

# LASER-PULVER- AUFTRAGSCHWEISSEN

Das Laser-Pulver-Auftragschweißen (LPA) verwendet feste pulverförmige Werkstoffe als Basis für die Auftragschichten. Besonders ist, dass das Pulver nicht als Bett vorliegt, welches, wie beim selektiven Laserschmelzen, schichtweise aufgeschmolzen, sondern mittels einer Düse direkt auf das Bauteil appliziert wird. Mit Hilfe eines Trägergasstromes wird das Pulver kontinuierlich vom Pulverförderer zur Düse geleitet. Dort wird es direkt auf das Substrat in den Laserstrahl hinein be-

schleunigt. Der Laserstrahl schmilzt das Pulver und das Substrat auf, sodass durch eine Relativbewegung zwischen Düse und Bauteil eine Auftragspur entsteht. Die Schweißraupen können als einlagige Spuren bzw. Schichten oder als Mehrlagenschweißungen aufgebracht werden. Durch die vielen

Freiheitsgrade, die zwischen Bauteil und Düse möglich sind, werden hohe Bauteilkomplexitäten ermöglicht.

Die dem Fachbereich 9.3 zur Verfügung stehende Trumpf TruLaser Cell 3000 ist mit einem Fünf-Achs-System ausgestattet und hat eine maximale Bauraumgröße von 800 mm x 400 mm x 600 mm. Die koaxiale Dreistrahl-Düse kann mit einer maximalen Laserleistung von 5 kW, bei Laserspotdurchmessern bis 3,8 mm und bei einem Arbeitsabstand von 16 mm genutzt werden.

## Ansprechpartner:

A. Gumenyuk ✉ andrey.gumenyuk@bam.de  
A. Straße ✉ anne.strasse@bam.de  
FB 9.3 Schweißtechnische Fertigungsverfahren



Bild: BAM

Bauraum der LPA-Anlage beim Einrichten der Probe

# DAS PROJEKT ProMoAM

Die additive Fertigung von Metallen gewinnt in der industriellen Fertigung zunehmend an Bedeutung. Eine Herausforderung stellt allerdings immer noch die Sicherstellung der Bauteilqualität dar, die insbesondere in sicherheitsrelevanten Anwendungsgebieten aufwändige nachgeschaltete Bauteilprüfungen erforderlich macht. Eine baubegleitende Qualitätssicherung durch in-situ Überwachung des Fertigungsprozesses könnte zu großen Zeit- und Kosteneinsparungen führen. Aktuell werden bereits einzelne Prozessmonitoringsysteme im selektiven Laserschmelzprozess zur Überwachung der Energiequelle, des Bauraums, des Schmelzbades und der Bauteilgeometrie kommerziell angeboten. Deren Bedeutung für die Bauteilqualität ist aber nicht eindeutig.

Die BAM hat daher ein Projekt gestartet, dessen Ziel die Entwicklung von Verfahren der Prozessüberwachung zur in-situ Bewertung der Qualität additiv gefertigter Bauteile in AM-Prozessen mit Laser- bzw. Lichtbogenquellen ist. Verschiedene Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung, wie Thermografie, optische Tomografie, optische Emissionsspektroskopie, Wirbelstromprüfung und Laminografie werden in verschiedenen AM-Prozessen zum Einsatz gebracht und die Ergebnisse fusioniert. Die evaluierten Ergebnisse werden mit Referenzverfahren wie Computertomografie und Ultraschall-Tauchtechnik verglichen. Ziel ist eine deutliche Reduzierung aufwändiger und zeitintensiver, zerstörender oder zerstörungsfreier Prüfungen nach der Fertigung des Bauteiles und zugleich eine Verringerung von Ausschussproduktion.

Bundesanstalt für Materialforschung  
und -prüfung (BAM)  
Unter den Eichen 87  
12205 Berlin  
🌐 [www.bam.de](http://www.bam.de)

Sicherheit in Technik und Chemie

## ProMoAM - Laser-Pulver- Auftragschweißen

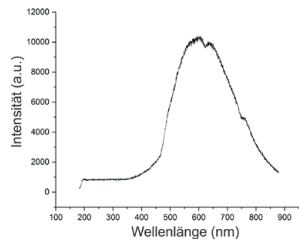
Online-Prozessmonitoring in der  
Additiven Fertigung mittels  
Laser-Pulver-Auftragschweißen

Titelbild: BAM

201900354

# OPTISCHE SPEKTROSKOPIE

Ein vielversprechendes Verfahren zur in-situ Überwachung des additiven Fertigungsprozesses ist die optische Emissionsspektroskopie, bei der die spektrale Zusammensetzung des vom Schweißprozess emittierten Lichtes überwacht wird. Eine kontinuierliche Messung des Emissionsspektrums ermöglicht Korrelationen mit Abweichungen vom Idealprozess (z. B. Laserenergie, Pulverzufuhr, Schutzgasfluss), die Rückschlüsse auf mögliche Fehler im Bauteil zulassen. Im Normalprozess ist das Schmelzbad mitunter nicht heiß genug, um die in der optischen Emissionsspektroskopie üblicherweise analysierten atomaren Emissionslinien auszubilden.



Einzelmissionsspektrum, aufgenommen während des LPA-Prozesses beim Bau einer Struktur aus 316L Edelstahl.

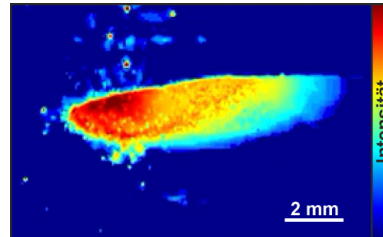
Ein Team des BAM Fachbereichs 1.9 mit Expertise in den Bereichen Laser-Materie-Interaktion und optische Sensorik hat sich der hiermit verbundenen Herausforderung angenommen. Ansätze zur Datenauswertung bieten die Analyse des emittierten kontinuierlichen Lichtspektrums zur Temperaturermittlung, die Identifikation von molekularen Emissionslinien und eine Erweiterung des Verfahrens zur optischen Absorptionsspektroskopie. Zudem wird eine Datenbank erstellt, die die ermittelten Spektren mit Prozessschwankungen verknüpft und so deren Detektion ermöglicht.

## Ansprechpartner:

I. Gornushkin ✉ igor.gornushkin@bam.de  
G. Pignatelli ✉ giuseppe.pignatelli@bam.de  
FB 1.9 Chemische und optische Sensorik

# THERMOGRAFIE

Die Eigenschaften von additiv gefertigten Bauteilen hängen entscheidend vom Temperaturverlauf während der Fertigung ab. Daher ist die Thermografie, mit der eine räumliche und zeitliche Erfassung des Temperaturverlaufs der beobachteten Oberfläche möglich ist, besonders geeignet, den AM-Prozess zu überwachen. Neben den Prozessparametern (z. B. Laserleistung, Vorschub) haben auch die Bauteilgeometrie und ggf. auftretende Defekte einen Einfluss auf diese Temperaturdynamik im Bauprozess.



Thermogramm (820 nm) während des LPA-Prozesses. Ein Wandaufbau wird hier schräg von der Seite betrachtet.

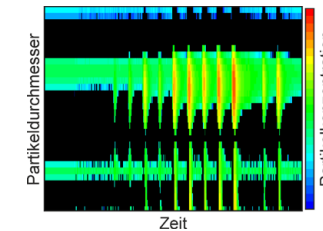
Da das Schmelzbad während des LPA-Prozesses seine Position im Bauraum stark verändert, muss die prozessbeobachtende Kamera an der Linearachse der Prozessdüse mitgeführt werden. Dies stellt besondere Anforderungen an die Größe der Kamera und die Auswertungsalgorithmen. Der Fachbereich 8.7 der BAM nutzt seine umfangreiche Erfahrung in der Thermografie, um diesen Anforderungen gerecht zu werden und durch die Entwicklung geeigneter Auswerteverfahren eine Qualitätssicherung der im LPA-Prozess gefertigten Bauteile zu ermöglichen.

## Ansprechpartner:

S. J. Altenburg ✉ simon.altenburg@bam.de  
C. Maierhofer ✉ christiane.maierhofer@bam.de  
FB 8.7 Thermografische Verfahren

# MONITORING DER PARTIKEL- UND GASEMISSIONEN

Hohe lokale Energieeinträge in die verwendeten Materialien können Gase, Rauche und Stäube in den Bauraum freisetzen. Dies kann merklichen Einfluss auf den Fertigungsprozess, die Sensorik der Prozessüberwachung sowie letztlich die Bauteilqualität nehmen. Primäre Partikel entstehen u. a. durch Rekondensation verdampften Materials. Die mit dem lokalen Energieeintrag einhergehende Thermik kann zudem Schmelzetropfen und Agglomerate sowie unverarbeitete Materialteilchen aus dem Pulverbett aufwirbeln.



Aerosolgrößenspektrum im Bauraum einer LBM-Anlage während eines Bauprozesses

Zur Verhinderung einer Kontamination des Bauraums wird häufig ein laminarer flächiger Gasspülstrom über die Arbeitsebene des Bauteils, z. B. das Pulverbett, geführt, der für den Abtransport der entstandenen Partikel und Schadgase sorgen soll. Hierbei entstehen Rauchfahnen, die Primärpartikel und Sekundärpartikel mit Durchmessern zwischen wenigen nm bis zu einigen  $\mu\text{m}$  enthalten können. Auf der Arbeitsebene verbleibende Partikel können in nachfolgenden Fertigungszyklen unkontrolliert in die Einzellagen mit eingebaut werden.

Luftgetragene Partikel können im Bauraum zeit- und größen aufgelöst charakterisiert werden. Es ist auch möglich, entstehende Gase zu beproben und zu analysieren.

## Ansprechpartner:

S. Seeger ✉ stefan.seeger@bam.de  
FB 4.2 Materialien und Luftschadstoffe