

AM FIELD GUIDE COMPACT

mesago

formnext



ENTDECKE DIE WELT DER ADDITIVEN FERTIGUNG

Eine praktische Orientierungshilfe für die spannende Welt der generativen Fertigung

EXPLORE THE WORLD OF ADDITIVE MANUFACTURING

A hands-on introduction into the exciting world of generative manufacturing

Der ›AM Field Guide‹ gibt einen ersten strukturierten Überblick in die komplexe und vielschichtige Welt der additiven Fertigungsverfahren. Getrennt nach den Materialien Polymere, Metalle und weitere Materialien werden die gängigsten jeweils auf dem Markt angebotenen AM-Verfahren schematisch dargestellt und der Verfahrenskern in Kurzform beschrieben. Neben den hier dargestellten Hauptverfahren gibt es viele Derivate und Sonderverfahren, die ebenfalls eingesetzt werden jedoch nicht explizit gezeigt sind. Zu beachten ist, dass in dem jungen Bereich der additiven Fertigung viele Hersteller ihren AM-Anwendungen eigene Namen geben, so dass eine allgemeingültige umfassende Klassifizierung nur ansatzweise erreichbar ist.

In der Darstellung des Produktentstehungsprozesses additiv gefertigter Bauteile ist besonders hervorzuheben, dass der eigentliche »additive Druckprozess« als Kernprozess nur einen kleinen Teil einer komplexen Prozesskette ausmacht. Von der Idee bis hin zum final gefertigten Bauteil werden viele Prozessschritte durchlaufen. Eine Nachbearbeitung der AM-Bauteile ist oft Standard. Für eine optimale Nutzung generativer Fertigungstechnologien muss der gesamte Prozess beherrscht werden. Dabei unterscheiden sich die Detailschritte im Prozess teilweise erheblich, abhängig vom AM-Verfahren, von den Materialien und von weiteren Aspekten.

Als Orientierungshilfe werden Fragen aufgeworfen, die im Zusammenhang mit der Nutzung von AM-Verfahren den jeweiligen Herstellern zu stellen sind:

- Welches Material wird benötigt?
- Sind die Bauteile Prototypen oder Serienbauteile?
- Welche Stückzahlen werden benötigt?
- Gibt es schon ähnliche vergleichbare AM-Anwendungen?
- Gibt es Dienstleister, die diese Leistung anbieten?
- Wie muss die vorhandene Organisationsstruktur den AM-Erfordernissen angepasst werden?
- Wie muss der Entwicklungsprozess an das AM-Verfahren angepasst werden?

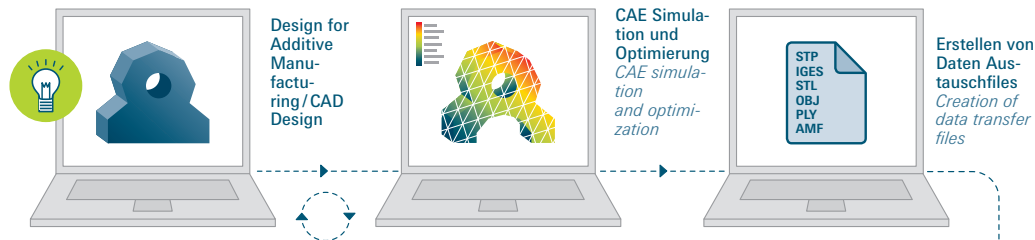
The ›AM Field Guide‹ provides a structured overview of the complex world of Additive Manufacturing. Separated into polymers, metals and other materials, the most common AM processes available on the market are shown schematically and the core of each process is briefly described. In addition to the main methods described here, there are many derivatives and special processes which are also used and which are not explicitly shown. It should be noted that in the emerging field of Additive Manufacturing, many manufacturers give their AM technologies their own names, so that a completely comprehensive classification is difficult to obtain.

In the presentation of the product development process of additively manufactured components, it should be emphasized that the actual, physical additive printing process is only a small part of a complex process chain. From the conceptualization of a part, through to the final manufactured component, there are many process steps. Post-processing of AM components is often necessary. Mastery of the entire process is required in order to make optimum use of advanced manufacturing technologies. The detailed steps in any individual application can vary considerably, depending on the AM process, the materials and other process elements.

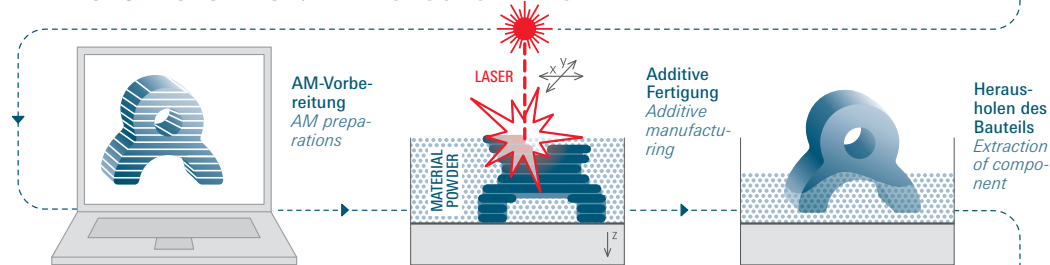
As a guideline, here are the questions that have to be put to the respective manufacturers in connection with the use of AM procedures.

- Which material is required?
- Are the components prototypes or series components?
- What quantities are required?
- Are there already comparable AM applications?
- Are there service providers offering this service?
- How must the existing organizational structure be adapted to fulfill AM requirements?
- How must the development process be adapted to the AM manufacturing process?

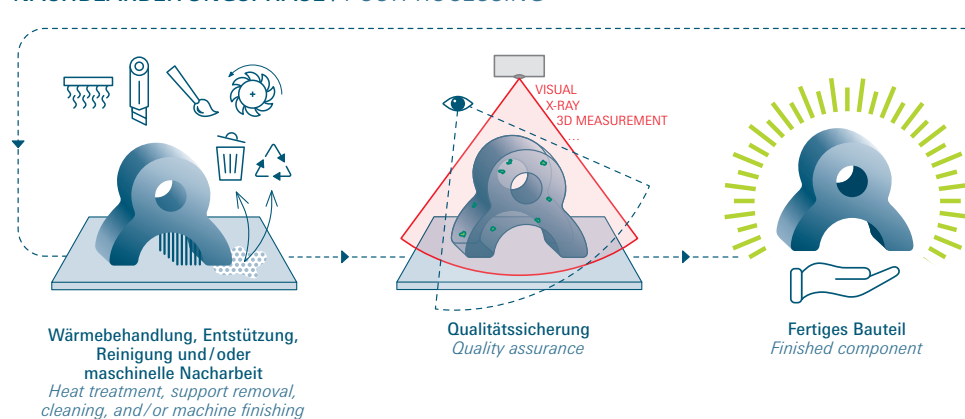
ENTWICKLUNGSPHASE / PREPROCESSING



AM-PRODUKTIONSPHASE / AM PRODUCTION PHASE



NACHBEARBEITUNGSPHASE / POSTPROCESSING



Disclaimer: Der vorliegende Ratgeber entstand durch Prof. Dr.-Ing. Steffen Ritter/Hochschule Reutlingen in Zusammenarbeit mit der formnext/mesago Messe Frankfurt GmbH. Die hier gezeigten Verfahrensdarstellungen sind nach bestem Wissen und Gewissen erarbeitet und zusammengefasst. Sie stellen den aktuellen Stand der Entwicklung dar. Sie sollen einen ersten strukturierten Überblick in die komplexe und vielschichtige Welt der additiven Fertigungsverfahren geben. Haftungsansprüche gegen die Autoren, die sich auf Schäden materieller oder ideeller Art beziehen, die durch die Nutzung oder Nichtnutzung der dargebotenen Informationen bzw. durch die Nutzung fehlerhafter oder unvollständiger Informationen verursacht wurden, sind grundsätzlich ausgeschlossen.

Disclaimer: This guide was created by Prof. Dr.-Ing. Steffen Ritter from Reutlingen University in cooperation with formnext/mesago Messe Frankfurt GmbH. The process descriptions shown here have been compiled and summarized to the best of our knowledge and belief. They represent the current state of development. They are intended to provide an initial structured overview of the complex and multilayered world of additive manufacturing processes. Liability claims against the authors relating to material or non-material damage caused by the use or non-use of the information provided or by the use of incorrect or incomplete information are generally excluded.

ENTWICKLUNGSPHASE / PREPROCESSING

- Welche Bauteil- und Materialeigenschaften sollte das AM-Bauteil in jedem Fall haben?
- Ist das Material generell oder speziell für die angestrebte Anwendung qualifiziert bzw. validiert?
- Was ist speziell für das »Design for Additive Manufacturing« zu beachten?
- Bestehen spezielle Konstruktionsvorgaben für das AM-gerechte Bauteildesign?
- Welche konstruktiven Möglichkeiten ergeben sich durch die AM-gerechte Bauteilkonstruktion?
- In welcher Art und Weise müssen die CAD-Daten vom Teilemodell vorliegen?
- Eignet sich ein spezielles AM-Verfahren in besonderer Weise für die angestrebten Bauteile?
- What are the component and material properties that the AM component should have in any case?
- Is the material generally or specifically qualified or validated for the intended application?
- What is especially important for »Design for Additive Manufacturing«?
- Are there special design specifications for the AM compliant component design?
- What design possibilities result from AM compliant component design?
- In which way must the CAD data of the part model be available?
- Is a special AM process particularly suitable for the desired components?

AM-PRODUKTIONSPHASE / AM PRODUCTION PHASE

- Lässt sich das AM-Verfahren in die bestehenden Prozesse integrieren?
- Welcher Betreuungsaufwand existiert für das angestrebte AM-Verfahren?
- Mit welchen Unterhaltskosten ist für das AM-Verfahren zu rechnen?
- Sind die Materialien frei käuflich oder sind diese nur originär vom Systemhersteller zu beziehen?
- Ist das System eine Black Box oder können Produktions-Parameter individuell angepasst werden?
- Bestehen besondere Schutzanforderungen für Mensch und Umwelt?
- Welche Fertigungs-/Baugeschwindigkeit hat das AM-Verfahren?
- Can the AM process be integrated into existing processes?
- How much support is required for the desired AM process?
- What maintenance costs are to be expected for the AM process?
- Are the materials freely available for purchase or can they only be purchased originally from the system manufacturer?
- Is the system a black box or can production parameters be individually adjusted?
- Are there special protection requirements for people and the environment?
- What is the production/building speed of the AM process?

NACHBEARBEITUNGSPHASE / POSTPROCESSING

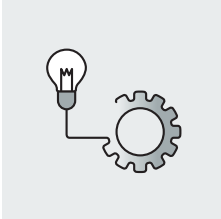
- Welche speziellen Nacharbeiten gibt es an den AM-gefertigten Bauteilen?
- Müssen die AM-Bauteile in einem weiteren Prozessschritt nachbehandelt werden?
- Kann im AM-Prozess nicht verwendetes Material wieder verwendet werden?
- Wie ist mit verbrauchtem Material umzugehen?
- Muss die Bauteilqualität über eine Qualifizierung, z.B. durch ein zerstörungsfreies Prüfverfahren, nachgewiesen werden?
- Is there any special post-processing work on the AM components?
- Do the AM components have to be aftertreated in a further process step?
- Can material not used in the AM process be recycled?
- How must the unused material be handled?
- Does the component quality have to be proven by a qualification, e.g. by a non-destructive testing procedure?

Ein wirtschaftlicher Einsatz additiver Fertigungsverfahren ist im Wesentlichen gegeben, wenn sich die AM-Applikation auf eines oder mehrere der dargestellten Anwendungsfelder bezieht.

Im Einzelfall ist der entsprechende Nachweis, bezogen auf das speziell angewandte AM-Verfahren, mitsamt dem zugehörigen AM-Gesamtprozess, zu erbringen.

Generally speaking, Additive Manufacturing processes are cost-effective if the AM application relates to one or more of the fields illustrated below.

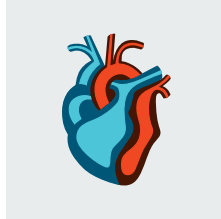
However, the feasibility of each individual case will need to be verified in relation to the specific AM process involved and the corresponding entire AM process too.



PROTOTYPENBAU PROTOTYPING

Nach wie vor ist das „Rapid Prototyping“ eine der häufigsten Anwendungen additiver Fertigungstechnologien im Entwicklungsprozess bei der Prototypenerstellung. Jegliche Art von Dummy-Bauteilen über Funktionsprototypen bis hin zu seriennahen Erstmustern ist denkbar. Die schnelle Verfügbarkeit der Teile im Gegensatz zu klassisch hergestellten Prototypenbauteile ist hierbei hervorzuheben.

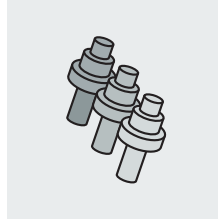
Rapid prototyping is still one of the most common applications for Additive Manufacturing technologies used during the development and pre-production process. Components are possible from functional prototypes to production-quality initial samples. It is important to note that these parts can be made very quickly compared to prototypes manufactured in the traditional way.



MODELLBAU MODEL MAKING

Bei der Erstellung von erklärenden Modellen bieten mehrkomponentige oder mehrfarbige AM-Verfahren vielfältige Möglichkeiten, insbesondere auch komplexe geometrische Strukturen schnell, anschaulich und preisgünstig darzustellen.

AM processes capable of producing multiple components in multiple colors offer a wide range of possibilities for making clear, cost-effective explanatory models quickly, even those with complex geometrical structures.



KLEINSERIEN SMALL BATCHES

Da additive Verfahren im Wesentlichen nicht auf teure und speziell angepasste Werkzeuge und Produktionsmittel angewiesen sind, verursachen sie vorab auch keine aufwändigen Investitionen. Damit eignen sich die AM-Verfahren für die wirtschaftliche Erstellung von Kleinserien. Hierbei ist die größte Herausforderung, mit den AM-Verfahren Bauteil- und Materialeigenschaften auf dem Niveau klassischer Fertigungsverfahren zu erzielen.

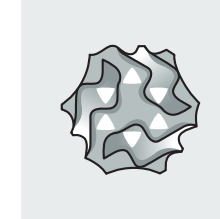
Since additive processes mostly do not rely on expensive and specially adapted tools and means of production, they do not require considerable investment in advance. As such, AM processes are suitable for cost-effective small-batch production. The biggest challenge is how to achieve component and material properties with AM processes that are at the same level as those provided by traditional manufacturing methods



INDIVIDUALISIERUNG CUSTOMIZATION

Die Fertigung von Bauteilen, die auf einen Einzelfall speziell angepasst sind. Selbst dann ist eine wirtschaftliche Fertigung dieser vollständig individualisierten Bauteile möglich. Kundenspezifische Einzelanfertigungen sind besonders aus der Medizintechnik und der Prothetik bekannt.

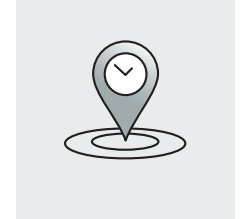
The production of components that are specially adapted to an individual case. Even then, economical production of these completely individualized components is possible. Customized one-off productions are particularly well known in medical technology and prosthetics.



KONSTRUKTIONSFREIHEIT FREEDOM OF DESIGN

Die additiv gefertigten Bauteile können ohne Mehrkosten mit nahezu jeder Geometrie hergestellt werden. Mit minimalem Materialeinsatz werden Funktionen optimal erreicht und Strukturen auf das Nötigste reduziert. Damit durch die verfahrensspezifischen Designfreiheiten und Funktionsintegration Strukturen mit Mehrwerten entstehen, müssen die Konstrukteure, im Gegensatz zu klassischen Verfahren, umdenken.

AM components can be made in practically any geometry with little-to-no additional costs compared to more traditional means. Optimum functionality is achieved with minimal use of materials and structures are reduced to only what is absolutely necessary. In order to create structures with added value through the process-specific design freedoms and functional integration, designers have to rethink their approach when compared to traditional processes.



IN-SITU FERTIGUNG IN-SITU MANUFACTURING

Mit additiven Verfahren besteht die Möglichkeit, überall und sofort Produkte zu produzieren. Es handelt sich also um die örtliche und zeitlich Verfügbarmachung von Bauteilen, ohne diese vorab aufwändig lagern zu müssen.

Thanks to additive processes, products can be made at the point of need, just like that. So, components can be made available without having the inconvenience of storing them beforehand.



PBF

Powder Bed Fusion*

Fused with
agent + energyFused with
laser

MJF

Multi Jet Fusion

SLS

Selective Laser
Sintering

MEX

Material Extrusion*

Material extrusion
FilamentMaterial extrusion
Granulate

FDM

Fused Deposition
Modeling

PEM

Pellet Extrusion
Modeling

MJT

Material Jetting*

Cured with
UV light

MJ

Material Jetting



VPP

Vat Photopolymerization*

Cured with
laserCured with
projector

SLA

Stereo Lithography

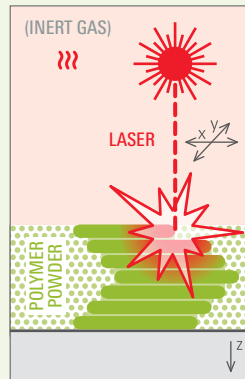
DLP

Direct Light Processing



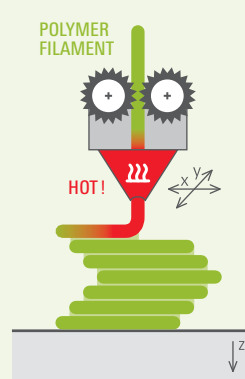
Kleinste Flüssigkeitströpfchen werden lokal auf eine Polymerpulverschicht aufgebracht. Sie erhöhen oder unterdrücken die Wärmeabsorption des Materials. Eine integral wirkende Infrarotquelle schmilzt das pulverförmige Ausgangsmaterial lokal auf.

Tiny liquid droplets are applied locally to a layer of polymer powder. They increase or suppress the heat absorption of the powder. An integrally acting infrared source melts the material respectively.



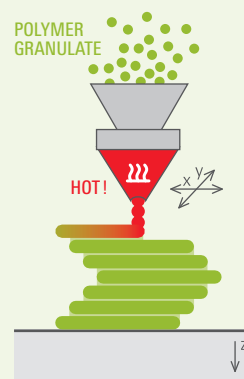
Mittels eines beweglichen Laserstrahls wird Polymerpulver schichtweise selektiv lokal gesintert und verfestigt damit einen Querschnitt des Bauteils.

By means of a movable laser beam, a polymer powder is selectively sintered locally layer by layer and thus solidifies a cross-section of the component.



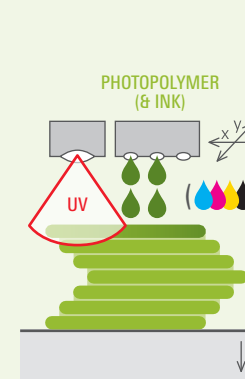
Drahtförmiger Kunststoff, sogenanntes Filament, wird in einer Düseneinheit plastifiziert und schichtweise selektiv lokal dosiert.

Wire-shaped plastic, so-called filament, is plasticized in a nozzle unit and selectively dosed locally layer by layer.



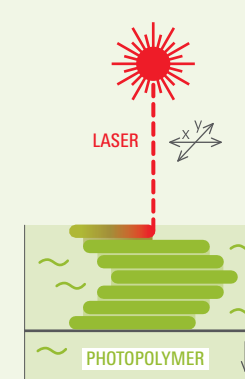
Kunststoffgranulat wird in einer Düseneinheit plastifiziert und schichtweise selektiv lokal dosiert.

Plastic granulate is plasticized in a nozzle unit and selectively dosed locally layer by layer.



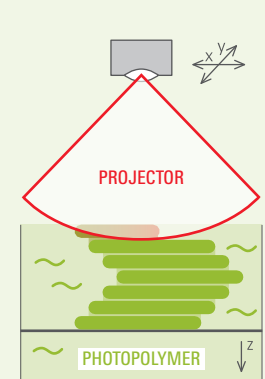
Durch viele Düsen werden kleinste Photopolymertröpfchen lokal und schichtweise aufgebracht. Direkt im Anschluss wird das dickflüssige Photopolymer durch UV-Licht ausgehärtet.

Small droplets of photopolymer are applied locally and layer by layer through many nozzles. The viscous photopolymer is then cured instantly by UV-light.



Mittels eines beweglichen Laserstrahls wird ein dickflüssiges Photopolymer schichtweise selektiv lokal auspolymerisiert und verfestigt sich dort.

By means of a movable laser beam, a viscous photopolymer is selectively cured locally in layers and solidifies there.



Mittels eines Projektors wird ein Photopolymer schichtweise belichtet. Material, das belichtet wird, polymerisiert lokal aus und verfestigt sich.

A photopolymer is exposed layer by layer using a projector. The exposed material is polymerized locally and solidifies.

*nach DIN EN ISO/ASTM Terminologie / according to DIN EN ISO/ASTM Terminology

Für alle Verfahren gilt: Durch den schichtweisen selektiven Ablauf entstehen dreidimensionale Strukturen. / It applies to all processes: three-dimensional structures are created by the selective layer-by-layer process.



PBF

Powder Bed Fusion*

Fused with
laserFused with
electron beam

SLM

Selective Laser Melting

EBM

Electron Beam Melting



DED

Directed Energy Deposition*

Fused with
laserCold contact
weldingFused with
electric arc

LENS

Laser Engineering
Net Shape

MPA

Metal Powder
Application

WAAM

Wire and Arc
Additive Manufacturing

MEX

Material Extrusion*

Green part is printed to
be **sintered** afterwards

FDM

Fused Deposition
Modeling

BJT

Binder Jetting*

Joined with bonding agent
to be **sintered** afterwards

BJ

Binder Jetting



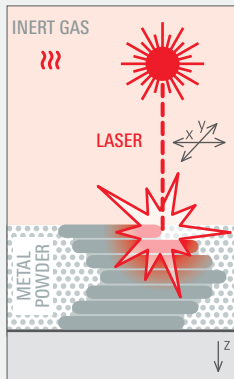
MJT

Material Jetting*

Cured with heat to
be **sintered** afterwards

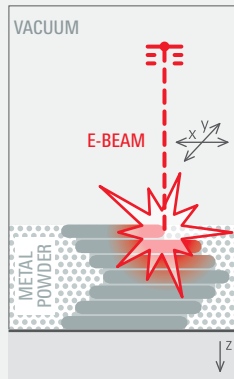
NPJ

Nano Particle Jetting



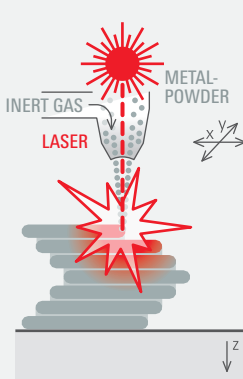
Mittels eines beweglichen Laserstrahls wird Metallpulver schichtweise selektiv lokal aufgeschmolzen und verfestigt damit einen Querschnitt des Bauteils.

By means of a movable laser beam, metal powder is selectively melted locally layer by layer, thus solidifying a cross-section of the component.



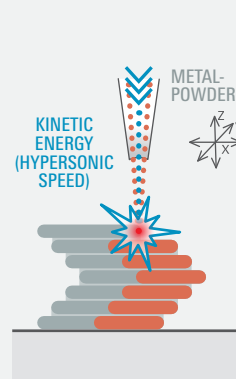
Mittels eines beweglichen Elektronenstrahls wird Metallpulver schichtweise selektiv lokal aufgeschmolzen und es verfestigt sich damit ein Querschnitt des Bauteils.

By means of a movable electron beam, metal powder is selectively melted locally layer by layer, thus solidifying a cross-section of the component.



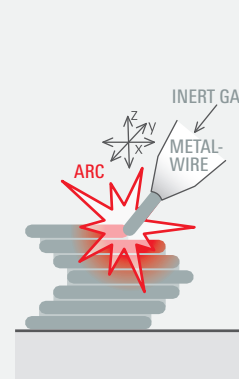
Material wird aufgebracht und simultan durch einen Laserstrahl aufgeschmolzen. Das folgende Erstarren der Schmelze generiert neue Schichten, die über- und nebeneinander angeordnet werden.

Material is applied and melted simultaneously by a laser beam. The following solidification of the melt generates new layers which are arranged above and next to each other.



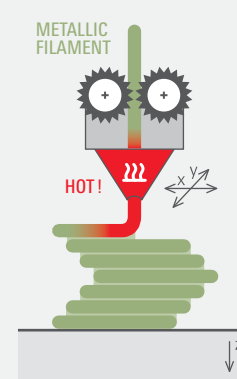
Materialpulver wird mit sehr hoher kinetischer Energie schichtweise aufgebracht. Endkonturnahe Bauteile entstehen. Materialkombinationen sind möglich.

Material powder is applied in layers with very high kinetic energy. Components close to the final contour are produced. Material combinations are possible.



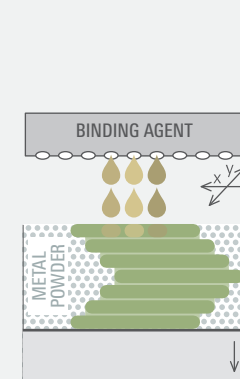
Metalldraht wird im Lichtbogenschweißverfahren geschmolzen und schichtweise lokal aufgetragen, um schnell große endkonturnahe Metallstrukturen zu erzeugen.

Metal wire is melted by arc welding and applied locally in layers to quickly produce large near-net-shape metal structures.



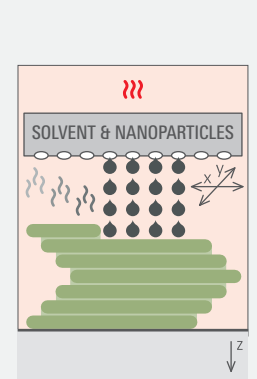
Drahtförmiger metallhaltiger Kunststoff, sogenanntes Filament, wird in einer Düsen-einheit plastifiziert und schichtweise selektiv lokal dosiert.

Wire-shaped metal-containing plastic, so-called filament, is plasticized in a nozzle unit and selectively dosed locally layer by layer.



Winzige Bindemitteltropfen werden durch viele Düsen selektiv lokal und schichtweise auf Metallpulver aufgebracht. Sie kleben das Pulvermaterial zusammen.

Tiny binder droplets are selectively applied locally through many nozzles and in layers onto metal powder. They stick the powder material together.



Eine Metallpartikel-Lösemittelflüssigkeit wird in einer Düsen-einheit selektiv lokal dosiert. Das Lösemittel verdunstet und die Nanopartikel verbinden sich.

A metal particle solvent fluid is selectively dosed locally by a nozzle unit. The solvent evaporates and the nanoparticles bond together.

OTHER MATERIALS

