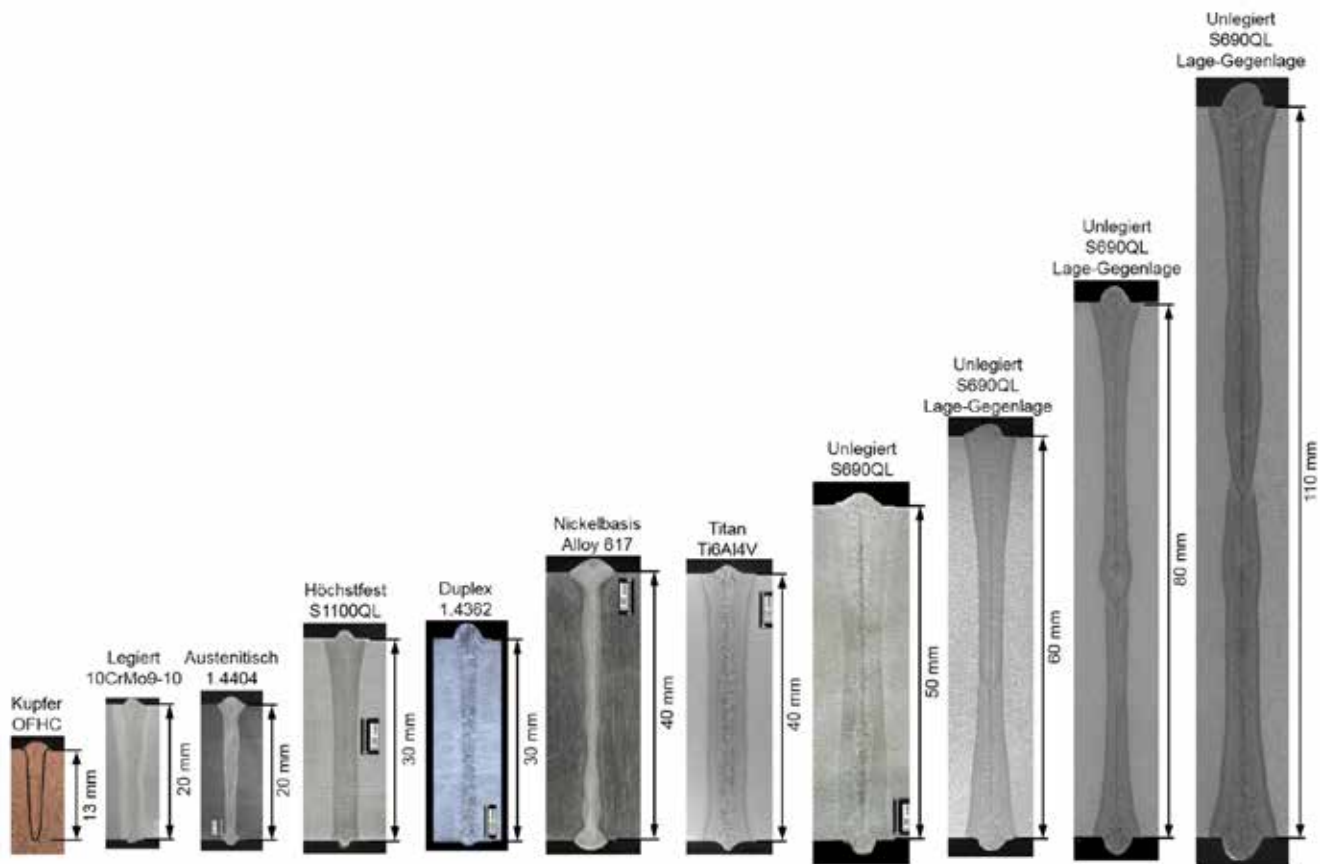


Bild: ISF der RWTH Aachen

Mögliche Schweißnahtquerschnitte und verschweißbare Materialien beim Laserstrahlschweißen unter Vakuum.

## Ganz aktuell: Laserstrahl unter Vakuum

Ein neues Thema im DVS ist das Laserstrahlschweißen unter Vakuum. Bei dieser Methode werden die Vorteile des Laserstrahlschweißens mit denen des Elektronenstrahlschweißens bei geringeren Anforderungen vereint. So müssen beim Laserstrahlschweißen unter Vakuum Bauteile beispielsweise 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 und Kupfer lassen sich verarbeiten. Ein Vorteil ist die Reduzierung von Spritzern. Diese können Materialfehler verursachen und somit andere Bereiche eines Bauteils negativ beeinflussen.

Das Institut für Schweißtechnik und Fügetechnik (ISF) der RWTH Aachen hat Forschungsarbeiten zum Laserstrahlschweißen unter Vakuum durchgeführt und mit verschiedenen Werkstoffen wie Kupfer, legierten und unlegierten Stählen, Titan usw. geschweißt. Interessant waren hier die verschiedene Einschweiß-

tiefen (Bild oben). Aus den Ergebnissen des ISF entstand in der AG V9.2 „Laserstrahlschweißen und verwandte Verfahren“ das Merkblatt DVS 3233 „Laserstrahlschweißen unter Vakuum“.

Dadurch, dass der Laserstrahl auch im Vakuum genutzt wird, können verschiedene DVS-Merkblätter zu den beiden Strahlverfahren zukünftig zusammengefasst werden. Das Merkblatt DVS 3213 heißt dann beispielsweise „Empfehlungen für das Reinigen von Nahtfugen für das Strahlschweißen“.

Mit seinen Arbeiten zum Laserstrahlschweißen unter Vakuum ist der DVS führend. Beim Einsatz des Laserstrahls unter Vakuum sind verschiedene Effekte zu berücksichtigen, die auch vollkommen neue Anwendungsmöglichkeiten eröffnen. Diese gilt es zu erforschen und in DVS-Regelwerken festzuhalten. Der DVS hat sich dieses Themas in den Abteilungen Forschung und Technik angenommen.

### i

#### Publikationen

- DVS-Broschüre: IM FOKUS „Laserstrahlschweißen und verwandte Verfahren im DVS“ (dt./engl.)
- DVS-Broschüre: IM FOKUS „Elektronenstrahlschweißen im DVS“ (dt./engl.)
- DIN/DVS-Taschenbuch 283, Schweißtechnik 6: „Elektronenstrahlschweißen, Laserstrahlschweißen. Normen, Richtlinien und Merkblätter“
- DVS-Bericht: „Laser- und Elektronenstrahlschweißen von Aluminiumwerkstoffen“ (mit sieben Forschungsprojekten, sechs zum Laserstrahl und eines zum Elektronenstrahl)



## DVS – Ein Zuhause für die Kunststoffwelt

Zahlen können nicht lügen. Mit über 11.000 Dokumentenaufufen im DVS-Regelwerkportal unter [www.dvs-regelwerk.de](http://www.dvs-regelwerk.de) stand das Top-Thema „Fügen von Kunststoffen“ im vergangenen Jahr an erster Stelle. Ebenfalls wurden die DVS-Merkblätter und -Richtlinien zum Kunststofffügen in 2017 wieder zahlreich über den Beuth-Verlag verkauft – und zwar in deutscher und auch in englischer Sprache. Das ist ein Beleg dafür, dass die Nachfrage nach DVS-Merkblättern und -Richtlinien gerade in dieser Branche sehr hoch ist.

Wie kann es sein, dass gerade das „Fügen von Kunststoffen“ ein so großes Interesse hervorruft? Der DVS weiß die Antwort: Der Verband hat den Anwendern dieser Branche ein Zuhause gegeben. In der Arbeitsgruppe (AG) W4 „Fügen von Kunststoffen“ des Ausschusses für Technik mit seinen vielen Untergruppen und im Fachausschuss (FA) 11 „Kunststofffügen“ der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS wird mit den Experten aus der Industrie stets zu

aktuellen Themen geforscht, diskutiert und der Stand der Technik in DVS-Merkblättern und -Richtlinien dokumentiert.

Die Ergebnisse sind für den Anwender im Bereich Kunststoff ein wichtiges Instrument für die tägliche Praxis. Sie sind das Handwerkszeug, womit die Kunststoffwelt im Alltag arbeitet. Und nicht nur in Deutschland, sondern weltweit richten sich die Anwender, insbesondere im Anlagen-, Behälter- und Rohrleitungsbau, nach den Vorgaben des DVS-Regelwerks. Denn viele Bauteile werden für das Ausland oder im Ausland selbst gefertigt, wie in China, Japan oder Australien. Die DVS-Merkblätter und -Richtlinien berücksichtigen die dortigen Gegebenheiten, beispielsweise die Standfestigkeit bei Erdbeben. Anwendungsnahe Informationen zur Bauweise, zu Verfahren, zum richtigen Einsatz von Werkstoffen usw. erhält die Kunststoffwelt selten aus anderen Quellen. Oder, wie es ein Fachmann einmal sagte: Neben den DVS-Dokumenten gibt es nicht viel Vergleichbares für die Branche.

## Kunststoff und andere Werkstoffe

Was aber wird beim Kunststofffügen eigentlich geschweißt? In erster Linie Kunststoff mit Kunststoff. Das hört sich banal an, aber dahinter verstecken sich die verschiedensten Kunststoffarten. Die gängigste ist Thermoplast, aber auch Bauteile aus Faserverbundwerkstoffen oder hochgefüllte, holzfaserverstärkte Kunststoffe (WPC) werden ebenfalls häufig zusammengeschweißt. Auf diese Weise haben Faserverbundwerkstoffe Einzug beispielsweise im Automobilbau, Schiffbau und Rotorblätterbau gefunden. Es gibt aber auch neuere Wege im Kunststofffügen, indem man einen Kunststoff mit einem ande-



ren Werkstoff, beispielsweise Metall, zusammenfügt (hybride Bauteile). Das passiert bereits täglich im Leichtbau, vor allem im Automobilbau.

Den Trend, immer „leichter“ zu bauen und verschiedene Werkstoffe mit Kunststoffen zu verbinden, greift der DVS in seinen Gremien auf. Insbesondere gibt es zwei bedeutende Bereiche, für die der Verband Hilfestellungen erarbeitet: das „Serienschweißen“ und das „Schweißen im Anlagen-, Behälter- und Rohrleitungsbau“. Der Unterschied liegt dabei in der Anwendung.



*Viele Gegenstände aus dem Alltag entstehen durch Kunststofffügen.*

## „Serienschweißen“ und „Schweißen im Anlagen-, Behälter- und Rohrleitungsbau“

Wie der Name es schon sagt, fertigt man beim „Serienschweißen“ Produkte „in Serie“. Vor allem im Automobilbau, in der Medizintechnik und in der Verpackungsindustrie wird viel und schnell mit den klassischen Verfahren wie Laserstrahlschweißen, Vibrationsschweißen, Infrarotschweißen und Ultraschallschweißen gefügt. Ein simples Beispiel sind Scheinwerfer und Rückleuchten an Fahrzeugen. Diese komplex gefertigten Lampensysteme bilden eine Einheit, die zum größten Teil aus Kunststoff besteht und mit den genannten Verfahren geschweißt wird.

Im Unterschied zum „Serienschweißen“ wird beim „Schweißen im Anlagen-, Behälter- und Rohrleitungsbau“ vor allem mit dem Heizelementstumpfschweißen, Warmgasfächelschweißen und Warmgasziehschweißen gearbeitet. Die DVS-Richtlinienreihe 2207, in der es im Wesentlichen um das Heizelementstumpf-

schweißen geht, wird übrigens aus dem Kunststoffbereich am häufigsten im DVS-Regelwerksportal heruntergeladen.

In großen Industrieanlagen, wie Chemieanlagen, kommt insbesondere das Kunststoffschweißen zur Anwendung. Denn gerade bei aggressiven Stoffen, bei denen Stahl versagen würde, kommt Kunststoff zum Einsatz. Beispielsweise werden Behälter, in denen Säure gelagert oder die von Säure durchflossen werden, mit Kunststoff ausgekleidet und verschweißt. „Schweißen im Anlagen-, Behälter- und Rohrleitungsbau“ bedeutet also, dass im Gegensatz zum „Serienschweißen“ eher große Bauteile geschweißt werden.

Die Konstruktion und Berechnung von Bauteilen ist ein wesentlicher Bestandteil im Anlagen-, Behälter- und Rohrleitungsbau.

Diese sind gängige Praxis im Arbeitsalltag. Da ist es gut, dass es Hilfestellung durch DVS-Merkblätter und -Richtlinien gibt. Die Dokumente sind praxisorientiert und werden schnell auf den neuesten Stand hin angepasst bzw. neue Themen werden zeitnah aufgegriffen und erarbeitet. Daher ist es nicht verwunderlich, dass es mit der AG W4.3a und AG W4.3b auch zwei Arbeitsgruppen eigens für das Thema „Konstruktion und Berechnung“ gibt. Die Experten in diesen Gruppen beschäftigen sich mit der konstruktiven Gestaltung im Rohrleitungsbau bzw. Apparatebau und erstellen entsprechende Dokumente. Insbesondere die DVS-Richtlinien-Reihe 2205 erläutert, wie Behälter und Appa-

rate idealerweise ausgelegt werden. Der Anwender erhält beispielsweise Unterstützung bei der Berechnung und Konstruktion der Wanddicke für seinen Behälter oder sein Rohr. Dazu gibt es dann DVS-Richtlinien, die sich mit der Prüfung dieser Bauteile beschäftigen, wie die DVS-Richtlinien-Reihe 2202 und 2203. Zur Umsetzung des DVS-Regelwerkes für Kunststofffügen im Anlagen-, Behälter- und Rohrleitungsbau fand im Frühjahr 2018 eine DVS-Roadshow statt. Dabei wurden die vielfältigen Möglichkeiten der Verarbeitung von Kunststoffen und der Berechnung von Bauteilen praxisnah vorgestellt. Im Jahr 2019 ist eine weitere Veranstaltung dazu geplant.



Bild: FRANK GmbH

## Ausbildung im Kunststofffügen

Das Kunststofffügen ist aber nicht nur in Forschung und Technik ein Thema. Auch der Bildungsbereich im DVS beschäftigt sich eingehend mit der Ausbildung von Personal. Analog zum Schweißen von Metall gibt es für das Kunststofffügen die DVS-Richtlinienreihe 2212, in der die Durchführung von Schweißerprüfungen definiert ist. Nach Angaben des Instituts für Kunststoffverarbeitung (IKV) der RWTH Aachen legten 2.600 Teilnehmer im vergangenen Jahr ihre Kunststoffschweißer- und Wiederholungsprüfungen nach der DVS-Richtlinienreihe 2212 ab.\*

Die Aufgaben für den „Fachmann für Kunststoffschweißen“ sind in der Richtlinie DVS 2213 reglementiert. Hier geht es um einen Qualifikationsnachweis, der die Voraussetzung für den Einsatz als Schweißaufsicht zur Sicherstellung der Qualität von Schweißarbeiten mit thermoplastischen Kunststoffen im Behälter-, Apparate-, Rohrleitungs- und Deponiebau sowie bei Abdichtungen und Auskleidungen schafft.



Bild: IKV Aachen

*Das Fügen von Kunststoffen will gelernt sein, so auch mit dem Verfahren „Warmgasziehschweißen“.*

\* Institut für Kunststoffverarbeitung, IKV-Jahresbericht 2017, Seite 144

Ganz aktuell ist die Ausbildungsrichtlinie DVS 2214 „Mindestanforderungen an die Ausbildung, Prüfung und Qualifizierung“ von Schweißaufsichtsperson beim Kunststoffschweißen. Diese DVS-Richtlinie hat die AG W4.6 „Schulung und Prüfung“ aus dem Ausschuss für Technik, die zugleich die Fachgruppe 4.3 „Kunststofffügen“ aus dem Ausschuss für Bildung darstellt, erarbeitet und im Frühjahr 2018 veröffentlicht. Zurzeit arbeitet dieses Gremium an dem Beiblatt 3 zur Richtlinie DVS 2212-1. Dieses Beiblatt soll als Entwurf zum Thema „Kunststoffschweißerprüfung für das Warmgasziehschweißen von PFA und FEP“ in diesem Jahr fertiggestellt werden.

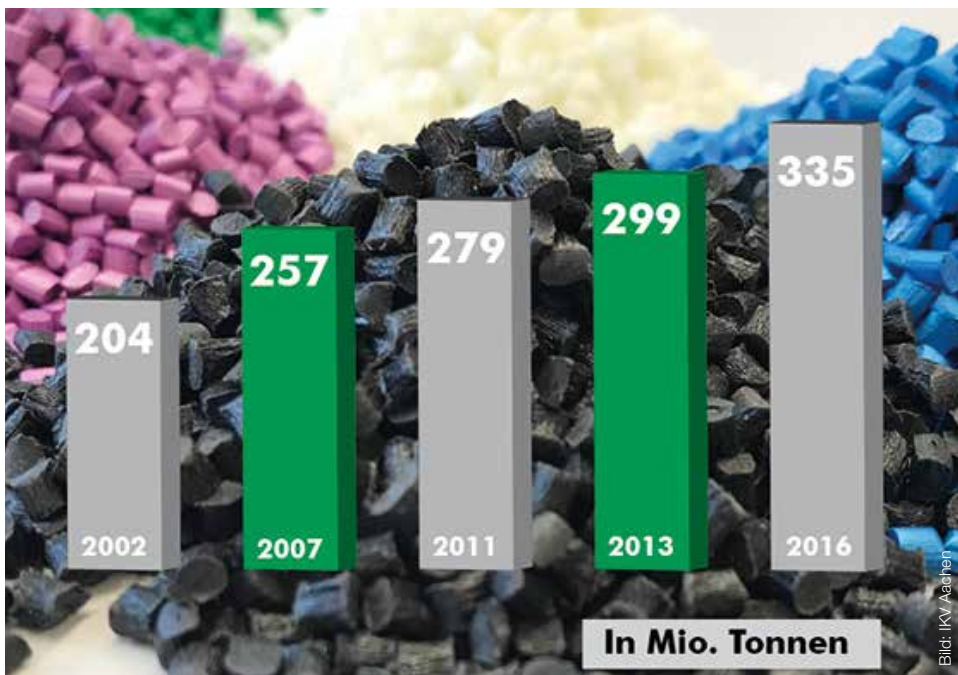
Wie hier aufgeführt, gibt es für Forschung, Technik und Bildung im DVS für die Kunststoffwelt ein sehr umfangreiches Informationsangebot und immer viel zu tun. Das wird sich auch in Zukunft nicht ändern. Denn es kommen immer weitere Kunststoffe auf den Markt. Allein die weltweite Produktion von Kunststoffen

steigerte sich in der Vergangenheit und wird laut Prognosen bis zum Jahr 2020 eine Wachstumsrate von jährlich 5 % erfahren. Die Anforderungen seitens der Anwender ändern sich ebenfalls.

Auf diese Gegebenheiten reagiert der Verband. Daher ist abzusehen, dass nicht nur die bestehenden DVS-Merkblätter und -Richtlinien immer wieder aktualisiert, sondern auch noch viele weitere hinzukommen werden müssen. Der DVS wird damit weiterhin offen sein für neue Themen und der Kunststoffwelt die Plattform bieten, die sie benötigt.



Das Aus- und Weiterbildungsangebot finden Sie unter: [www.dvs-bildungseinrichtungen.de](http://www.dvs-bildungseinrichtungen.de)



Weltweite Produktion von Kunststoffen bis zum Jahr 2016.



#### Publikationen

- Fachzeitschrift „Joining Plastics“ (dt./engl.)
- DVS-Broschüre: IM FOKUS „Fügen von Kunststoffen“ (dt./engl.)
- Taschenbuch DVS-Merkblätter und Richtlinien. „Fügen von Kunststoffen“ (Buch und USB-Stick)
- Taschenbuch „Technical Codes on Plastic Joining Technologies“ (Buch und USB-Stick)



## Additive Fertigung: Eine neue industrielle Revolution?

Die Antwort lautet: ja! Im Laufe der Zeit hat die Menschheit ihre Bauteile oder Fertigprodukte in den meisten Fällen durch subtraktive (abtragende) Technologien hergestellt. Aus großen Werkstoffblöcken wurden durch Materialabtrag mittels verschiedener technologischer Verfahren (Fräsen, Drehen und Bohren) kleinere Komponenten, Halbzeuge oder Endprodukte erstellt. Selbst der Urmensch hat seine Pfeilspitzen subtraktiv durch das Ausstechen großer Steinstücke geschaffen – besser wusste er es nicht. Das subtraktive Verfahren war auf jeden Fall funktional und erzielte gute Ergebnisse. Es zeigte sich jedoch spätestens im Zuge der zunehmenden Industrialisierung, dass es für die Massenfertigung von Produkten teilweise zu viel Zeit benötigte und sich negativ auf die Produktionskosten auswirkte.

Mittlerweile wissen wir es besser. In den letzten Jahren haben zahlreiche Forschungseinrichtungen zusammen mit Unternehmen eine neue Fertigungstechnik entwickelt und erprobt, die un-

ter dem Namen „Additive Fertigung“ („Additive Manufacturing“, AM) bekannt ist. Anstatt einen Rohstoffblock zu nehmen und daraus ein Bauteil „runter zu schnitzen“, wird das Werkstück von Grund auf schichtweise in Lagen als dreidimensionales Objekt aufgebaut.

Die Additive Fertigung hat zahlreiche Vorteile gegenüber der „klassischen“ subtraktiven Fertigung. Die Komplexität oder die Dimension des zu erstellenden Bauteils spielt theoretisch keine Rolle. Für die Herstellung eines Bauteils durch Additive Fertigung sind in der Regel keine speziellen Werkzeuge erforderlich. Nach der Additiven Fertigung verbleiben nahezu keine Materialrückstände, der Materialbedarf ist 10- bis 20-mal niedriger und die benötigte Energie ist erheblich geringer als bei der konventionellen Fertigung. Dies sind alles Faktoren, die einen großen Einfluss auf die Produktionskosten haben (Bild 1 oben, S. 15).

Bilder: Gefertec



Druckrohling  
Gewicht: 25 kg



Fertigteil: eine Lagerhalterung aus Chrom-Nickel-Stahl 1.4305  
Gesamtgewicht: 18 kg



Rohmaterial bei der konventionellen Fertigung  
Gewicht: 85 kg

Bild 1: Vergleich des Materialbedarfs „additiv vs. konventionell“

Am Markt hat sich eine Vielzahl von unterschiedlichen additiven Fertigungsverfahren für metallische 3D-Strukturen etabliert, die diverse Formen der Materialzusätze benutzen, zum Beispiel:

**pulverförmig (Auswahl)**

- Selective Laser Melting (SLM)
- Electron Beam Melting (EBM)
- Laser Engineered Net Shape (Binder Jetting, LENS)

**drahtförmig (Auswahl)**

- Electron Beam Additive Manufacture (EBAM)
- Wire Laser Additive Manufacturing (WLAM)
- Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM)

**flüssige Zusatzwerkstoffe (Auswahl)**

- Nano Particle Jetting (NPJ)

Die Gemeinsamkeit aller additiven Fertigungsverfahren ist die werkzeuglose Herstellung auf Basis von 3D-Modellen. Eine schematische Darstellung einer Prozesskette ist in Bild 2 zu sehen.

Aus der Sicht der Schweißtechnologie ist die lichtbogenunterstützte Additive Fertigung von besonderer Bedeutung. Mit dieser Technologie beschäftigt sich auch die Studie „Grundlegende wissenschaftliche Konzepterstellung zu bestehenden Herausforderungen und Perspektiven für die Additive Fertigung mittels Lichtbogen“, die von der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren des DVS in Auftrag gegeben wurde. Die Erarbeitung eines grundlegenden Verständnisses zu Anwendungsfeldern innerhalb von Unternehmen und die Ableitung von Handlungsempfehlungen zum derzeitigen Forschungsbedarf bilden den Inhalt der gut 60-seitigen Studie. Das Herzstück der Publikation ist die persönliche Befragung von 26 Unternehmen zu Herausforderungen und Potenzialen der lichtbogenbasierten Additiven Fertigung. Damit werden die Besonderheiten der Additiven Fertigung mittels Lichtbogen sowie die Vor- und Nachteile des Prozesses beschrieben. Insbesondere wird der Vergleich zu bislang sehr häufig eingesetzten pulverbasierten Verfahren herausgearbeitet. Die Studie gibt einen Einblick in die lichtbogenbasierten Fertigungsverfahren und beschreibt den aktuellen Stand der Technik in der Industrie.

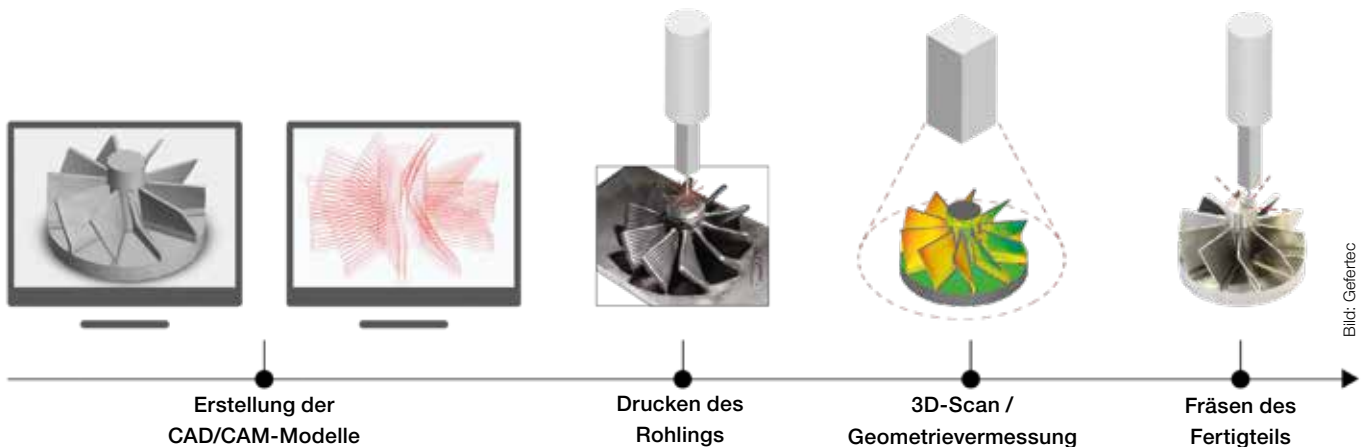
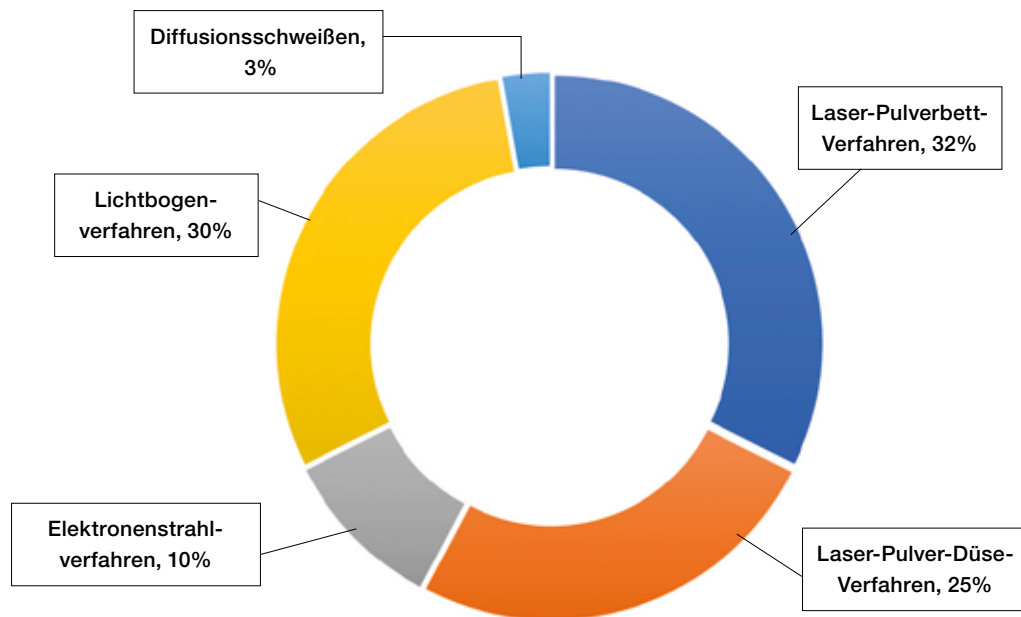


Bild: Gefertec

Bild 2: Schematische Prozesskette einer WAAM-Fertigung

## Studie der Additiven Fertigung – Ergebnis der Befragung



\*Bild 3: Bekanntheitsgrad von AM-Verfahren für metallische Bauteile

Die im Rahmen der Studie durchgeführte Unternehmensbefragung richtete sich primär an kleine und mittelständische Unternehmen. Ziel war es, die Bekanntheit und Position des „Wire-Arc-Additive-Manufacturing“-Verfahrens (WAAM) zu erfassen und den Grund für den bislang im Vergleich zu pulverbasierten additiven Fertigungsmethoden eher zurückhaltenden Einsatz dieser Technologien zu ermitteln.

Die Befragung zeigt, dass die lichtbogenunterstützte Additive Fertigung industriell bekannt ist, aber von den Unternehmen aktuell eher wenig eingesetzt wird. Der Grund dafür sind die frühere Durchbruch und die Verbreitung der pulverbasierten Laserstrahltechnologien, die aktuell auch eine deutlich höhere Verfügbarkeit haben (Bild 3).

Entscheidend ist wohl eine „all-in-one“ Lösung: Aktuell können viele Hersteller von Laserstrahlpulverbett- und Laserstrahlaufragschweißanlagen neben ihren Anlagen unter anderem ebenfalls die Zusatzwerkstoffe liefern. Zusätzlich stellen sie die Parametersätze, welche die Materialeigenschaften garantieren, zur Verfügung. Damit sind neben der Qualifikation der Mitarbeiter

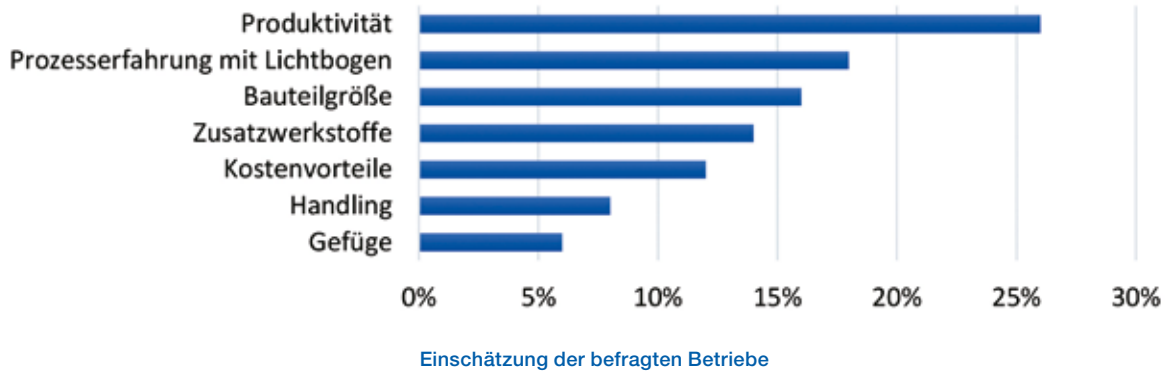
bereits wesentliche Voraussetzungen gegeben, um eine pulverbasierte Additive Fertigung zu realisieren.

Die Vorteile und Potenziale von drahtbasierten Lichtbogen-Verfahren (wie die hohe Produktivität, die Möglichkeit der Herstellung großvolumiger Bauteile und die industrielle Erfahrung mit Lichtbogenprozessen) haben aber inzwischen überzeugt und Rückmeldungen aus der Industrie deuten auf eine steigende Bereitschaft vieler Unternehmen, dieses Verfahren für die Fertigung zu nutzen (Bild 4 oben, S. 17). Vielen metallverarbeitenden Betrieben bietet WAAM eine Erhöhung der Produktivität. Bei bereits vorhandener Schweiß Erfahrung ist die Möglichkeit gegeben, auch große Bauteile wirtschaftlich herstellen zu können.

Ein guter Indikator für das zunehmende Interesse an der WAAM-Fertigung ist die steigende Anzahl an Veröffentlichungen von Artikeln in der weltweiten Forschungsszene. Die DVS-Studie weist hierzu eine signifikante Steigerung an technischen Publikationen im Bereich der lichtbogenunterstützten Additiven Fertigung in den letzten zehn Jahren auf.

\* Grafiken entnommen und bearbeitet aus der Studie „Grundlegende wissenschaftliche Konzepterstellung zu bestehenden Herausforderungen und Perspektiven für die Additive Fertigung mittels Lichtbogen“, Hrsg. Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS





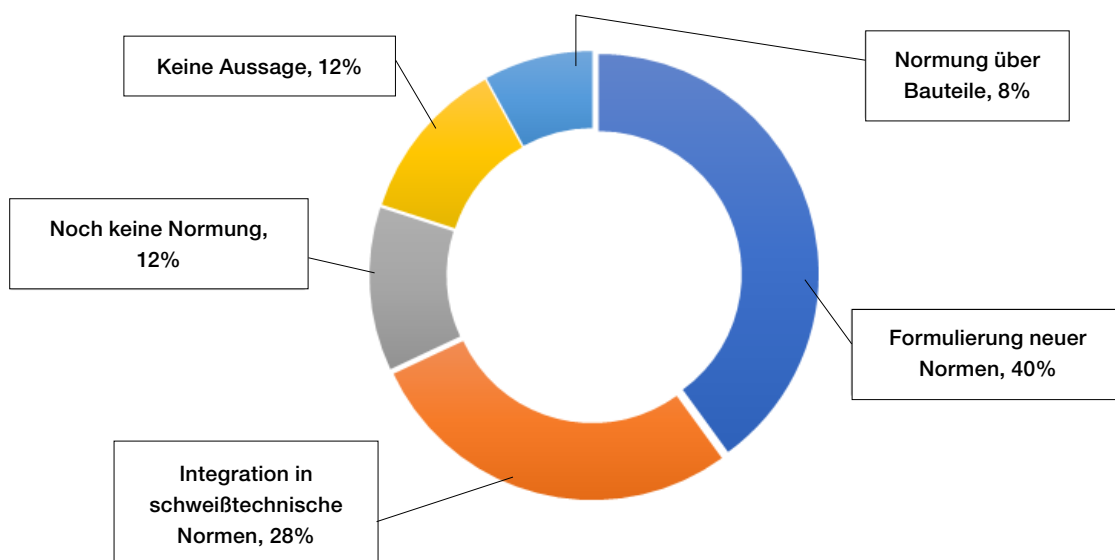
**\*Bild 4: Vorteile der lichtbogenbasierten Additiven Fertigung**

Damit steigt auch der Bedarf für eine technische Regelsetzung. Durch eine rasche Entwicklung der AM-Technologien in den nächsten Jahren ist zu erwarten, dass eine Notwendigkeit für Normung im Bereich Additive Fertigung dringend erforderlich wird (Bild 5). Allerdings ist zu beachten, dass eine zu frühe Reglementierung die Entwicklung in dem Bereich einschränken könnte. Das Deutsche Institut für Normung e.V. (DIN) hat auf diese Anforderungen bereits reagiert. Durch den starken branchenübergreifenden Einsatz von AM-Technologien galt es, den beginnenden Normungsbedarf in verschiedenen Normenausschüssen im DIN zu koordinieren. Mit dem neuen Fachbereichsbeirat „Additive Fertigungsverfahren“ (NA 145-04 FBR) kommt das DIN diesen Anforderungen entgegen.

Die Möglichkeit, mittels Additiver Fertigung komplexe Geometrien zu erstellen, schließt die unvermeidliche Unterstützung durch 3D-Modelliersysteme ein. Um eine Reproduzierbarkeit der

Bauteile und der Materialeigenschaften gewährleisten zu können, ist die CAD/CAM-Unterstützung ein sinnvoller Aspekt der WAAM-Fertigung. Die Befragung der Unternehmen zeigt den einstimmigen Wunsch nach einer Teil- oder Vollautomatisierung des Fertigungsprozesses in Verbindung mit einer Simulationssoftware. Das ist gerade im Zeitalter von Industrie 4.0 und Digitalisierung mehr als nachvollziehbar.

Ein Bereich, in der die WAAM-Fertigung sich noch beweisen muss, umfasst die mechanisch-technologischen Eigenschaften von additiv gefertigten Bauteilen, die vom eingesetzten Werkstoff und Schweißprozess stark beeinflusst sind. Dieser Aspekt muss künftig noch weiter untersucht werden, um eine Industrietauglichkeit des Prozesses zu 100 % bestätigen zu können. Ebenso ist die Bereitstellung von CAD/CAM-Software sowie eine gute Verfügbarkeit von Fertigungsanlagen unabdingbar für den vermehrten Einsatz der Additiven Fertigung mittels Lichtbogen.



**\*Bild 5: Forderung an die Normung**

## Blick in die Zukunft

Die Additive Fertigung hat aufgrund ihrer Fähigkeit, komplexe Geometrien mit individuell modellierbaren Materialeigenschaften zu erzeugen, sowohl in der Wissenschaft als auch auf Seiten der Industrie stark an Interesse gewonnen. Aufgrund der rasanten Verbreitung von einer Vielzahl an Verfahrenstechnologien der Additiven Fertigung ist aber die Normung noch etwas im Hintergrund des Interesses geblieben. Industrievertreter beanstanden zurzeit einen Mangel an Herstellungsrichtlinien und Standardisierungen. Sie sind der Meinung, dass diese Verfahren in ihren Branchen solange nicht anerkannt werden, bis entsprechende Regelwerke verfügbar sind.

Was das WAAM-Verfahren betrifft, wird der industrielle Einsatz sehr unterschiedlich gesehen. Überwiegend ist dieses Verfahren für die Herstellung von großvolumigen Bauteilen, die sich durch eine konventionelle Fertigung schwer realisieren lassen, vorstellbar. Weitere Anwendungsfelder der lichtbogenunterstützten Additiven Fertigung umfassen den Reparaturbereich, die Einzelteil- und die Halbzeugfertigung.

Um die Technologie als industriereif zu werten, muss sich die lichtbogenunterstützte Additive Fertigung in einigen Punkten noch weiter entwickeln. Von größter Bedeutung für den Anwender ist die Verfügbarkeit der Fertigungsanlagen. Ebenso groß sind die Wünsche nach einer softwaretechnischen Unterstützung für die Fertigung, nach einer Prozessqualifikation und Prozesskontrolle sowie nach Werkstoffen bzw. Werkstoffeigen-

i

### Gut zu wissen

Die Studie „Grundlegende wissenschaftliche Konzepterstellung zu bestehenden Herausforderungen und Perspektiven für die Additive Fertigung mit Lichtbogen“ ist für Mitglieder der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren e. V. des DVS unter [www.dvs-forschung.de/aktuell](http://www.dvs-forschung.de/aktuell) zum kostenfreien Download hinterlegt. Eine Printversion ist zum Preis von 14,90 Euro bei der DVS Media GmbH erhältlich.

schaften, die bestimmte Anforderungen der diversen Industriebereiche erfüllen.

Der Stand der Technik zeigt schon jetzt, dass Prozessmerkmale – wie Kosten- und Materialeinsparungen, reduzierte Durchlaufzeiten durch hohe Auftragsraten und die Möglichkeit zur Herstellung großer Strukturen – starke Business-Treiber der lichtbogenbasierten Additiven Fertigung sind. Das sind sehr gute Ansatzpunkte, um die Additive Fertigung insbesondere mittels Lichtbogen weiter auszubauen und die Wünsche der Anwender in naher Zukunft zu erfüllen.



Gelenkausleger eines Baggers, gefertigt mittels WAAM-Verfahren. (Prototyp, ausgestellt auf der FABTECH, 6. bis 9. November 2017, Chicago/USA).

Bild: DVS

# Ihre Ansprechpartner

## Abteilungsleiter „Forschung und Technik“

Dipl.-Ing. Jens Jerzembeck  
T +49 211 1591-173  
jens.jerzembeck@dvs-hg.de

## Kunststofffügen

Dipl.-Ing. Axel Janssen  
T +49 211 1591-117  
axel.janssen@dvs-hg.de

## Strahlverfahren

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

## Additive Fertigung (Lichtbogentechnik)

Dr.-Ing. Calin-Marius Pogan  
T +49 211 1591-123  
calin-marius.pogan@dvs-hg.de

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

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

## Ausschuss für Technik (Aft) im DVS

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

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

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

## Ausschuss für Bildung (AfB) im DVS

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

Stand: September 2018





Bild: Pixabay

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

Aachener Straße 172  
40223 Düsseldorf

T +49 211 1591-0  
F +49 211 1591-200

info@dvs-hg.de  
www.dvs-ev.de