

## SYSTEMTECHNIK FÜR DAS PULVERBASIERTE LASERAUFTRAGSCHWEISSEN



DQS zertifiziert nach  
DIN EN ISO 9001:2015  
Reg.-Nr. 069572 QM15

### Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Institutsleitung  
Prof. Constantin Häfner

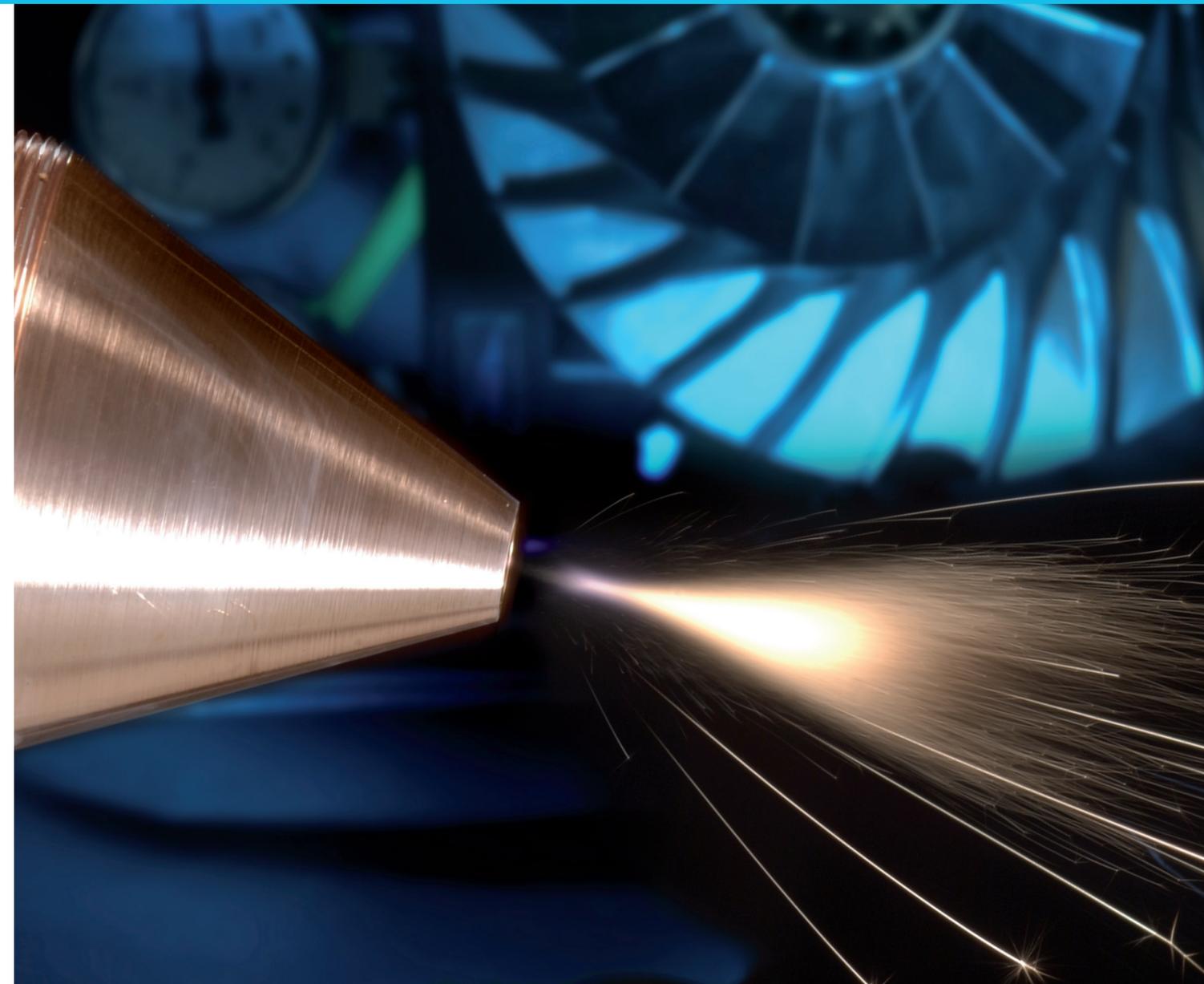
Steinbachstraße 15  
52074 Aachen  
Telefon +49 241 8906-0  
Fax +49 241 8906-121

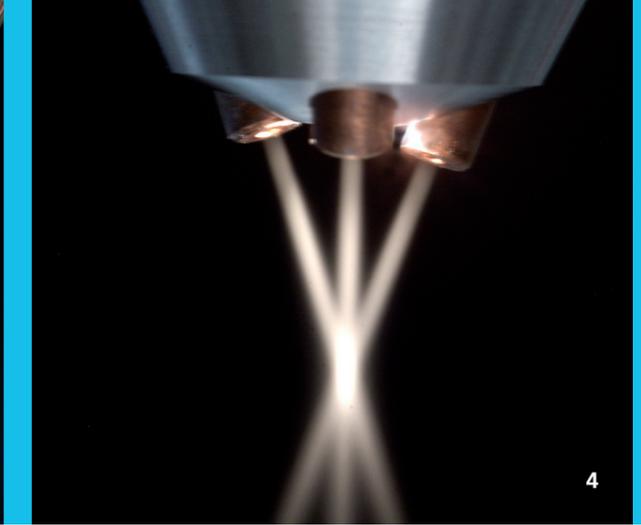
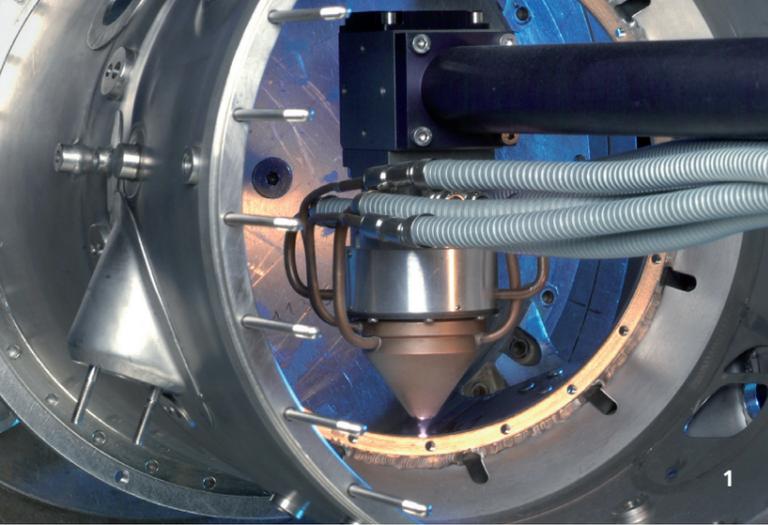
[info@ilt.fraunhofer.de](mailto:info@ilt.fraunhofer.de)  
[www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de)

### Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT zählt weltweit zu den bedeutendsten Auftragsforschungs- und Entwicklungsinstituten im Bereich Laserentwicklung und Laseranwendung. Unsere Kernkompetenzen umfassen die Entwicklung neuer Laserstrahlquellen und -komponenten, Lasermess- und Prüftechnik, sowie Laserfertigungstechnik. Hierzu zählen beispielsweise das Schneiden, Abtragen, Bohren, Schweißen und Löten sowie das Oberflächenvergüten, die Mikrofertigung und das Additive Manufacturing. Weiterhin entwickelt das Fraunhofer ILT photonische Komponenten und Strahlquellen für die Quantentechnologie.

Übergreifend befasst sich das Fraunhofer ILT mit Laseranlagentechnik, Digitalisierung, Prozessüberwachung und -regelung, Simulation und Modellierung, KI in der Lasertechnik sowie der gesamten Systemtechnik. Unser Leistungsspektrum reicht von Machbarkeitsstudien über Verfahrensqualifizierungen bis hin zur kundenspezifischen Integration von Laserprozessen in die jeweilige Fertigungslinie. Im Vordergrund stehen Forschung und Entwicklung für industrielle und gesellschaftliche Herausforderungen in den Bereichen Gesundheit, Sicherheit, Kommunikation, Produktion, Mobilität, Energie und Umwelt. Das Fraunhofer ILT ist eingebunden in die Fraunhofer-Gesellschaft.





# SYSTEMTECHNIK FÜR DAS PULVERBASIERTE LASERAUFTRAGSCHWEISSEN

Die Pulverzufuhr ist eine Schlüsselkompetenz für das Laserauftragschweißen. Das Fraunhofer ILT bietet seinen Kunden in diesem Bereich Standardprodukte sowie prozessangepasste Lösungen.

## Das Verfahren

Beim pulverbasierten Laserauftragschweißen wird ein pulverförmiger Zusatzwerkstoff mit dem Laserstrahl aufgeschmolzen und schmelzmetallurgisch mit dem Grundwerkstoff verbunden. Hierbei spielt die Pulverzufuhr eine Schlüsselrolle. Sie beeinflusst entscheidend die Maßgenauigkeit des Auftrags, die Qualität der erzeugten Schichten und Volumina sowie die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens. Basierend auf den Grundprinzipien der Pulverförderung einer lateralen oder koaxialen Zufuhr für Auftragsweißprozesse hat das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT spezifische Pulverzufuhrsysteme entwickelt, die dem hohen Anspruch an die Präzision dieser Technologie gerecht werden. Gemeinsam mit unseren Kunden erarbeiten wir zudem prozessangepasste Lösungen, z. B. mit integrierter Optik, die ein optimales Bearbeitungsergebnis gewährleisten. Mit den Pulverzufuhrdüsen können Pulverwerkstoffe mit Kornfraktionen im Bereich von 20 bis 150 µm für Makroschichten ( $d > 100 \mu\text{m}$ ) und kleiner 20 µm für Mikroschichten ( $d < 100 \mu\text{m}$ ) aufgetragen werden. Die Düsen sind für alle Hochleistungslaser, die heute für das Auftragschweißen genutzt werden (CO<sub>2</sub>-, Nd:YAG-, Scheiben-, Faser- und Diodenlaser), geeignet.

## Laterale Pulverzufuhr

Bei der lateralen Pulverzufuhrdüse wird das Pulver seitlich in den Laserstrahl geführt. Diese Pulverzufuhrdüse eignet sich besonders für das Auftragschweißen rotationssymmetrischer Bauteile oder für die Bearbeitung schwer zugänglicher Bereiche (z. B. Nuten). Durch die Ausführung mit einer rechteckigen Öffnung können zudem hohe Auftragsraten bis 6 kg/h erreicht werden.

## Koaxiale Pulverzufuhr

Bei der koaxialen Pulverzufuhr wird das Pulver in der Achse des Laserstrahls zugeführt. Unterschieden wird zwischen der diskreten und kontinuierlichen Pulverzufuhr. Bei der diskreten Zufuhr erzeugen mindestens drei koaxial zum Laserstrahl geführte Pulvergasströme einen »Pulvergasstrahlfokus«, der einen Kerndurchmesser von 1 - 3 mm aufweist. Diese »Dreistrahl Düse« eignet sich insbesondere für das Auftragen dickerer Schichten mit hohen Laserleistungen (> 2 kW) und für das Auftragen von 3D-Konturen auch in Zwangslagen. Bei der kontinuierlichen Pulverzufuhr wird das Pulver in einem kegeligen Ringspalt verteilt. Auf diese Weise entsteht ein Pulverhohlkegel, der den Laserstrahl umschließt. Mit dieser »Koaxialdüse« kann der Pulvergasstrahlfokus auf unter 0,2 mm reduziert werden, wodurch auch bei kleinem Laserstrahldurchmesser mit höchster Präzision und Effizienz auftragsgeschweißt werden kann. Durch Adaption an eine Umlenk- und Teleskopoptik können die koaxialen Pulverzufuhrdüsen auch für die Innenbearbeitung ab einem Innendurchmesser von 100 mm eingesetzt werden.

- 1 Auftragschweißen mit einer Teleskopoptik
- 2 Auftragschweißen in kleinsten Dimensionen

## Zoomoptik mit integrierter Pulverzufuhrdüse

Die Zoomoptik erlaubt eine flexible Änderung des Strahldurchmessers ohne eine aufwändige Justage, da der Arbeitsabstand konstant bleibt. In Kooperation mit der Firma Reis Lasertec hat das Fraunhofer ILT eine adaptive Optik zur Erzeugung eines variablen Strahldurchmessers mit integrierter koaxialer Pulverzufuhrdüse entwickelt. Die Zoomoptik bewirkt durch Verschieben von Linsen variable Strahldurchmesser in der Arbeitsebene und erzeugt zudem eine Leistungsdichteverteilung, die näherungsweise einem Top-Hat entspricht. Die Zoomoptik kann für Leistungen von mehreren Kilowatt und Spurbreiten von 0,5 bis 4 bzw. von 4 bis 10 mm ausgelegt werden.

## Bearbeitungsköpfe für die Innenbearbeitung

Innenkonturen mit einem Innendurchmesser unter 100 mm können mit konventionellen Optiken und den oben vorgestellten Pulverzufuhrdüsen wegen der beschränkten Zugänglichkeit nicht eingesetzt werden. Am Fraunhofer ILT wurden Innenbearbeitungsköpfe entwickelt, die ab einem Innendurchmesser von 25 mm und bis zu einer Eintauchtiefe von 500 mm eingesetzt werden können. In einem kompakten zylindrischen Gehäuse sind die optischen Komponenten, die Pulverzufuhr, die Wasserkühlung und die Schutzgasleitungen integriert. Der Leistungsbereich erstreckt sich von 0,5 - 3 kW.

## Anwendungsbereich

Dank des breiten Produktspektrums von Pulverzufuhrdüsen und Bearbeitungsköpfen ist das Fraunhofer ILT in der Lage, seinen Kunden für jede Anwendung das geeignete Werkzeug zur Verfügung zu stellen. Für den großflächigen Korrosions- und Verschleißschutz, wo große Auftragsraten im Bereich von mehreren kg/h im Vordergrund stehen, eignen sich laterale Pulverzufuhrdüsen mit großem Querschnitt am besten. Koaxialdüsen kommen in erster Linie für das präzise Reparieren von Bauteilen, Werkzeugen, Formen oder Triebwerkskomponenten zum Einsatz, während bei beschränkter Zugänglichkeit eher schlanke laterale Düsen verwendet werden. Beim Verschleißschutz innen liegender Flächen von Kupplungsrohren oder Ventilen finden Innenbearbeitungsköpfe ihr Einsatzgebiet. Für die 3-D-Reparatur großer Werkzeuge und Maschinenkomponenten bietet die Dreistrahl Düse die beste Effizienz und Flexibilität. Die Zoomoptik hat dort ihren Platz, wo größtmögliche Flexibilität beim Auftragschweißen gefordert ist.

## Ansprechpartner

Dr. Andres Gasser  
Telefon +49 241 8906-209  
andres.gasser@ilt.fraunhofer.de

Dr. Thomas Schopphoven  
Telefon +49 241 8906-8107  
thomas.schopphoven@ilt.fraunhofer.de

- 3 Pulvergasstrahlung einer koaxialen Pulverzufuhrdüse
- 4 Pulvergasstrahlung einer Dreistrahl Düse