

# SELEKTIVES LASERSCHMELZEN

Das selektive Laserschmelzen (laser beam melting, LBM, auch selective laser melting, SLM, oder laser powder bed fusion, LPBF) ist ein pulverbettbasiertes additives Fertigungsverfahren. Metallpulver wird durch einen Rakelmechanismus in einer dünnen Lage auf einer Bauteilplattform abgelegt und Konturen, die zuvor aus der 3D-Geometrie des aufzubauenden Bauteils abgeleitet wurden, werden mittels eines hochfokussierten Laserstrahls belichtet. Durch den Energieeintrag schmilzt das Pulver auf und es entsteht ein Materialzusammenhalt. Durch wiederholte Absenkung der Bauteilplattform, erneuten Pulverauftrag und Belichtung entsteht schichtweise das Bauteil. Vorteile des Verfahrens liegen u. a. in der erreichbaren hohen geometrischen

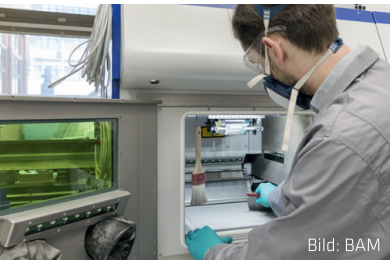


Bild: BAM

Bild der LBM-Anlage beim Einrichten mit geöffnetem Bauraum.

Komplexität (z. B. innere Hohlräume, Hinterschneidungen), der Formgenauigkeit und der Feinheit der erzielbaren Strukturen (z. B. dünne Gitterstrukturen).

Der BAM steht im Fachbereich 9.3 eine SLM Solutions 280HL Anlage mit 280 mm x 280 mm x 360 mm Bauraumgröße und 400 W Laserleistung zur Verfügung. Die Anlage ist ausgestattet mit einer Überwachung der Laserleistung und der Schmelzbademissionen (Melt Pool Monitoring) und ist u.a. geeignet für die Verarbeitung von Stählen, Aluminium-, Nickbasis- und Titanlegierungen.

## Ansprechpartner:

K. Hilgenberg ✉ kai.hilgenberg@bam.de  
G. Mohr ✉ gunther.mohr@bam.de  
FB 9.3 Schweißtechnische Fertigungsverfahren

# 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 Schmelzbad 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 Bauteils und zugleich eine Verringerung von Ausschussproduktion.

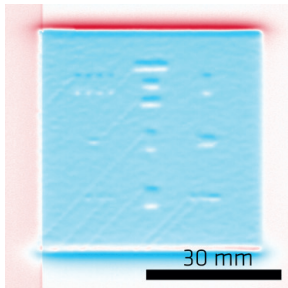
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)  
Unter den Eichen 87  
12205 Berlin  
🌐 [www.bam.de](http://www.bam.de)

## ProMoAM - Selektives Laserschmelzen

Online-Prozessmonitoring in der Additiven Fertigung mittels selektivem Laserschmelzen

# WIRBELSTROMPRÜFUNG

Die Wirbelstromprüfung ist ein klassisches Prüfverfahren zum Auffinden von Rissen in metallischen Werkstoffen. Durch den Einsatz von GMR-Sensoren (giant magneto resistance) als Empfänger bei der Wirbelstromprüfung kann die Auflösung im Vergleich zu konventionellen Spulensystemen sehr stark verbessert werden. Um jedoch den ganzen Bauraum lagenweise mit einem Scan abrastern zu können und Defekte in der Größenordnung  $< 100 \mu\text{m}$  zu detektieren, wird eine hohe Anzahl sensitiver GMR-Elemente benötigt. Deren Messsignale sensornah zu verarbeiten stellt hohe Anforderungen an die nachgeschaltete Elektronik.



Wirbelstromscan eines LBM-gefertigten Körpers mit eingetragenen Fehlern (Material 316L), eingebettet in Pulver.

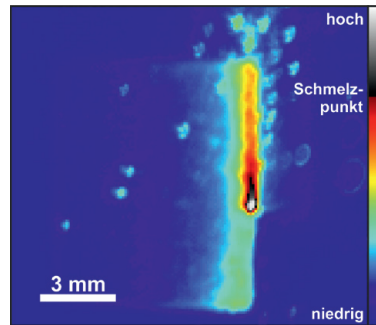
Ein Team von Wissenschaftlern des Fachbereichs 8.4 nimmt sich hier der Herausforderung an, eine in den Bauraum integrierte hochauflösende GMR-Sensorik zu entwickeln. Hierbei wird das Ziel verfolgt, dem Anwender und Endkunden ein Tool an die Hand zu geben, um den additiven Bauprozess zu protokollieren und schließlich die so gewonnenen Daten in einem 3D-Datensatz aufbereitet als Qualitätskontrolle zur Verfügung zu stellen.

## Ansprechpartner:

H. Ehlers ✉ [henrik.ehlers@bam.de](mailto:henrik.ehlers@bam.de)  
M. Pelkner ✉ [matthias.pelkner@bam.de](mailto:matthias.pelkner@bam.de)  
FB 8.4 Akustische und elektromagnetische Verfahren

# 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 Temperaturverlaufes der beobachteten Oberfläche möglich ist, besonders geeignet, den AM-Prozess zu überwachen. Neben den Prozessparametern (Laserleistung, Scangeschwindigkeit, usw.) haben auch die Bauteilgeometrie und ggf. auftretende Defekte einen Einfluss auf diese Temperaturdynamik im Bauprozess.



Thermogramm (Wellenlänge:  $3-5 \mu\text{m}$ ) während des LBM-Prozesses. Die Farbskala ist so gewählt, dass die Strahlungsintensität des flüssigen Materials in Graustufen angezeigt wird.

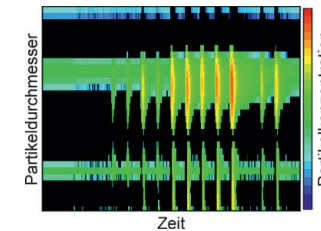
Da der Laserstrahl im LBM-Prozess stark fokussiert ist ( $\varnothing < 100 \mu\text{m}$ ), sich sehr schnell bewegt und die Temperaturen sich dadurch extrem schnell ändern (Aufheiz- und Abkühlraten  $> 10^6 \text{ K/s}$ ), sind die Anforderungen an eine thermografische Prozessüberwachung hoch. Der Fachbereich 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 LBM-Prozess gefertigten Bauteile zu ermöglichen.

## Ansprechpartner:

S. J. Altenburg ✉ [simon.altenburg@bam.de](mailto:simon.altenburg@bam.de)  
C. Maierhofer ✉ [christiane.maierhofer@bam.de](mailto: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](mailto:stefan.seeger@bam.de)  
FB 4.2 Materialien und Luftschadstoffe