



**Additive
Fertigungstechniken:
Übersicht, Digitalisierung
und Nachhaltigkeit**

Thomas Derra / 03.06.2022
Nortec 2022

Agenda

- 1 Vorstellung
- 2 Definition und Kategorisierung Additiver Fertigung
- 3 Technologieüberblick - Metallbasierte Additive Fertigung
- 4 Additive Fertigung und Nachhaltigkeit
- 5 Digitalisierung in der Additiven Fertigung
- 6 Zusammenfassung

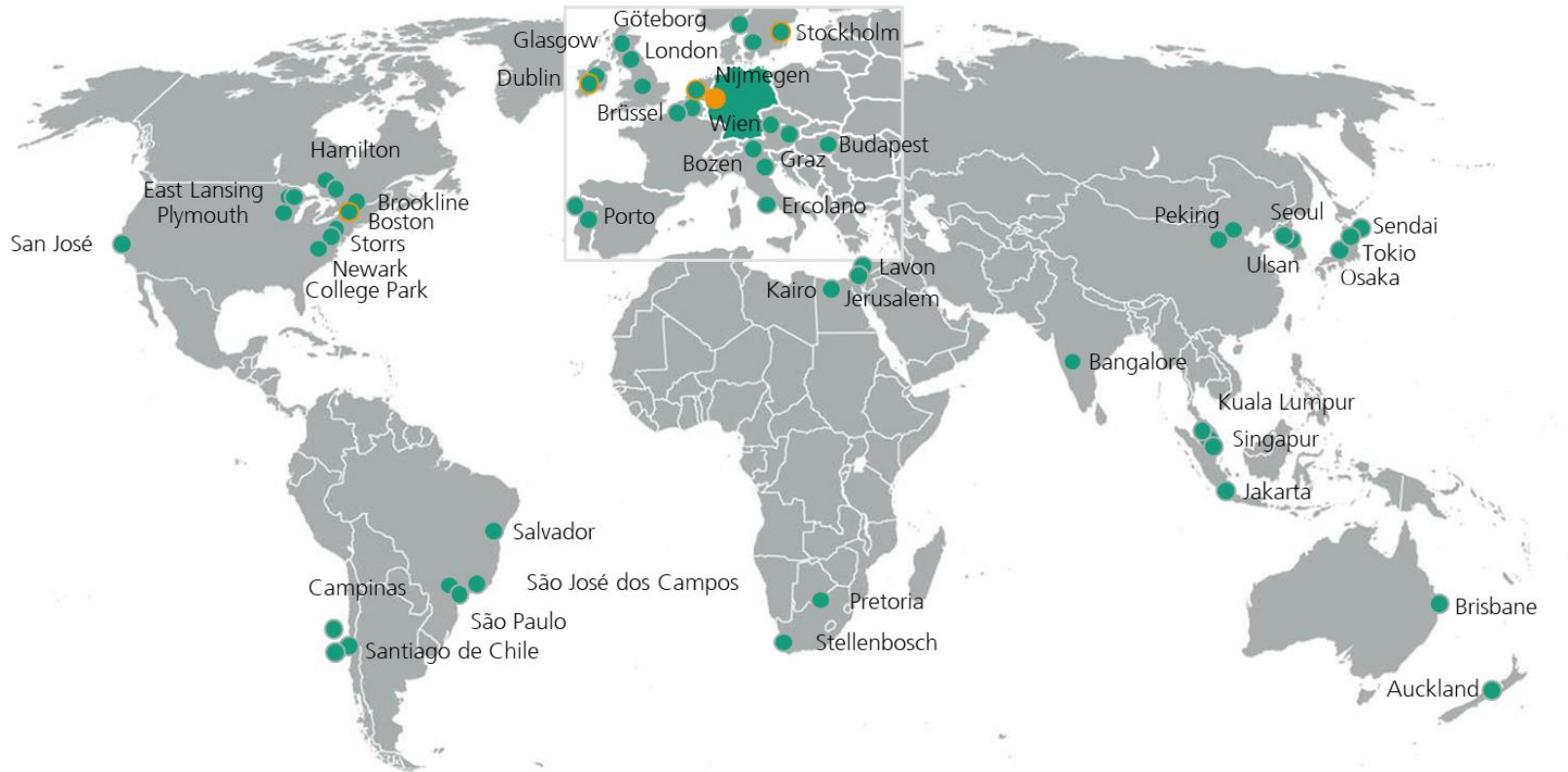
Agenda

1 Vorstellung

- 2 Definition und Kategorisierung Additiver Fertigung
- 3 Technologieüberblick - Metallbasierte Additive Fertigung
- 4 Additive Fertigung und Nachhaltigkeit
- 5 Digitalisierung in der Additiven Fertigung
- 6 Zusammenfassung

Additive Fertigungstechniken: Übersicht, Digitalisierung und Nachhaltigkeit

Vorstellung – Die Fraunhofer Gesellschaft



Stand 2021

Die Fraunhofer-Gesellschaft

- Europas größte Organisation für angewandte Forschung (75 Standorte, ~30000 Mitarbeitende)
- 2,8 Mrd. Euro Forschungsvolumen
- Ziele der Fraunhofer-Gesellschaft:
 - Forschung und Entwicklung im Auftrag von Industrie und Staat
 - Grundlagenforschung für die Praxis
- Benannt nach dem Forscher, Erfinder und Unternehmer Joseph von Fraunhofer (1787–1826)

Additive Fertigungstechniken: Übersicht, Digitalisierung und Nachhaltigkeit

Vorstellung – Das Fraunhofer Institut für Produktionstechnologie IPT



- Systemlösungen für die vernetzte, adaptive Produktion nachhaltiger und ressourcenschonender Produkte
- Optimierung neuer und bestehender Technologien und Prozesse mit Fokus:
 - Effizienz
 - Ökologischer Produktion der Zukunft
 - Klimaschutz und Umweltverträglichkeit
- Fachbereiche:
 - Prozesstechnologie
 - Produktionsmaschinen
 - Produktionsqualität und Messtechnik
 - Technologiemanagement

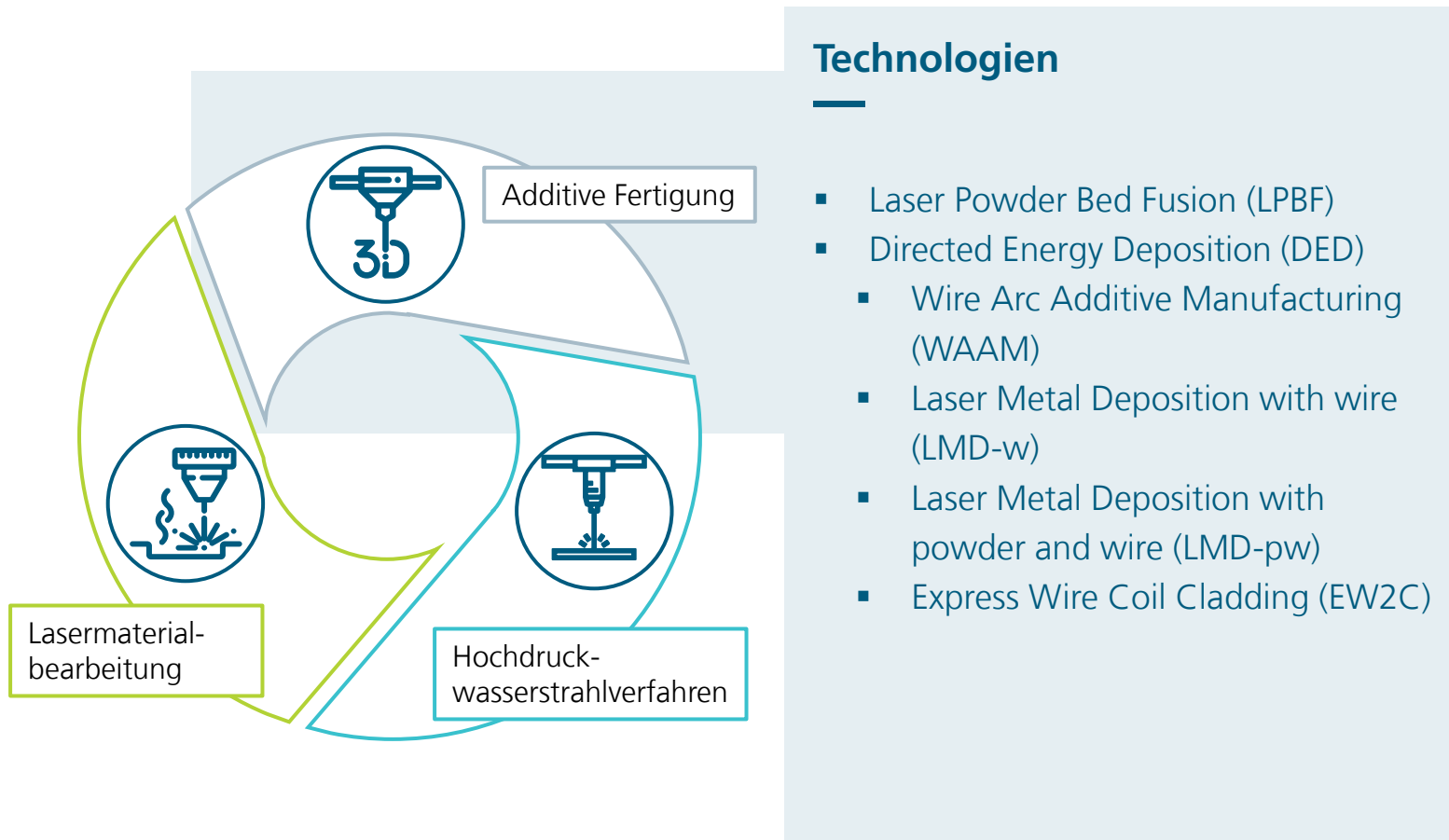
Das Fraunhofer IPT in Zahlen

Stand 2021

- 1980 gegründet
- 534 Mitarbeitende
- 575 Forschungs- und Industrieprojekte
- 800 Quadratmeter Maschinenhallen und Labore
- 32 Mio. Euro Haushalt
- 32 Ausgründungen

Additive Fertigungstechniken: Übersicht, Digitalisierung und Nachhaltigkeit

Vorstellung – Die Abteilung Energetische Strahlverfahren



Präsentation durch:

Thomas Derra

Wissenschaftlicher Mitarbeiter mit
Forschungsschwerpunkten:

- Wire Arc Additive Manufacturing
- Laser Metal Deposition
- Ressourceneffiziente Fertigung

Agenda

1 Vorstellung

2 Definition und Kategorisierung Additiver Fertigung

3 Technologieüberblick - Metallbasierte Additive Fertigung

4 Additive Fertigung und Nachhaltigkeit

5 Digitalisierung in der Additiven Fertigung

6 Zusammenfassung

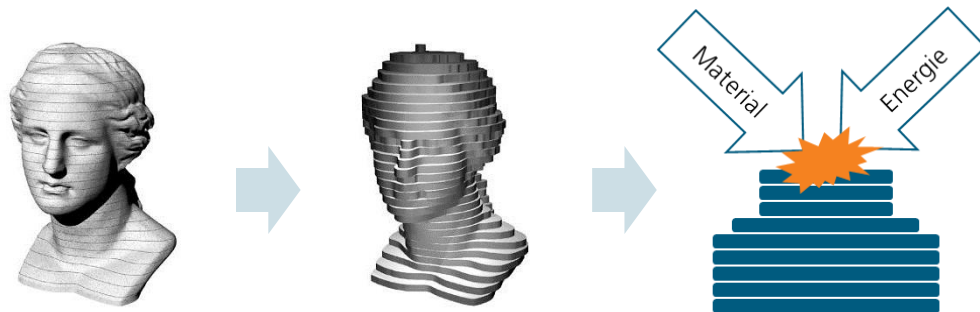
Additive Fertigungstechniken: Übersicht, Digitalisierung und Nachhaltigkeit

Definition und Kategorisierung Additiver Fertigung



Definition (nach ASTM 52900)

Unter dem Überbegriff „Additiver Fertigung (AM)“ werden Prozesse zusammengefasst, die Bauteile aus (digitalen) **3D-Modelldaten** durch **schichtweise Verbindung** ohne die Nutzung von umformenden oder subtraktiven Werkzeugen erzeugen.



Quelle der Abbildungen: Gebhardt 2013



Prozesskategorien (nach ASTM 52900)

Unterscheidung in sieben Kategorien:

- Freistrahl-Bindemittelauftrag, (Binder Jetting, BJT)
- Materialauftrag mit gerichteter Energieeinbringung, (Directed Energy Deposition, DED)
- Materialextrusion, (Material Extrusion, MEX)
- Freistrahl-Materialauftrag, (Material Jetting, MJT)
- Pulverbettbasiertes Schmelzen, (Powder Bed Fusion, PBF)
- Schichtlaminierung, (Sheet Lamination, SHL)
- Badbasierte Photopolymerisation, (Vat Photopolymerization, VPP)

Additive Fertigungstechniken: Übersicht, Digitalisierung und Nachhaltigkeit

Definition und Kategorisierung Additiver Fertigung (AM)

Materialien in der additiven Fertigung

In der klassischen fertigen Industrie:

- Metalle
- Kunststoffe
- Keramik

Für spezielle Anwendungen (Entwicklung oder experimentell):

- Glas
- Sand
- Baustoffe
- Nahrung
- Hydrogel
- Zellen



Agenda

- 1 Vorstellung
- 2 Definition und Kategorisierung Additiver Fertigung

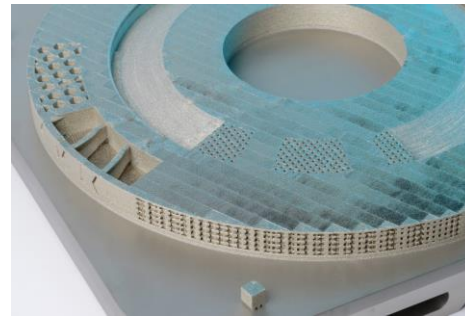
- 3 Technologieüberblick - Metallbasierte Additive Fertigung**

- 4 Additive Fertigung und Nachhaltigkeit
- 5 Digitalisierung in der Additiven Fertigung
- 6 Zusammenfassung

Additive Fertigungstechniken: Übersicht, Digitalisierung und Nachhaltigkeit

Technologieüberblick - Metallbasierte Additive Fertigung

»Die Nutzung von Additiver Fertigung in der Produktion bietet aus verschiedensten Perspektiven Chancen und Vorteile.«

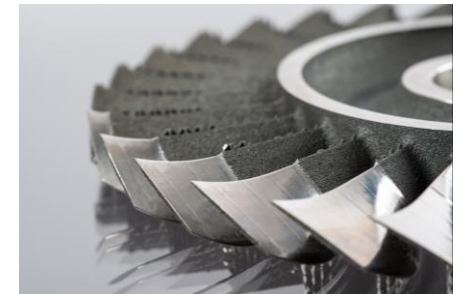
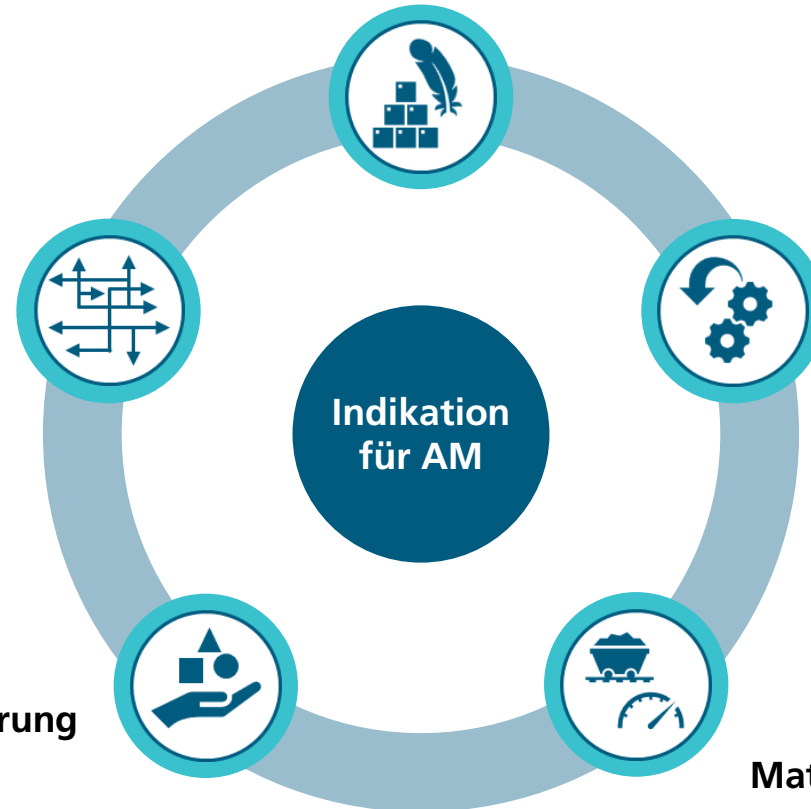


Komplexe Geometrien

Leichtbau



Funktionsintegration

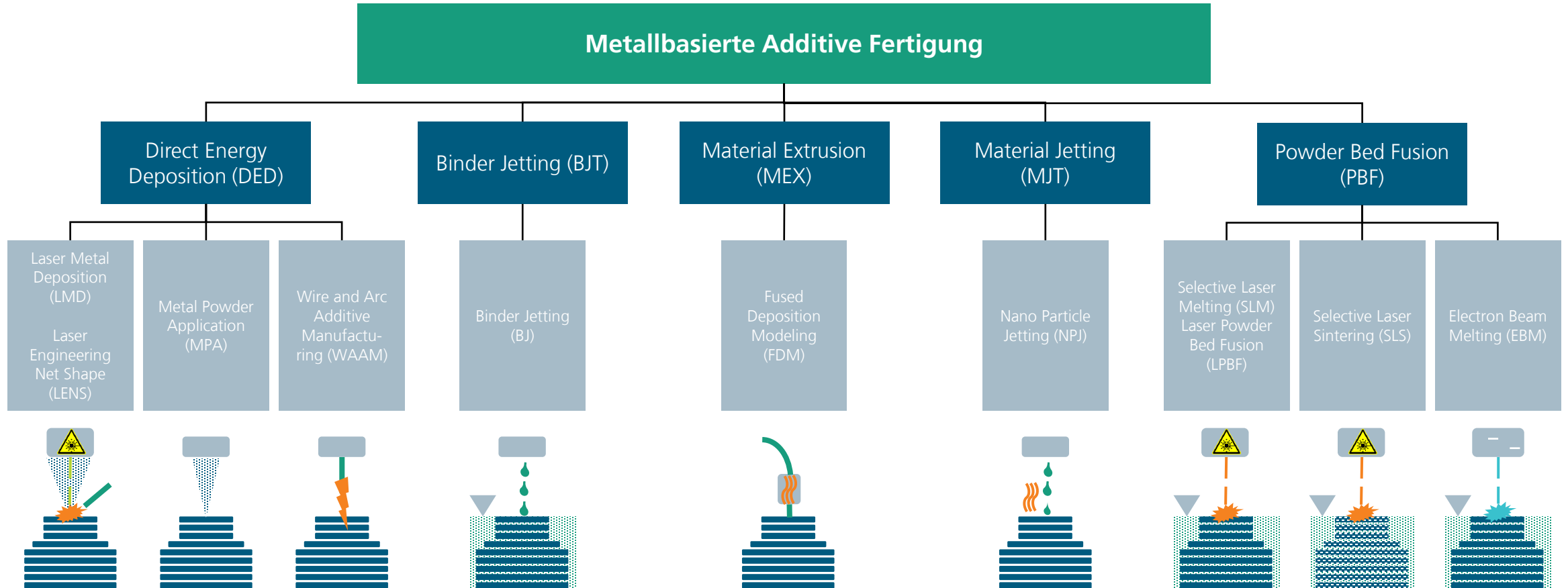


Materialeffizienz

Individualisierung

Additive Fertigungstechniken: Übersicht, Digitalisierung und Nachhaltigkeit

Technologieüberblick - Metallbasierte Additive Fertigung



Additive Fertigungstechniken: Übersicht, Digitalisierung und Nachhaltigkeit

Technologieüberblick - Metallbasierte Additive Fertigung

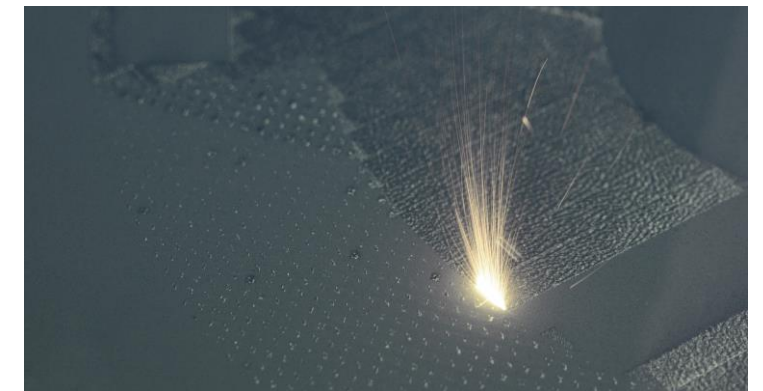
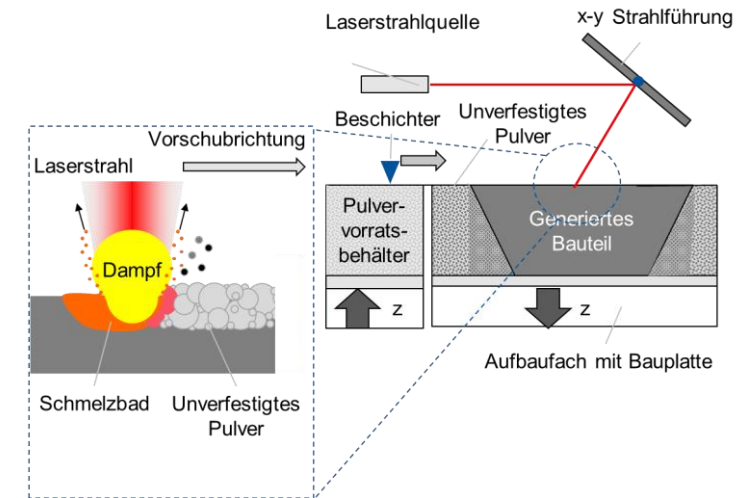
Laser Powder Bed Fusion (LPBF)

Prozess

- Schichtweiser Auftrag von Pulver auf das Substrat
- Selektives, lokales Schmelzen der Pulverpartikel mittels Laser
- Pulver und Substrat bilden beim Abkühlen eine feste Bindung mit homogener Struktur aus
- Überschüssiges Pulver muss entfernt werden
- Nachbearbeitung auf oder nach Lösen vom Substrat

Material und Charakteristik

- Verfügbare, schweißbare Metallpulver können verarbeitet werden
- Lagenhöhe: 0,03 – 0,1 mm
- Mögliche Genauigkeit (abhängig von Lagenhöhe): ± 0.1 mm
- + Hohe Genauigkeit und Designfreiheit
- + Gute mechanische Eigenschaften und hohe Dichte
- Hohe Initialkosten für Anlagen und Material
- Limitierung durch Plattformen



Additive Fertigungstechniken: Übersicht, Digitalisierung und Nachhaltigkeit

Technologieüberblick - Metallbasierte Additive Fertigung

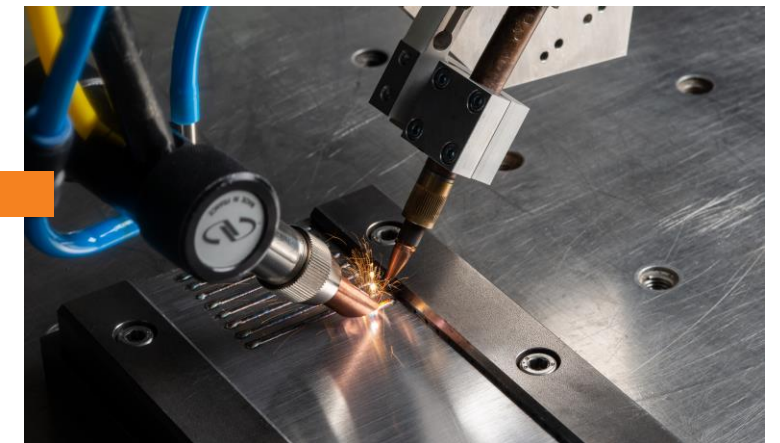
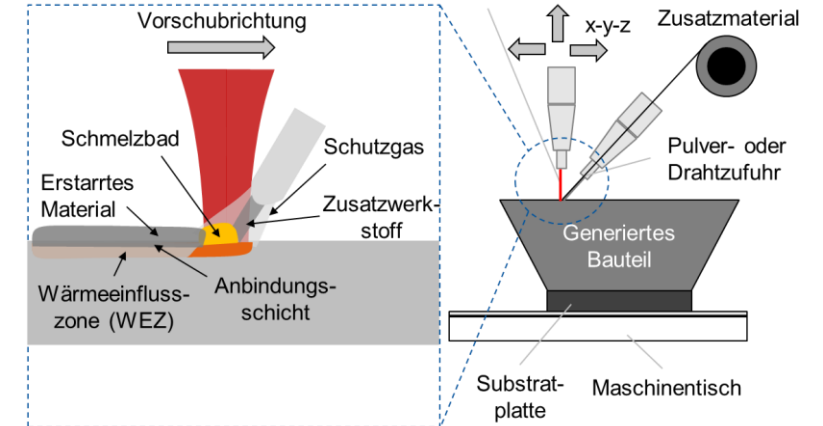
Laserauftragschweißen mit Draht (LMD-w)

Prozess

- Drahtmaterial wird dem Prozess seitlich oder Coaxial zugeführt
- Lokales Erhitzen des Substrats und des Drahts mittels Laser
- Verbindung entsteht analog zum Schweißprozess während dem Abkühlen
- Nachbearbeitung auf oder nach Lösen vom Substrat

Material und Charakteristik

- Schweißbare Metalllegierungen können verarbeitet werden
- Lagenhöhe: 0,25 – 2 mm **LPBF: 0,03 – 0,1 mm**
- Mögliche Genauigkeit (abhängig von Material und Lagenhöhe): ± 0.2 mm **LPBF: ± 0.1 mm**
- + Mechanischen Eigenschaften vergleichbar mit konventioneller Fertigung
- + Für Reparatur und Modifikation geeignet
- + Keine Supportstrukturen notwendig
- Hoher Verbrauch an Schutzgas



Additive Fertigungstechniken: Übersicht, Digitalisierung und Nachhaltigkeit

Technologieüberblick - Metallbasierte Additive Fertigung

Lichtbogenauftragschweißen (WAAM)

Prozess

- Schichtweiser Schweißprozess mit Lichtbogen
- Drahtmaterial mit kathodischem Potential wird dem Substrat zugeführt
- Verbindung entsteht analog zum Schweißprozess während dem Abkühlen
- Nachbearbeitung auf oder nach Lösen vom Substrat

Material und Charakteristik

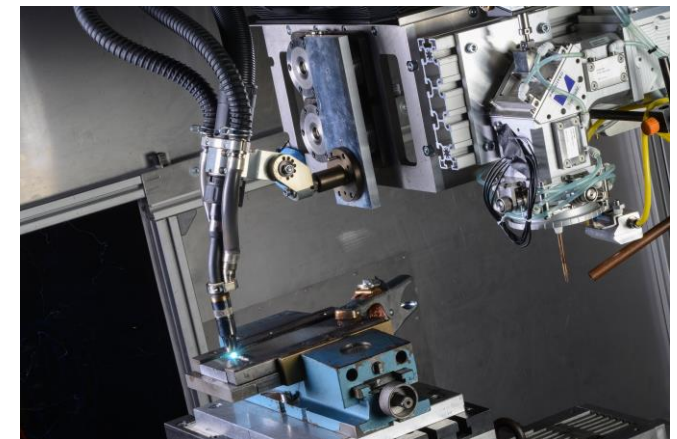
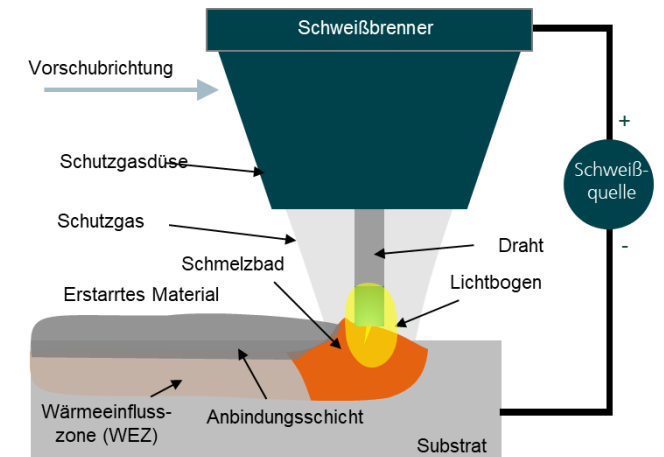
- Schweißbare Metalllegierungen können verarbeitet werden
- Lagenhöhe: 0,5 – 5 mm
- Mögliche Genauigkeit (abhängig von Material und Lagenhöhe): ± 0.5 mm
- + Mechanischen Eigenschaften vergleichbar mit konventioneller Fertigung
- + Sehr hohe Prozessgeschwindigkeit
- Niedrige Genauigkeit
- Hoher thermischer Energieeintrag

LPBF: 0,03 – 0,1 mm

LMD-w: 0,25 – 2 mm

LPBF: ± 0.1 mm

LMD-w: ± 0.2 mm



Agenda

- 1 Vorstellung
- 2 Definition und Kategorisierung Additiver Fertigung
- 3 Technologieüberblick - Metallbasierte Additive Fertigung

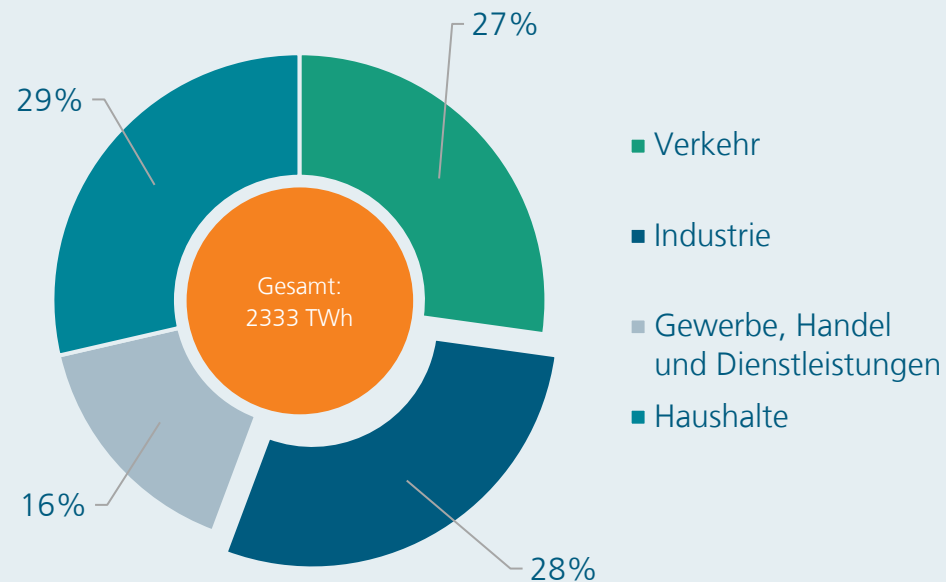
4 Additive Fertigung und Nachhaltigkeit

- 5 Digitalisierung in der Additiven Fertigung
- 6 Zusammenfassung

Additive Fertigungstechniken: Übersicht, Digitalisierung und Nachhaltigkeit

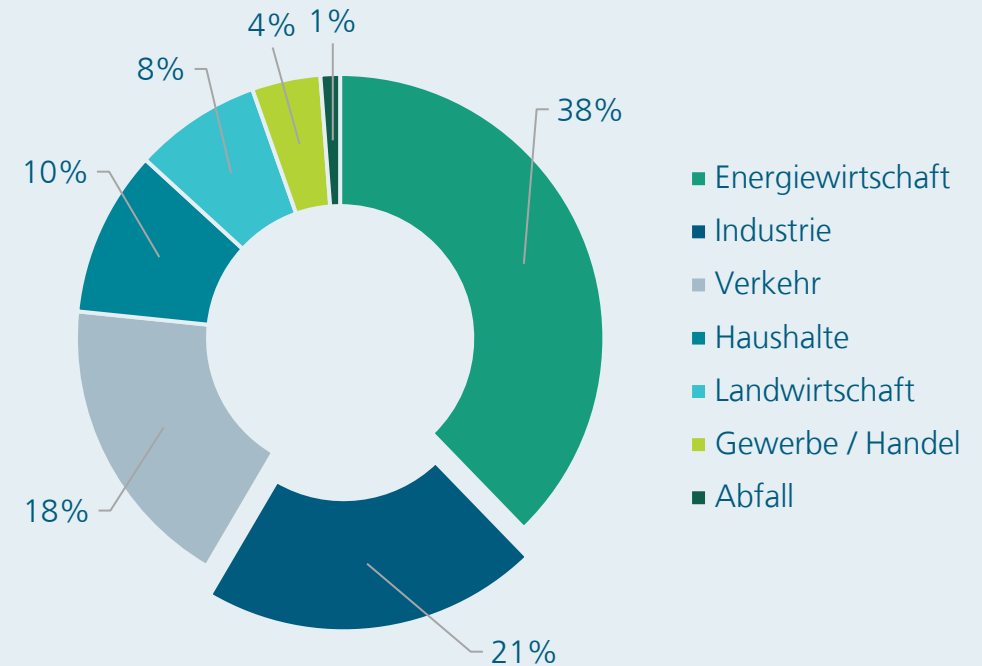
Additive Fertigung und Nachhaltigkeit

Endenergieverbrauch 2020 in Deutschland nach Sektoren



Quelle: Umweltbundesamt auf Basis AG Energiebilanzen, Auswertungstabellen zur Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland, Stand 09/2021

CO2-Ausstoß in Deutschland nach Sektoren



Quelle: Bundesumweltministerium (2016)

Additive Fertigungstechniken: Übersicht, Digitalisierung und Nachhaltigkeit

Additive Fertigung und Nachhaltigkeit

» Die Industrieländer wirtschaften, als hätten sie mehrere Erden zur Verfügung. Daher wird es ohne eine radikale Erhöhung der Ressourcenproduktivität keine nachhaltige Entwicklung geben.«

(Schmidt-Bleek, Nutzen wir die Erde richtig?, 2007)

Herausforderungen für die Nachhaltigkeit in der Fertigung



Emissionsreduktion

- Reduktion des Ausstoßes von Treibhausgasen und weiteren gesundheitsschädlichen Stoffen



Energieeffizienz

- Reduktion des Energieverbrauchs aller am Fertigungsprozess beteiligten Verfahren
- Optimierung der Maschinenauslastung



Ressourcenschonung

- Minimierung der Menge an:
 - Genutztem Rohmaterial
 - Ausschuss
 - Nicht recyclebaren Abfällen

Additive Fertigungstechniken: Übersicht, Digitalisierung und Nachhaltigkeit

Additive Fertigung und Nachhaltigkeit

Schonung von Ressourcen durch Additive Fertigung: Near Net Shape Production

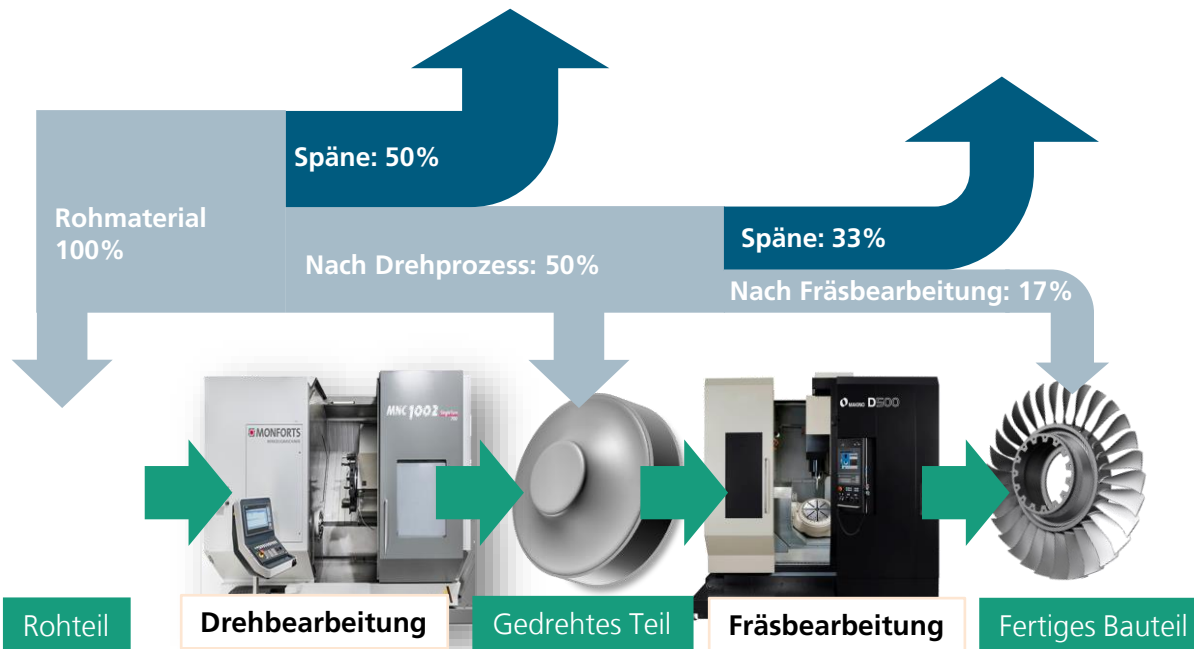


Additive Fertigungstechniken: Übersicht, Digitalisierung und Nachhaltigkeit

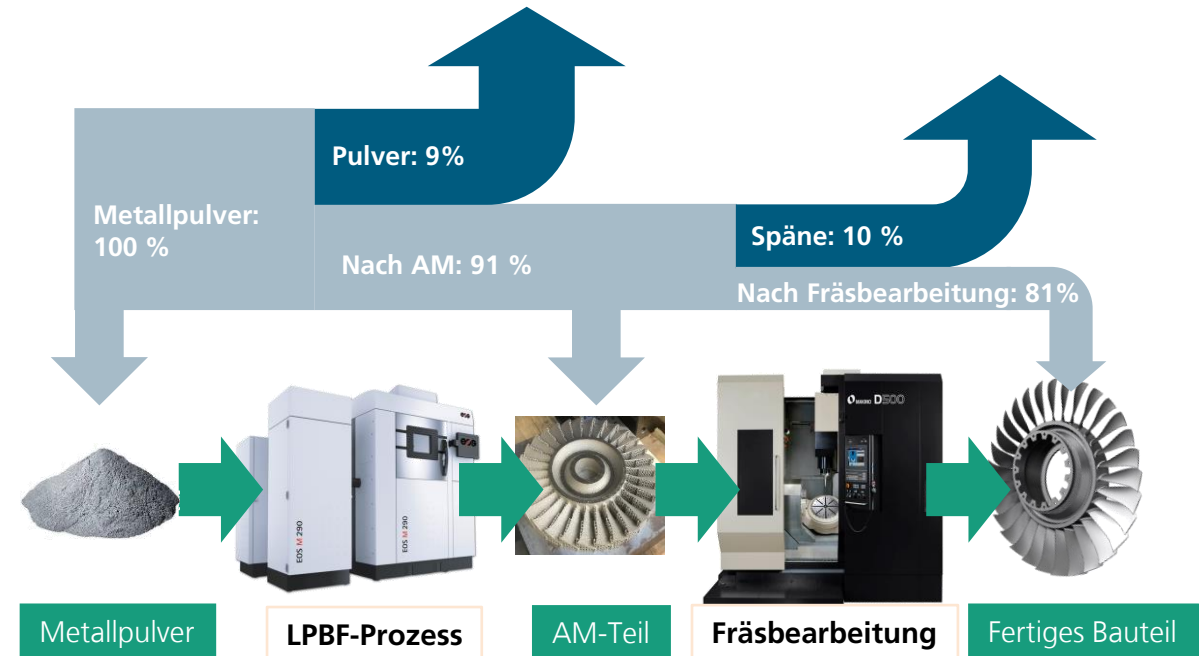
Additive Fertigung und Nachhaltigkeit

Schonung von Ressourcen durch Additive Fertigung: Near Net Shape Production

Konventionelle Fertigung



AM + Konventionelle Fertigung



Quellen der Abbildungen:

<https://www.monforts-wzm.de/>, Stand 06/2022

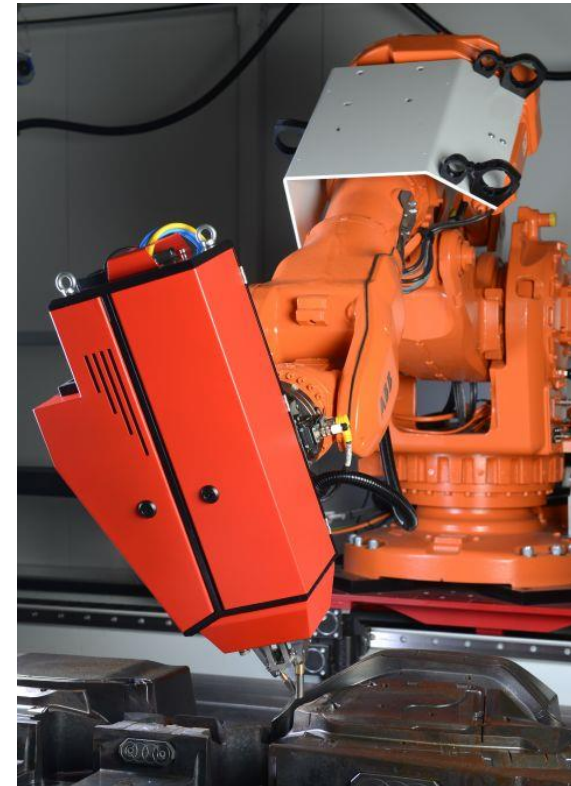
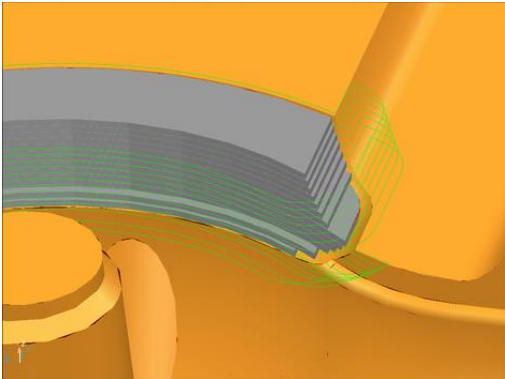
<http://www.directindustry.de/prod/makino-milling-machine/product-22024-968099.html>, Stand 06/2022

<http://www.eos.info/>, Stand 06/2022

Additive Fertigungstechniken: Übersicht, Digitalisierung und Nachhaltigkeit

Additive Fertigung und Nachhaltigkeit

Schonung von Ressourcen durch Additive Fertigung: Reparatur von Werkzeugen



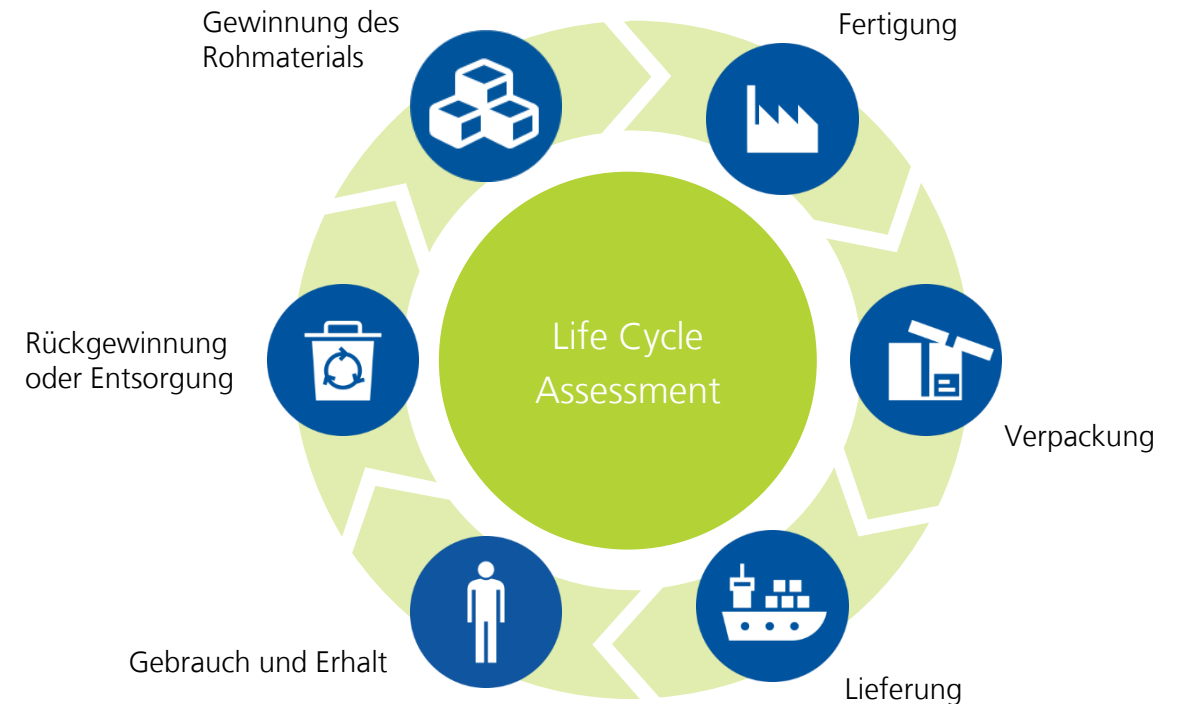
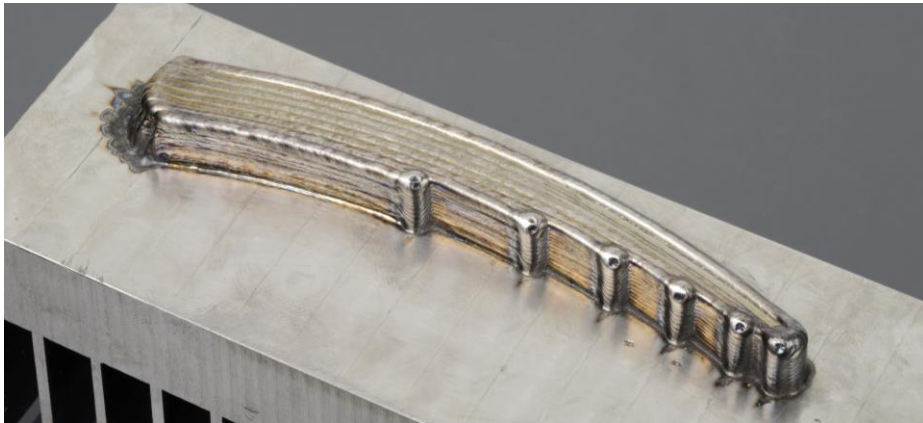
Additive Fertigungstechniken: Übersicht, Digitalisierung und Nachhaltigkeit

Additive Fertigung und Nachhaltigkeit

Ausblick: Drahtbasiertes Additive Fertigungsverfahren und Nachhaltigkeit

Großes Potential in zweierlei Hinsicht:

1. Drahtherstellung energieeffizienter als Pulverherstellung
2. Schonung von Ressourcen durch Near Net Shape Produktion



Agenda

- 1 Vorstellung
- 2 Definition und Kategorisierung Additiver Fertigung
- 3 Technologieüberblick - Metallbasierte Additive Fertigung
- 4 Additive Fertigung und Nachhaltigkeit

5 Digitalisierung in der Additiven Fertigung

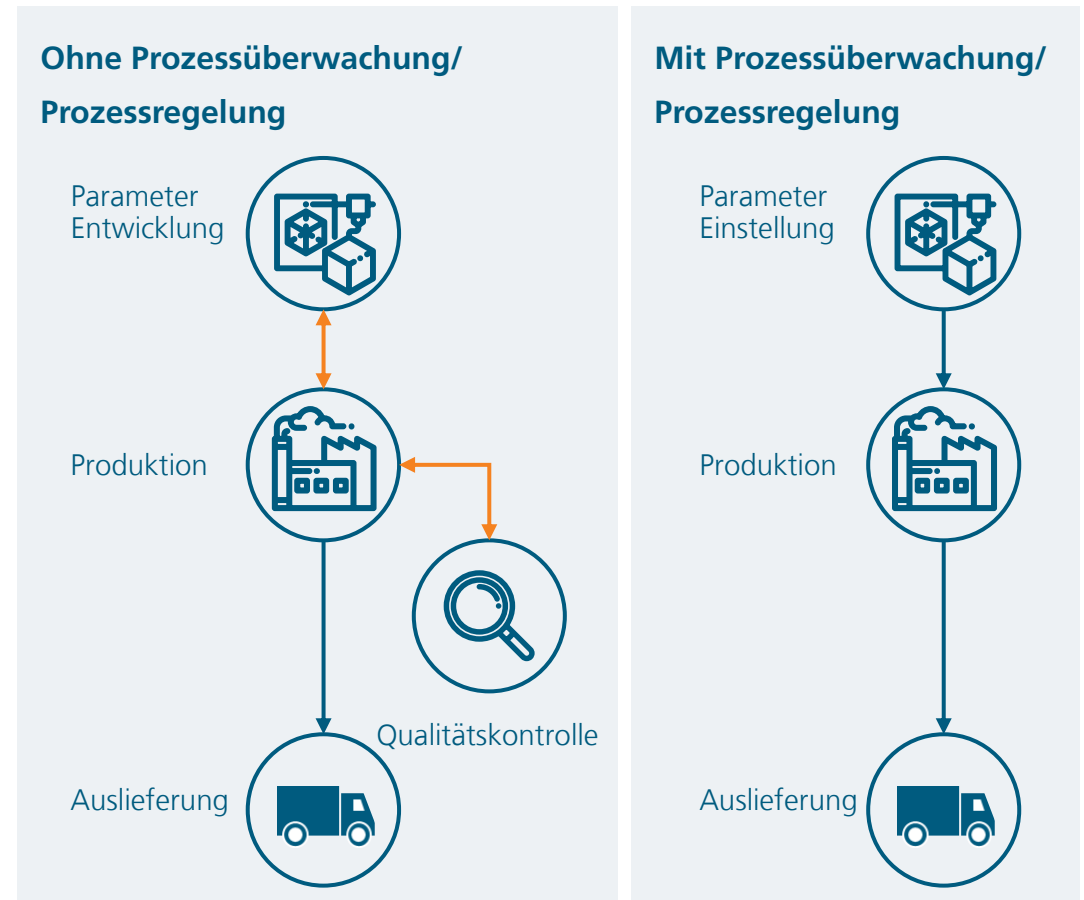
- 6 Zusammenfassung

Additive Fertigungstechniken: Übersicht, Digitalisierung und Nachhaltigkeit

Digitalisierung in der Additiven Fertigung

Prozessoptimierung durch Prozessüberwachung

- Aufnahme von prozessrelevanten Daten während der Fertigung
 - Thermografische Aufnahmen / Temperaturprofile
 - Geometrische Vermessung z.B. durch Laser-Wegmesssysteme, Optischer Kohärenztomographie (OCT)
- Ziele:
 - Vorhersage von Bauteilversagen
 - Verbesserung der Bauteilqualität
 - Reduktion von Ausschuss

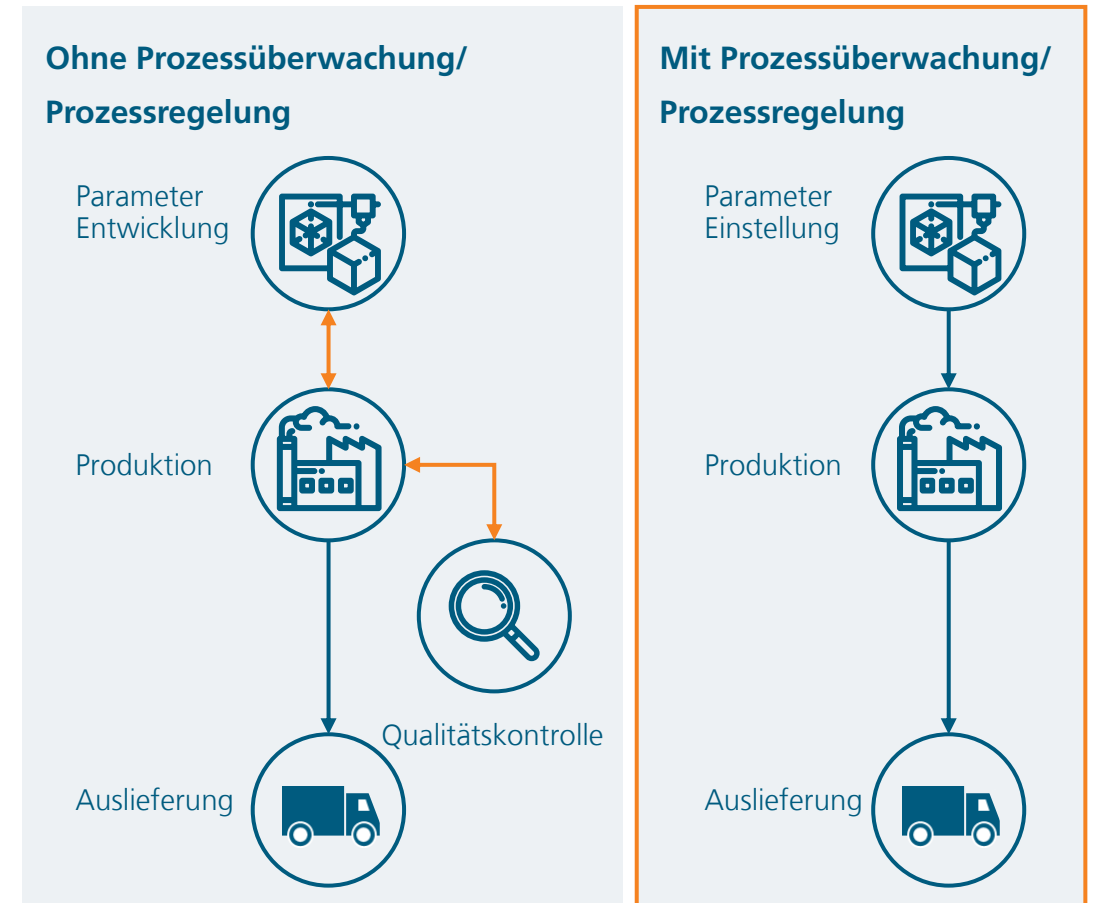


Additive Fertigungstechniken: Übersicht, Digitalisierung und Nachhaltigkeit

Digitalisierung in der Additiven Fertigung

Prozessoptimierung durch Prozessüberwachung

- Ansätze zum Einsatz von Prozessüberwachung:
 1. Qualitätskontrolle im Prozess
 - Kontrolle von Schweißbahnen
 - Detektion von Defekten
 2. Prozessanalyse und präventive Einflussnahme → KI
 - Daten werden für einen Lernprozess genutzt
 - Software setzt erlernte Zusammenhänge in Parameterplanung ein
 3. Prozessregelung mit niedrige Latenzzeiten → 5G
 - Direkter Eingriff bei Prozessabweichung

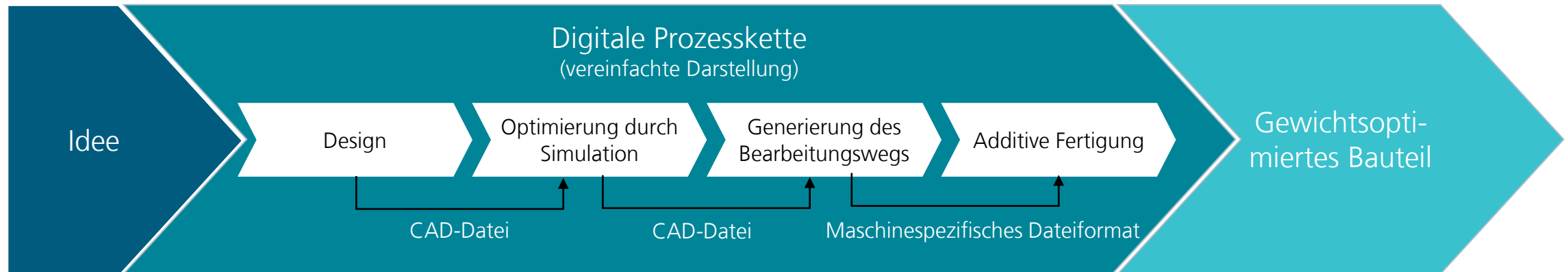


Additive Fertigungstechniken: Übersicht, Digitalisierung und Nachhaltigkeit

Digitalisierung in der Additiven Fertigung

Die Digitale Prozesskette für Additive Fertigung

- Für die verbreiteten Additiven Fertigungsverfahren existieren durchgängige digitale Prozessketten
- Herausforderungen:
 - Programme und Formate häufig herstellerspezifisch
 - Durchgängige Lösungen für neue Verfahren werden erst nach erfolgreicher Markteinführung verfügbar



Agenda

- 1 Vorstellung
- 2 Definition und Kategorisierung Additiver Fertigung
- 3 Technologieüberblick - Metallbasierte Additive Fertigung
- 4 Additive Fertigung und Nachhaltigkeit
- 5 Digitalisierung in der Additiven Fertigung

6 Zusammenfassung

Additive Fertigungstechniken: Übersicht, Digitalisierung und Nachhaltigkeit

Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Unter den Additiven Fertigungsverfahren werden eine Vielzahl von Technologien zusammengefasst
- Materialien und Wirkmechanismen unterscheiden sich stark
- Schichtweiser Aufbau bedingt Genauigkeiten und Prozesszeiten entsprechend der Lagenhöhe
- Das Verfahren muss zum Bauteil passen
- Additive Fertigung kann einen großen Beitrag zu einer nachhaltigen Produktion leisten
- Durch Einbindung in bestimmte Prozessketten kann die Ressourceneffizienz maßgeblich verbessert werden
- Die Digitalisierung ist in der Additiven Fertigung an verschiedensten Stellen relevant
- Prozessüberwachung und –regelung kann Prozesse effizient gestalten und das Qualitätsmanagement vereinfachen



Kontakt

Thomas Derra, M.Sc.
Energetische Strahlverfahren
Tel. +49 241 8904-320
thomas.derra@ipt.fraunhofer.de

Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit

Backup: New Agenda
