

# ADDITIV – INNOVATIV

Autor: Dipl.-Ing. (FH) Johannes Junggeburch, Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Ein Ausschnitt der aktuellen Arbeiten am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT aus den Abteilungen Laser Powder Bed Fusion (LPBF) und Laserauftragschweißen

## EHLA 3D: Eroberung der dritten Dimension

Das am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT entwickelte Extreme Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen EHLA gilt als effiziente und umweltfreundliche Alternative zu den herkömmlichen Beschichtungsverfahren. Wesentliche Vorteile bringt es vor allem dort, wo metallische Bauteile extrem beansprucht werden und deshalb durch Beschichtung vor Korrosion und Verschleiß geschützt werden sollen. Zusammen mit der Ponticon GmbH arbeiten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Fraunhofer ILT unter der Bezeichnung EHLA 3D nun daran, das patentierte Verfahren für die additive Fertigung weiterzuentwickeln und damit die Möglichkeiten des Verfahrens um ein Vielfaches zu erweitern.

Metallische Bauteile sind häufig extremen Bedingungen ausgesetzt. Zum Beispiel beim Einsatz in der Luft- und Raumfahrt, auf Ölbohrplattformen im Meer, in Form von Papierwalzen, Hydraulikzylindern oder als Bremscheiben in Autos. Spezielle Beschichtungen sollen die Werkstoffe deshalb vor Korrosion und schnellem Verschleiß bewahren. Mit dem technologischen Fortschritt jedoch steigen die Anforderungen auf dem internationalen Markt stetig. Die Nachfrage ist infolgedessen zunehmend gekennzeichnet vom Bedarf nach noch schnelleren Produktionszeiten, individuellen und hoch performanten Bauteilen sowie einem enorm hohen Preisdruck.

Bisherige Verfahren weisen zahlreiche technologische und umwelttechnische Nachteile auf, die den Einsatzbereich der Schichten beschränken. Sie sind weder ausreichend flexibel, ressourceneffizient noch wirtschaftlich genug, um schmelzmetallurgisch angebundene, dünne Schichten mit hoher Qualität auf Bauteil-Oberflächen aufzutragen. Das Hartverchromen, bis vor nicht allzu langer Zeit das gängigste Verfahren, wird von der EU seit September 2017 nur noch unter strengen Auflagen zugelassen. Denn die elektrochemische Abscheidung von giftigem Chrom (VI) schädigt die Umwelt nachhaltig.

In den vergangenen Jahren haben Wissenschaftler des Fraunhofer ILT ein nachhaltiges und hochproduktives Verfahren entwickelt und erfolgreich in die Industrie überführt: das Extreme Hochgeschwindigkeits-Laserauftragschweißen EHLA. Zunächst insbesondere für Beschichtungsanwendungen eingesetzt, erfolgt nun der Schritt in die dritte Dimension.

## Die perfekte Grundlage

EHLA punktet im Vergleich zu den herkömmlichen Verfahren in mehrfacher Hinsicht. Nicht umsonst gewannen Wissenschaftler des Fraunhofer ILT dafür 2017 den renommierten Joseph-von-Fraunhofer-Preis. Das von ihnen entwickelte Verfahren verbessert die Vorschubgeschwindigkeit, mit der die Oberfläche bearbeitet wird, im Vergleich zum klassischen Laserauftragschweißen von 0,5 bis 2 Meter pro Minute auf 50 bis 500 Meter pro Minute. Ein Bauteil lässt sich heute also 100- bis 250-mal schneller beschichten. Auch ist es möglich, wesentlich dünnere Schichten aufzutragen. Waren durch konventionelles Laserauftragschweißen Schichten von mindestens 500 Mikrometer Stand der Technik, sind jetzt minimal 25 Mikrometer möglich.

Ein weiterer Vorteil liegt im geringen Wärmeeintrag. Beim klassischen Laserauftragschweißen wird der pulverförmige Zusatzwerkstoff in einem verhältnismäßig großen Schmelzbad direkt auf der Bauteiloberfläche aufgeschmolzen, um sie zu be-

schichten. Das kann die Materialeigenschaften jedoch nachhaltig verändern und kostet eine Menge Energie. Nicht so bei EHLA. Hier werden die festen Pulverpartikel schon in der Luft vom Laser aufgeschmolzen. Sie erreichen die Bauteiloberfläche also bereits im flüssigen Zustand und müssen dort nicht unter hohem Energieaufwand weiter aufgeschmolzen werden. Die Wärmeinflusszone verkleinert sich so auf fünf bis zehn Mikrometer, beträgt also im Vergleich zum Laserauftragschweißen lediglich noch ein Hundertstel.

So können jetzt auch metallurgisch inkompatible, hitzeempfindliche Werkstoffgruppen miteinander verbunden und verarbeitet werden, Aluminium und Titan zum Beispiel. Insgesamt wird die Bauteil-Oberfläche zudem wesentlich glatter: die Rauheit verringert sich etwa um den Faktor 10. Für die Expertinnen und Experten am Fraunhofer ILT bietet das eine perfekte Grundlage für weitere Entwicklungsschritte.

## Neue Generation der additiven Fertigung

„EHLA eignet sich im Prinzip für alles, was rotationsymmetrisch ist und auf einer schnellen Drehkinematik bearbeitet werden kann“, sagt Jonathan Schaible, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer ILT. „Die Frage ist nur: Warum sollten wir uns auf einfache runde Teile beschränken, wenn eine weitaus größere Bandbreite an Einsatzmöglichkeiten denkbar ist?“

Aus diesem Grund arbeitet ein Team von Wissenschaftlern seit 2017 daran, eine neue Generation des Verfahrens zu entwickeln. Ihr Vorhaben: Die innovative Technologie für den 3D-Druck zu nutzen. Arbeitstitel: EHLA 3D. Schaibles Promotion dürfte spannende Erkenntnisse zutage fördern. „Im Zentrum steht die Frage, welche speziellen Anforderungen für Maschinen- und Systemtechnik zu erfüllen sind, um EHLA mit dem Highspeed-3D-Druck kombinieren zu können.“

EHLA 3D ermöglicht gleich mehrere einzigartige, verfahrenstechnische Vorteile: hohe Aufbauraten, große Flexibilität und Materialvielfalt und gleichzeitig eine hohe Präzision. „Wir können damit bereits jetzt komplexe, filigrane Strukturen im großen Maßstab einfach und kostengünstig herstellen“, sagt Schaible. „Auch individualisierte Bauteile sind denkbar.“

## Erste Anwendungsfälle erforscht

Die erste Anlage ist bereits erfolgreich im Einsatz. Er wurde 2019 in Zusammenarbeit mit der Ponticon

Abb. 1: 3D-Druck eines Fraunhofer ILT-Schriftzuges aus drei verschiedenen Pulverwerkstoffen als Demonstrator-Bauteil für das neue, hochproduktive EHLA-3D-Verfahren.  
©Fraunhofer ILT, Aachen

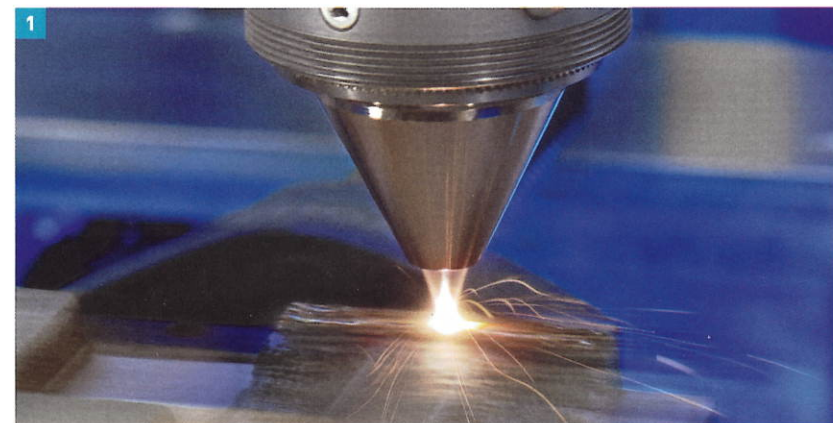
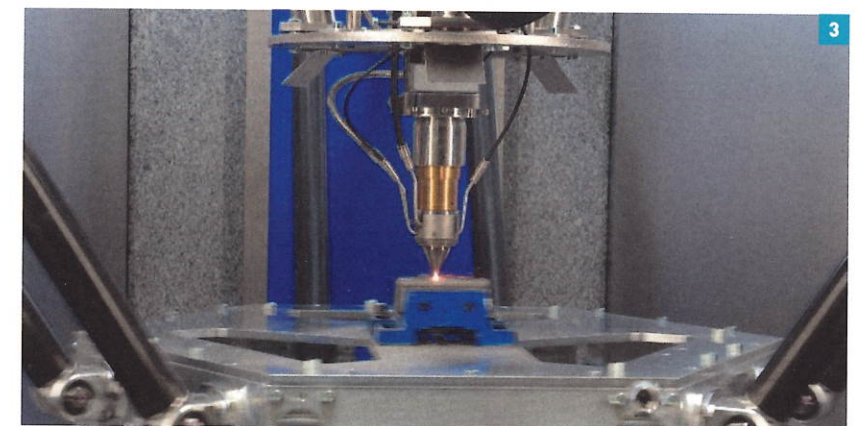


Abb. 2: Außenansicht der pE3d-Tripodanlage der Ponticon GmbH im EHLA-3D-Labor des Fraunhofer ILT.  
©Fraunhofer ILT, Aachen

GmbH aus Wiesbaden fertiggestellt. Das Konzept dafür basiert auf dem kinematischen Prinzip des Tripoden, einer Konstruktion mit drei Linearmotoren, die über Koppelstangen mit der Bauplattform, auf der das zu bearbeitende Bauteil bewegt wird, verbunden sind. „Der spezielle Aufbau gleicht die Trägheitskräfte weitgehend aus. In unserem Fall kann die Bauplattform dadurch sehr schnelle und präzise Bewegungen ausführen, ohne dass dabei große Schwingungen auftreten.“ Inzwischen kann die Anlage so bis zu 25 Kilogramm schwere Bauteile bearbeiten – mit bis zu fünffacher Erdbeschleunigung und Geschwindigkeiten von bis zu 200 Metern pro Minute, bei zugleich sehr hoher Präzision von 100 Mikrometern. Beim herkömmlichen Laserauftragschweißen sind gerade einmal 0,5 bis 2 Meter pro Minute üblich.

Abb. 3: Die Tripod-Kinematik in Aktion: stationäre Pulverzufuhrdüse und bewegte Bauplattform zur Durchführung schneller und präziser Vorschubbewegungen.  
©Fraunhofer ILT, Aachen



„Um die Vorteile von EHLA 3D für einen großen Anwenderkreis im industriellen Umfeld nutzbar zu machen, werden am Fraunhofer ILT derzeit zielgerichtete Forschungsarbeiten durchgeführt“, sagt Schaible. „Auf dem Weg dorthin müssen wir die Komplexität beherrschbar machen.“ Zentral sind etwa Prozessüberwachungskonzepte und automatisierte Bahnplanungs-Tools, am wichtigsten bleibt zunächst die Parametervariation im Labor. Bei der Prozessentwicklung müssen alle Parameter exakt aufeinander abgestimmt werden: Geschwindigkeit, Laserleistung und Pulvermenge in Abhängigkeit von der jeweils verarbeiteten Werkstoff-Kombination. „Da gibt es noch eine Menge experimenteller und empirischer Arbeit zu leisten. Die ersten Anwendungen aus der Industrie erforschen wir bereits“, sagt Schaible. „Wir sind also genau auf dem richtigen Weg.“

Derzeit wird EHLA 3D zum Beispiel in einem Projekt des Industriekonsortiums ICTM (International Center for Turbomachinery Manufacturing) unter Beteiligung zahlreicher namhafter Unternehmen aus den Bereichen Luftfahrt und Turbomaschinenbau weiter erforscht. Weitere bilaterale sowie öffentlich geförderte Konsortialprojekte und Machbarkeitsstudien sind beantragt. Die Bandbreite der Möglichkeiten für die Fertigung und Verarbeitung von Bauteilen wird mit EHLA 3D um ein Vielfaches erweitert, gleichzeitig effizienter und umweltverträglicher.

## KONTAKT

**FRAUNHOFER-INSTITUT  
FÜR LASERTECHNIK ILT**  
Steinbachstraße 15, D-52074 Aachen  
[www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de)

**Dr.-Ing. Thomas Schopphoven**  
Kompetenzfeldleiter Laserauftragschweißen  
Tel.: +49 (0)241 8906-8107  
[thomas.schopphoven@ilt.fraunhofer.de](mailto:thomas.schopphoven@ilt.fraunhofer.de)

**Jonathan Schaible M.Sc.**  
Gruppe Systemtechnik LMD  
Tel.: +49 (0)241 8906-660  
[jonathan.schaible@ilt.fraunhofer.de](mailto:jonathan.schaible@ilt.fraunhofer.de)

**Min-Uh Ko M.Sc.**  
Gruppenleiter Systemtechnik LMD  
Tel.: +49 (0)241 8906-8441  
[min-uh.ko@ilt.fraunhofer.de](mailto:min-uh.ko@ilt.fraunhofer.de)

## Das fühlende Bauteil!

### Intelligente Sensorik für Transport, Verkehr, Luft- und Raumfahrt

Sensoren im Fahrgestell und den Türen eines Personenzugs oder Flugzeugs: Fühlende Bauteile kontrollieren die Brennkammer eines Raketentriebwerks und nehmen selbstständig Kontakt zum SAP-System des Betreibers auf und melden Defekte, bevor sie entstehen. Science-Fiction?

Passend zur Thematik fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi mit dem Projekt SenseTrAI die futuristisch anmutende Methode zur effizienten Überwachung sicherheitsrelevanter Funktionen in der Bahntechnik. Defekte Bauteile bei der Deutschen Bahn verursachen die bei Bahnreisenden unbeliebten „Verzögerungen im Betriebsablauf“. Gleichzeitig ist der Austausch noch funktionsfähiger Komponenten in starren Wartungsintervallen ökologisch und ökonomisch unsinnig. Seit September 2021 erarbeiten Forschende vom Fraunhofer ILT zusammen mit Industriepartnern die Zukunft in der Wartung und Instandhaltung bei der DB Systemtechnik GmbH. Bis 2024 entwickeln die ME-Meßsysteme GmbH, die vedisys AG, die DATAbility GmbH und Wissenschaftende am Fraunhofer ILT ein KI-gestütztes Sensorsystem für den Schienenverkehr.

Für die Weichenstellung zur intelligenten Wartung im Projekt kommt das langjährig bewährte additive Verfahren Laser Powder Bed Fusion (LPBF) zum Einsatz. Der schichtweise Aufbau mit Metallpulver und Laserstrahlung ermöglicht, elektronische Komponenten wie Sensoren und Aktoren während des 3D-Drucks in metallische Bauteile zu integrieren. Zur richtigen Zeit gestoppt, erlaubt das Verfahren den Einbau von Sensoren in das Werkstück, bevor der Laser seine Arbeit fortsetzt. Das Bauteil allein ist aber nur die halbe Geschichte. Vernetzt und kontrolliert von einer KI soll das fertige System künftig selbst signalisieren, ob, wann und wo ein Austausch oder eine Reparatur notwendig wird.

„Wir erhielten den Zuschlag vom BMWi, weil das Gesamtpaket, gepackt von unseren Projektteilnehmern, stimmt“, ist sich Simon Vervoort sicher. Er arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Gruppenleiter für Applikationsentwicklungen am Fraunhofer ILT. Das Ziel des Verbundprojekts ist die Entwicklung einer ganzheitlichen Lösung zur drahtlosen und kontinuierlichen Zustandsüberwachung sensorintegrierter, additiv gefertigter Bauteile. Von der Sensorik bis zur Meldung im SAP-System.

Für die DB Systemtechnik GmbH war besonders die Eignung zum problemlosen Retrofit wichtig, die eine einfache und kosteneffiziente Nachrüstung möglich macht. In diesem Zusammenhang kam auch der Wunsch nach einer kabellosen Datenübertragung auf, die sich etwa mithilfe von 5G schnell und einfach realisieren lässt.

Mögliche Anwendungsfälle ergaben ein Technologie-Scouting der Projektpartner. Zu den vielversprechenden Einsatzfeldern zählen Türmechanik, Primär- und Schlingerdämpfer sowie vor allem Radsatzlagerdeckel, die Radlagergehäuse abschließen. Dieser ist aus Sicht der Instandhaltung ein kritisches Bauteil. Bei erhöhter Belastung steigt die Temperatur und es droht Verschleiß. In den Deckel integrierte Temperatur- und Beschleunigungssensoren könnten Heißläufer und ihre Ursachen frühzeitig erkennen. Der Einsatz der Künstlichen Intelligenz (KI) in Kombination mit den Sensoren macht das Erkennen und Weiterverarbeiten erst möglich.

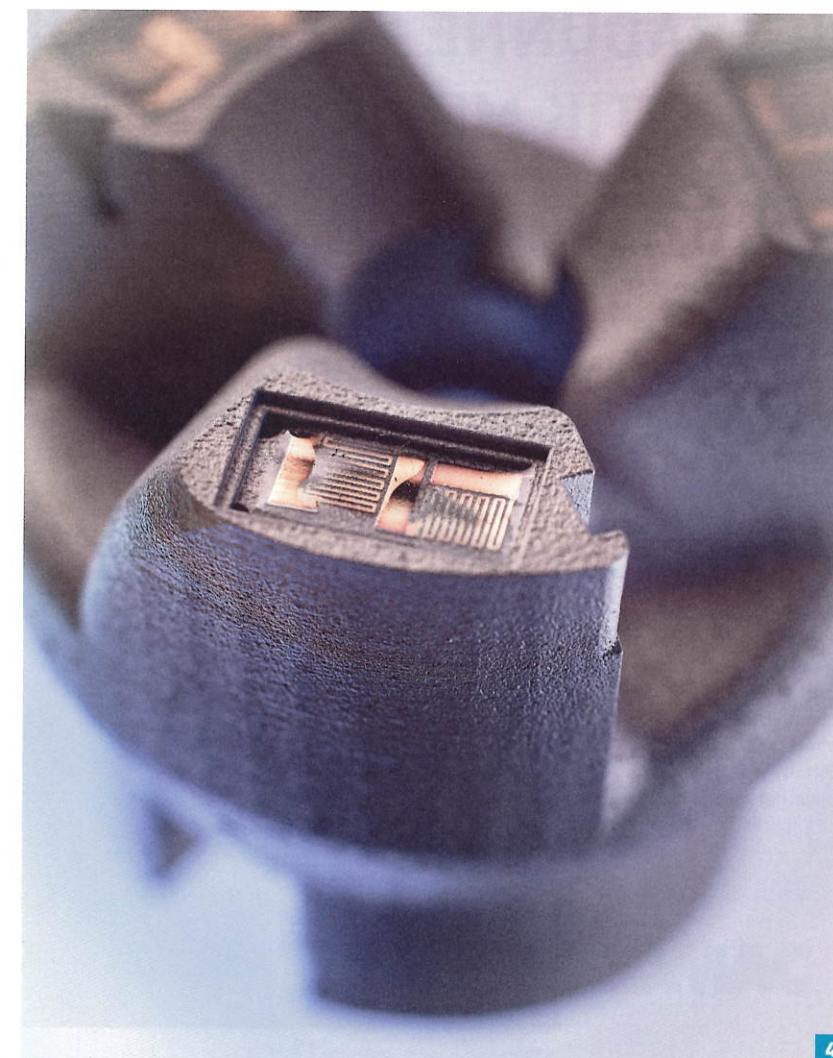
### Fraunhofer ILT engagiert sich in einem Sonderforschungsbereich zum Thema wiederverwendbare Raketen

Jasmin Saewe, Leiterin des Kompetenzfelds LPBF am Fraunhofer ILT: „Wir arbeiten an den Anwendungen zur Sensorintegration in LPBF-Bauteilen im Bereich Space. Die Technologie soll zukünftig genutzt werden, um Druck- und Temperaturmessungen in der Brennkammer, den Turbopumpen und Einspritzdüsen von Raketentriebwerken zu realisieren.“

Simon Vervoort hebt besonders die Notwendigkeit einer großen, validen Datenbasis für KI hervor. Eigentlich müssten diese Daten direkt an den zu kontrollierenden Systemen im Alltagsbetrieb generiert werden. Dafür nutzt man in dem Projekt SenseTrAI das TrainLab der Deutschen Bahn Technik GmbH, um die neue Sensortechnik unter realistischen

**Jasmin Saewe M.Sc.**  
Leiterin Kompetenzfeld  
Laser Powder Bed Fusion  
Tel.: +49 (0)241 8906-135  
[jasmin.saewe@ilt.fraunhofer.de](mailto:jasmin.saewe@ilt.fraunhofer.de)

**Dipl.-Ing. Simon Vervoort**  
Kompetenzfeld Laser Powder Bed Fusion  
Tel.: +49 (0)241 8906-602  
[simon.vervoort@ilt.fraunhofer.de](mailto:simon.vervoort@ilt.fraunhofer.de)



Alltagsbedingungen zu testen. Die so gewonnenen Daten dienen zunächst zum Trainieren der KI. Im folgenden Schritt, wenn die Technik reibungslos funktioniert, ist der Testeinsatz im Betrieb vorgesehen. Aufgrund der gebündelten Kompetenzen der Beteiligten scheint der Erfolg greifbar zu sein, sind sich die Forschenden am Fraunhofer ILT sicher.

**Abb. 4:**  
Fühlerwerkzeug der Zukunft: Ein Fräskopf mit integrierter Sensorik zur Temperatur- und Druckmessung.  
©Fraunhofer ILT, Aachen

## KONTAKT

**FRAUNHOFER-INSTITUT  
FÜR LASERTECHNIK ILT**  
Dipl.-Ing. (FH) Johannes Junggeburth  
Steinbachstraße 15, D-52074 Aachen  
[www.ilt.fraunhofer.de](http://www.ilt.fraunhofer.de)