



# ADDITIVE MANUFACTURING





## **FLEXIBLE FERTIGUNG FUNKTIONALER BAUTEILE**

Die additive Fertigung bietet enorme Potenziale bei der Herstellung von geometrisch komplexen, funktionsintegrierten Bauteilen, die aus unterschiedlichen Werkstoffkombinationen bestehen. Diese Bauteile kostengünstig und in hochwertiger Industriequalität herzustellen ist das Ziel weltweiter Forschungsanstrengungen.

Das Fraunhofer IWS Dresden und das Institut für Werkstoffwissenschaft der TU Dresden (IfWW) arbeiten seit mehreren Jahren auf dem Gebiet der additiven Fertigung und konnten bereits zahlreiche anwendungsgetriebene Projekte umsetzen. Im Zusammenschluss mit Industrie- und Forschungspartnern wird das Ziel verfolgt, bestehende Verfahrensrestriktionen zu beseitigen und Rahmenbedingungen bspw. zur Standardisierung, Prozesssicherheit und Qualitätssicherung zu definieren und zu schaffen. Dafür stehen pastenbasierte Verfahren, modernste pulverbett- und düsenbasierte Laser- und Elektronenstrahlverfahren, CNC- und Roboteranlagensysteme sowie rechnergestützte Methoden der Prozesssteuerung und -auswertung zur Verfügung.

*Prof. Dr. Eckhard Beyer  
Institutsleiter, geschäftsführend, Fraunhofer IWS Dresden*

*Prof. Dr. Christoph Leyens  
Institutsdirektor, Institut für Werkstoffwissenschaft, TU Dresden  
Institutsleiter, Fraunhofer IWS Dresden*



## **FLEXIBLE MANUFACTURING OF FUNCTIONAL COMPONENTS**

Additive manufacturing offers enormous potential for the production of components with highly complex geometries and integrated functionalities which consist of various material combinations. Manufacturing high industrial quality components at a reasonable cost is the objective of international research efforts.

For several years, the Fraunhofer IWS Dresden and the IfWW – the Institute of Materials Science at the TU Dresden – have been cooperating in the field of additive manufacturing and thus have been able to implement numerous application-driven projects. The objective of networking with research and industrial partners is to overcome existing technological limitations and to define and establish the framework conditions for standardization, process reliability, quality assurance and so on. To this end, we have available paste-based methods, state-of-the-art powder- and nozzle-based laser and electron beam technologies, CNC and robotic systems, as well as computer-aided methods of process control and analysis.

*Prof. Dr. Eckhard Beyer  
Managing Director, Fraunhofer IWS Dresden*

*Prof. Dr. Christoph Leyens  
Head of the Institute of Materials Science, TU Dresden  
Director, Fraunhofer IWS Dresden*



## NEUE PROZESSKETTEN FÜR DIE ADDITIVE FERTIGUNG

Die konventionelle Produktion basiert überwiegend auf etablierten, über viele Jahrzehnte hinweg perfektionierten Prozessketten. Der Design- und Konstruktionsprozess ist hierbei an die Fertigung angepasst. Dies bedeutet, dass die Fertigungstechnik einen wesentlichen Einfluss auf Bauteilgestalt und Funktionalität ausübt. Die additive Fertigung ermöglicht es, das klassische »design for fabrication« durch »design for function« zu ersetzen. Dies setzt voraus, dass neben den Anforderungen an das Design des zu generierenden Bauteils auch die spezifischen Rahmenbedingungen für das jeweilige additive Fertigungsverfahren bekannt sind.

Folgende Aspekte sind bei der Planung des Prozesses zu beachten:

- Welche Eigenschaften müssen CAD-Daten aufweisen?
- Wie robust ist der Prozess und welche Toleranzgrenzen gibt es?
- Welche Prozessgrößen sind entscheidend und müssen überwacht werden?
- Welche Aussagen einer Simulation sind wertvoll?
- Welche speziellen vor- und nachgeschalteten Prozesse sind erforderlich?
- Wie kann eine hohe Reproduzierbarkeit und Qualität sichergestellt werden?

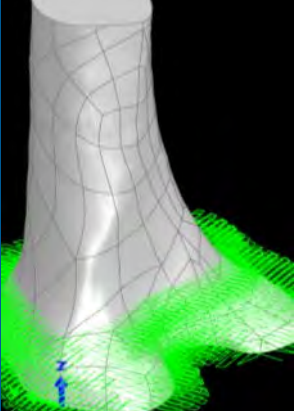


## NEW PROCESS CHAINS FOR ADDITIVE MANUFACTURING

Conventional production is predominantly based on established process chains that have been refined over the course of several decades. In this context, design is adapted to the manufacturing technology. This means that the shape and functionality of the component are substantially influenced by the manufacturing technology itself. By contrast, additive manufacturing makes it possible to replace the classic case of „design for manufacturing“ with „design for function“. This presupposes knowledge not only of the requirements to be fulfilled by the design of the component that is being produced, but also of the specific process characteristics of the relevant additive manufacturing method.

The following aspects have to be considered in process planning:

- What characteristics must the CAD data have?
- How robust is the process?
- What tolerance limits are feasible?
- Which process parameters are crucial and thus need to be monitored?
- Which results of a simulation are valuable?
- Which specific pre- and post-production processes are required?
- How can reliable reproducibility and high quality be ensured?

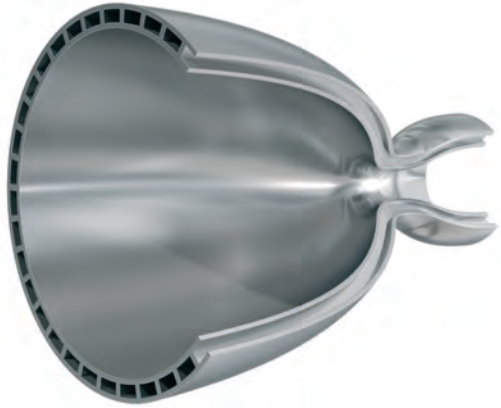


## DESIGN

Die Vielfalt der eingesetzten Anlagentechnik und Werkstoffe erlaubt neben der reinen Erstellung angepasster Geometrien auch die modifizierte Ausführung werkstofflicher Strukturen, wie etwa Hohl- und Leichtbaustrukturen, mit speziellen konstruktiv vorbestimmten Aufbaueigenschaften.

Durch die angepasste Führung des additiven Prozesses ist es beispielsweise möglich, die Dichte oder Porosität des Werkstoffs über den Querschnitt des Bauteils zu variieren, um sowohl den Anforderungen an den Leichtbau als auch an die Festigkeit speziell belasteter Bereiche des Bauteils zu entsprechen. Damit ist die Möglichkeit einer neuartigen Funktionalisierbarkeit und zur Individualisierung von Komponenten in einer nahezu unbegrenzten Vielfalt gegeben. Die entsprechenden Designmöglichkeiten erstrecken sich von der Nachbildung biologischer Vorbilder bis hin zur angepassten Ausführung eigens konzipierter Ansätze eines Strukturaufbaus.

Die Potenziale dieser Strukturen werden werkstoff- und prozessspezifisch untersucht, entsprechende Prozesse konzipiert und simuliert und anhand realer Anforderungen erprobt.

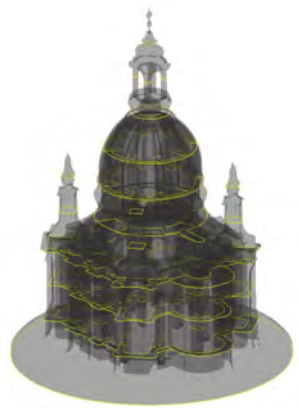
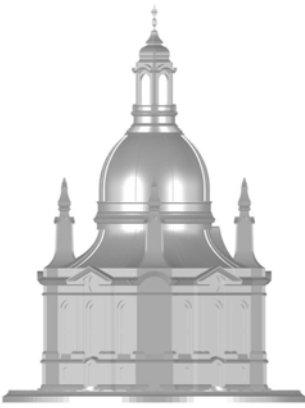


## DESIGN

In addition to the creation of adapted geometries itself, the variety of applied equipment and materials also allows for the modified execution of material structures, such as hollow shape and lightweight design structures, with special structural characteristics predefined by design.

Using a modified version of the additive manufacturing process makes it possible to vary parameters such as the density or material porosity across the component's cross section and thus to address the requirements for both lightweight design and the strength needed for areas of the component subjected to especially great stresses. These advantages allow for an innovative integration of functionalities and the individualization of the components, which is to say that they can be customized to specific requirements with an almost unlimited variety. The options in design range from the replication of biological models to the customized implementation of specifically designed approaches in structures.

The potentials of these structures are analyzed in terms of materials and manufacturing process, and suitable processes are developed, simulated, and tested under real conditions.



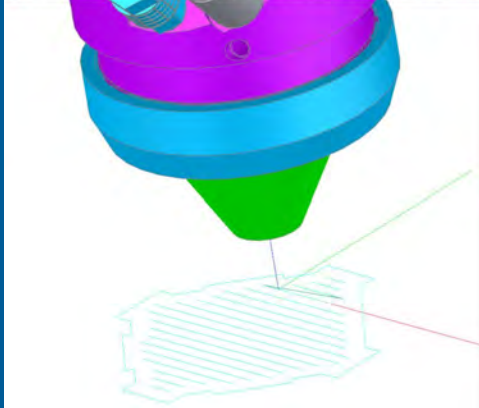
## CAD/CAM

Wesentlich für eine erfolgreiche additive Erzeugung von Geometrien bzw. Bauteilen ist die Erstellung des Maschinenprogramms. Das Programm beinhaltet die geometriebezogene Verfahrenstrategie und werkstoffspezifische Prozessparameter und basiert auf den 3D-CAD-Daten des zu generierenden Bauteils. Mit Hilfe einer CAD/CAM-Programmiersoftware wird dieses Modell in der Regel entlang der Aufbaurichtung in Ebenen geschnitten. Die Ebenenanzahl ergibt sich hierbei aus der Aufbauhöhe pro Lage.

Für jeden Ebenenschnitt bzw. Layer werden nun die Verfahrbahnen unter Vorgabe der Bahnstrategie berechnet und visualisiert. Die richtige Verfahrstrategie, bspw. mäanderförmig oder konturparallel, ist entscheidend für einen erfolgreichen Aufbau. Für Pulverbettverfahren ist es oftmals notwendig, an überhängenden Geometrien Stützstrukturen für einen stabilen Aufbau hinzuzufügen.

Für die offline-Bearbeitung von 3D-Generierungsaufgaben kommt überwiegend die vom Fraunhofer IWS mitentwickelte CAD/CAM-Programmiersoftware »DCAM« zum Einsatz.



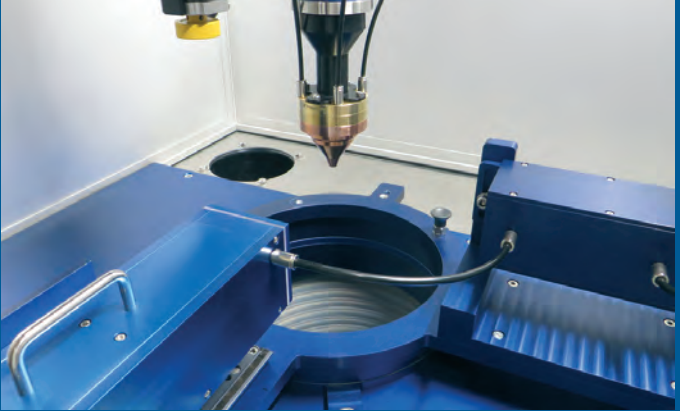


## CAD/CAM

Generating a machine program is essential to the successful additive manufacturing of shapes or components. The program includes the geometry-related traversing strategy as well as material-specific process parameters and is based on the 3D-CAD data of the component to be produced. As a rule, this model is divided along the setup direction into planes by means of CAD/CAM programming software. The number of planes is derived from the height to be built per layer.

For each plane, the traversing paths are calculated and visualized based on a predefined path strategy. The appropriate path strategy, such as meander-type or equidistant to contour, is crucial to a successful building process. For powder-bed technologies, it is often necessary to add support structures at geometry overhangs for a stable build-up.

For 3D geometry generation in offline mode, the CAD/CAM programming software "DCAM", co-developed by Fraunhofer IWS, is primarily used.

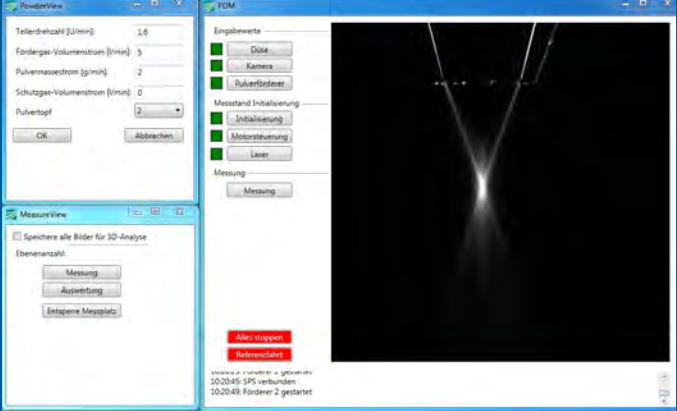


## SENSORIK ZUR PROZESS- KONTROLLE

Das Fraunhofer IWS entwickelt speziell angepasste Prozessbeobachtungssysteme für additive Prozesse. Dabei kommen hochempfindliche Kameras in Kombination mit intelligenten Bildverarbeitungssystemen zum Einsatz. Ziel ist es, Informationen über den Prozess zu gewinnen, auftretende Effekte bei Fehlparametrierungen zu verstehen und Qualitätssicherungsmethoden oder eine aktive Prozessregelung bereit zu stellen.

Entscheidend für den Prozess ist, die Fertigungsqualität über die gesamte Prozesszeit sicherstellen zu können. Bereits geringe Veränderungen einzelner Prozessparameter können wegen ihres komplexen Zusammenspiels zu einer signifikanten Veränderung des Ergebnisses führen. Durch den prozesscharakteristischen lagenweisen Aufbau unterliegen einige dieser Fehler einem sich fortführenden Effekt.

Der Prozess ist zudem permanent Umgebungseinflüssen, wie z.B. Wärmestau, Aufheizung oder Verschmutzung, ausgesetzt. Derartige Schwankungen müssen sicher erkannt und ausgegletzt werden, um insbesondere bei komplexen Bauteilen einen defektfreien und exakten Aufbau zu ermöglichen.



## SENSOR SYSTEMS FOR PROCESS MONITORING

The Fraunhofer IWS has developed process monitoring systems tailored to additive processes. These systems make use of highly sensitive cameras in combination with intelligent image processing systems. The approach is designed to capture information about the process, understand effects that may appear in the case of incorrect parameter setting, and make available quality assurance methods or an active process control.

It is crucial to the manufacturing quality to be guaranteed over the total process period. Even a few changes in individual, but interacting process parameters can influence the result significantly. Due to the layered structure that is typical for this process, these errors are subject to a propagation effect.

Furthermore, the process is constantly exposed to environmental influences, such as heat accumulation, rising temperatures, or contamination. Variations like these have to be reliably recognised and compensated for in order to enable an accurate, defect-free build-up, in particular for complex components.



## VERFAHREN DER ADDITIVEN FERTIGUNG

Zur Realisierung weitreichender Designfeatures und Funktionalitäten steht im Fraunhofer IWS und an der TU Dresden eine breite Verfahrenspalette für unterschiedliche Applikationen zur Verfügung:

### **Pasten- und tintenbasierte 3D-Druckverfahren**

- z. B. Dispens- und Aerosoldruck
- Erzeugung komplexer Elektronikstrukturen

### **Düsenbasierte Verfahren**

- z. B. Laser-Auftragschweißen mit Pulver oder Draht
- zeit- und werkstoffeffiziente Fertigung von Mikrostrukturen bis hin zu großvolumigen Bauteilen
- Integration in hybride Verfahren möglich

### **Pulverbettverfahren**

- z. B. selektives Laser- und Elektronenstrahlschmelzen
- Herstellung von Bauteilen mit hoher Geometriefreiheit sowie sehr feinen Strukturen und Oberflächen

Mit den verschiedenen Verfahren lassen sich metallische und intermetallische Werkstoffe, Kunststoffe, Funktionswerkstoffe sowie Multimaterialsysteme verarbeiten.



## **ADDITIVE MANUFACTURING METHODS**

A wide range of technologies that can be used for various cases of application is available at the Fraunhofer IWS and the TU Dresden to implement a broad spectrum of design features and functionalities.

### **Paste and ink-based 3D printing methods**

- examples include dispenser and aerosol printing
- generation of complex electronic structures

### **Nozzle-based methods**

- examples include build-up welding using powder or wire
- time- and material-efficient manufacturing of microstructures, up to large-volume components
- can be integrated into hybrid procedures

### **Powder-bed methods**

- examples include selective laser and electron beam melting
- manufacturing of components with many degrees of freedom in geometry, as well as extremely filigree structures and surfaces

Using the various above mentioned methods, it is possible to process metallic and intermetallic materials, plastics and functional materials.



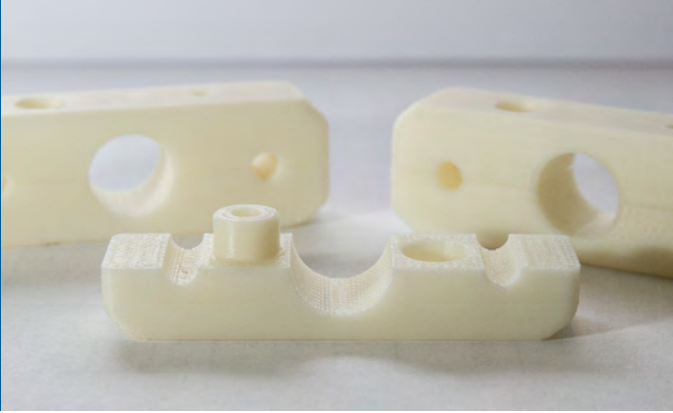
## DISPENS- UND AEROSOLDRUCK

Im Mittelpunkt der Arbeiten steht die Entwicklung von pasten- und tintenbasierten Verfahren, die einen 3D-Multimaterialdruck ermöglichen, sowie die additive Fertigung von Polymer- und Polymerkompositstrukturen durch Druckprozesse, die auf dem Fused-Deposition-Modeling basieren.

Das verarbeitbare Spektrum an Materialien für Dispens- und Aerosoldruck ist sehr breit, da sämtliche Materialien infrage kommen, die in stabile Pasten oder Tinten überführt werden können. Dazu zählen bspw. Metalle, Halbleiter, Polymere oder nanopartikelhaltige Dispersionen sowie Keramiken und Komposite. Für nachstehende Sinter- oder Trocknungsschritte werden Plasma- oder Lasertechnologien genutzt.

### Leistungsangebot

- Erzeugung rein mechanischer 3D-Strukturbauteile
- Drucken hochkomplexer Elektronikstrukturen, wie z. B. thermoelektrische Generatoren, Sensoren, Batterien oder Leiterbahnen für Hochleistungselektronik
- Integration elektrischer Funktionalitäten (z. B. gedruckte Sensoren) in additiv gefertigte Bauteile



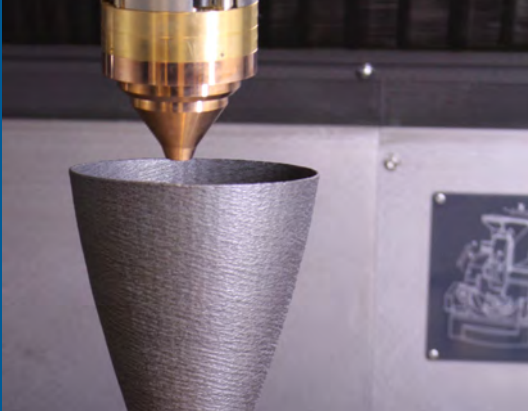
## **DISPENSER AND AEROSOL PRINTING**

The projects are focused on the development of paste- and ink-based methods to be used for 3D multi-material printing, as well as additive manufacturing of polymer and polymer composite structures by means of printing processes that are based on Fused Deposition Modelling.

The number of materials that may be used for dispenser and aerosol printing is very large, since all materials that can be transformed into stable pastes or inks may be employed. These include, for instance, metals, semi-conductors, and polymers or particle dispersions containing nanoparticles, as well as ceramics and composite materials. Plasma or laser technologies are used for the follow-up sintering or drying steps.

### **Services:**

- manufacturing of purely mechanical 3D structural parts
- printing of highly complex electronic structures, such as thermo-electrical generators, sensors, batteries or tracks for high-performance electronics
- integration of electrical functionalities (e.g. printed sensors) into components made by Additive Manufacturing



## **GENERATIVES LASER-PULVER-AUFTRAGSCHWEISSEN**

Beim Laser-Pulver-Auftragschweißen (LPA) werden pulverförmige Zusatzwerkstoffe mittels Laserstrahl auf ein Bauteil aufgeschmolzen. Durch das Abfahren von zuvor festgelegten Bahnen wird die gewünschte Geometrie ausgebildet und gewinnt durch Überlagerung von Bahnen bzw. Schweißraupen seine dreidimensionale Kontur. Der Prozess des Laser-Auftragschweißens kann mit einer lokalen induktiven Zusatzerwärmung kombiniert werden. Ziel der Entwicklungsarbeiten ist es, einen möglichst wirtschaftlichen Prozess hoher Qualität und Genauigkeit zu realisieren. Weiterhin wird die Skalierung des LPA-Prozesses, bspw. zur Realisierung von Mikrostrukturen  $<100\ \mu\text{m}$ , vorangetrieben.

### **Werkstoffe**

- Leichtmetall- und Nickelsuperlegierungen, Stahl, intermetallische Werkstoffe
- Hartstoffsysteme (Karbide)

### **Leistungsangebot**

- Werkstoff- und Prozessentwicklung
- Fertigung von Bearbeitungsköpfen und Integration in Anlagen
- Prozessmonitoring
- Erstellung von Anlagenkonzepten
- Produktionseinführung und Vor-Ort-Anwenderbetreuung





## **ADDITIVE LASER POWDER BUILD-UP WELDING**

The laser powder build-up welding (German abbrev. LPA) technology is characterized by coating materials in powder form that are deposited on a component. The desired geometry is formed by following trajectories that are predefined prior to manufacturing. The geometry is given its three-dimensional contour by the overlapping of paths or welding beads. It is possible to combine laser powder build-up welding with local additional induction heating. The engineering projects are focused on achieving the most economical process that retains high quality and accuracy. Scalability of the LPA process, for example to implement microstructures less than 100  $\mu\text{m}$ , is also being pursued.

### **Materials**

- light metal and nickel super alloys, steel, intermetallic materials
- hard materials (carbides)

### **Services**

- materials and process engineering
- manufacturing of laser heads and their integration into systems
- process monitoring
- design of equipment configurations
- implementation of the process on an industrial scale and customer support on site



## GENERATIVES LASER-DRAHT-AUFTRAGSCHWEISSEN

Beim Laser-Draht-Auftragschweißen (LDA) wird ein drahtförmiger Zusatzwerkstoff mittels Laserstrahlung auf einer Bauteiloberfläche raupenförmig aufgebracht. Das Drahtmaterial wird vollständig aufgeschmolzen und verbindet sich metallurgisch mit dem Grundwerkstoff. Durch Nebeneinander- und Übereinanderlegen mehrerer Spuren können dreidimensionale Bauteile erzeugt werden. Vom großflächigen Beschichten einfacher Bauteilgeometrien bis hin zum Aufbau von komplexen dreidimensionalen Strukturen (z. B. Turbinenschaufeln) bietet das LDA ein breites Anwendungsfeld. Dabei können sowohl filigrane dünnwandige Stegstrukturen, als auch massive Volumenkörper generiert werden.

### Werkstoffe

- alle in Drahtform verfügbaren Schweißzusätze, wie Werkzeug- und Edelstähle, Ni-, Ti-, Al-Basislegierungen, Cu-Legierungen

### Leistungsangebot

- Prozessentwicklungen für anwendungsspezifisch ausgewählte Werkstoffe sowie herausfordernde Bauteilgeometrien
- Entwicklung und Fertigung von Bearbeitungsköpfen
- Prozessunterstützung durch Monitoring und Regelungssysteme

Der Einsatz von Draht erlaubt eine 100-prozentige Materialausnutzung und damit einen sauberen Prozess.



## **ADDITIVE LASER WIRE BUILD-UP WELDING**

In laser wire build-up welding (German abbrev. LDA), a wire-like coating material is deposited as a filler onto the component surface by means of a laser beam. The wire material is completely molten and firmly bonded (metallurgical bonding) with the base material. Three-dimensional components can be manufactured by opposing wires and superimposing one track over the other. The LDA method provides a wide range of application – from coating large surfaces of simple component geometries to building up complex three-dimensional structures (for example turbine blades). It is possible to manufacture both filigree thin-walled web structures and solid bodies with huge volumes.

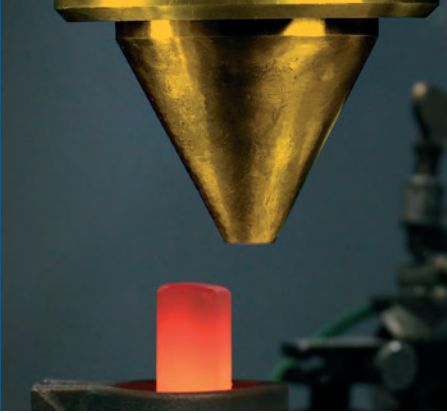
### **Materials**

- all welding fillers available as wire, such as tool steels and stainless steels, Ni, Ti, Al master alloys, Cu alloys

### **Services**

- process design for materials selected for a specific application, as well as challenging component geometries
- engineering and manufacturing of laser heads
- process support by monitoring and controlling systems

The use of wire makes it possible to utilize the material at 100 percent and thus guarantees a clean and ecological process.



## HYBRIDE PROZESSE

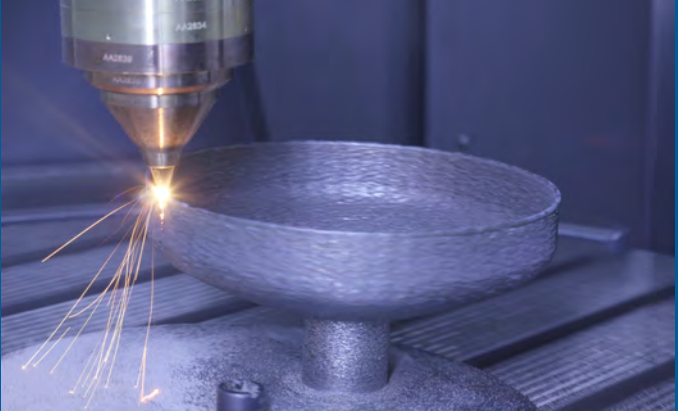
Das IWS arbeitet an Möglichkeiten zur Optimierung additiv gefertigter Bauteile und additiver Prozesse durch die Kombination mit konventionellen Fertigungsverfahren, um Werkstoffeigenschaften oder Bauteilstrukturen optimal auszuführen. Dazu werden die jeweiligen Verfahrensvorteile und -spezifika miteinander in einer Prozesskette verknüpft.

### Verfahrenskombinationen

- Laserauftragschweißen + mechanische Nachbearbeitung (z. B. Fräsen)
- Additiv-generative Fertigung + Vor- und Nachwärmen (z. B. induktives Wärmen)
- Kombination verschiedener Lasertypen und Wellenlängen

### Integration

- Vereinigung von Verfahren in einer Anlage
- Bauteilhandling
- Integration messtechnischer Komponenten in bestehende Anlagen
- Erzielung hoher Genauigkeit und Reproduzierbarkeit
- Vereinfachung steuerungstechnischer Abläufe



## **HYBRID PROCESSES**

To achieve optimal material characteristics or component structures, IWS activities are options to optimize components made by additive manufacturing, as well as the additive processes in combination with conventional manufacturing methods. Following this paradigm, the respective procedural advantages and their specific characteristics are brought together in a process chain.

### **Combinations of manufacturing methods**

- laser build-up welding + follow-up machining (e.g. milling)
- generative Additive Manufacturing + preliminary and post-process heating (for example induction heating)
- combination of various laser types and wavelengths

### **Integration**

- connects various methods within one equipment/ system
- component handling
- integrates metrological components in existing systems
- achieves high accuracy and reproducibility
- simplifies the procedures in control technology



## LASERSTRAHLSCHMELZEN (SLM)

Pulverbettverfahren, zu denen u. a. das Laserstrahlschmelzen (SLM - Selective Laser Melting) gehört, sind die bevorzugte Verfahrensvariante, wenn es um die Bauteilfertigung mit der höchsten Geometriefreiheit geht:

- max. Bauteilgröße: 300 x 300 x 200 mm<sup>3</sup>
- Formgenauigkeit: 0,1 - 1 mm

Das defektfrei verarbeitbare Werkstoffspektrum reicht von Stählen über Nickel- und Kobalt-Legierungen, sowie Ti-Leichtbauwerkstoffe bis hin zu Hartmetallen und Keramik.

Neben werkstofflichen Untersuchungen wird am Fraunhofer IWS auch an der Steigerung der Vorschubgeschwindigkeit gearbeitet. Ziel ist es, Vorschubgeschwindigkeiten zu realisieren, die mit dem Elektronenstrahlschweißen vergleichbar sind, um die Prozesseffizienz auf Bauraten > 20 cm<sup>3</sup>/h zu steigern.



## SELECTIVE LASER MELTING (SLM)

Methods based on the powder bed, such as Selective Laser Melting (SLM), represent the procedural variant of choice when manufacturing components at the highest degree of freedom in terms of geometry:

- max. component dimensions: 300 x 300 x 200 mm<sup>3</sup>
- accuracy to shape: 0,1 - 1 mm

The range of materials that can be processed in a defect-free manner ranges from steels and nickel or cobalt alloys, as well as Ti lightweight construction materials, to cemented carbides and ceramics.

The Fraunhofer IWS not only conducts material investigations, but also strives for an increase in the feed rate. The improvement objective is to achieve feed rate values that are commensurable with those feasible in electron beam welding, in order to increase process efficiency to build-up rates of > 20 cm<sup>3</sup>/h.



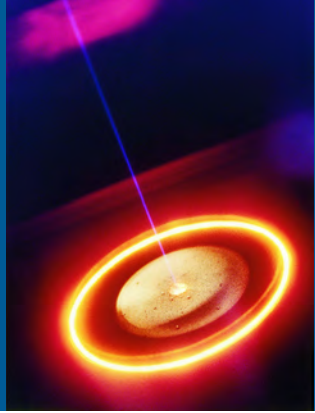
## ELEKTRONENSTRAHLSCHMELZEN (EBM)

Beim Elektronenstrahlschmelzen (EBM - Electron Beam Melting), wird anstatt des Laserstrahls ein Elektronenstrahl über das Pulverbett, das aus keramischen und metallischen Pulvern bestehen kann, geführt. Die Strahlung kann - im Vergleich zu den galvanischen Scannern der lasergestützten Bearbeitung - sehr schnell durch Anpassung elektrischer Felder manipuliert werden, so dass hohe Vorschubgeschwindigkeiten von rd. 8000 m/s erreicht werden können. Damit gewinnt der Prozess eine hohe Produktivität und Effizienz mit Aufbauraten zwischen 55 – 80 cm<sup>3</sup>/h.

Die Hauptanwendungen liegen derzeit in der standardmäßigen Verarbeitung von Ti6Al4V, Ti6Al4V ELI, TiCP Grade 2 und ASTM F75 zur Herstellung von Implantaten und Komponenten für Luft- und Raumfahrt.

Im Vergleich zu SLM-Prozessen bedingt diese Art der Bearbeitung allerdings eine wesentlich höhere Oberflächenrauheit, die typischerweise im Bereich von 20-40 µm liegt. Dies erfordert in der Regel eine glättende Nachbearbeitung, um die gewünschten technischen Oberflächenqualitäten zu erzielen.





picture: Arcam

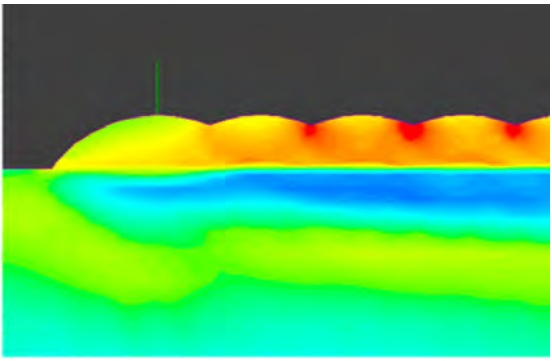
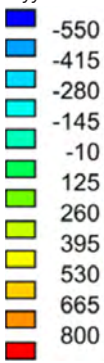
## **ELECTRON BEAM MELTING (EBM)**

Electron beam melting (EBM) employs an electron beam instead of a laser beam. The electron beam is guided over the powder bed, which, in turn, can contain ceramic and metallic powders. Thanks to the adaption of electrical fields, it is possible to manipulate these beams very quickly vs the galvanic scanners that are used in laser-based processes. Consequently, high feed rates of approx. 8000 m/s can be achieved. Feasible build-up rates from 55 to 80 cm<sup>3</sup>/h make the process highly productive and efficient.

The procedure has been recently mainly applied to standard processing of Ti6Al4V, Ti6Al4V ELI, TiCP grade 2 and ASTM F75 for the manufacturing of implants and components for aerospace engineering.

However, this type of manufacturing provides surfaces with significantly higher roughness (from typically 20 to 40 μm) than in SLM processes. As a rule, smoothening post-processing is required in order to obtain the desired technical surface qualities.

$\delta_{yy}$  / MPa

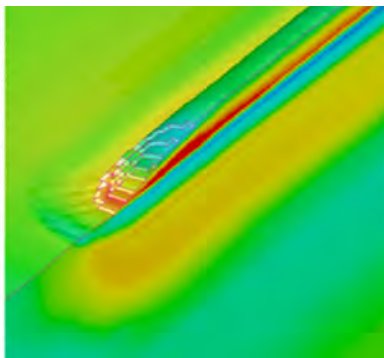


## SIMULATION ZUR PROZESS- OPTIMIERUNG

Die Verfahren der additiven Fertigung sind thermische Prozesse. In Abhängigkeit von Werkstoff und Geometrie des zu generierenden Bauteils können sich Material- sowie Aufbaufehler im Prozess einstellen. Eine Simulation unter Berücksichtigung der Prozessparameter und werkstoffspezifischen Eigenschaften erlaubt es, Abschätzungen über die Schmelzbadgeometrie sowie das Temperaturfeld und darauf basierend über Phasenzustände, Spannungen, Dehnungen und Verzug zu treffen. Die Vorausberechnung verbessert somit das Prozessverständnis und liefert Aussagen über rissgefährdete Bereiche.

Mit dem am Fraunhofer IWS entwickelten modularen Modell kann die zu generierende Geometrie vorab optimiert und für den Prozess entsprechend ausgelegt werden. Gerade für die adressierte Kleinserienfertigung der additiven Fertigung wird somit der Generierungsaufwand reduziert und führt schneller zum optimalen Bauteil.

$\delta_{yy}$  / MPa



## SIMULATION FOR PROCESS OPTIMIZATION

Additive manufacturing methods are inherently thermal processes. As a function both of the material and of the components geometry, defects in material and build-up can appear during the process. Simulation under consideration of the process parameters and the material-specific properties makes it possible to estimate the influence of the molten pool geometry, as well as the temperature field and, based on these parameters, the phase states, stresses, strains and distortion. This prior assessment enhances process knowledge and provides information about regions sensitive to cracks.

The modular model developed at the Fraunhofer IWS permits part design for the manufacture process and optimization of the component geometry prior to the process. Even for small batch production, which represents the addressed use of additive manufacturing, manufacturing effort can be reduced and optimal components can be produced more quickly.

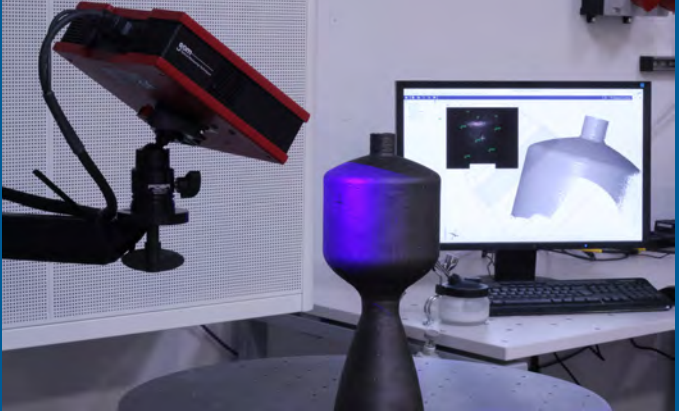


## REKONSTRUKTION (REVERSE ENGINEERING)

Durch additive Fertigung wird es möglich, Designänderungen flexibel und schnell durchzuführen, da diese Verfahren lediglich Geometriedaten benötigen.

3D-Scanning-Verfahren ermöglichen eine schnelle Geometrieerfassung bestehender Produkte für die Generative Fertigung: Reengineering-Prozesse, die der Rekonstruktion zu fertiger Geometrien dienen, beschleunigen sich dadurch. Ebenfalls können geänderte Designs und Modernisierungen im Rahmen der Produktinstandhaltung schneller erfolgen. Produkthersteller, Kunden und Service-Unternehmen werden durch die Möglichkeit der Eigenfertigung unabhängiger voneinander.

Das Erzeugen von CAD-Daten aus den Messdaten zum Reverse Engineering ist ein wichtiger Bestandteil in der Prozesskette der additiven Fertigung. Am Fraunhofer IWS und an der TU Dresden stehen dafür optische Messsysteme zum 3D-Scanning sowie ein 3D bildgebender Hochleistung-Computer-Tomograph zur Verfügung.



## REVERSE ENGINEERING

Additive manufacturing enables flexible and quick changes in design, since these operations require only geometric data.

3D scanning methods can be used to rapidly capture the geometry of existing points for additive manufacturing: In conjunction with reverse engineering of shapes that are to be manufactured, reengineering processes are also accelerated. Another advantage in product maintenance is that design changes and upgrades can be performed more quickly. This kind of in-house manufacturing allows product manufacturers, customers and service providers to become more independent.

Creating CAD data from the measured data for Reverse Engineering is an important step in the Additive Manufacturing process chain. At the Fraunhofer IWS and the TU Dresden, optical measuring systems for 3D scanning, as well as a high-performance 3D imaging computer tomography system, are available.



Bild: shutterstock

## **PROZESSDATEN-MANAGEMENT FÜR BIG DATA AUSWERTUNG**

Die Kundenanforderung nach einer lückenlosen Prozess-Rückverfolgbarkeit existiert in praktisch jedem Produktionsbereich, in dem Daten gesammelt werden. Eine angemessene Interpretation der Prozessdaten erleichtert eine Fehleranalyse und ermöglicht die Nachweisdokumentation. Visuelle und interaktive Analyse-Software kombiniert die Vorteile einer automatisierten Analyse von Daten mit der Fähigkeit des Menschen, Zusammenhänge und Muster in Bildern schnell und einfach wahrzunehmen.

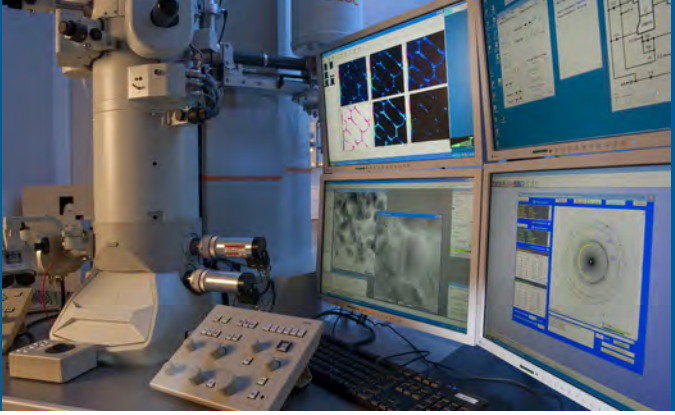
Das Kompetenzzentrum Datenmanagement ist eine Kooperation mit der TU Dresden. Die Partner entwickeln gemeinsam interaktive Visualisierungs-Software, BigData-Plattformen und Methoden zur Verarbeitung großer Datenmengen. Im Fokus stehen Prozessdaten (Log aus Roboter, Laser, CAM, Sensorik-Bussignalen) und digitale Bilddaten, die zur Temperaturmessung, Diagnose oder Erfolgskontrolle genutzt werden. Forschung und Entwicklung reichen von der Bildakquisition über die Bildverarbeitung, die Modellierung und Visualisierung bis hin zum User-Interface- und Applikationsdesign.



## **PROCESS DATA MANAGEMENT FOR BIG DATA ANALYSES**

Customers need to be able to trace process data seamlessly in virtually every realm of production in which data are captured. Adequate interpretation of the process data simplifies defect analysis and is the precondition for evidence documentation. Visual and interactive analysis software combines the advantages of automated data analysis with the recognition skills of human beings who can quickly and easily perceive relationships and patterns in images.

The Data Management Excellence Center was established and is maintained in cooperation with the TU Dresden. The partners work together to design interactive visualization software, big data platforms and methods to process huge data volumes. The focus is on process data (logs from robots, laser, CAM, sensor bus signals) and digital image data that are employed for temperature measurement, diagnostics or performance control. Research and development cover fields ranging from image acquisition to image processing, modelling and visualization to user interface and application design.



## QUALITÄTSSICHERUNG: WERKSTOFFCHARAKTERISIERUNG

Grundvoraussetzung für die additive Herstellung von kostengünstigen und qualitativ hochwertigen Produkten ist die Einhaltung von Qualitätsstandards in jedem Teilschritt der Prozesskette.

Kritische Qualitätseigenschaften bei der additiven Fertigung von Bauteilen sind insbesondere Maßhaltigkeit, Rissfreiheit, Gefüge- und Materialhomogenität, Dichte, Festigkeit, Härte, Oberflächen- und Eigenspannungsverhalten. Diese sind zu prüfen, da mit der Herstellung eines Bauteils gleichzeitig auch seine werkstofflichen Eigenschaften festgelegt werden.

Durch die Gründung des gemeinsam vom Fraunhofer IWS und der TU Dresden betriebenen Mess- und Prüfzentrums für Additive Fertigung werden detaillierte Untersuchungen zur Bauteilqualität möglich. Zur Ermittlung der werkstofflichen Eigenschaften eines erzeugten Bauteils stehen dem Zentrum u. a. zur Verfügung:

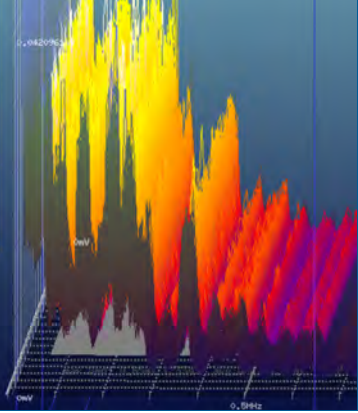
- materialographische Prüfverfahren
- Elektronenmikroskopie
- Computertomographie
- Röntgengrobstrukturanalyse
- Ultraschallprüfung
- spektroskopische Analysen der chemischen Zusammensetzung



Di, Apr 19 09:05:44 2016

```
Arbeitsbereich #1 Haupt  
Schreibvorgänge: 1  
Prozess: 118/118  
Prozessperiode: 190,393s  
Letzte Periodendauer: 6,99s  
Letzte Größe: 512,90kB  
Festplattenspeicher:  
Kanal #1: 1962GB  
Kanal #2: 1962GB  
Kanal #3: 1962GB  
Kanal #4: 1962GB  
-----  
Kernstatistik  
Frequenz = 106  
Zell: 806,09ms, Spektren: 1231  
Energie: 128928 (Durchschnitt: 96)
```

```
Prozess 118 Kanal 1  
FFT: Maximum  
-----  
Kompression: 1/32  
Bauart: 1s  
Verstärkungsfaktor: 2000/2000/1280  
Normierungsfaktor: 1  
Di, Apr 19 09:06:06 2016
```



# QUALITY ASSURANCE THROUGH MATERIAL CHARACTERIZATION

Maintaining quality standards in each individual step of the process chain is regarded as a basic prerequisite for the additive manufacturing of high quality products at a reasonable price. Crucial quality parameters in the additive manufacturing of components are above all dimensional stability, crack-free parts, homogeneity in structure and material, density, strength, hardness, surface roughness, and the internal stress characteristics. These properties have to be tested, since during part manufacturing the part's material characteristics are determined at the same time.

The establishment of the Measurement and Test Center for Additive Manufacturing, which is operated by the Fraunhofer IWS and the TU Dresden together, enables a detailed analysis of component quality. To explore the material parameters of a generated component, the Center can employ the following equipment and procedures:

- materialographic test methods
- electron microscopy
- computer tomography
- X-ray macro structure analysis
- ultrasonic tests
- spectroscopic analyses of the chemical composition



## QUALITÄTSSICHERUNG: BAUTEILPRÜFUNG

Neben der Überprüfung der werkstofflichen Eigenschaften sind Kenntnisse über die geometrischen Abmessungen sowie den Materialaufbau der additiv-generativ erstellten Struktur erforderlich, um ein Bauteil umfassend charakterisieren zu können. Am Fraunhofer IWS und an der TU Dresden werden optische und röntgenbasierte Messverfahren mit einem Auflösungsvermögen von rund  $3\ \mu\text{m}$  verwendet. Die gewonnenen Messdaten liefern Informationen zu den geometrischen Abmessungen des Bauteils einschließlich eventueller Maßabweichungen und Verzug sowie zur inneren Struktur des Bauteils im Hinblick auf Risse, Poren und Defekte.

Für die Untersuchung mechanischer Eigenschaften stehen u. a. Zug- und Ermüdungsversuche sowie Härtebestimmungen nach Vickers, Brinell und Rockwell zur Verfügung.

Das im Fraunhofer IWS angesiedelte Mess- und Prüfzentrum stellt eine zentrale Anlaufstelle für Bauteiluntersuchungen in der additiven Fertigung in Deutschland dar.



## QUALITY ASSURANCE THROUGH COMPONENT TESTING

For a comprehensive component characterization, it is not only necessary to test the material parameters, but also to determine the geometric dimensions, as well as the material layers of the structure made by additive manufacturing. At the Fraunhofer IWS and the TU Dresden, optical and X-ray based measuring techniques of approximately 3  $\mu\text{m}$  resolution are employed. The measured data provide information about the geometric component dimensions, including possible deviations and distortion, as well as about the internal component structure in terms of cracks, pores and defects.

Facilities for tensile and fatigue tests, as well as hardness testing according to Vickers, Brinell and Rockwell are available for the analysis of mechanical parameters.

The Measurement and Test Center housed in the Fraunhofer IWS is a central resource to be contacted with respect to component analysis in the field of additive manufacturing in Germany.



## FuE-SCHWERPUNKTE

Um auch zukünftig eine führende Position in der additiven Fertigung einzunehmen, befassen sich das Fraunhofer IWS und die TU Dresden mit zentralen Fragen aus den Bereichen der System- und Prozessentwicklung, u. a.:

- Topologieoptimierung
- Prozessmonitoring pulverbettbasierter Verfahren
- Prozessmonitoring von Auftragschweißprozessen
- Regelung komplexer Prozesse
- Kombination von Lasern verschiedener Wellenlängen
- Optimierung der Prozesstechnik
- Prozessierung rissgefährdeter Werkstoffe
- Charakterisierung von Bauteileigenschaften
- Erzeugung von Bauteilen unter Berücksichtigung extremer Anforderungen der Luft- und Raumfahrt
- Erzeugung von Bauteilen mit verschiedenen Werkstoffen
- Verarbeitung großer Prozessdatenmengen bei der additiven Fertigung

## MAJOR R&D ISSUES

To maintain their leading position in Additive Manufacturing in the future as well, both the Fraunhofer IWS and the TU Dresden are exploring central issues in the fields of systems and process engineering, such as:

- topology optimization
- process monitoring of powder-bed based methods
- process monitoring of build-up welding processes
- feedback control of complex processes
- combined use of lasers with different wavelengths
- optimization of process equipment
- implementation of industrial processes using materials subject to crack formation
- characterization of component parameters
- manufacturing of components subjected to extreme aeronautic requirements in their use
- generation of components consisting of various material combinations
- processing of huge data volumes during additive manufacturing

# REFERENZKUNDEN (AUSWAHL)



AIRBUS SAFRAN  
LAUNCHERS



Zur Lösung vielfältiger Fragestellungen im Bereich der additiven Fertigung arbeiten die TU Dresden und das Fraunhofer IWS eng mit Industriepartnern aus unterschiedlichen Branchen zusammen.

# REFERENCES (SELECTION)



**Rolls-Royce**

**SIEMENS**



**THALES**

**Universitätsklinikum  
Carl Gustav Carus**



To solve various challenges in the field of additive manufacturing, TU Dresden and the Fraunhofer IWS cooperate closely with partners from various industries.



## **INSTITUT FÜR WERKSTOFF- WISSENSCHAFT, TU DRESDEN**

Am Institut für Werkstoffwissenschaft (IfWW) der TU Dresden werden in der Professur für Werkstofftechnik grundlegende werkstoffwissenschaftliche Fragestellungen mit anwendungsorientierten Problemlösungen verknüpft. Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen Strukturgefüge-Eigenschaftsbeziehungen metallischer und intermetallischer Werkstoffe, Oberflächentechnik, Wärmebehandlung und additive Fertigung.



### **Ansprechpartner:**

Prof. Dr. Christoph Leyens

Institutsdirektor, Professur für Werkstofftechnik  
[materials@mailbox.tu-dresden.de](mailto:materials@mailbox.tu-dresden.de)

TU Dresden

Institut für Werkstoffwissenschaft

Helmholtzstr. 7, 01069 Dresden, Berndt-Bau

Telefon +49 351 463-42481, Fax +49 351 463-42482

**[www.wt.mw.tu-dresden.de](http://www.wt.mw.tu-dresden.de)**



# INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE, TU DRESDEN

At the Institute of Materials Science (IfWW) of the TU Dresden, the scientists of the chair of Materials Science research fundamental issues of materials science in connection with application-oriented solutions. The main research topics arise from areas such as structure-parameter interactions of metallic and intermetallic materials, surface treatment technology, heat treatment and Additive Manufacturing.



**Contact:**

Prof. Dr. Christoph Leyens

Head of the Institute, Chair of Materials Engineering  
[materials@mailbox.tu-dresden.de](mailto:materials@mailbox.tu-dresden.de)

TU Dresden

Institute of Materials Science

Helmholtzstr. 7, 01069 Dresden, Germany

Phone +49 351 463-42481, Fax +49 351 463-42482

**[www.wt.mw.tu-dresden.de](http://www.wt.mw.tu-dresden.de)**



## **FRAUNHOFER IWS DRESDEN**

**WIR FORSCHEN FÜR DIE PRAXIS.**

Das Fraunhofer IWS steht für Innovationen im Bereich der Laser- und Oberflächentechnik. Die Kombination eines umfangreichen werkstofftechnischen Know-hows mit weitreichenden Erfahrungen in der Entwicklung von Technologien und Systemen ist die Basis für zahlreiche in die industrielle Fertigung überführte Lösungen.



»Für uns sind die Problemstellungen unserer Kunden erst dann gelöst, wenn sie mit der erarbeiteten Lösung Geld verdienen.«

Prof. E. Beyer & Prof. C. Leyens, Institutsleitung



### **Technischer Ansprechpartner:**

Prof. Dr. Frank Brückner

Telefon +49 351 83391-3452, Fax +49 351 83391-3478

frank.brueckner@iws.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS

Winterbergstr. 28, 01277 Dresden

Telefon +49 351 83391-0, Fax +49 351 83391-3300

info@iws.fraunhofer.de

**[www.iws.fraunhofer.de](http://www.iws.fraunhofer.de)**

# FRAUNHOFER IWS DRESDEN

## RESEARCH THAT CAN BE PUT INTO PRACTICE.

Fraunhofer IWS is known for its innovations in the field of laser and surface technology. The combination of the comprehensive know-how in the field of materials engineering with the profound expertise in the development of systems and technologies form the basis for numerous implementations into industrial applications.



„For us, our clients' problems are solved not before they are earning money with our developed solution.“

Prof. E. Beyer & Prof. C. Leyens, Directors



### **Technical contact:**

Prof. Dr. Frank Brückner

Phone +49 351 83391-3452, Fax +49 351 83391-3478

[frank.brueckner@iws.fraunhofer.de](mailto:frank.brueckner@iws.fraunhofer.de)

Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology IWS

Winterbergstr. 28, 01277 Dresden, Germany

Phone +49 351 83391-0, Fax +49 351 83391-3300

[info@iws.fraunhofer.de](mailto:info@iws.fraunhofer.de)

[www.iws.fraunhofer.de/en](http://www.iws.fraunhofer.de/en)



# ADDITIVE FERTIGUNG

