



MetShape



ADDITIVE FERTIGUNG VON KLEIN- & MIKRO- METALLTEILEN

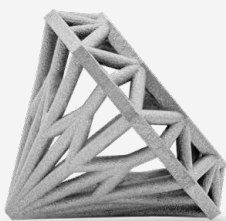
Guide zur Auswahl einer geeigneten
AM-Technologie für Ihre Anwendung

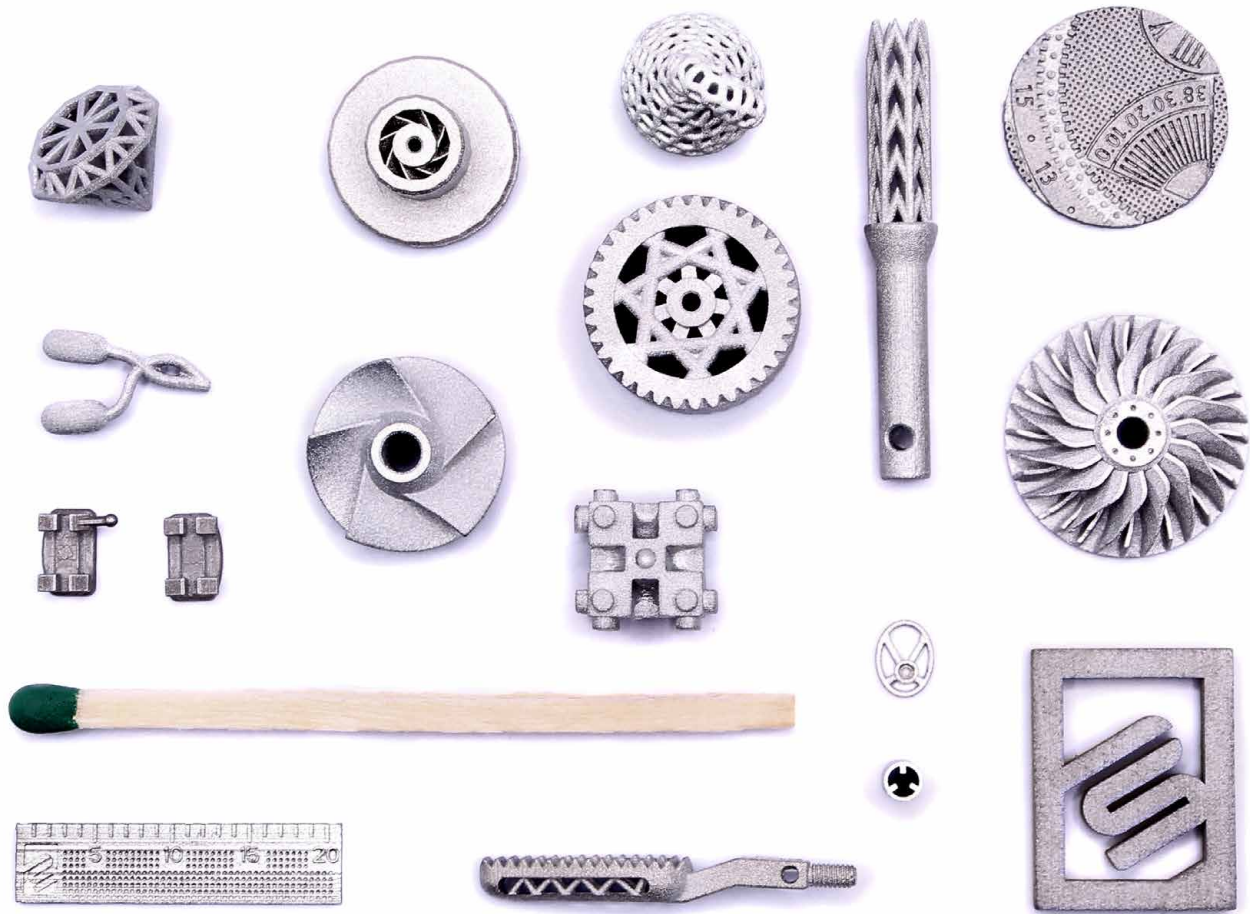
WHITEPAPER

MetShape GmbH

www.metshape.de

info@metshape.de





Einleitung

Die Additive Fertigung (AM), auch bekannt als 3D-Druck, hat in den letzten Jahren zunehmend an Aufmerksamkeit gewonnen und sich als innovative Fertigungstechnologie erwiesen, die in zahlreichen Industriezweigen eingesetzt werden kann.

Der Begriff „Additive Fertigung“ umfasst jedoch eine Vielzahl von Technologien, die unterschiedliche Vor- und Nachteile bieten. Außerdem kann je nach den gewünschten Eigenschaften des Fertigteils eine Technologie für die Herstellung des Teils besser geeignet sein als eine andere.

Daraus ergibt sich die Schwierigkeit, die geeignete Technologie für eine bestimmte Anwendung auszuwählen.

Des Weiteren resultiert aus der Vielzahl an unterschiedlichen und vor allem recht neuen Technologien auf dem Markt die Herausforderung, das nötige Wissen sowie die Erfahrung zu besitzen um die geeignete Technologie auszuwählen.

Der folgende Guide unterstützt die Leser bei der Lösung dieser Herausforderung, indem er einen Überblick über die verschiedenen Faktoren gibt, welche die Entscheidung bei der Auswahl einer AM-Technologie für eine bestimmte Anwendung beeinflussen sollten. Dieses Whitepaper konzentriert sich ausschließlich auf AM-Technologien, die für die Herstellung von kleinen und mikro Metallteilen geeignet sind.

Neben dem Guide bietet dieses Whitepaper eine kurze Einführung in die AM, da es einen Überblick über die Vorteile sowie eine Übersicht über die verschiedenen Technologien enthält. Außerdem wird der Unterschied zwischen direkten und indirekten Technologien beschrieben.

Vorteile der Additiven Fertigung

Die verschiedenen Vorteile, welche die additive Fertigung bietet, zeigen die Möglichkeiten und Chancen für Unternehmen.

Diese verschiedenen Vorteile der AM führen dazu, dass die Fertigungstechnologie bereits in einer Vielzahl von Anwendungen und Bereichen in der industriellen Produktion eingesetzt wird.



Designfreiheit

Die Designfreiheit, die durch AM möglich wird, trägt zur Entwicklung von Innovationen bei. Das einzigartige Produktionsverfahren, bei dem ein Teil Schicht für Schicht aufgebaut wird, bietet eine hohe Flexibilität, insbesondere in Bezug auf die Geometrie des Fertigteils, und verringert die Restriktionen beim Design. Für viele komplexe Designs und Formen ist die einzige Alternative zur AM die Fertigung von Hand.



Zeit- & Kostenersparnis

Bei der AM werden keine Werkzeuge oder Vorrichtungen für die Herstellung der gewünschten Teile benötigt, wodurch unnötige Produktionsschritte entfallen und die Produktionskosten sowie das Risiko gesenkt werden können. Insbesondere für die Herstellung von Prototypen, Einzelteilen und Kleinserien stellt die AM eine kosten- und zeiteffiziente sowie flexible Fertigungstechnik dar.



LMM Teil von MetShape

Präzision & Komplexität

Mit AM ist es möglich, hochpräzise Teile mit außerordentlich komplexen geometrischen Strukturen herzustellen, die von Unternehmen immer häufiger gefordert werden.

Hier ist die AM den traditionellen Technologien deutlich überlegen, da diese entweder nicht in der Lage sind, ein Teil mit den genannten Eigenschaften herzustellen oder die Herstellung mit einem unvermeidbar hohen Aufwand verbunden wäre.



LMM Teil von MetShape

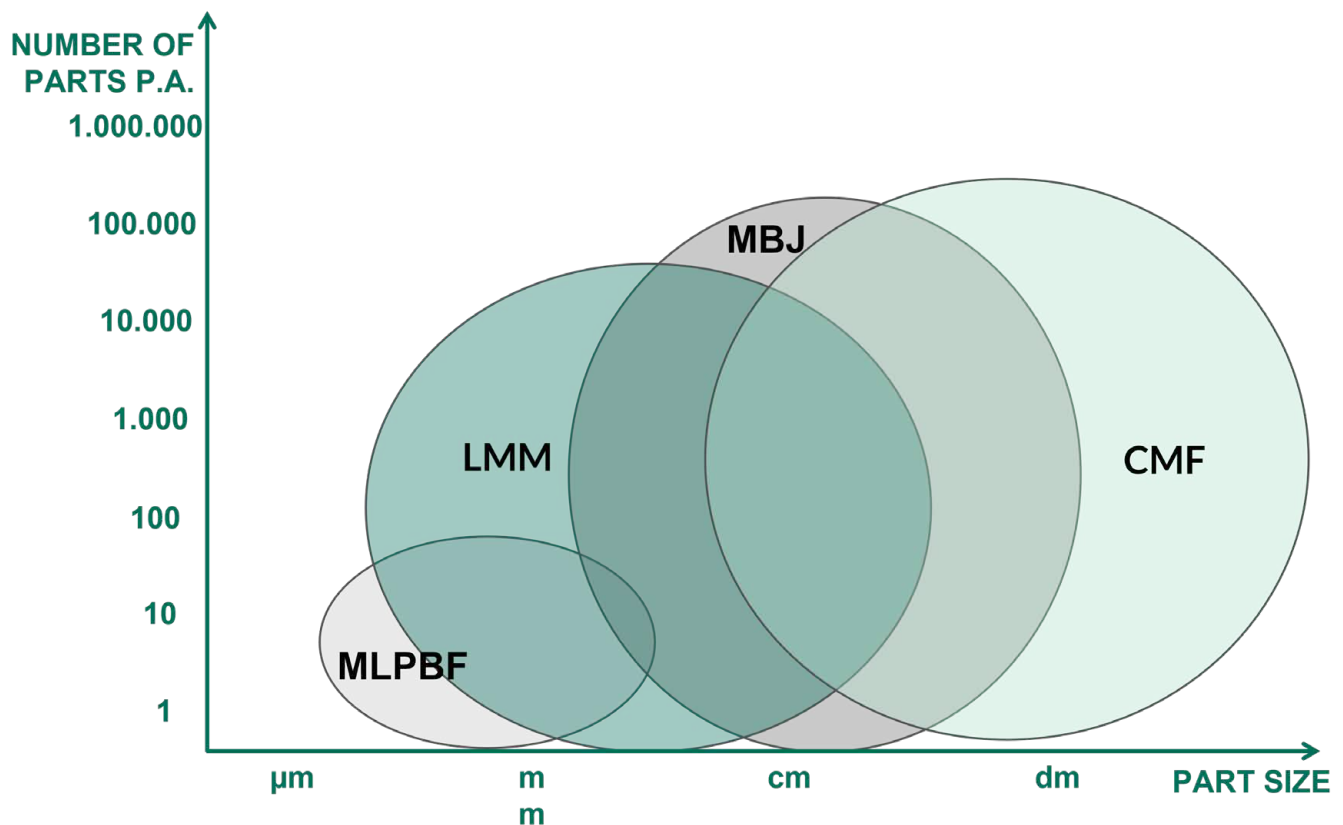
Individualität & Funktionsoptimierung

AM ermöglicht die Individualisierung von Teilen. Vor allem in Bereichen wie der Medizintechnik werden patientenspezifische Teile benötigt, die mit herkömmlichen Fertigungstechnologien nur schwer herzustellen sind. Die Funktionsanforderungen des Teils können viel einfacher erfüllt werden als bei der traditionellen Fertigung. Die Möglichkeit der Funktionsintegration ist ein weiterer Vorteil, den AM bietet.

Übersicht der AM-Technologien

Die Abbildung zeigt einen Überblick der verschiedenen AM-Technologien, die sich für die Herstellung von Klein- und Mikroteilen aus Metall eignen. Sie zeigt auch bereits die Herausforderung, die mit der Wahl einer geeigneten Technologie für bestimmte Anwen-

dungen, einhergeht. Es gibt noch weitaus mehr AM-Technologien auf dem Markt, die jedoch in diesem White paper nicht behandelt werden, da es sich auf Klein- und Mikroteile konzentriert.



Direkte und indirekte Technologien

Die additiven Fertigungstechnologien lassen sich in zwei Kategorien einteilen, die direkten und die indirekten Technologien.

Direkte AM-Technologien zeichnen sich durch einen einstufigen Prozess aus, bei dem das Teil direkt während eines Schweißvorgangs hergestellt wird. Bekannte Beispiele für direkte AM-Technologien sind LPBF (Selective Laser Melting (SLM)) und Electron Beam Melting (EBM). Indirekte Verfahren sind durch einen zweistufigen Prozess gekennzeichnet. Im ersten Schritt wird ein Grünteil gedruckt, welches anschließend entbindert und gesintert wird.

Erst in den letzten Jahren erlangten indirekte Verfahren größere Aufmerksamkeit. Gründe hierfür sind die hohe Produktivität und die Vorteile, welche sich bei der Grünteilherstellung ergeben, wie z.B. die Tatsache, dass keine Stützkonstruktionen erforderlich sind, was die kostenintensive Nachbearbeitung reduziert oder sogar überflüssig macht.

Im Vergleich zu den direkten sind die indirekten Verfahren weitaus weniger erforscht. Insbesondere Metall-FDM und Metal Binder Jetting sind bekannte indirekte AM-Technologien.

Direkte AM-Technologien

Indirekte AM-Technologien

Prozess

Einstufiger Prozess:
„direkte“ Herstellung von Bauteilen
durch (Schweiß-)Prozesse

Zweistufiger Prozess:

1. Herstellung von Grünteilen
2. Entbindern und Sintern der Grünteile

Vorteile

- vergleichsweise geringe Durchlaufzeiten
- Auftrag auf bestehende Strukturen möglich
- hohe Reproduzierbarkeit
- weit verbreitet und entwickelt
- hoher Durchsatz
- Qualitätskontrolle & Bearbeitung im Grünteilstadium möglich
- große Werkstoffvielfalt möglich
- Bauteileigenschaften vergleichbar mit etablierter MIM-Technologie

Nachteile

- Schweißgefüge führt zu hohen thermisch Spannungen, wodurch Stützstrukturen erforderlich werden
- hoher Wärmeeintrag
- meist empfindliche Prozesse
- in der Regel vergleichsweise raue Oberflächen
- häufig Randporosität
- komplexe Prozessschritte
- Verzug durch Sinterprozess
- Schwindungstoleranzen
- Bauteildichte <99.9%

Beispiele

LPBF, M-LPBF, EBM

LMM, CMF, MBJ



LMM Teile von MetShape

Herausforderung bei der Wahl einer geeigneten Technologie für Ihre Anwendung

Wenn Sie sich für die additive Fertigung als Herstellungsverfahren entscheiden, besteht die Herausforderung darin, eine geeignete Technologie für Ihre Anwendung auszuwählen. Wie bereits erwähnt, umfasst der Begriff „Additive Fertigung“ jedoch eine breite Palette von Technologien, die auf dem Markt verfügbar sind und sich in mehreren Aspekten unterscheiden. So ist beispielsweise nicht jede Technologie für jede Anwendung geeignet, und die Anforderungen an die Fertigteile wie Rauheit der Oberfläche, Präzision, Maßhaltigkeit und andere Merkmale des ge-

wünschten Teils wie Größe oder mechanische sowie Materialeigenschaften sind entscheidende Faktoren, die bei der Wahl einer AM-Technologie berücksichtigt werden müssen.

Jede Technologie bietet unterschiedliche Vor- und Nachteile und hat ihren eigenen Anwendungsbereich. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, die richtige Fertigungstechnologie für die jeweilige Anwendung zu wählen.

Guide zur Auswahl einer geeigneten Technologie für Ihre Anwendung

Dieser Guide konzentriert sich auf einen Vergleich von vier verschiedenen AM-Technologien, die für die Herstellung von Klein- und Mikroteilen aus Metall geeignet sind: Metal Binder Jetting (MBJ), Cold Metal Fusion (CMF), Lithographie-basierte Metallherstellung (LMM) und Micro-Laser-Powder-Bed-Fusion (M-LPBF). Wie bereits erwähnt, gibt es viele Faktoren, welche die Entscheidung für die beste Technologie für eine bestimmte Anwendung beeinflussen. Die wichtigsten Faktoren, die in diesem Whitepaper in Bezug auf die genannten Technologien erörtert werden, sind Oberflächenqualität, Teilegröße, Präzision, Toleranzen sowie Losgrößen und Kosten.



LMM



LMM



CMF



MBJ



Teile von MetShape

Bauteilgröße

Die Bauteilgröße ist ein entscheidendes Attribut bei der Entscheidung, welche AM-Technologie für die Herstellung der gewünschten Anwendung gewählt werden soll.

Darüber hinaus ist bei indirekten AM-Technologien die Festigkeit des Grünteils, das während des Prozesses mit einer bestimmten AM-Technologie hergestellt wird, ein wichtiger zu berücksichtigender Aspekt. Dies hängt auch mit der Herausforderung zusammen, das Grünteil aus dem Drucker zu entnehmen.

Im Allgemeinen sind M-LPBF und LMM die Technologien, die sich am besten für kleine Anwendungen innerhalb von 5 mm Länge, Breite und Höhe eignen. M-LPBF kann effizient für Teile bis zu 20 mm in allen Dimensionen eingesetzt werden und LMM ist für Teile bis zu 35 mm in jeder Dimension anwendbar. Metal Binder Jetting eignet sich aufgrund der geringeren Oberflächenqualität und Genauigkeit am besten für Teile, die größer als 5 mm sind. Für Anwendungen über 50 mm ist CMF eine gute Alternative, auch wenn die Oberfläche deutlich rauher ist als bei M-LPBF oder LMM.

Oberflächenqualität

Die Oberflächenqualität des Teils kann ein weiterer entscheidender Aspekt sein, wenn es darum geht, welche AM-Technologie angewendet werden soll. Bei einigen Technologien sind während des Prozesses Stützstrukturen erforderlich, was in der Regel zu Oberflächen mit einer höheren Rauheit führt, da die Stützstrukturen entfernt werden müssen, was oft ein manueller Prozess ist. Außerdem kann bei sinterbasierten AM-Technologien das Know-how über den Sinterprozess entscheidend für eine hervorragende Oberflächenqualität sein. Dies bedeutet auch, dass eine kostenintensive Nachbearbeitung erforderlich ist. Bei sinterbasierten Technologien ist das Sinter-Know-how des Anbieters eine weitere entscheidende Größe, die die Qualität der Oberfläche beeinflusst. Für sehr glatte Oberflächen ist LMM wohl die beste Technologie, da eine Oberflächenrauigkeit von 2 µm ohne Nachbearbeitung erreicht werden kann. Wird anschließend ein Polierverfahren eingesetzt, kann die Oberfläche sogar besser als 1 µm werden. M-LPBF kann eine Oberflächenrauheit von 3 µm erreichen, aber in der Regel ist eine Nachbearbeitung erforderlich, um alle Stützstrukturen zu entfernen. Die Oberflächenqualität von MBJ-Anwendungen ist mit etwa 5 µm ebenfalls für viele Teile geeignet. Von den in diesem Whitepaper beschriebenen Technologien weist CMF mit einem Wert von 17 µm ohne Nachbearbeitung oder Polierverfahren die höchste Oberflächenrauheit auf.



CMF

LMM

Teile von MetShape

M-LPBF



M-LPBF Teil von 3D MicroPrint

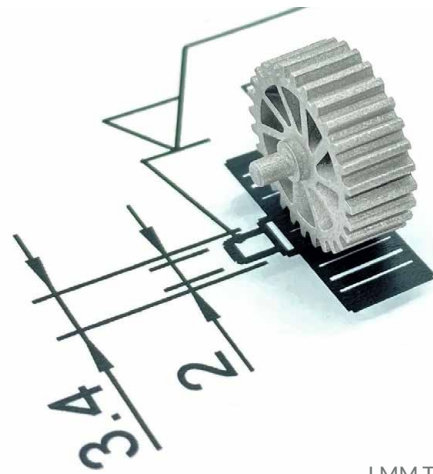
Kosten

Um einen Kostenvergleich zwischen den bewerteten Technologien zu erstellen, wurde das unten abgebildete Teil ausgewählt, das mit allen vier Technologien druckbar ist. Die Preise wurden für eine Serie von 10 Prototypen berechnet. Das Teil hat einen Durchmesser von 14 mm und eine Höhe von 3 mm. Die Kosten für 10 Teile mit M-LPBF liegen bei 3.800 Euro, also 380 Euro pro Teil. Mit LMM sind es etwa 48 Euro pro Teil und mit MBJ nur 38 Euro. Die geringsten Kosten entstehen bei der CMF-Technologie mit nur 10 Euro pro Teil.

Toleranzen

Erreichbare Toleranzen und die Präzision einer Technologie sind sehr wichtig für funktionelle Anwendungen, die in Kombination mit anderen Teilen funktionieren müssen. Daher ist es notwendig zu wissen, welche Technologie die benötigten Toleranzen erreichen kann. Wie die Oberflächenqualität hängen auch die Toleranzen stark von den Stützstrukturen ab, die bei einigen Technologien erforderlich sind.

Die beste Genauigkeit bei Mikroanwendungen kann mit M-LPBF erreicht werden, da hier im besten Fall Toleranzen innerhalb von $\pm 0,005$ mm (ISO 2768-1 f) garantiert werden können. Mit LMM können Toleranzen bis zu $\pm 0,05$ mm (ISO 2768-1 f) erreicht werden, während MBJ und CMF Toleranzen von $\pm 0,1$ mm vorgeben (ISO 2768-1 m).



LMM Teil von MetShape



Teile von MetShape

Losgröße

Auch die Losgröße ist ein wichtiger Faktor bei der Entscheidung für eine geeignete Technologie. Einige Verfahren haben eine sehr hohe Produktivität, während andere eine manuelle Nachbearbeitung erfordern, die die Produktivität verringert.

Im Allgemeinen sind die Verfahren M-LPBF und MBJ am besten für Prototypen oder Kleinserien geeignet. Vor allem MBJ ist aufgrund der komplexen Prozessparameter in Bezug auf gleichbleibende Ergebnisse nicht so gut reproduzierbar. LMM ist eine Technologie, die für kleine Serien oder sogar Losgrößen bis zu 100.000 Teilen eingesetzt werden kann, sofern die Anwendung relativ klein ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Bauraum recht begrenzt ist und je kleiner das Teil ist, desto mehr Teile können in kurzer Zeit gedruckt werden. Die beste Lösung für die Massenproduktion ist CMF aufgrund der hohen Produktivität und Reproduzierbarkeit der Technologie.

Zusammenfassung

Jede Technologie hat ihre eigenen Vor- und Nachteile. Welche Technologie für Ihre individuelle Anwendung geeignet ist, hängt von mehreren Faktoren ab. Sie müssen abwägen, welcher Faktor für Ihre Anwendung entscheidend ist. Benötigen Sie eine Toleranz von +/- 0,05 mm oder ist es wichtiger, Kosten zu sparen? In der nachstehenden Tabelle sind die Fakten und Klassifizierungen der technologiespezifischen Faktoren aufgeführt, um Ihnen zu helfen, die beste Lösung für Ihre Anwendung zu finden.

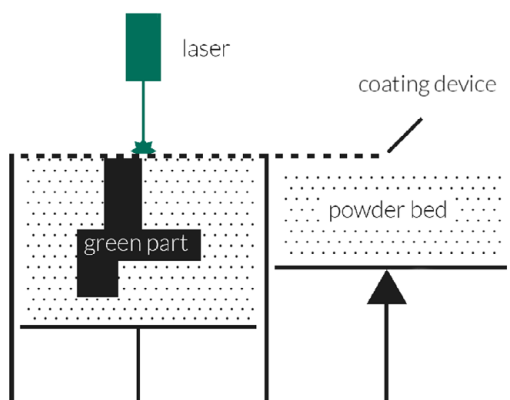
Wir sind davon überzeugt, dass es eine Technologie für jede Art von Anforderung gibt. Identifizieren Sie Ihre wichtigsten Faktoren und Sie werden die Technologie finden, mit der Sie Ihre AM-Erfahrung beginnen, Ihre Entwicklung beschleunigen und Ihre Produkte verbessern können. Wenn Sie weitere Unterstützung bei der Auswahl der geeigneten Technologie benötigen, zögern Sie nicht, MetShape zu kontaktieren. Alle Kontaktinformationen finden Sie auf der letzten Seite dieses Whitepapers.

FAKTOR		M-LPBF	LMM	MBJ	CMF
Bauteilgröße	1 - 5 mm	++	++	+	-
	5 - 50 mm	+	+	++	+
	> 50 mm	-	-	++	++
Oberfläche	[Ra in µm]	3	3	5	17
Toleranzen	[in mm]	± 0.005	± 0.05	± 0.1	± 0.1
Supportstrukturen		ja	nein	nein	nein
Losgröße	1 - 99	++	++	++	-
	100 - 999	+	++	+	++
	1.000 - 9.999	-	+	-	++
	≥ 10.000	-	+	-	++
Kosten	[in €/Stk.]	380	48	38	10

Glossar: Technologiebeschreibungen

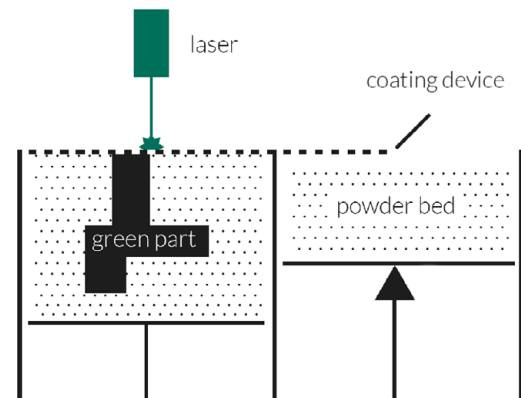
Micro-Laser-Powder-Bed-Fusion (M-LPBF)

Die M-LPBF-Technologie gehört zu den direkten additiven Fertigungstechnologien. Im Vergleich zu LPBF können noch feinere Pulver ($1\text{--}5\text{ }\mu\text{m}$) und noch geringere Schichtdicken verarbeitet werden. Bei dem Verfahren wird das feinkörnige Pulvermaterial durch Laserstrahlung aufgeschmolzen. Anschließend erstarrt das geschmolzene Pulver und bildet eine feste Materialschicht. Ein dreidimensionales Bauteil entsteht durch eine entsprechende Anzahl zusammenhängender Schichten, indem immer wieder eine neue Pulverschicht aufgetragen und verarbeitet wird, bis ein fertiges Bauteil entsteht.



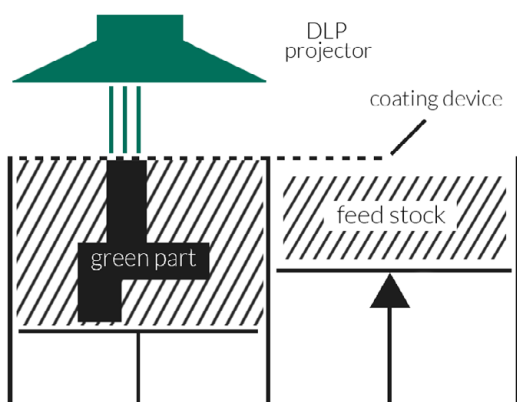
Cold Metal Fusion (CMF)

Cold Metal Fusion ist ebenfalls eine indirekte AM-Technologie. Ähnlich wie bei der LMM-Technologie wird ein Ausgangsmaterial hergestellt, das aus Metallpulver und Bindemittel besteht. Dieses Ausgangsmaterial wird dann während des 3D-Druckverfahrens geschmolzen, um ein Grünteil zu erhalten. Der Feedstock kann auf einem 3D-Drucksystem für selektives Lasersintern (SLS) verarbeitet werden. Bei diesem Verfahren wird das Grünteil Schicht für Schicht durch Schmelzen des Ausgangsmaterials erzeugt. In einem zweiten Schritt wird das Grünteil dann entbindert und später gesintert, um ein Fertigteil zu erhalten.



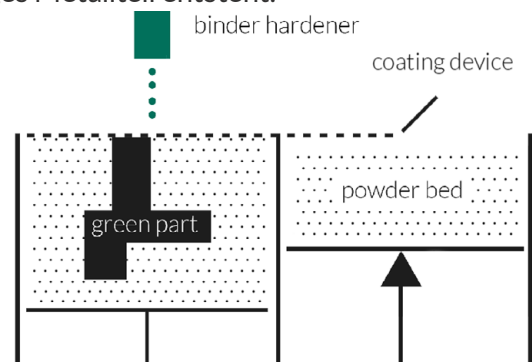
Lithography-based Metal Manufacturing (LMM)

Bei der LMM-Technologie handelt es sich um eine indirekte AM-Technologie, welche durch einen zweistufigen Prozess gekennzeichnet ist. Das Ausgangsmaterial ist eine Kombination aus Metallpulver und lichtempfindlichem Polymerbinder. Dieser sogenannte Feedstock wird auf eine Bauplattform aufgetragen und mittels Maskenbelichtung mit UV-Licht selektiv von oben vernetzt. So entsteht Schicht für Schicht ein Grünteil. Dieses Grünteil wird dann entbindert und gesintert.



Metal Binder Jetting (MBJ)

MBJ ist ebenfalls eine indirekte AM-Technologie. Im ersten Prozessschritt wird ein Grünteil gedruckt, indem lose Partikel aus Metallpulver auf die Plattform eines Tintenstrahldruckers aufgetragen werden. Diese Partikel werden dann mit Hilfe eines Bindemittels, das vom Drucker aufgetragen wird, Schicht für Schicht verbunden. Nach dem Auftragen des Bindemittels wird die Plattform des Druckers abgesenkt, und durch z. B. eine gegenläufige Walze oder ein Messer eine neue Pulverschicht auf die vorherige Schicht aufgetragen. Diese „neue“ Schicht wird dann durch das Bindemittel mit der vorherigen Schicht verbunden. Das Teil wird dann getempert, und in einem zweiten Produktionsschritt wird das so entstandene zerbrechliche Grünteil bei hohen Temperaturen gesintert, so dass ein festes fertiges Metallteil entsteht.





LMM Teile von MetShape

Über MetShape

Die MetShape GmbH ist ein Produktionsdienstleister, der sich auf die sinterbasierte additive Fertigung von Klein- und Mikroteilen aus Metall spezialisiert hat. Das Unternehmen wurde im April 2019 aus der Hochschule Pforzheim ausgegliedert und entwickelt sich seither sehr dynamisch.

Die Idee zur Gründung des Technologie-Start-ups entstand während eines Forschungsprojekts zum Recycling von Seltenerdmetallen, in dessen Rahmen die Lithography-based Metal Manufacturing (LMM) Technologie entwickelt wurde. Mit dieser Technologie ist es möglich, hochpräzise Metallbauteile mit außergewöhnlich guten Oberflächen zu drucken.

Mittlerweile hat MetShape ein einzigartiges Prozess-Know-how entwickelt und sich speziell auf den Sinterprozess fokussiert und bietet daher neben der Teileproduktion mit der LMM-Technologie auch weitere Dienstleistungen an.

Mit dem einzigartigen Sinter-Know-how bietet MetShape im Vergleich zu anderen 3D-Druck-Dienstleistern, die sich auf Prototypen und Einzelteilerfertigung spezialisiert haben, qualitativ hochwertige, fertige Bauteile, die für Serienanwendungen genutzt werden können. Darüber hinaus bietet MetShape seinen Kunden, die andere sinterbasierte additive Fertigungsverfahren verwenden, die Möglichkeit, ihre Teile in hoher Qualität zu sintern.



MetShape GmbH
Tiefenbronner Straße 59
75175 Pforzheim
Germany



info@metshape.de



+49 (0) 7231 3744 180



www.metshape.de

