



Niedersachsen
ADDITIV

ANWENDERLEITFADEN

Mit dem Anwenderleitfaden für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) bietet Niedersachsen ADDITIV allen Interessierten einen Einstieg in die Welt der Additiven Fertigung.

Gefördert durch:



Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft,
Verkehr, Bauen und Digitalisierung

Projektpartner:



INHALT

Vorwort	03
Allgemeine Fragen	
1) Was ist 3D-Druck und was bedeutet Additive Fertigung? _____	04
2) Wann ist 3D-Druck sinnvoll? _____	05
3) Wie bekomme ich 3D-gedruckte Teile: Dienstleister oder Eigenfertigung?__	06
4) Welche Bauteile kann ich drucken? _____	07
5) Wie viele Bauteile kann ich drucken? _____	07
6) Welche Bedeutung hat die Datensicherheit und welche Unterstützungs- angebote für Unternehmen gibt es ? _____	08
Fragen zur Einführung im Unternehmen	
7) Was muss ich bei der Einführung des 3D-Drucks in meinem Unternehmen beachten? _____	09
8) Welche Anforderungen an Sicherheit und Arbeitsschutz muss ich berücksichtigen? _____	10
Fragen zur Wirtschaftlichkeit und Mitarbeiterqualifizierung	
9) Wie lange dauert der Druck eines Bauteils? _____	11
10) Was kostet mich die Einführung des 3D-Drucks in meinem Unternehmen? _	12
11) Wann lohnt sich die Investition in eine eigene 3D-Druckanlage? _____	13
12) Wie muss ich meine Mitarbeiter/Innen für den 3D-Druck qualifizieren? ____	14
Fragen zu Werkstoffen und Prozessen	
13) Kann ich alle Materialien mit einem Drucker verdrucken? _____	15
14) Welche Verfahren gibt es für den 3D-Druck von Metall? _____	16
15) Welche Verfahren gibt es für den 3D-Druck von Kunststoff? _____	18
16) Kann man Keramik drucken? _____	20
Fragen zum Einsatz in der industriellen Praxis	
17) Ist der 3D-Druck schon serientauglich? _____	21
18) Gibt es Besonderheiten bei der Konstruktion zu beachten? _____	21
19) Was ist erforderlich, um additive Fertigungsverfahren in industrielle Wertschöpfungsketten zu integrieren? _____	23

VORWORT

Liebe Leserinnen und Leser,

der 3D-Druck kann für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) in Niedersachsen und darüber hinaus große Potenziale bergen. Mit dem 3D-Druck können Sie nicht nur Kosten senken und Material sowie Zeit einsparen, Sie können Bauteile und Produktion völlig neu denken. Die Gestaltungsmöglichkeiten etwa gehen weit über das hinaus, was mit konventionellen Verfahren möglich ist.

Die Vorteile des 3D-Drucks können Branchenübergreifend genutzt werden, egal ob Ihr Unternehmen in der Mobilität, der Medizintechnik, Agrar 4.0, dem Maschinen- und Anlagenbau, dem Handwerk oder einer anderen Branche angesiedelt ist.

Als unabhängiger Ansprechpartner für 3D-Druck in Niedersachsen unterstützen wir Sie bei der Einführung und Weiterentwicklung dieser Technologie in Ihrem Unternehmen. Mit diesem Anwenderleitfaden wollen wir allen Interessierten eine neutrale und kostenfreie Orientierungshilfe und einen leichten Einstieg in das Thema bieten.

Der Leitfaden beantwortet die rund 20 Fragen, die uns von KMU am häufigsten gestellt werden. Zum Beispiel: „Was muss ich tun, um den 3D-Druck in meinem Unternehmen einzuführen?“ und „Welche 3D-Druckverfahren gibt es?“. Genauso beleuchten wir andere wichtige Aspekte, wie Arbeitsschutz und Sicherheit. Wir aktualisieren und erweitern diese Publikation fortlaufend.

Ergänzende Informationen finden Sie auch auf unserer Internetseite www.niedersachsen-additiv.de.

Die Einführung und Weiterentwicklung einer neuen Technologie in einem Unternehmen ist ein komplexes Vorhaben. Sprechen Sie uns gerne an, wenn Sie Fragen haben – egal an welchem Punkt der Planung Sie sind.

Mit einem Praxis-Check 3D-Druck können wir Sie konkret bei der Umsetzung eines Vorhabens unterstützen. Dazu können Sie sich auf unserer Webseite bewerben. Zudem können wir Ihnen eine Mitgliedschaft im Netzwerk Niedersachsen ADDITIV (NNA) empfehlen. Als Mitglied im NNA informieren wir Sie aktiv über Neuigkeiten im Bereich 3D-Druck und bieten Ihnen die Möglichkeit sich mit anderen Unternehmen, Partnern oder Kunden auszutauschen. Die Mitgliedschaft ist kostenfrei.

Kontaktieren Sie uns per Telefon, per E-Mail oder über die sozialen Medien. Gerne können Sie auch eine unserer Veranstaltungen nutzen, um mit uns ins Gespräch zu kommen.

Wir freuen uns auf den Dialog mit Ihnen!



Alexander Hilck
Projektleiter
Niedersachsen ADDITIV

KONTAKT

Niedersachsen ADDITIV
c/o Laser Zentrum Hannover e.V. (LZH)
Alexander Hilck
Hollerithallee 8, 30419 Hannover
Tel.: +49 (0)511 2788-160
Fax: +49 (0)511 2788-100

E-Mail: info@niedersachsen-additiv.de
Web: www.niedersachsen-additiv.de



ALLGEMEINE FRAGEN

1) Was ist 3D-Druck und was bedeutet Additive Fertigung?

Anders als bei der konventionellen (subtraktiven) Fertigung, bei der Material durch zerspanende Verfahren wie Fräsen, Drehen oder Bohren vom Rohling als Span abgenommen wird, verbindet die Additive Fertigung Pulverpartikel oder Moleküle miteinander, indem diese aufgeschmolzen oder miteinander vernetzt werden.

Der 3D-Druck ist von einer Nischenanwendung zu einer viel beachteten Technologie mit hohem Wachstumspotenzial geworden. Viele Unternehmen erwägen den Einstieg, benötigen jedoch zunächst eine Orientierungshilfe, was 3D-Druck überhaupt bedeutet und welches Grundprinzip sich hinter dieser Technologie verbirgt.

Unter Additiver Fertigung, dem sogenannten 3D-Druck, versteht man Verfahren, mit denen durch Aufeinanderdrucken von zweidimensionalen Schichten oder durch die Addition kleiner Elemente ein dreidimensionales Objekt hergestellt wird.

Da sich diese Prozesse anfangs ausschließlich zur Herstellung von Prototypen, Baumustern und Ansichtsexemplaren eigneten, fasste man die Verfahren zunächst unter dem Oberbegriff *Rapid Prototyping* zusammen. Später etablierten sich Oberbegriffe wie *Rapid Manufacturing* [2] oder *Rapid Tooling*.

Heute sind die Benennungen 3D-Druck, Additive Fertigung oder Additive Manufacturing gängig und inhaltlich gleichbedeutend. Für Einsteiger mag die Vielzahl der Benennungen zunächst verwirrend sein. Deshalb ist es wichtig zu wissen, dass das Grundprinzip bei allen Verfahren gleich ist:

Additive Fertigungsverfahren verbinden pulverförmige oder flüssige Werkstoffe zu einem dreidimensionalen Objekt. In weiteren Bearbeitungsschritten entsteht daraus das fertige Bauteil - ganz ohne den Einsatz formgebender Verfahren.

Historie

Obwohl die Additive Fertigung heute als das bedeutendste Herstellungsverfahren für die digitalisierte, industrielle Produktion (Industrie 4.0) gilt, existieren erste Verfahren bereits seit den 1980er Jahren. Schon 1986 legte Charles W. Hull die Grundlage für den heutigen 3D-Druck: Er erfand die Stereolithographie. Dabei härtet UV-Strahlung flüssigen Kunststoff Schicht für Schicht aus. So entsteht nach und nach das fertige Bauteil.

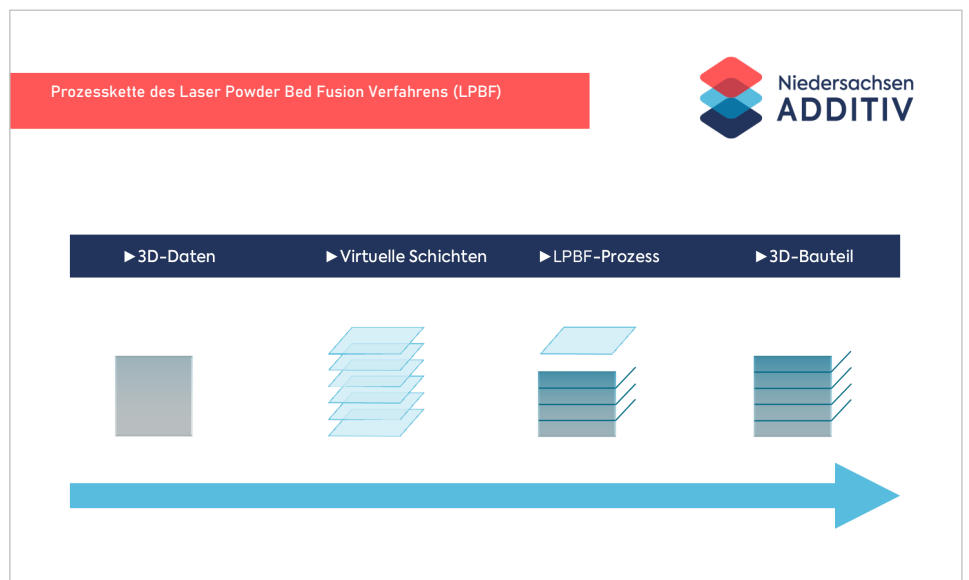
In den vergangenen 30 Jahren kamen zahlreiche Verfahren hinzu wie etwa:

- Selektives Laser Sintern (SLS)
- Laser Powder Bed Fusion (LPBF)
- Laserstrahlaufragschweißen (DED)

Mit diesen und anderen Verfahren lassen sich

- Kunststoffe,
- Metalle,
- Gläser und
- Keramiken drucken.

Vom Rapid Prototyping zur Additiven Fertigung



Bauteile entstehen Schicht für Schicht

Bei den meisten 3D-Druckverfahren entstehen die Bauteile so wie in der Abbildung schematisch dargestellt:

- 1) Der Konstrukteur erstellt das Bauteil in einem CAD-Programm und erzeugt aus den 3D-Daten schließlich eine 3D-Druckdatei.
- 2) Öffnet man die 3D-Druckdatei mit der Software eines 3D-Druckers zerlegt dieses Programm (Slicer) das Bauteil in virtuelle Schichten.

ALLGEMEINE FRAGEN

- 3) Der 3D-Drucker druckt die zuvor virtuell definierten Schichten nach und nach physisch aufeinander.
- 4) So entsteht Schicht für Schicht das Bauteil. Die Schichtdicke hängt von verschiedenen Prozessparametern ab und bestimmt die Auflösung des Bauteils.
- 5) Vor der Verwendung des Bauteils ist häufig eine Nachbehandlung erforderlich, etwa um Stützstrukturen zu entfernen oder die Oberflächengüte zu verbessern.



2) Wann ist 3D-Druck sinnvoll?

3D-Druck kann konventionelle Fertigungsmethoden aktuell noch nicht gleichwertig ersetzen. Im direkten Vergleich dauert der 3D-Druckprozess länger als Spritzguss oder zerspanende Fertigung. Werden jedoch nur kleine Stückzahlen benötigt, müssen beispielsweise sowohl die Zeit als auch die Kosten für den Formenbau berücksichtigt werden. Hier kann die Additive Fertigung erheblich günstiger und schneller als die konventionelle Fertigung sein. Grundsätzlich gilt:

Je kleiner die Stückzahl und je komplexer das Bauteil, umso eher lohnt sich die Additive Fertigung.

Vorteile des 3D-Drucks bei komplexen Geometrien

Konstrukteure müssen umdenken und neue Methoden erlernen, um komplexe Bauteile für den 3D-Druck konstruieren zu können. Mit diesem Know-how sind sie dann in der Lage, die Vorteile und Möglichkeiten der Additiven Fertigung auszuschöpfen. Nicht nur für einzelne Bauteile, sondern auch für die Fertigung ganzer Baugruppen ermöglicht der 3D-Druck völlig neue Design- und Produktionskonzepte.

Konventionell müssen Baugruppen teilweise einzeln gefertigt werden, da einige Bereiche des Bauteils für die Werkzeuge nicht zur Fertigung erreichbar sind. Additiv lassen sich solch komplexe Strukturen schichtweise drucken, und es ist nicht mehr erforderlich mehrere Bauteile einzeln zu fertigen, die anschließend verschweißt oder verschraubt werden müssen.



Lässt sich eine Baugruppe aus fünf Bauteilen in nur einem Schritt additiv fertigen, ersetzt ein einziger Druckvorgang fünf Fertigungsschritte, fünf Endbearbeitungen und fünf Qualitätskontrollen durch einen Fertigungsschritt, eine Endbearbeitung und eine Qualitätskontrolle.

Zudem entfallen sowohl die Montage als auch die Dichtigkeitsprüfung. Unter diesen Umständen kann 3D-Druck die wirtschaftlichere Variante sein.

3D-Druck ist darüber hinaus zum Beispiel dann von Vorteil, wenn sich damit die mechanische Belastbarkeit eines Bauteils steigern oder durch neue Konstruktionsmethoden Material und Gewicht einsparen lässt, wie bei einer Topologieoptimierung.

3) Wie bekomme ich 3D-gedruckte Teile: Dienstleister oder Eigenfertigung?

Viele Unternehmen möchten Additive Fertigungsverfahren in ihre Produktionsprozesse integrieren. Manche Firmen kennen die Vorteile dieser Verfahren und haben bereits Prototypen oder Funktionsbauteile identifiziert, die sich für den 3D-Druck eignen.

- Doch wie kann die Umsetzung im Betrieb gelingen?
- Und was ist sinnvoller: Eigen- oder Fremdfertigung?

Um diese Fragen beantworten zu können, bedarf es im ersten Schritt einer Analyse der Voraussetzungen im Betrieb und der Anforderungen an die Bauteile. Die folgenden Anhaltspunkte sollten dabei berücksichtigt werden:

Fremdfertigung: Formen der Zusammenarbeit zwischen Unternehmen und Lieferanten

Das Unternehmen und der Lieferant können auf verschiedene Art und Weise zusammenarbeiten. Zum Beispiel:

- Jahresverträge
- Entwicklungskooperationen
- Joint Ventures
- Franchise-Verträge
- Betreibermodelle

Eigenfertigung: Personelle und finanzielle Ressourcen

Eine zu hohe Leistungstiefe bindet Mitarbeiter/Innen und Kapital in den Unternehmen. Für die Kernaufgaben stehen diese Ressourcen dann nicht mehr zur Verfügung. Deshalb sollte jedes Unternehmen sorgfältig abwägen, ob das für die Eigenfertigung erforderliche Personal und Kapital vorhanden ist und ob es wirtschaftlich sinnvoll ist, diese für die Eigenfertigung einzusetzen.

Technologische Wettbewerbsfähigkeit

Der Markt und neue Technologien wie der 3D-Druck sind hochdynamisch. Unternehmen sollten bei der Frage nach Eigen- oder Fremdfertigung genau analysieren, welchen Einfluss die 3D-Drucktechnologie auf das Geschäftsmodell hat. Je nach Ergebnis ist dann abzuwägen, ob das Know-how im eigenen Unternehmen aufgebaut und gehalten werden sollte oder ob Lieferanten die sinnvollere Lösung darstellen.

Zuverlässigkeit und Abhängigkeit von Lieferanten

3D-gedruckte Bauteile von Lieferanten zu beziehen, bietet viele Vorteile. Dennoch sollten Unternehmen dabei immer auch die Abhängigkeit vom Lieferanten bedenken. Um die Produktion auch bei Lieferengpässen sichern zu können, sollten verschiedene Szenarien durchgespielt und geeignete Vorkehrungen getroffen werden.

Optionen für Unternehmen

EIGENFERTIGUNG

+ VORTEILE

- Unabhängigkeit von Lieferanten
- Wissensaufbau im eigenen Unternehmen
- Sicherung der technologischen Wettbewerbsfähigkeit

! NACHTEILE

- Investitionen in Anlagen und Personal

FREMFERTIGUNG

+ VORTEILE

- 3D-Bauteile sind schnell verfügbar
- Keine Investitionen in Anlagen und Personal
- Qualitätssicherung durch erfahrene Lieferanten
- Verschiedene Formen der Zusammenarbeit möglich

! NACHTEILE

- Abhängigkeit vom Lieferanten

ALLGEMEINE FRAGEN

4) Welche Bauteile kann ich drucken?

Je nachdem wo und wie das Bauteil eingesetzt werden soll, unterscheidet man

- Prototypen sowie
- funktionale und sicherheitsrelevante Bauteile.

Prototypen

Möchte ein Unternehmen 3D-Bauteile beispielsweise als Prototypen in einem Entwicklungsprozess einsetzen, kann die Anschaffung eines kostengünstigen Desktop-3D-Druckers eine praktikable Lösung sein. Jedoch sollten die Anforderungen an die Präzision der Bauteile relativ große Toleranzen zulassen.

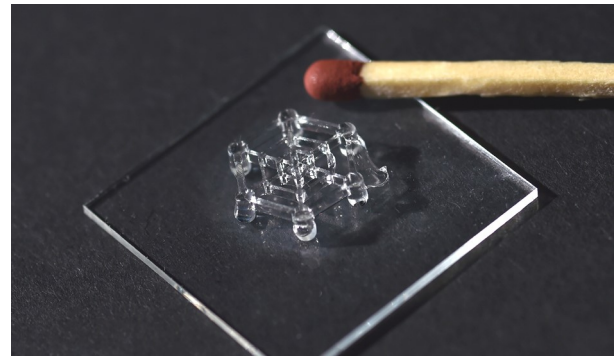
Funktionale und sicherheitsrelevante Bauteile

Für Sonderbauteile mit sehr großen Abmessungen oder einem sicherheitskritischen Einsatzzweck kann es sinnvoll sein, einen erfahrenen Lieferanten zu beauftragen. Diese verfügen im Allgemeinen sowohl über das erforderliche Fachwissen als auch über einen geeigneten Maschinenpark, um spezielle Anforderungen und minimale Toleranzen bei der Fertigung erfüllen zu können.

Anforderungen gemäß DIN-EN-ISO-Norm

Die Norm **DIN EN ISO 17296-3** definiert unterschiedliche Anforderungen an die Eigenschaften von 3D-Bauteilen. Diese betreffen etwa:

- die Oberfläche (z. B. Farbe, Oberflächenstruktur),
- die geometrischen Anforderungen (z. B. Größe, Länge),
- die mechanischen Anforderungen (z. B. Härte, Zugfestigkeit) und
- Anforderungen an die Aufbauwerkstoffe (z. B. Dichte, chemische Eigenschaften).



ALLGEMEINE FRAGEN

5) Wie viele Bauteile kann ich drucken?

Die Stückzahl hat einen wesentlichen Einfluss auf die Entscheidung, ob eine Eigen- oder Fremdfertigung sinnvoll ist. Erst ab einer bestimmten Stückzahl ist es wirtschaftlich, eigene 3D-Druckanlagen zu betreiben. Werden additiv gefertigte Bauteile in geringer Stückzahl benötigt, sollte ein Dienstleister beauftragt werden, da die Auslastung eigener Anlagen in diesem Fall nicht sichergestellt werden kann.

Ein weiterer Vorteil der Fremdfertigung durch einen Druckdienstleister ist, dass dieser zumeist flexibel auf Bedarfsschwankungen reagieren kann, da sich die Auftragsvolumina relativ problemlos anpassen lassen. Ab welcher Stückzahl die Additive Fertigung eines Bauteils wirtschaftlich ist, lässt sich nicht pauschal beantworten, da dies von vielen Faktoren abhängt. Maßgeblich sind



unter anderem der Werkstoff, das 3D-Druckverfahren sowie die Bauteilgeometrie. **Sprechen Sie uns gerne an für eine unverbindliche und kostenfreie Erstberatung.**

ALLGEMEINE FRAGEN

6) Welche Bedeutung hat die Datensicherheit und welche Unterstützungsangebote für Unternehmen gibt es?

Kein 3D-Druck ohne digitale Daten – um mittels Additiver Fertigung Bauteile zu drucken, muss die 3D-Druckanlage Daten über das zu fertigende Bauteil verarbeiten. Ob Konstrukteure diese Daten direkt im Computernetzwerk des fertigenden Unternehmens generieren, der Kunde einen Datensatz per E-Mail übermittelt oder auf einem Portal des fertigenden Unternehmens hochlädt: Diese Daten sind vor Cyberangriffen zu schützen.

Datensicherheit ist ein Wettbewerbsvorteil

Dabei geht es nicht nur darum, dass die Daten nicht von Dritten abgefangen und zur Herstellung von Produktfälschungen missbraucht werden können. Auch muss die Integrität der Daten gewahrt werden, damit diese nicht von Dritten verändert werden. Je nach Anwendungsfall kann der Datensatz auch personenbezogene Daten enthalten, die wiederum besonders schützenswert sind. Neben qualitativen und wettbewerblichen Aspekten hat die Cybersicherheit auch eine juristische Dimension. Beinhaltet ein Datensatz etwa Geschäftsgeheimnisse wie 3D-Druckdaten für Produktprototypen, muss der Kunde sicher sein können, dass der Auftragnehmer seine Daten zuverlässig schützt. Neben einer Vertraulichkeitsvereinbarung müssen sowohl Auftraggeber als auch Auftragnehmer technische und organisatorische Maßnahmen umsetzen, um die Daten vor unbefugten Zugriffen zu schützen. Unternehmen, die dieser Herausforderung aktiv begegnen, verschaffen sich einen signifikanten Wettbewerbsvorteil. So kann auch die Anwendung der Blockchain-Technologie den direkten Datenaustausch von Unternehmen zu Unternehmen absichern oder die Anzahl der zugelassenen Drucke limitieren.

KMU im Visier von Cyberkriminellen

Hackerangriffe auf Unternehmen jeder Größe sind keine

Seltenheit, sondern zählen zum Alltag. Dennoch stoßen IT-Verantwortliche, die auf die Gefahr von Datendiebstahl, finanzielle Schäden, Reputationsverluste oder Schadsoftware wie etwa Verschlüsselungstrojaner hinweisen, nicht selten auf Ablehnung. Besonders in KMU erhält das komplexe Thema Cybersicherheit im Tagesgeschäft nicht selten eine untergeordnete Bedeutung. Zudem mangelt es oftmals am Budget für Hard- und Software sowie die Einstellung oder Schulung von Fachpersonal. Für Cyberkriminelle sind diese Unternehmen bevorzugte Angriffsziele.

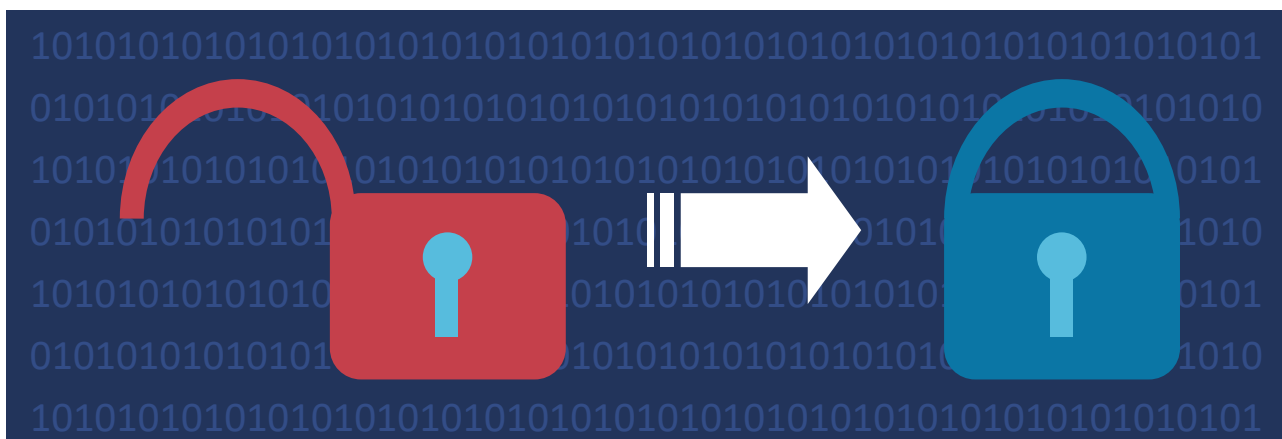
Unternehmen, die in den 3D-Druck einsteigen wollen, sollten IT-Sicherheit deshalb nicht außer Acht lassen und die verfügbaren Beratungs- und Förderangebote nutzen!

Zentrales Informationsportal zur IT-Sicherheit

Die Digitalagentur Niedersachsen bietet Unternehmen unter <https://digitalagentur-niedersachsen.de/it-sicherheit> ein zentrales Informationsportal für IT-Sicherheit mit Beratungs- und Unterstützungsangeboten zur Datensicherheit und zum Datenschutz. Darüber hinaus bietet das Onlineportal Selbstchecks an, informiert über Veranstaltungen und aktuelle IT-Sicherheitsthemen.

Digitalbonus für KMU in Niedersachsen

Kleine und mittelständische Unternehmen werden mit einem Zuschuss für Investitionen in Hard- und Software sowie IT-Sicherheit gefördert. Infos zu diesem Förderprogramm stellt die Investitions- und Förderbank des Landes Niedersachsen (NBank) unter [Digitalbonus.Niedersachsen \(nbank.de\)](https://www.nbank.de) allen Interessierten zur Verfügung bereit.



7) Was muss ich bei der Einführung des 3D-Drucks in meinem Unternehmen beachten?

Kapital für die Investition in 3D-Druckanlagen bereitstellen

Je nach 3D-Druckverfahren und Einsatzzweck entstehen bei der Anschaffung einer 3D-Druckanlage Kosten in Höhe von einigen hundert Euro für einfache Desktopgeräte bis hin zu Millionenbeträgen für professionelle Großanlagen.

Kapital für Zusatzkosten berücksichtigen

Schulungen für das Personal, Softwarelizenzen und -anpassungen sowie Wartungsarbeiten an den Anlagen sollte jedes Unternehmen einkalkulieren.

Die Investition in eine 3D-Druckanlage bringt daher nicht unerhebliche Kosten mit sich, die mit einem entsprechenden Geschäftsmodell gerechtfertigt werden sollten.

Zeitfenster für die Mitarbeiterqualifizierung einplanen

Für die Auswahl und Beschaffung der Anlage sowie für die Qualifizierung der Mitarbeiter/Innen sollten Unternehmen großzügige Zeitfenster einplanen, die je nach Ausgangs- und Zielqualifikation erheblich variieren können. Nähere Informationen zu diesem Thema finden Sie in Kapitel 12).

Prüfen, wie zeitnah Bauteile benötigt werden

Wenn ein Unternehmen 3D-gedruckte Bauteile zeitnah benötigt und noch nicht über eigene 3D-Druckanlagen verfügt, sollte der Fremdbezug der Eigenfertigung vorgezogen werden.

Desktopgeräte in einer Büroumgebung

Ob 3D-Drucker im eigenen Unternehmen eingesetzt werden können, hängt stark von den Umgebungsbedingungen ab.

3D-Kunststoffdrucker, die mit Filamenten arbeiten, sind prinzipiell auch für den Einsatz im Büro geeignet. Bei diesen Geräten erwärmt eine Extrusionsdüse den festen Kunststoff und verflüssigt diesen. Nachdem der flüssige Kunststoff aus der Düse herausgedrückt wurde, kühlt dieser ab und verfestigt sich wieder.

Allerdings entweichen bei diesem Verfahren Kleinstpartikel in die Raumluft. Diese können vom Menschen eingeatmet werden. Deshalb sollten die Büroräume sehr gut belüftet sein. Zudem sollten sich Personen grundsätzlich nicht dauerhaft in der Nähe eines 3D-Druckers aufhalten.

Andere 3D-Druckanlagen

Die meisten 3D-Druckanlagen stellen höhere Anforderungen an die Produktionsumgebung. Arbeitet die

Anlage beispielsweise mit Pulvern, bedürfen diese häufig einer speziellen Handhabung. Dafür sind etwa Pulversammel- und Pulverrecyclinganlagen erforderlich, in denen die Pulver und bei der Fertigung anfallende Pulverreste vorschriftsmäßig gelagert und die Reste der Wiederverwertung zugeführt werden können.

Materialien für den 3D-Druck sind zum Teil gesundheitsgefährdend. Zum Beispiel werden in Stereolithografieanlagen Harze verarbeitet, die Augenreizungen oder allergische Hautreaktionen hervorrufen können. Deshalb sollten Unternehmen sorgfältig prüfen, ob geeignete Räumlichkeiten im eigenen Betrieb zur Verfügung stehen.

Entscheidungshilfe für Unternehmen

Hat ein Unternehmen entschieden, Additive Fertigungsverfahren zukünftig einzusetzen, steht es vor der Herausforderung, dieses Vorhaben umzusetzen.

Vor der Entscheidung, welche Art von 3D-Druckanlage geeignet ist, sollte das Unternehmen die Situation gründlich analysieren und sich dabei ggf. beraten lassen. Erst dann kann das Unternehmen eine fundierte Entscheidung treffen.

Hier einige Anhaltspunkte als Entscheidungshilfe:

1) Ist für das Unternehmen der Einstieg über die Eigen- oder Fremdfertigung sinnvoller?

Bei kleinen Stückzahlen ist es häufig sinnvoller, die Bauteile durch einen Dienstleister drucken zu lassen. Nähere Informationen finden Sie in Kapitel 2).

2) Welche Bauteile benötigt das Unternehmen und aus welchem Material sollen diese bestehen?

Ist diese entscheidende Frage beantwortet, lässt sich die Auswahl an geeigneten Anlagen direkt einschränken.

3) Welches 3D-Druckverfahren ist für die Anwendung im Unternehmen geeignet?

Nun ist noch zu klären, mit welchem 3D-Druckverfahren sich die Bauteile herstellen lassen. Anschließend wird eine Anlage mit einem Bauraum in geeigneter Größe ausgewählt.

Nun kann das Unternehmen anhand der Investitionskosten und der geplanten Produktion prüfen, ob die Anschaffung einer eigenen 3D-Druckanlage wirtschaftlich sinnvoll ist.

8) Welche Anforderungen an Sicherheit und Arbeitsschutz muss ich berücksichtigen?

Hat ein Unternehmen beschlossen, Bauteile additiv zu fertigen und ein geeignetes Druckverfahren ausgewählt, sollte vor der Integration neuer Anlagentechnik Zeit in das Thema Sicherheit investiert werden. Denn wenn sich Unternehmen vor der Integration neuer Anlagentechnik Gedanken über die sichere Gestaltung der Arbeitsplätze und der Prozesse machen, lassen sich in der Regel Folgekosten durch nachträglich umzusetzende Arbeitsschutzmaßnahmen vermeiden. Deshalb sollten Unternehmen gemäß Arbeitsschutzgesetz vor der Integration Additiver Fertigungsverfahren in der Produktion eine tätigkeitsbezogene Gefährdungsbeurteilung durchführen.

Gefährdungsbeurteilung – nicht nur eine lästige Pflicht!

Ziel der Gefährdungsbeurteilung ist es, bereits im Vorfeld Schutzmaßnahmen abzuleiten, um

- Sach- und Vermögensschäden,
- Arbeitsunfälle
- und berufsbedingte Erkrankungen

beim Umgang mit Additiven Fertigungsverfahren zu vermeiden.

Die Gefährdungsbeurteilung beginnt bei der Auswahl der Maschinen: Unternehmen sollten nicht allein die technischen Spezifikationen wie Bauraumgröße oder verwendbare Materialien vergleichen, sondern sich auch die Sicherheitskonzepte der Anlagen erläutern lassen. Besonderes Augenmerk ist dabei auf folgende Fragen zu legen:

- Welche Restrisiken gehen von den Maschinen aus und wie sind diese während des Betriebs weiter abzusichern?
- Welche Betriebsmittel benötigt die Maschine?
- Welche Wartungsarbeiten sind erforderlich und können diese von den Anlagenbedienern sicher ausgeführt werden?
- Welche zusätzlichen Maßnahmen müssen dafür eventuell ergriffen werden?

Neben allgemein mit dem Betrieb von Maschinen einhergehenden Gefährdungen sind bei Additiven Fertigungsverfahren spezifische Gefährdungen durch die eingesetzten Materialien zu berücksichtigen:

Insbesondere Metallpulver kann sich selbst entzünden, aber auch Kunststoffpulver kann explodieren. Daher sind die entsprechenden technischen Regeln zum **Brand- und Explosionsschutz** zu beachten – von der Lagerung der

Ausgangsstoffe bis zur Entsorgung der Filterrückstände. Besondere Maßnahmen sind dabei:

- Explosionsgeschützte Absaugeinrichtungen.
- Antistatische Sicherheitsschuhe, Arbeitskleidung und Schutzkleidung.
- Getrennte Aufbewahrung von Arbeits- und Straßenkleidung, damit die Stoffe nicht in andere Arbeitsbereiche oder die Sozialräume des Betriebs verschleppt werden.
- Alle Pulverwerkstoffe, sowohl Metall-, als auch Kunststoffpulver, sind lungengängig. Bei einigen Tätigkeiten kann daher der Einsatz von Absaugvorrichtungen oder das Tragen von Atemschutz erforderlich sein. Zudem ist für die betroffenen Mitarbeiter/Innen eine Eignungsuntersuchung durchzuführen.
- Beim Aufschmelzen von Kunststoffen im FFF-Verfahren (Fused Filament Fabrication) entstehen Dämpfe. Die darin enthaltenen Kleinstpartikel können gesundheitsschädlich sein. Deshalb müssen die Räumlichkeiten ausreichend belüftet sein.
- Photopolymere, die unter anderem bei der Stereolithographie (SLA) zum Einsatz kommen, können häufig allergische Hautreaktionen und Augenreizungen auslösen.

Wo finde ich weiterführende Informationen?

Zur sicheren Gestaltung der Arbeitsbedingungen finden Sie unter den Stichworten „3D-Druck“ oder „Additive Fertigung“ Informationen auf diesen Portalen:

- Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung: www.dguv.de
- Bundesanstalt für Arbeitsschutz- und Arbeitsmedizin: www.baua.de



Bild: Laserstrahlaufragschweißen (DED) mit Atemschutz und Handschuhen. (Foto: LZH)

9) Wie lange dauert der 3D-Druck eines Bauteils?

Diese Frage lässt sich nicht pauschal beantworten, da die Druckzeit von zahlreichen Einflussfaktoren abhängt, unter anderem

- vom Druckverfahren
- vom Material
- und von der Auflösung des Bauteils

Grundsätzlich sind die Prozesszeiten von Additiven Fertigungsanlagen im Vergleich zu konventionellen Fertigungsverfahren relativ lang.

Bei allen Verfahren kann eine Nacharbeit erforderlich sein, um Anforderungen an die Genauigkeit von Oberflächen oder Geometrien zu erreichen. Diese kann mechanisch, etwa durch Schleifen, thermisch oder chemisch erfolgen.

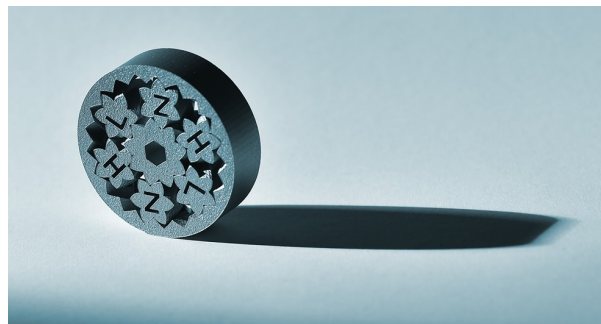


Bild: Der Druck dieses Planetengetriebes aus Edelstahl mit einem Durchmesser von ca. 5 cm und einer Dicke von 1 cm dauert etwa 10 bis 12 Stunden. (Foto: LZH)

ORIENTIERUNGSHILFE ZU PROZESSZEITEN BEIM 3D-DRUCK

3D-Druckprozesse für Kunststoffe

Einige Verfahren, wie das **Digital Light Processing (DLP)** gegenüber der **Stereolithographie (SLA)** und das **Jet Fusion** gegenüber dem **Selektiven Lasersintern (SLS)**, erreichen höhere Prozessgeschwindigkeiten, indem ganze Flächen beleuchtet werden, anstatt die Kontur der Bauteile abzufahren.

Das **Binder Jetting** weist durch die Verwendung eines Klebers eine hohe Prozessgeschwindigkeit auf. Um mechanisch belastbare Bauteile zu erhalten, ist aber ein zeitaufwendiger Sintervorgang nötig. Hinzu kommt, dass gedruckte Bauteile oft nachbearbeitet werden müssen (Post-Processing), um etwa Stützstrukturen zu entfernen oder die gewünschte Genauigkeit von Oberflächen und Geometrien durch mechanische, thermische oder chemische Verfahren zu erreichen.

Das **Fused Filament Fabrication (FFF)** und das **Polyjet-Verfahren** setzen zum Teil auf auswaschbare Stützstrukturen. Üblicherweise werden Stützstrukturen mechanisch entfernt. Der Aufwand für die Entfernung hängt dann vom verwendeten Werkstoff ab.

3D-Druckprozesse für Metalle

Pulverbettbasierte Verfahren kommen dank der Abstützung durch das Pulver ohne Stützstrukturen aus. Eine Ausnahme bildet das **Laser Powder Bed Fusion (LPBF)** Verfahren, bei dem Stützstrukturen aufgrund von Wärmeableitungsmaßnahmen vom Bauteil benötigt werden.

Allgemein entsteht bei den pulverbettbasierten Verfahren ein hoher Aufwand für den Umgang mit dem Pulver.

10) Was kostet die Einführung des 3D-Drucks in meinem Unternehmen?

Die Investitionskosten hängen davon ab, welche/s Additive Fertigungsverfahren für die zu produzierenden Bauteile am besten geeignet ist.

Kosten für FFF- (Fused Filament Fabrication), SLA- (Stereolithographie) und DLP- (Digital Light Processing) Anlagen

Die Anschaffungskosten für Anlagen für das Fused Filament Fabrication (FFF), die Stereolithographie (SLA) und das Digital Light Processing (DLP) reichen von einigen hundert Euro für einfache Desktopgeräte bis hin zu einigen hunderttausend Euro für industrielle Produktionssysteme.

PRAXISTIPP

Die Produktivität mit einer Druckerfarm steigern

Ein wesentlicher Preistreiber ist der maximale Bauraum. Wenn der Bauraum der günstigeren Desktopgeräte für das größte zu produzierende Bauteil ausreicht, sollte die Anschaffung eines oder mehrerer Desktopgeräte anstelle eines industriellen Systems erwogen werden. Beispiel:

- Kosten für eine FFF-Industrieanlage mit 63,84 Liter Bauraum: ca. 30.000 Euro
- Kosten für ein Desktopgerät mit 9,25 Liter Bauraum: ca. 3.000 Euro.

Im größeren Bauraum der Industrieanlage lässt sich eine größere Anzahl Bauteile in einem Druckvorgang fertigen. Dieser Zeitvorteil ist beim FFF-Verfahren jedoch gering, da die Aufheiz- und Abkühlvorgänge sowie die Entnahme des Bauteils in der Regel nicht lange dauern.

Beschafft ein Unternehmen anstelle einer Industrieanlage für ca. 30.000 Euro zehn Desktopgeräte zu etwa 3.000 Euro und bildet damit eine Druckerfarm, lässt sich die Produktivität deutlich steigern. Durch den Betrieb mehrerer Geräte kann das Unternehmen zudem später eingehende Druckaufträge flexibler handhaben.

Je größer der Bauraum, desto größer ist auch die Wahrscheinlichkeit, dass es zu schwankenden Bau- raumbedingungen kommt. Diese können Fehler beim Druckvorgang hervorrufen, die wiederum zu Beschädigungen aller Bauteile eines Druckes führen können.

Vorteile von Anlagen für die industrielle Produktion

Die Qualität der Bauteile ist bei Industrieanlagen in der Regel höher als bei Desktopgeräten. Zudem verfügen Anbieter von Industrieanlagen häufig über einen besseren Service und bieten beispielsweise Druckprofile für qualifizierte Materialien an. Somit können Unternehmen bei Industrieanlagen eine höhere (Wiederhol-)Genauigkeit sowie Zuverlässigkeit erwarten.

Die Entscheidung für eine Industrieanlage kann daher, trotz ausreichendem Bauraum der Desktopgeräte und unter Berücksichtigung des Verwendungszwecks der zu produzierenden Bauteile (Prototypen, funktionale Bauteile, sicherheitsrelevante Bauteile), die wirtschaftlichere Lösung sein.

Kosten für FFF-, SLA- und DLP-Materialien

FFF-Materialien:

Die Kosten hängen stark vom jeweiligen Material ab: Günstige Polylactide (PLA) sind für unter 20 Euro/kg erhältlich, wohingegen der Hochleistungswerkstoff Polyetheretherketon (PEEK) etwa 1000 Euro/kg kostet.

SLA-, DLP- und Polyjet/Multijet-Materialien:

Diese Verfahren basieren auf dem Effekt der Photopolymerisation. Hierfür eignen sich ausschließlich flüssige Materialien, die auf Lichteinstrahlung reagieren, indem sich niedermolekulare Moleküle (Monomere) zu Makromolekülen vernetzen und so ein Polymer bilden. Die Kosten für diese Materialien liegen zwischen 100 und 450 Euro/kg.

Kosten für Polyjet- und Multijet-Anlagen

- Desktop-Polyjetgeräte kosten ca. 20.000 Euro und Industriegeräte ca. 600.000 Euro.
- Multi Jet Fusion Geräte kosten zwischen ca. 50.000 Euro und mehreren hunderttausend Euro.
- Aerosol Jet Anlagen starten bei ca. 50.000 Euro.

Kosten für Pulver-basierte Anlagen

- Günstige SLS-Anlagen sind für etwa 10.000 Euro erhältlich, während Anlagen für die industrielle Produktion einige hunderttausend Euro kosten.
- Industrieanlagen für das Binder Jetting liegen zwischen 50.000 Euro und mehr als 1.000.000 Euro.
- LPBF-Anlagen starten bei ca. 100.000 Euro.

FRAGEN ZUR WIRTSCHAFTLICHKEIT UND MITARBEITERQUALIFIZIERUNG

Wirtschaftlichkeitsbewertung

Pulverbettverfahren für Metalle

Für pulverbettbasierte Verfahren gelten andere Maßstäbe bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit als beim FFF- bzw. SLA-Verfahren. Bei Pulverbettverfahren sollte der Bauraum möglichst vollständig mit Bauteilen gepackt sein, sodass die langsamen Aufheiz- und Abkühlvorgänge weniger stark ins Gewicht fallen. Außerdem muss der gesamte Bauraum der Anlage mit Pulver gefüllt sein. Überschüssiges Pulver lässt sich jedoch nicht vollständig recyceln.

Das LPBF-Verfahren ist ausschließlich mit hochpreisigen Geräten im Markt vertreten. Die Anschaffungskosten amortisieren sich in der Regel nur bei einer hohen Auslastung der Maschinen und des Bauraums. Andernfalls ist ein Fremdbezug in Betracht zu ziehen (siehe auch Kapitel 3).

Pulverbettverfahren für Kunststoffe

Für das SLS-Verfahren existieren Desktopgeräte, die für wenige zehntausend Euro erhältlich sind. Allgemein ist die Bezeichnung Desktopgerät im Zusammenhang mit pulverbettbasierten Verfahren kritisch zu betrachten, da der Umgang mit den feinen, lungengängigen Pulvern gesundheitliche Risiken birgt

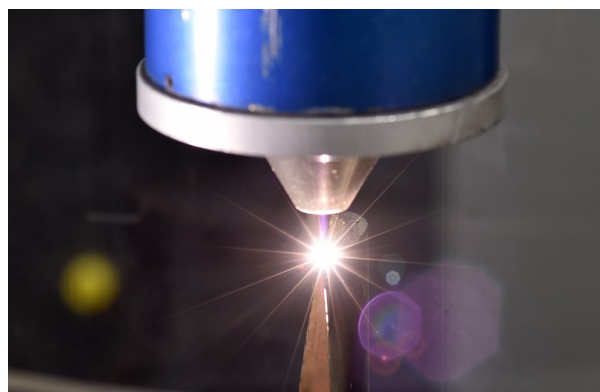


Bild: Laserstrahlaufragschweißen (DED) (Foto: LZH)

(siehe auch Kapitel 8). Was muss ich beim Aufstellen eines 3D-Druckers beachten? Und Welche Sicherheitsanforderungen gibt es?

Kosten für pulverförmige Materialien

- Der für das SLS-Verfahren häufig verwendete Pulverwerkstoff PA12 kostet ca. 120 - 150 Euro pro kg.
- Für die metallverarbeitenden Verfahren LPBF kostet beispielsweise Edelstahlpulver (316L) ca. 40 Euro pro kg, gleichwertiges Material in Drahtform für das Laserstrahlaufragschweißen erhält man für ca. 20 Euro pro kg.

11) Wann lohnt sich die Investition in eine eigene 3D-Druckanlage?

Die Investition in einen günstigen FFF-Drucker (Fused Filament Fabrication) lohnt sich in jedem Fall. Diese Systeme eignen sich für alle, die den 3D-Druck kennenlernen und ausprobieren möchten. Individuelle Anlagenkomponenten, die sonst mit zerspanenden Verfahren hergestellt werden, können damit auch Einsteiger oft erheblich schneller selbst drucken als diese über das Internet von einem Drittanbieter zu beschaffen wären. Dazu braucht es lediglich etwas Konstruktions- und Druckerfahrung.

Die Investition in teurere Anlagen lohnt sich meist erst bei höheren Stückzahlen und Bauteilen mit komplexen Geometrien. Für diese Entscheidung bedarf es einer individuellen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, die alle Kostenfaktoren berücksichtigt.

Grundsätzlich gilt:

Je geringer die Stückzahl bzw. je individueller die Bauteile sind, umso eher lohnt sich die Investition in die Additive Fertigung.

Weiterhin lohnt es sich zu prüfen bzw. prüfen zu lassen, ob in der Produktion mehrere Bauteile als Baugruppe durch ein additiv gefertigtes Bauteil zu ersetzen sind. Denn es gilt weiterhin: Je komplexer ein Bauteil, desto eher lohnt sich die Additive Fertigung. So lässt sich ein Zusammenschluss einfacher Bauteile, also eine Baugruppe, durch ein einziges additiv gefertigtes Bauteil ersetzen.

12) Wie muss ich meine Mitarbeiter/Innen für den 3D-Druck qualifizieren?

Fachkräfte für die Additive Fertigung müssen in der Lage sein, die Anlage zu bedienen, Fehler zu erkennen und diese zu beheben. Je nach Druckverfahren braucht ein Betrieb spezielle Beauftragte. Kommt ein laserbasiertes 3D-Druckverfahren zum Einsatz, ist ein Laserschutzbeauftragter zwingend erforderlich.

Kunden oder spezifische Normen können den Nachweis für qualifiziertes Personal erfordern, zum Beispiel im Luft- und Raumfahrzeugbau die DIN 35225:2017-06 zur Prüfung von Bedienern für pulverbettbasierte Laserstrahlanlagen zur Additiven Fertigung. Neue Berufsbilder für die Additive Fertigung sind derzeit nicht vorgesehen. Deshalb bleibt Unternehmen nur die Möglichkeit, Auszubildende oder Mitarbeiter/Innen bedarfsgerecht für den 3D-Druck zu qualifizieren.

Bei der Suche nach geeigneten Weiterbildungspartnern ist Ihnen Niedersachsen ADDITIV gerne behilflich. Sowohl die Anlagenhersteller als auch Bildungseinrichtungen bieten verschiedenste Programme an.

Welche Möglichkeiten haben Unternehmen, ihr Personal nachweisbar zu qualifizieren?

Additive Fertigung in der beruflichen Erstausbildung

Unternehmen können Auszubildenden geeignete Zusatzqualifikationen anbieten, die über einen Zeitraum von mind. 8 Wochen die erforderlichen Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten vermitteln. Auf Antrag des Auszubildenden und mit Zustimmung des Betriebes prüft und bescheinigt die IHK diese Zusatzqualifikationen. Die Zusatzqualifikation „Additive Fertigungsverfahren“ wurde für die industriellen Metallberufe und den Mechatroniker in die Ausbildungsordnungen aufgenommen.

Weiterbildungsangebote für die Additive Fertigung

Der Nachweis für qualifiziertes Personal gelingt am einfachsten über eine externe Qualifizierung, Prüfung und Zertifizierung. Die ersten verfügbaren Ausbildungsrichtlinien für die Additive Fertigung waren

- die DVS-Richtlinie 3602-1 (Fachkraft für Additive Fertigungsverfahren – Fachrichtung Metall)
- und die DVS-Richtlinie 3602-2 (Fachkraft für Additive Fertigungsverfahren – Fachrichtung Kunststoffe).

Die LZH Laser Akademie GmbH und andere Anbieter, wie etwa Industrie- und Handelskammern, haben geeignete Qualifizierungsangebote im Programm.



Bild: Ausbildung zur Fachkraft für Additive Fertigung (Foto: LZH Laser Akademie GmbH)

Die Zielgruppen sind qualifizierte Facharbeiter, Meister und Techniker, die für die Bedienung von Anlagen zum selektiven Laserstrahlschmelzen verantwortlich sind oder sein werden. Die Zertifizierung erfolgt durch DVS PersZert. Zurzeit bieten neben der LZH Laser Akademie GmbH fünf DVS-Bildungseinrichtungen* diese Lehrgänge an. Diese sind auch dazu geeignet, Mitarbeiter/Innen auf eine Bedienerprüfung vorzubereiten. Die Teilnehmer/Innen erhalten umfassende Kenntnisse über die Verfahrensprinzipien und Prozessparameter sowie zu den einzelnen Fertigungsschritten entlang der Prozesskette. Erfolgreiche Teilnehmer/Innen erhalten das Zeugnis „Fachkraft für Additive Fertigungsverfahren“.

Entwickeln und Konstruieren für den 3D-Druck

Für den erfolgreichen Einsatz Additiver Fertigung im Produktionsprozess benötigen auch Konstrukteure und Entwickler grundlegende Kenntnisse der Herstellungsprozesse. Nur so können sie für jede Anwendung das geeignete Verfahren oder eine Kombination geeigneter Verfahren auswählen. Diese Kompetenz geht über die reine Anlagenbedienung weit hinaus und kann zum Beispiel in berufsbegleitenden, längerfristigen Weiterbildungen erworben werden. Etwa durch den Studiengang Anwendungstechniker (FH) für Additive Verfahren/Rapid-Technologien, den die Hochschule Schmalkalden in Thüringen als zweisemestrige Weiterbildung mit Hochschulzertifikat anbietet.

Weiterführende Links:

- www.gsi-slv.de/aus-weiterbildung/bildung/
- www.hs-schmalkalden.de

(* siehe www.dvs-bildungseinrichtungen.de)

14) Kann ich alle Materialien mit EINEM Drucker verdrucken?

Nein, das ist nicht möglich, da sich nicht alle Materialien auf dieselbe Weise bzw. mit demselben Verfahren drucken lassen.

Druckbare Materialien werden zunächst wie folgt unterteilt:

- Metalle
- Kunststoffe
- Keramik
- Gummi/Kautschuk

Diese Materialgruppen werden noch weiter unterteilt: Metalle unterscheidet man vornehmlich nach der Anwendung:

- Komplette Bauteile aus Metall stellt man bevorzugt mittels Pulverbettverfahren her.
- Sind Metallbauteile zu reparieren, zu beschichten oder zusätzliche Aufbauten gewünscht, kommt das Auftragschweißen zum Einsatz.

Weitere Informationen zu Metalldruckverfahren finden Sie in Kapitel 15).

Kunststoffe unterscheidet man nach ihrer Verarbeitbarkeit:

- Photopolymere zum Beispiel sind lichtempfindliche Kunststoffe, die sich verflüssigen und bei Bestrahlung mit Licht aushärten.
- Thermoplaste etwa verflüssigen sich bei Erwärmung und härten durch Abkühlung aus.

Weitere Informationen zu Kunststoffdruckverfahren finden Sie in Kapitel 16).

Die Abbildung zeigt einen qualitativen Vergleich der wichtigsten additiven Fertigungsverfahren und kann als Entscheidungshilfe dienen.

Die Beurteilung der Verfahren wird für die einzelnen Bewertungskriterien im Folgenden näher erläutert.

3D-DRUCK-VERFAHREN	BEWERTUNGS-KRITERIUM										
	Metalverarbeitung	Kunststoffverarbeitung	Verfügbare Materialien	Materialkosten	Anlagenkosten	Genauigkeit von Details	Multimaterialdruck	Prozessgeschwindigkeit	Nachbearbeitbarkeit	Stützstrukturen	Sicherheitsanforderungen
FFF*	+	++	+	+	++	o	+	o	+	+	+
SLS*	--	++	-	+	o	+	-	-	-	++	-
LPBF*	++	--	-	-	-	+	-	-	-	-	-
DED*	++	--	-	o	-	o	o	o	o	o	-
SLA*	--	++	o	o	++	o	-	-	-	o	-
μ-SLA*	--	++	o	o	--	++	-	-	-	-	-
DLP*	--	++	o	o	+	+	-	+	-	o	-
Polyjet	--	++	o	o	o	++	++	o	+	+	+
Binder Jetting	+	+	o	o	-	/	-	+	-	++	--
Jet Fusion	-	++	-	--	o	+	-	+	-	++	--

Abkürzungen*

FFF: Fused Filament Fabrication
 SLS: Selective Laser Sintering
 LPBF: Laser Powder Bed Fusion
 DED: Direct Energy Deposition (Auftragschweißen)

SLA: Stereolithographie
 μ-SLA: Mikro-Stereolithographie
 DLP: Digital Light Processing

Legende

++ sehr gut geeignet - ausreichend geeignet
 + gut geeignet -- ungeeignet
 o befriedigend geeignet

Bild: Qualitativer Vergleich der 3D-Druckverfahren. (Grafik: IPH/LZH)

FRAGEN ZU WERKSTOFFEN UND PROZESSEN

Metall- bzw. Polymerverarbeitung

Eine grobe Einteilung additiver Fertigungsverfahren erfolgt in metall- bzw. polymerverarbeitende Verfahren. Die Verfahren LPBF und DED erzeugen Bauteile durch Aufschmelzen von Metallen und stellen somit rein metallverarbeitende Verfahren dar. Die Verfahren SLA, μ -SLA, DLP, Polyjet, SLS und Jet Fusion verarbeiten ausschließlich Polymere. Das FFF-Verfahren basiert auf der Aufschmelzung von Polymerdraht, dieser kann jedoch mit anderen Werkstoffen, wie beispielsweise Metallpulver, Holz- und Keramikpartikeln angereichert werden. Durch anschließendes Sintern können so indirekt Metallteile gefertigt werden. Dasselbe gilt für das Binder Jetting, bei dem eine Vielzahl verschiedener Materialien mit einem Kleber verbunden werden. Durch anschließendes Sintern können stabile Metall- oder Polymerbauteile hergestellt werden.

Verfügbare Materialien

Die Anzahl der prozesssicher zu verarbeitenden Materialien ist ein wesentliches Entscheidungskriterium bei der Auswahl eines additiven Fertigungsverfahrens. Für das FFF-Verfahren werden viele verschiedene Polymerdrähte angeboten. Hinzu kommen hybride

Materialien mit beispielsweise Metallen oder Kohlefasern. Beim Binder Jetting werden die Werkstoffe verklebt. Hierfür können viele verschiedene Materialien unter der Voraussetzung, dass der Kleber ausreichend an ihnen haftet, verwendet werden. Die Verfahren SLA, μ -SLA, DLP und Polyjet beschränken sich auf Photopolymere. Für die Verfahren Jet Fusion und SLS gibt es weniger Materialauswahl als beim FFF-Verfahren. LPBF und DED beschränken sich auf Werkstoffe, welche aus Metalle und Metalllegierungen bestehen.

Genauigkeit von Details und Multimaterialdruck

Ein wichtiges Merkmal von additiven Fertigungsanlagen ist die Genauigkeit, mit der Details abgebildet werden können. Eine besonders hohe Genauigkeit kann mit den Verfahren (μ -)SLA und Polyjet erreicht werden. Die Genauigkeiten des FFF- und des DED-Verfahrens sind dagegen verhältnismäßig gering.

Für den Multimaterialdruck eignet sich das Polyjet-Verfahren besonders gut. Beim FFF-Verfahren kann beispielsweise durch die Verwendung mehrerer Extruder ein Multimaterialdruck umgesetzt werden.

15) Welche Verfahren gibt es für den 3D-Druck von Metall?

Laser Powder Bed Fusion (LPBF)

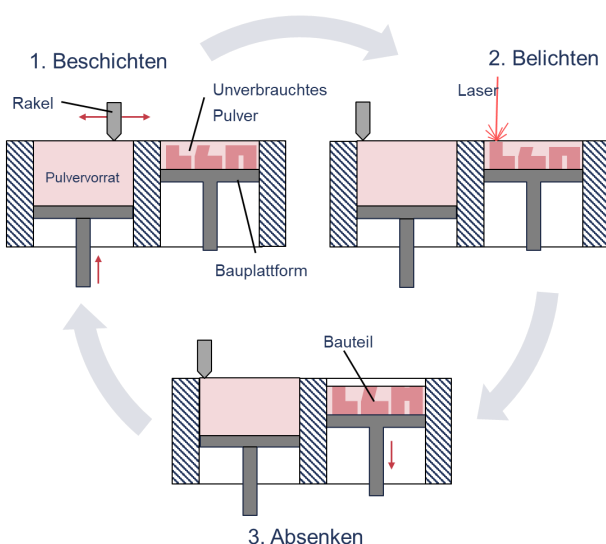


Bild: Schematische Darstellung des Laser Powder Bed Fusion Verfahrens (LPBF). (Quelle: LZH)

Das Laser Powder Bed Fusion Verfahren (LPBF) gehört zu den Techniken des Rapid Prototyping and Manufacturing (RPM) bzw. Additive Manufacturing (AM) zur Herstellung von Bauteilen aus Metallen.

Aufgrund der selbst im Vergleich zu konventionellen Fertigungsverfahren guten mechanischen Eigenschaften der Bauteile, erfährt die LPBF von Metallpulvern eine rasche Marktentwicklung. Da sowohl die Maschinen als auch die Prozesse immer besser werden, kann das LPBF Verfahren konventionelle Fertigungsverfahren immer öfter ergänzen oder sogar ersetzen. Haupteinsatzbereich der LPBF ist die Herstellung von Bauteilen für

- die Medizin- und Zahntechnik sowie
- erste Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt, im Automobilbau, Schienenfahrzeugbau und weiteren Branchen

FRAGEN ZU WERKSTOFFEN UND PROZESSEN

Mit dem LPBF-Verfahren lassen sich Bauteile mit komplexen Geometrien, wie z.B. Hohlräume und Hinterschneidungen, ganz ohne Werkzeuge herstellen. Hierbei wird das Bauteil auf einer Bauplattform Schicht für Schicht aus Pulver aufgebaut, indem dieses lokal durch einen Laserstrahl aufgeschmolzen wird. Der Laserstrahl wird mittels Scanner über die Plattform gelenkt und erzeugt die Konturen und Flächen des Bauteils für die jeweilige Schicht. Anschließend wird die Bauplatte abgesenkt und eine neue Pulverschicht aufgebracht. Diese Schritte werden so oft wiederholt, bis das Bauteil fertiggestellt ist.

Nachteil:

- Durch die schnelle Abkühlung des Bauteils entstehen relativ hohe Eigenspannungen.

Gegenmaßnahmen zur Reduzierung der Eigenspannungen:

- mehrmalige Belichtung des aufgeschmolzenen Pulvers,
- eine höhere Plattformtemperatur sowie
- eine nachfolgende Wärmebehandlung.

Directed Energy Deposition, DED (Laserauftragschweißen)

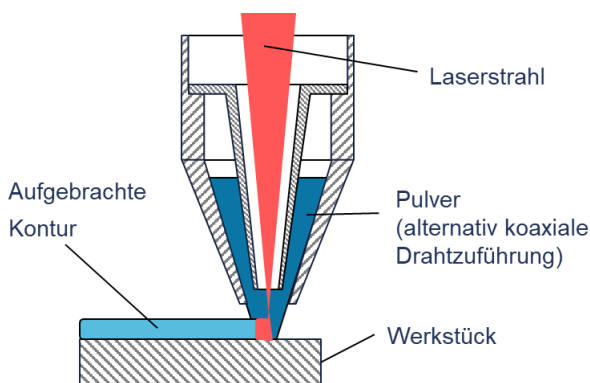


Bild: Schematische Darstellung des DED-Prozesses mit koaxialer Pulverzufuhr.

Das Laserauftragschweißen ist unter verschiedenen Benennungen bekannt:

- LMD (Laser Metal Deposition)
- DMD (Direct Metal Deposition)
- Laser Cladding
- Laser Deposition Welding

Diese Benennungen bezeichnen alle den gleichen Prozess: Dabei wird ein Laserstrahl mit Hilfe eines

Bearbeitungskopfes auf ein Werkstück fokussiert und erzeugt dort ein Schmelzbad. Gleichzeitig wird Metallpulver oder auch alternativ ein Metalldraht in das Schmelzbad injiziert. Dies erfolgt, entweder lateral oder wie im Bild dargestellt, über eine koaxiale Düse. Auf diese Weise werden einzelne Schweißspuren nebeneinander aufgebracht, so dass eine neue Metallschicht entsteht. So lassen sich auch mehrere Schichten übereinander auftragen und endkonturnahe Bauteilgeometrien generieren. Diese Schichten sind je nach Prozessparameter 0,1 mm bis mehrere Millimeter dick.

Einsatzbereiche des Laserauftragschweißens:

- Verschleiß- und Korrosionsschutz
- Additive Fertigung kompletter Bauteile

Die üblicherweise eingesetzten Laserspotdurchmesser sind mit 0,5 bis 3 mm größer als beim Pulverbettverfahren, wodurch auch nur geringere Auflösungen erzielt werden. Jedoch ist die Aufbaugeschwindigkeit deutlich höher und die Bauteilgröße wird lediglich durch die Reichweite des Achssystems und nicht durch einen Bauraum beschränkt.

Alternativ zum Metallpulver lässt sich beim Laserauftragschweißen drahtförmiger Zusatzwerkstoff einsetzen. Dadurch steigt die Aufbaugeschwindigkeit, die Bauteilauflösung sinkt jedoch. Geeignete Materialien sind:

- Titan- und Nickel-basierte Legierungen,
- Werkzeug- und Edelstähle
- sowie weitere schweißbare Legierungen.

16) Welche Verfahren gibt es für den 3D-Druck von Kunststoff?

Wie schon in den Kapiteln 9) bis 10) ausgeführt, kann die Additive Fertigung wirtschaftliche Vorteile bringen. Entscheidende Faktoren sind unter anderem die Stückzahl und die Bauteilgeometrie.

Interessierte Unternehmen können die Additive Fertigung von Kunststoffen relativ kostengünstig testen und erste Erfahrungen sammeln, da einfache Desktopgeräte bereits für einige hundert Euro erhältlich sind. Im Folgenden geben wir einen Überblick über die aktuell bedeutendsten 3D-Druckverfahren für Kunststoffe.

Stereolithographie (Abkürzungen: SLA, μ -SLA, DLP)

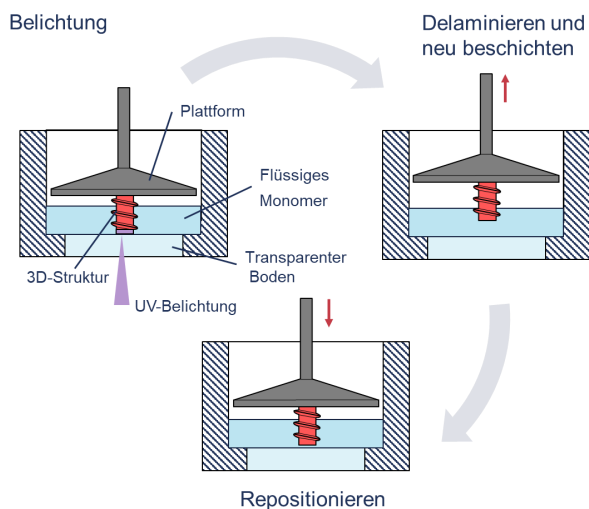


Bild: Prinzip der Stereolithographie mit UV-Bestrahlung von unten. (Quelle: LZH)

Die Stereolithographie, Mikrostereolithographie (μ -SLA), 2-Photonen-Polymerisation (2PP) und das Digital Light Processing (DLP) sind lithographische Verfahren. Mit diesen werden Bauteile aus flüssigem Kunststoff hergestellt, indem dieser mit ultraviolettem Licht oder im - Fall der 2PP - ultrakurzen Laserpulsen bestrahlt wird. Hierfür eignen sich deshalb ausschließlich flüssige Materialien, die auf Lichteinstrahlung reagieren, indem sich niedermolekulare Moleküle (Monomere) zu Makromolekülen vernetzen und so ein Polymer bilden. Durch die Vernetzung härtet das Material im bestrahlten Bereich aus.

Diese Verfahren unterscheiden sich hauptsächlich durch die Auflösung der Bauteile und die daraus resultierende Geschwindigkeit, mit der die Bauteile gefertigt werden. Grundsätzlich gilt:

Je höher die Auflösung, desto länger dauert der Druckprozess.

Beim 2PP-Verfahren lässt sich die Struktur des Bauteils direkt in das flüssige Kunststoffbad „schreiben“. Eine Besonderheit bei der 2PP ist, dass das Bauteil nicht Schicht für Schicht erstellt wird, sondern direkt dreidimensional im Polymerbad entsteht.

Bei der (μ)-Stereolithographie wird das Bauteil an eine Plattform angebunden und das Polymer an der Grenzfläche zum anliegenden Medium schichtweise polymerisiert. Das Bild auf der linken Seite zeigt ein Verfahren, bei dem die Aushärtung durch einen transparenten Boden erfolgt.

Vorteile:

- Die Bauteilgröße wird nicht durch die Tiefe des Polymerbads limitiert,
- es wird kein zusätzlicher Wischer benötigt und
- die Schichtdicke ist durch die Distanz zwischen Bauteil und Boden klar definiert.

Nachteil:

- Beim Ablösen des Bauteils von der Bauplattform treten Abzugskräfte auf, die zur Beschädigung filigraner Strukturen führen können.

Digital Light Processing

Das Digital Light Processing ist ein spezielles Stereolithographie-Verfahren. Auch hierbei entsteht das Bauteil aus flüssigem Kunststoff, der mit UV-Licht bestrahlt und ausgehärtet wird. Der Unterschied zu den übrigen stereolithografischen Verfahren ist, dass die zu belichtende Struktur nicht selektiv und punktuell bestrahlt wird, sondern direkt flächig.

Hierbei kommt als Lichtquelle z.B. ein UV-LED-Array zum Einsatz. Das DLP-Verfahren ähnelt damit einem Maskenverfahren mit flexiblen Masken.

Vorteile gegenüber der konventionellen Stereolithographie:

- Die definierte flächige Belichtung bringt eine erhebliche Zeitersparnis mit sich.
- Die Herstellung im flüssigen Polymer ermöglicht durch die Polymerisation dünner Schichten eine hohe vertikale Auflösung von 0,012 mm Schichtdicke.

Die horizontale Auflösung wird durch den Projektor limitiert. Mit hochauflösenden Projektoren sind auch

FRAGEN ZU WERKSTOFFEN UND PROZESSEN

horizontal vergleichbare Auflösungen möglich. Dennoch bleibt die charakteristische Clusterstruktur erkennbar.

Fused Filament Fabrication (FFF) - Filamentdruck

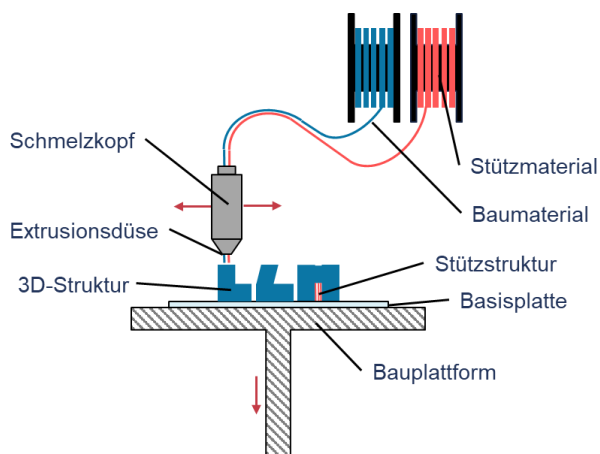


Bild: Schematische Darstellung des FFF-Verfahrens mit Polymerdraht. (Grafik: LZH)

Bei diesem Verfahren ist das Ausgangsmaterial ein Kunststoffdraht (Filament), der in einer Extruderdüse aufgeschmolzen wird. Aus dem flüssigen Material entsteht das gewünschte Bauteil Schicht für Schicht im Direktdruck.

Vorteile dieses Verfahrens:

- Hohe Reproduzierbarkeit
- Gute Prozessstabilität
- Verwendbarkeit von technischen Kunststoffen wie ABS, PC und dem Hochleistungskunststoff ULTEM

Nachteil:

- Je nach Bauteilgeometrie benötigt man während des Druckprozesses Stützstrukturen zur Stabilisierung. Diese Stützstrukturen müssen in einem späteren Arbeitsschritt entfernt werden.

Die Filamente, die als Bau- und Stützmaterial verwendet werden, werden von einer Rolle zugeführt, im Schmelzkopf aufgeschmolzen und über die Extrusionsdüse dem Prozess zugeführt.

Nach jeder Schicht wird die Bauplatte abgesenkt. Die Struktur des Bauteils entsteht in der Ebene durch die Steuerung der Düse.

Polyjet / Multijet

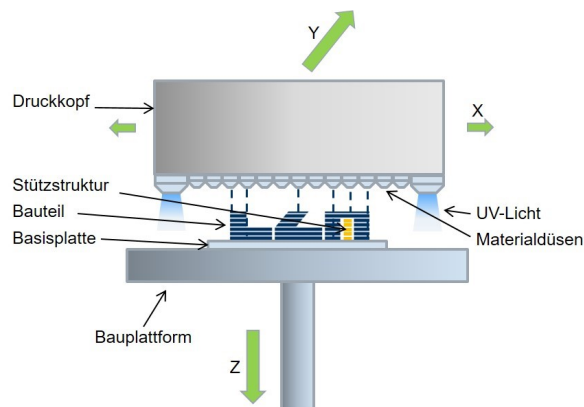


Bild: Polyjet / Multijet Printing (Grafik: LZH)

Das Polyjet- oder Multijet-Verfahren ähnelt technisch einem haushaltsüblichen Tintenstrahldrucker für den Papierdruck. Wie beim Tintenstrahldrucker kommt ein Druckkopf zum Einsatz, der mit einer begrenzten Anzahl ansteuerbarer Düsen feinste Flüssigkeitstropfen dosiert und punktgenau auf einer Oberfläche aufträgt.

Bei den Flüssigkeiten handelt es sich um Photopolymere, die mittels UV-Licht ausgehärtet (vernetzt) werden.

Vorteile:

- Wie beim Tintenstrahldruck können verschiedenfarbige Photopolymere verwendet und im Druck gemischt werden.
- Auch lassen sich Photopolymere mit unterschiedlichen Eigenschaften, wie z.B. Härte, oder in einem Waschprozess auflösbares Stützmaterial, verdrucken.

Die 3D-Bauteile entstehen durch schichtweise wiederholtes Bedrucken der gleichen Stelle in der jeweils nächsthöheren Schichtebene. Die Auflösung liegt bei den meisten Druckverfahren bei 600 dpi in der Fläche und über 1800 dpi in der Schichtdicke.

FRAGEN ZU WERKSTOFFEN UND PROZESSEN

Pulverbettverfahren: Selektives Laser Sintern (SLS) und Binder Jetting

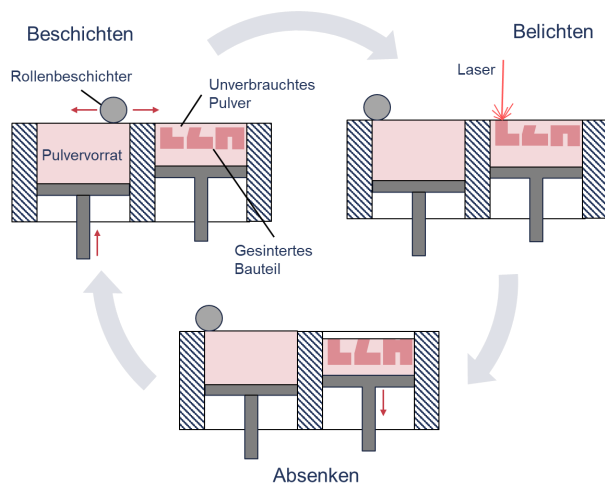


Bild: Schematische Darstellung des Selektiven Laser Sinterns (SLS). (Grafik: LZH)

Selektives Laser Sintern (SLS)

Dieses Verfahren ähnelt vom Ablauf her dem LPBF-Verfahren. Das Bauteil entsteht durch den schichtweisen Aufbau an der Oberfläche eines Pulverbetts. Das pulverförmige Kunststoffmaterial wird dabei mit Hilfe eines Laserstrahls thermisch versintert.

Vorteil:

- Beim SLS-Verfahren werden keine Stützstrukturen benötigt, da das umgebende Material eine entsprechende Stützwirkung bietet. Anders als beim LPBF-Verfahren muss auch keine Wärme über Stützstrukturen vom Bauteil abgeleitet werden.

Binder Jetting

Hierbei wird das Pulver schichtweise durch ein Bindemittel verbunden und nicht aufgeschmolzen. Anstelle des Laserstrahls wird die Pulverschicht mit dem Binder, ähnlich wie bei einem Tintenstrahldrucker, bedruckt.

Vorteil:

- Mit farbigen Bindern lässt sich sogar mehrfarbig in 3D drucken.

Möglichkeiten zur Nachbearbeitung

Die verklebten und versinterten Druckteile weisen häufig noch unerwünschte Hohlräume auf. Abhilfe schaffen diese Nachbearbeitungsverfahren:

Verschmelzen in einem Ofenprozess

Nachteil: Die Verfestigung verursacht eine Material-schrumpfung. Dieser muss bereits bei der Auslegung des Bauteils konstruktiv berücksichtigt werden.

Infiltrieren der Hohlräume

Mit Wachs, Epoxid-Harzen, Acryl, Polyurethanen oder anderen Materialien lassen sich die finalen Bauteile infiltrieren und so die Materialeigenschaften anpassen und die Oberflächen verbessern.

17) Kann man Keramik drucken?

Ja, Anwendungsmärkte sind u.a. die Elektronik und die Automobilindustrie. Derzeit erfolgt der Keramikdruck in einem mehrstufigen Prozess:

- 1) Die Bauteile werden zunächst im FFF-Verfahren (Fused Filament Fabrication) gedruckt. Hierzu wird ein Filament verwendet, das aus einem schmelzbaren Trägermaterial mit eingebundenen Keramikpartikeln besteht.
- 2) Das Trägermaterial mit den Keramikpartikeln wird aufgeschmolzen und verdruckt.
- 3) Anschließend wird das Bauteil in einem Waschprozess vom Binder befreit.
- 4) Der daraus resultierende Grünling ist sehr fragil und wird in einem anschließenden Ofenprozess zu einem Keramikbauteil versintert. Das Bauteil erfährt dabei einen Schrumpf von ca. 20 %.
- 5) Eine andere Möglichkeit ist, den Grünling mittels Binder Jetting herzustellen. Die Punkte 3) und 4) erfolgen dann nahezu identisch.

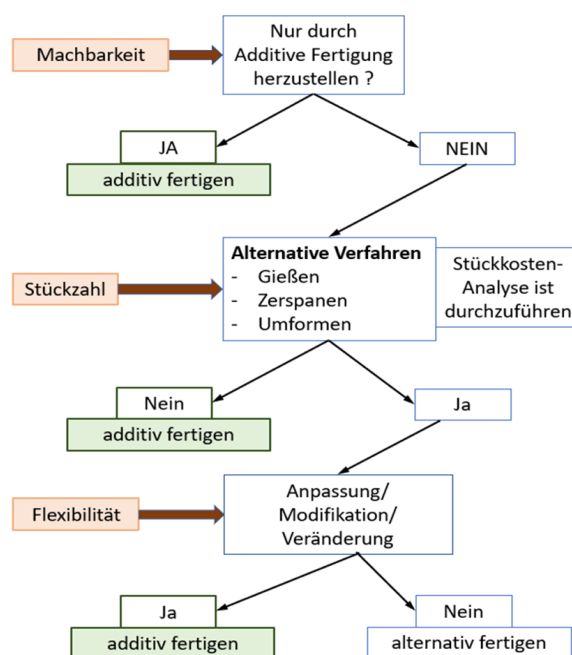
FRAGEN ZU WERKSTOFFEN UND PROZESSEN

19) Ist der 3D-Druck schon serientauglich?

Es kommt darauf an, wie ein Unternehmen oder auch eine Branche den Begriff „Serie“ definiert. Manche Automobilhersteller etwa verwenden die Stückzahl 250, damit die Fahrzeuge eine Straßenzulassung erhalten. Auch bei sehr hohen Stückzahlen ist zu bedenken, welche Anzahl in welcher Zeit geliefert werden muss. Der vergleichsweise lange Bauprozess kann durch mehrere Maschinen oder Mehrfachbestückung des Bauraums kompensiert werden.

Wie in der Grafik dargestellt, sind bei der Frage nach der Serientauglichkeit zunächst drei Kriterien zu betrachten:

- **Machbarkeit:** Ist das Bauteil überhaupt herstellbar? Die Stärke der Additiven Fertigung ist die nahezu unbegrenzte Formfreiheit, die selbst extrem komplexe Bauteile realisierbar macht, für die konventionelle Herstellungsverfahren keine Option bieten.
- **Stückzahl:** Falls Bauteile auch konventionell zu fertigen sind, ist die Stückzahl ein weiteres Kriterium und eine Entscheidung kann nur auf Basis der (firmenspezifischen) Stückkostenanalyse getroffen werden.
- **Flexibilität:** Die hohe Flexibilität spricht für die Additive Fertigung, weil Veränderungen der Bauteilgeometrie (Kundenwünsche) sehr zeitnah umgesetzt werden können.



Grafik: Serientauglichkeit der Additiven Fertigung unter den Gesichtspunkten Machbarkeit, Stückzahl und Flexibilität. (Quelle: LZH Laser Akademie GmbH)

FRAGEN ZU WERKSTOFFEN UND PROZESSEN

20) Gibt es Besonderheiten bei der Konstruktion zu beachten?

Ja, deshalb sollte sich der Konstrukteur im ersten Schritt mit den Potenzialen der Additiven Fertigung vertraut machen und nicht einfach konventionelle Bauteile nachdrucken. Diese Potenziale lassen sich im Wesentlichen in Form von zehn Gestaltungszielen zusammenfassen (siehe Tabelle auf der nachfolgenden Seite).

Des Weiteren muss der Konstrukteur folgende Aspekte berücksichtigen:

- Das inhomogene und anisotrope Materialverhalten, aus dem richtungsabhängige mechanische Eigenschaften resultieren.

FRAGEN ZU WERKSTOFFEN UND PROZESSEN

- Je nach Additiven Fertigungsverfahren können z.B., wie auch beim Gießen, Schwindungen und Verzüge auftreten.
- 3D-gedruckte Bauteile erfordern nicht selten eine Nachbearbeitung in einem oder mehreren Schritten. Diese Prozesse muss der Konstrukteur frühzeitig in die Konstruktion einbeziehen. Muss das Bauteil etwa mittels Drehen oder Fräsen

nachbearbeitet werden, muss der Konstrukteur, wenn das Bauteil überwiegend aus Freiformflächen besteht, Einspannflächen vorsehen.

Die Gestaltungsfreiheit ist bei der Additiven Fertigung im Vergleich zur konventionellen Fertigung deutlich größer. Dennoch sind auch hier Fertigungsrestriktionen einzuhalten, die beispielsweise in Form von Gestaltungsrichtlinien aufbereitet werden (siehe Bild).

#	Gestaltungsziel	Beschreibung
1.	Materialersparnis	Reduzierung des Materialeinsatzes sowie Ressourceneinsparung durch Erhöhung der Materialausnutzung.
2.	Funktionsintegration	Umsetzung einer möglichst großen Anzahl technischer Funktionen durch einen minimalen Einsatz an Bauteilen.
3.	Dünnwandigkeit	Einsatz von dünnwandigen und filigranen Geometrien zur Reduzierung des Gewichts bei konstanten Rahmenbedingungen.
4.	Kraftflussanpassung	Materialanordnung entsprechend der Beanspruchungen zur Gewichtsreduktion oder Verbesserung der mechanischen Bauteileigenschaften.
5.	Integrierte Kanäle	Verwendung von innenliegenden Kanälen für die Erfüllung spezifischer Anwendungen, wie die Durchströmung mit Flüssigkeiten oder die Integration von Kabelführung.
6.	Mass Customization	Adaption eines Bauteils an spezifische Kundenanforderungen durch individuelle Lösungen oder die Einbeziehung des Kunden in den Produktentwicklungsprozess.
7.	Design	Umsetzung von Freiformflächen sowie Erhöhung der Ergonomie und Nutzbarkeit eines Bauteils.
8.	Net-Shape Geometrien	Umsetzung von vordefinierten, komplizierten Fertigteilflächen auf Basis von Simulationsergebnissen, wie z.B. strömungsoptimierte Flächen oder Lichtverteilungen.
9.	Lokale Eigenschaftsanpassung	Lokale Einstellung der Eigenschaften eines Voxels (ein Gitterpunkt in einem dreidimensionalen Gitter) durch Materialgradierung oder Parametervariation.
10.	Innere Effekte	Umsetzung von aktorischen oder sensorischen Eigenschaften durch Pulvereinlagerungen, Variation des Aufschmelzverhaltens oder geometrischen Maßnahmen

Tabelle: Gestaltungsziele in der Additiven Fertigung. [Quelle: Lippert, R. B.: Restriktionsgerechtes Gestalten gewichtsoptimierter Strukturbauteile für das Selektive Laserstrahlschmelzen. TEWISS Verlag, 2018]

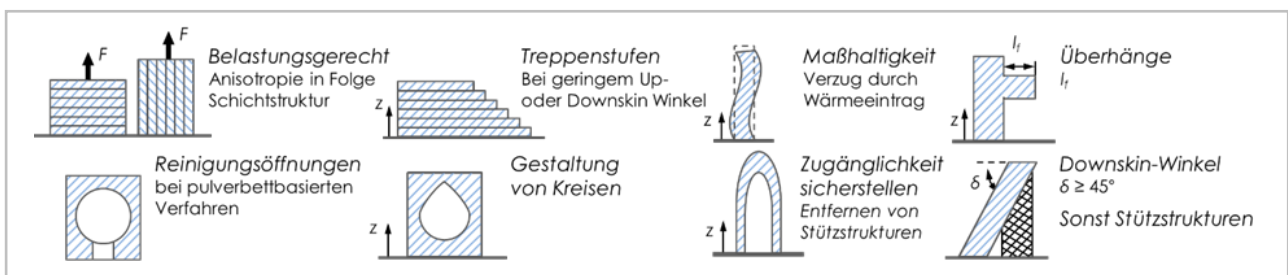


Bild: Gestaltungsrichtlinien in der Additiven Fertigung. [Quelle: Lippert, R. B.: Restriktionsgerechtes Gestalten gewichtsoptimierter Strukturbauteile für das Selektive Laserstrahlschmelzen. TEWISS Verlag, 2018]

21) Was ist erforderlich, um Additive Fertigungsverfahren in industrielle Wertschöpfungsketten zu integrieren?

Kunden erwarten und fordern immer häufiger individualisierte und dennoch kostengünstige Produkte. Deshalb müssen die Unternehmen, um auch zukünftig wettbewerbsfähig agieren zu können, individualisierte Produkte zu einem Preis herstellen können, der bisher nur durch Massenfertigung erreicht werden konnte.

Additive Fertigungsverfahren sind ein Lösungsbaustein, um die daraus resultierenden technischen und wirtschaftlichen Herausforderungen meistern zu können, denn 3D-Druckverfahren ermöglichen eine wirtschaftliche Produktion kleinster Losgrößen. Nun gilt es, den 3D-Druck erfolgreich in die industrielle Wertschöpfungskette eines Unternehmens zu integrieren.

Computerbezogene Modellerstellung und Vorverarbeitung

1 - Am Computer entsteht das 3D-CAD Modell

Im ersten Schritt entsteht das Bauteil als 3D-Modell am Computer mithilfe einer CAD-Software oder durch Einscannen von Bauteilen, die als Vorlage dienen.

Richtlinien für die Konstruktion und Gestaltung von 3D-Bauteilen sind zurzeit Thema diverser Forschungsprojekte. Aktuell erzeugen Konstrukteure prozessgerechte 3D-Daten noch weitgehend auf Basis ihrer Erfahrung.

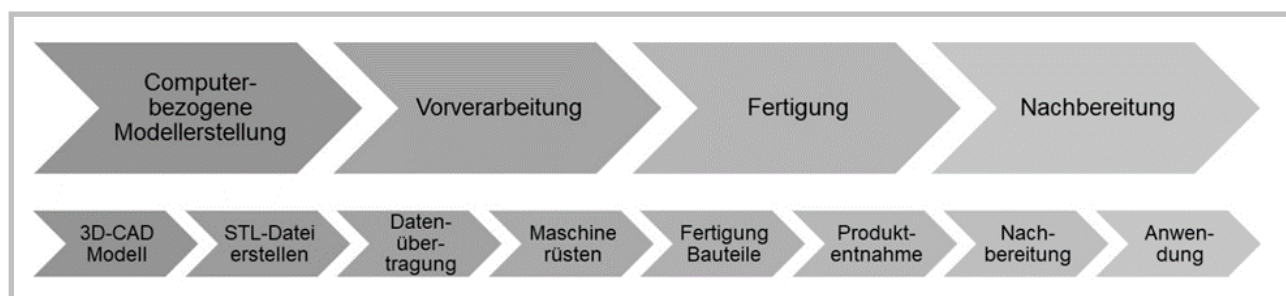


Bild: Additive Prozesskette von der Datenvorbereitung bis zum fertigen Produkt (Quelle: Eigene Darstellung nach Breuninger 2013 und Gibson 2010)

Betriebliche Voraussetzungen

Die Additive Fertigung eignet sich primär zur Herstellung von individualisierten Produkten in Kleinserien, bis hin zur Losgröße 1. Damit die Integration in die betrieblichen Produktionsabläufe gelingt, bedarf es einer Reihe von Voraussetzungen:

- Automatisierte Handhabungseinrichtungen und Mechanismen zum Informationstransport sind so auszulegen, dass sie variable Objekte verarbeiten können.
- Die Prozessparameter, Druckmaterialien und Bearbeitungsschritte sind sorgfältig und nachvollziehbar zu dokumentieren, da diese bei variantenreichen Prozessen stark variieren.
- Die zahlreichen Einzelschritte eines Additiven Fertigungsprozesses müssen sich wirtschaftlich in die Wertschöpfungskette integrieren lassen.

Im Bild sind die übergeordneten Schritte von der Computerbezogenen Modellerstellung, über die Vorverarbeitung und Fertigung bis hin zur Nachbereitung dargestellt. Diese Schritte werden in den nachfolgenden Abschnitten näher beschrieben.

2 - Eine druckbare Datei wird erstellt

Die Datei mit dem fertigen 3D-Modell des Bauteils exportiert der Konstrukteur in eine druckbare Datei, zum Beispiel im STL-Format (Standard Triangulation/Tesselation Language). Dieses Dateiformat ist in der Additiven Fertigung weit verbreitet und dient als Eingabeformat für spezielle, vom 3D-Drucker abhängige Softwaresysteme (Slicer).

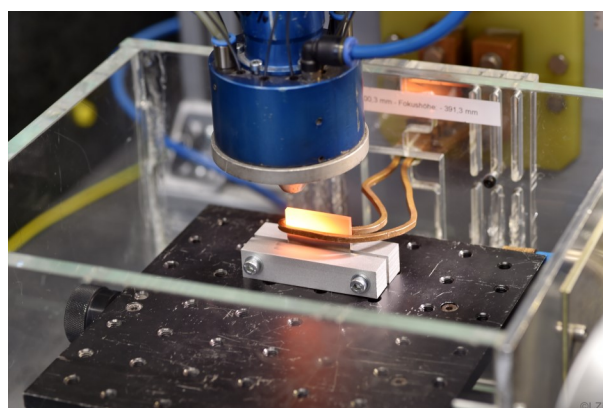
Vorverarbeitung

3 - Die Daten werden auf den 3D-Drucker übertragen

Die Softwaresysteme von 3D-Druckern unterstützen das STL-Dateiformat und bereiten die Daten für den Druckprozess vor. Fertigungsparameter wie z. B. die Bauposition und die Bauteilorientierung werden dabei eingestellt. Diese Parameter beeinflussen maßgeblich die Qualität der Bauteile sowie die Fertigungsgeschwindigkeit.

Viele Hersteller von 3D-Druckern geben für bestimmte Materialien bereits Parametersätze vor. Trotzdem bedarf es eines erfahrenen Anlagenbedieners, um die Parameter optimal auf das zu fertigende Bauteil abzustimmen.

FRAGEN ZU WERKSTOFFEN UND PROZESSEN



4 - Der 3D-Drucker wird gerüstet

Bevor der Druckprozess beginnen kann, muss der 3D-Drucker gerüstet werden. Dazu muss der Bediener die Anlage kalibrieren sowie das Druckmaterial einlegen.

Fertigung

5 - Die Fertigung des Bauteils beginnt

Nun beginnt die eigentliche Herstellung des Bauteils. Für die Bewertung des Fertigungsprozesses sind folgende Faktoren relevant:

- Qualität der Bauteile
Um beim 3D-Druck das gewünschte Qualitätsniveau zu erreichen, bedarf es bei allen Fertigungsschritten größter Sorgfalt. Angefangen beim Erstellen des 3D-Modells am Computer, über die Auswahl der Parameter, das Rüsten der Anlage bis hin zum Druckprozess und der anschließenden Nachbearbeitung.
- Prozesssicherheit
3D-Druckanlagen können eine geringe Prozesssicherheit aufweisen. Deshalb lassen sich Druckprozesse nicht immer wie gewünscht reproduzieren. Jedoch bieten einige Hersteller von pulverbasierten 3D-Druckanlagen Lösungen für die schichtweise Prozessüberprüfung während der Fertigung des Bauteils an.
- Produktivität der Anlagen
3D-Druckanlagen arbeiten verhältnismäßig langsam. Allerdings lässt sich ihre Produktivität relativ einfach steigern, indem man mehrere kleine Anlagen in sogenannten Druckerfarmen gleichzeitig betreibt (siehe auch Kapitel „Wirtschaftlichkeit Additiver Fertigungsanlagen“).

Nachbereitung

Wurde das Bauteil aus dem 3D-Drucker entnommen, ist zumeist eine Nachbearbeitung erforderlich, um Stützstrukturen und überflüssiges Material wie beispielsweise Pulverreste zu entfernen. Bei einigen Verfahren findet eine spezielle Nachbehandlung statt, etwa um bestimmte mechanische Eigenschaften zu erzielen.

Häufig folgen weitere Maßnahmen, um die Eigenschaften der Bauteile zu verändern:

- Mithilfe von Schleifverfahren oder Lackierungen lässt sich die Oberflächengüte und Geometrie von additiv gefertigten Kunststoffprodukten verbessern.
- Infiltriert man die Bauteile mit Chemikalien lassen sich zudem die physikalischen Eigenschaften verändern.
- Bei Metallbauteilen kommen häufig spanende Verfahren zum Einsatz, um die Oberflächengüte und die geometrischen Eigenschaften zu verbessern.
- Mit Wärmebehandlungen lassen sich die mechanischen Eigenschaften der Bauteile anpassen (siehe Bild).

Das additiv gefertigte Bauteil wird entweder direkt verwendet oder in anschließenden Montageschritten mit zusätzlichen Einzelbauteilen zu einem kommerziell nutzbaren Produkt vervollständigt.

Veröffentlicht von:

Niedersachsen ADDITIV

c/o Laser Zentrum Hannover e.V. (LZH)

Hollerithallee 8

30419 Hannover

Tel.: 0511 2788-200

E-Mail: info@niedersachsen-additiv.de

Web: www.niedersachsen-additiv.de

LinkedIn: www.linkedin.com/company/niedersachsen-additiv

Instagram: www.instagram.com/niedersachsen_additiv

Twitter: @NdsAdditiv

Facebook: @NiedersachsenADDITIV

YouTube: @niedersachsenadditiv6666

Stand: Januar 2023.

Diese Publikation erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, wird jedoch sukzessive aktualisiert und erweitert.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Stefan Kaieler | Dr.-Ing. Gerrit Hohenhoff, M.Sc. | Niklas Gerdes, M.Sc. | Dipl.-Fachübers. Silke Kramprich | Alexander Hilck, M.Sc. | Laser Zentrum Hannover e.V. (LZH)

Dipl.-Ing. (FH) Ilka Zajons | Bernd Glass | LZH Laser Akademie GmbH

Alexander Oleff, M.Sc. | Alexander Poschke, M.Sc. | Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH (IPH)

Tobias Ehlers, M.Sc. | Institut für Produktentwicklung und Gerätebau, Leibniz Universität Hannover

Quellen

Bei der Erstellung dieses Anwenderleitfadens haben wir unter anderem folgende Quellen verwendet:

Hull, Charles W.: US Patent 4,575,330; United States of America, California; March, 11th, 1986

Meyer, R.: Werkzeugloses Fertigen als Konstruktionstrick. Industrieanzeiger 20, S. 22-25, 2007

Gebhardt, A.: Generative Fertigungsverfahren: Additive Manufacturing und 3D Drucken für Prototyping, Tooling, Produktion. Carl Hanser, München

Gibson, I. und Rosen, D.W. und Stucker, B.: Additive manufacturing technologies. Springer, New York / Heidelberg / Dordrecht / London; 2010

Berger, U. und Hartmann, A. und Schmid, D.: 3D-Druck - Additive Fertigungsverfahren; 2, Auflage, EUROPA-LEHRMITTEL, Haan-Gruiten

Barnatt, C.: 3D Printing; Second Edition, ExplainingTheFuture.com

Bilder

Soweit nicht anders angegeben, liegt das Copyright für die Bilder beim LZH.

Redaktion

Greta Becker | Laser Zentrum Hannover e.V. (LZH)

© Niedersachsen ADDITIV 2023