

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ARBEITSWIRTSCHAFT UND ORGANISATION IAO

WHITEPAPER

EINSTIEG IN DIE ADDITIVE FERTIGUNG

POTENZIALE UND ANWENDUNGSFELDER VON 3D-DRUCK

NIKOLAS ZIMMERMANN | ANDREAS WERNER



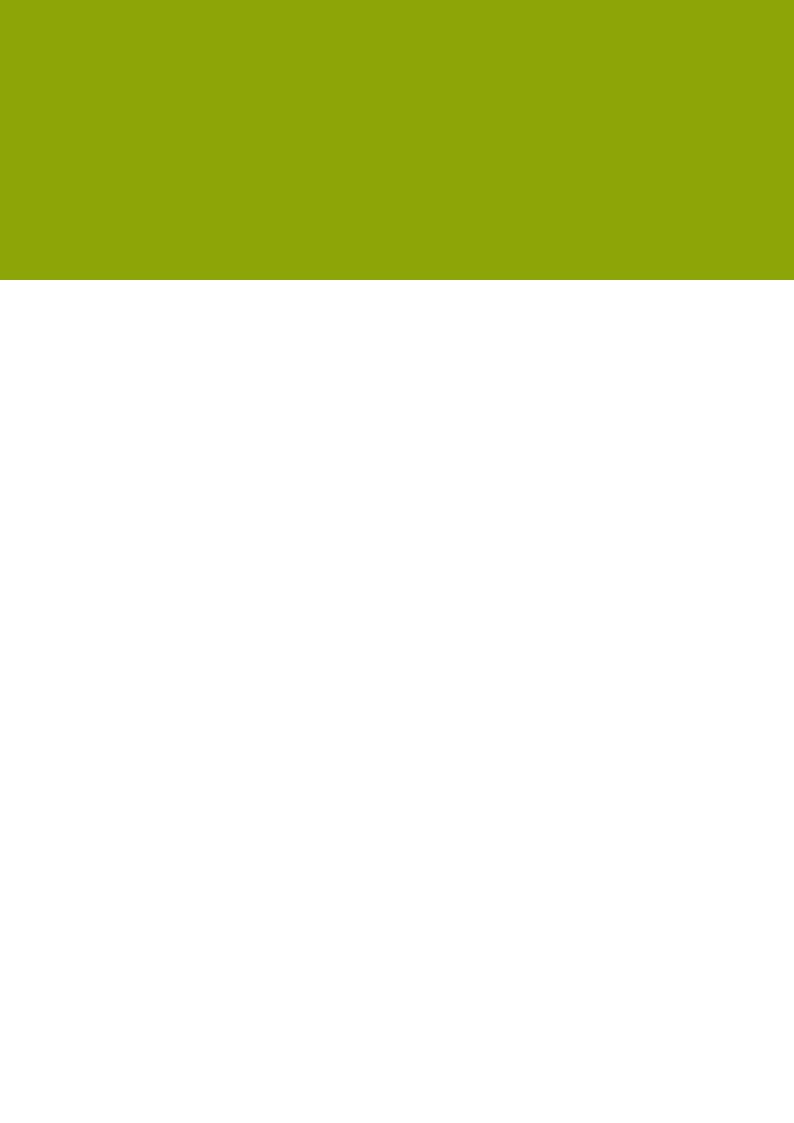


Nikolas Zimmermann | Andreas Werner

EINSTIEG IN DIE ADDITIVE FERTIGUNG

POTENZIALE UND ANWENDUNGSFELDER VON 3D-DRUCK

WHITEPAPER



INHALT

1	EINLEITUNG	4
2	POTENZIALE DER ADDITIVEN FERTIGUNG	5
2.1	Vorteile der additiven Fertigung	5
2.2 2.2.1 2.2.2 2.2.3	Entstehung neuer Geschäftsmodelle Automobilbau Medizintechnik Konsumgüter	8 9
3	GRUNDLAGEN DER ADDITIVEN FERTIGUNG	10
3.1	Generelle Anwendungsfelder	10
3.2 3.2.1 3.2.2 3.2.3	Überblick über die Technologien und zugehörige Verfahren. Aufbau durch Verschmelzen bzw. Sintern. Aufbau durch Verkleben. Aufbau durch Polymerisation.	14 16
3.3	Aktuelle Produktionsgrenzen	19
4	INTEGRATION DER ADDITIVEN FERTIGUNG IN UNTERNEHMENSPROZESSE	21
4.1	Digitalisierung der Prozesskette	21
4.2	Anforderungen an die Produktionsprozesse	24
5	IHRE POTENZIALANALYSE ZUM EINSATZ ADDITIVER FERTIGUNG	26
6	LITERATUR	28

1 **EINLEITUNG**

3D-Druck bzw. additive Fertigungsprozesse verleihen Unternehmen die Fähigkeit flexibel auf volatile Märkte zu reagieren, Ersatzteile zu produzieren und individuelle Kundenanforderungen direkt zu realisieren. Zukünftig kann eine rasante Zunahme der Anwendung erwartet werden. Die Verfahren haben das Potenzial bestehende Fertigungen zu revolutionieren und sie ermöglichen Entwicklern eine einzigartige Gestaltungsfreiheit [1].

Gerade kleine und mittlere Unternehmen (KMU) stehen vor den Herausforderungen, wie dieser Wandel erfolgreich zu meistern ist, um auch langfristig im Wettbewerb bestehen zu können oder sogar einen Schritt voraus zu sein. Es ergeben sich Vorzüge in der flexiblen und nachhaltigen Fertigung von Prototypen, Endprodukten, Werkzeugen und Formen [2, 3]. Gerade in der Produktion von Leichtbauteilen hat sich der Einsatz additiver Fertigungsverfahren erfolgreich bewährt. Die weiteren Einsatzmöglichkeiten sind aber noch lange nicht ausgeschöpft [4].

Das vorliegende Whitepaper »Additive Fertigung in der Anwendung« ist Teil der Schriftenreihe »Digitale Transformation in KMU« des Business Innovation Engineering Centers (BIEC). Das BIEC hat als Entwicklungs- und Transferzentrum das Ziel, die digitalen Transformations- und Innovationsfähigkeit von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) in Baden-Württemberg zu steigern. Der Themenschwerpunkt »Digitale Technologien einsetzen« zielt darauf ab, insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen die Potenziale Additiver Fertigun) näher zu bringen. Dabei werden u. a. folgende Fragestellungen behandelt:

- Welche konkreten Potenziale bieten sich einem Unternehmen?
- Wie können durch die additive Fertigung neue Geschäftsmodelle entstehen?
- Welche additiven Fertigungsverfahren gibt es?
- Wo liegen die Anwendungsfelder?
- Wie trägt die Additive Fertigung zur Digitalen Transformation bei?
- Wie lässt sich die additive Fertigung in die Unternehmensprozesse integrieren?
- Wie können diese Potenziale gezielt und systematisch genutzt werden?

Im Rahmen von BIEC werden die spezifischen Chancen und Potenziale von Additiver Fertigung identifiziert und ein systematischer Wissenstransfer durch den Einsatz unterschiedlichster Transferformate in die mittelständische Wirtschaft organisiert.

Für weitere Informationen besuchen Sie bitte unsere Website: www.biec.jao.fraunhofer.de

2 POTENZIALE DER ADDITIVEN FERTIGUNG

Neben dem Einsatz im Maschinenbau und der Luft- und Raumfahrttechnik haben sich additive Fertigungsverfahren mittlerweile auch in Branchen wie der Medizintechnik, Architektur, Landschaftsgestaltung und Konsumgüterindustrie etabliert. Die Nachfrage nach individuellen Produkten und unterschiedlichsten Produktvarianten steigt immer mehr, während die Entwicklungszeiten immer kürzer werden sollen. Um diesen Anforderungen nachzukommen ist es notwendig die Potenziale und Möglichkeiten der additiven Fertigung voll auszuschöpfen.

2.1 VORTEILE DER ADDITIVEN FERTIGUNG

Aufgrund ihrer Vielseitigkeit und Flexibilität bietet der Einsatz additiver Fertigung insbesondere großes Potenziale für kleinere und mittlere Unternehmen (KMU).

Da heutzutage nicht mehr am Zeichenbrett konstruiert wird und fast überall Computer mit 3D-CAD Software im Einsatz sind, ist die wichtigste Voraussetzung für den Einsatz additiver Verfahren bereits erfüllt. Die gewünschte Geometrie wird direkt aus den CAD-Daten erzeugt, an den Drucker übermittelt und werkzeuglos gefertigt. Ein entscheidender Vorteil ist, dass an einer Maschine unterschiedliche Bauteile gefertigt werden können, ohne dafür umzurüsten. Das lohnt sich insbesondere für kleinere Unternehmen, die keine großen Serien fahren. Es können flexibel und vielseitig Bauteile mit niedrigen Stückzahlen an nur einer Maschine gefertigt werden.

Generelle Vorteile der additiven Fertigung:

- Werkzeuglose Fertigung
- Rüstzeiten entfallen nahezu komplett
- Fertigung komplexer Geometrien
- Funktionsintegration (bewegliche Bauteile)
- Gewichtsreduktion bei den Bauteilen
- Energie- und Materialeinsparung

Hinsichtlich der Konstruktion ermöglicht die additive Fertigung die Gestaltung von Bauteilen mit äußerst komplexen Geometrien, die mit traditionellen Fertigungsverfahren nicht oder nur sehr aufwendig und in mehreren Produktionsschritten hergestellt werden können. Dadurch ergibt sich ein neuer Konstruktions- und Gestaltungsfreiraum, der es beispielsweise möglich macht, eine 30-40 Prozent Gewichtsreduktion durch bionische Strukturen zu erreichen (Abbildung 1). Zusätzlich besteht die Möglichkeit der Funktionsintegration. Dabei können funktionale und bewegliche Teile im Druckprozess gefertigt werden. Dadurch können Montagearbeiten reduziert werden, wenn mehrere Teile durch ein Teil mit mehr Funktionalität ersetzt wird.



Abbildung 1: Mit AF-Tools optimiertes und additiv gefertigtes Produkt.
© kool99 – iStock.de

Die bereits genannten Möglichkeiten haben auch positive Auswirkungen auf die Umwelt. Während bei traditionellen Fertigungsverfahren oft große Mengen an Spänen oder Schrott anfallen, wird bei der additiven Fertigung nur dort Material aufgetragen, wo es auch wirklich gewünscht ist. Abfälle entstehen nur durch die Stützstrukturen. Weitere Einsparungen können erzielt werden, wenn es gelingt weniger Maschinen zu nutzen und damit den Energieverbrauch zu senken. Außerdem entfallen Material- und Energiekosten für Werkzeuge.

2.2 ENTSTEHUNG NEUER GESCHÄFTSMODELLE

Nach erfolgreicher Integration der additiven Fertigung in die Unternehmensprozesse können die zahlreichen Potenziale direkt im Unternehmen genutzt werden. Additive Fertigungsverfahren tragen dazu bei, die Digitalisierung in einem Unternehmen voranzutreiben. Daraus ergeben sich neue Wertschöpfungskonstellationen. Die Folge sind Veränderungen im bestehenden Geschäftsmodell, aber auch die Entstehung neuer Geschäftsmodelle.

Einflüsse auf Geschäftsmodelle:

- Erweiterung des Produktportfolios durch Fertigung kundenindividueller und komplexer Produkte
- dezentrale und flexible Bauteilfertigung
- starke Ergänzung zu traditionellen Fertigungsverfahren
- wirtschaftliche Fertigung von Kleinserien und Einzelstücken nach Bedarf
- Verkürzung von Lieferzeiten durch Fertigung realitätsnaher Prototypen

Die neuen Freiheiten in der Konstruktion und die Möglichkeit der einfacheren Individualisierung von Teilen erweitern die Absatzmöglichkeiten von Unternehmen. Produkte können flexibler an die Wünsche der Kunden angepasst und in kürzester Zeit gefertigt werden. Durch die einfache Verfügbarkeit realitätsnaher Prototypen lässt sich zudem nicht nur die Fertigungs- sondern auch die Entwicklungszeit signifikant reduzieren. Additive Fertigung kann als starke Ergänzung zur traditionellen Herstellung und zur End-to-End-Supply-Chain eingesetzt werden [14]. Gerade bei kleinen Losgrößen können dadurch Kosten eingespart werden.

Die additive Fertigung beeinflusst zudem viele andere Unternehmensbereiche. Nach einer von KPMG durchgeführten Studie, sieht eine Mehrheit der Unternehmen Auswirkungen auf die Felder Lieferanten, Produktion, Logistik und Kundenbeziehungen [13]. Insbesondere für die interne Logistik bieten Hersteller additiver Fertigungsmaschinen Lösungen zur Automatisierung der Materialbereitstellung oder Teilehandhabung nach dem Fertigungsprozess. Ein hoher Automatisierungsgrad ermöglicht eine ausfallsfreie Produktion durch lückenlose Prozessüberwachung, bietet Möglichkeiten zur vollständigen Dokumentation von Produktionsparametern und begünstigt die Prävention von Arbeitsunfällen [15]. Additiv gefertigte Produkte können somit einfacher auf ihre Qualität überprüft und deren Fertigungseigenschaften mit den Anforderungen abgeglichen werden.

Durch den 3D-Druck ergeben sich neue digitale Prozesse, wie zum Beispiel der unternehmens- übergreifende Transfer von Designs. Dadurch ergibt sich ein neues Service-Level im Unternehmen und Teile können dezentral gefertigt werden. Des Weiteren kann die Schnittstelle zum Kunden digitalisiert werden. Beispielsweise lassen sich Teile bereits im Voraus vom Kunden auf einer Plattform (bspw. im Internet) abbilden und müssen nicht durch einen aufwendigen Beratungsprozess abgesprochen werden. Beratung ist hier nur bei ausgewählten Aspekten nötig, die die Plattform nicht abbilden kann. Hierbei kann schnell auf Kundenbedürfnisse reagiert werden. Auf der anderen Seite können Unternehmen die Druckdaten von Ersatzteilen auch gegen eine Gebühr zur Verfügung stellen. In Zeiten von Big Data lassen sich über derartige Kundenschnittstellen und digitale Plattformen Daten und Designs aggregieren und dadurch Rückschlüsse auf Kundenbedürfnisse und Trends gezogen werden [9].

2.3. POTENZIALE IN DER PRAXIS

Die folgenden Beispiele aus den Branchen Automobilbau, Medizintechnik und Konsumgüter, in denen die additive Fertigung bereits ansässig ist, zeigen die Möglichkeiten und Potenziale der additiven Fertigung nochmals anschaulich.

2.2.1 Automobilbau

Der Charakter eines Fahrzeugs beeinflusst heutzutage sehr stark die Kaufentscheidung eines Kunden. Besonders im Innenraum wird viel Wert auf Einzelheiten und Detailgenauigkeit gelegt. Vor allem bei abnehmendem Umfang der Serien und zunehmender Anzahl an Varianten werden in Fahrzeugen vermehrt additiv gefertigte Teile verbaut. Als Beispiel kann man hier die Lautsprechergehäuse nennen, die anhand eines Stereolithografie-Urmodells gegossen werden. Weitere Beispiele sind Lampenfassungen oder Designvarianten der Innenraumbeleuchtung in denen Einbauteile auch mittels Stereolithografie hergestellt werden [8]. Bei kleinen Sondereditionen oder bei der Sportversion eines Fahrzeugs werden oftmals auch modifizierte Frontund Heckspoiler verbaut. Diese werden mittels additiver Fertigung hergestellt und zu Test- oder Showzwecken auf Messen vorgeführt [8].

2.2.2 Medizintechnik

Jeder Mensch ist unterschiedlich und benötigt daher eine individuelle medizinische Behandlung. Benötigt er Hilfsmittel wie Implantate, Epithesen und Orthesen müssen diese individuell angefertigt werden. Auch hier werden 3D-Datensätze benötigt, die mittels Computertomographie (CT) oder Ultraschall gewonnen werden. Heutzutage lassen sich dadurch medizinische Modelle wie Schädel oder Knochenstrukturen wiedergeben. Hier spielt die Art der additiven Technologie eine große Rolle. Je nach Fall sind unterschiedliche Oberflächenqualitäten notwendig oder Haltbarkeiten gefordert. Manche Modelle werden implantiert und verbleiben im Körper, andere dienen nur zu Übungszwecken. Aufgrund dieser hohen Variantenvielfalt sind generativ gefertigte Bauteile in der Medizintechnik enorm wichtig. Als Beispiele sind hier künstliche Hüftpfannen, Zahnprothesen oder Hörgeräte zu nennen [8].



Abbildung 2: Zahnprothesen.

© Marina_Skoropadskaya –
iStock.de

2.2.3 Konsumgüter

Das Auf und Ab von Trends bei Konsumgütern lässt sich manchmal nur schwer mitverfolgen. Aus diesem Grund müssen Hersteller schnell reagieren können, wenn neue Produkte auf den Markt kommen. Ebenso müssen sie ihr Sortiment auf die unterschiedlichen Verbrauchergruppen anpassen. Um derartigen Trends bei Lifestyle-Produkten folgen zu können benötigen Unternehmen kurze Entwicklungszeiten. Dabei sind realitätsnahe Prototypen unerlässlich. Durch additiv gefertigte Prototypen können schnell neue Produkte entworfen und Marktstudien durchgeführt werden [8].

3 GRUNDLAGEN DER ADDITIVEN FERTIGUNG

Zur Auswahl eines geeigneten additiven Fertigungsverfahrens ist zunächst wichtig, welche Technologien genutzt und welche Produkte mittels ihrer Anwendung gefertigt werden können. Daher werden in diesem Kapitel die verschiedenen Anwendungsfelder vorgestellt. Im Anschluss folgt ein Überblick über die unterschiedlichen Technologien und Verfahren.

3.1 GENERELLE ANWENDUNGSFELDER

Betrachtet man die Anwendungsfelder (Abbildung 3) der additiven Fertigung lassen sich diese in die vier Ebenen Rapid Prototyping (RP), Rapid Tooling (RT), Rapid Manufacturing (RM) und Rapid Repair (RR) unterteilen.

	Technologie
Technologie-Level	Additive Fertigung 3D Drucken
	Rapid Prototyping
	Modellierung von Konzeptteilen
	 Fertigung von funktionellen Prototypen
Anwendungs-Level	Rapid Tooling
	 Additive Fertigung von Werkzeugen
	Rapid Manufacturing
	Additive Fertigung von Endprodukten
	Rapid Repair
	 Nutzung Additiver Fertigung zur Reparatur
	und Ersatzteilproduktion

Abbildung 3: Anwendungsfelder der additiven Fertigung.

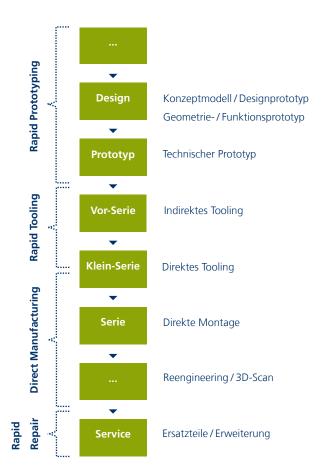
Mit dem Rapid Prototyping wird die Herstellung von Konzeptmodellen und Prototypen beschrieben. Dabei handelt es sich beispielsweise um Bauteile ohne Produktcharakter, die als Basiskonzept oder Anschauungsmodell dienen. Es können jedoch auch Funktionsprototypen erzeugt werden, bei denen einzelne repräsentative Eigenschaften des finalen Produkts modelliert werden. Durch derartige Prototypen können in frühen Entwicklungsphasen relevante Erkenntnisse gewonnen werden [5, 6].

Auf der Anwendungsebene des Rapid Manufacturing werden Bauteile erzeugt, die die Eigenschaften und Funktionen eines (End-)Produkts aufweisen, das im Produktentwicklungsprozess festgelegt wurde. Es sind Bauteile, die direkt für Kunden produziert werden, beispielsweise für Kleinserien, mit Anspruch auf Fertigteilqualität. Dabei müssen mit Material und durch den Herstellungsprozess die mechanisch-physikalischen Eigenschaften erzeugt werden, die in der Konstruktion festgelegt wurden. Einflussfaktoren wie Stückkosten oder Losgrößen entscheiden über den sinnvollen Einsatz eines additiven Fertigungsverfahren [5, 6].

Beim Rapid Tooling werden hauptsächlich Werkzeuge und Werkzeugeinsätze, wie zum Beispiel Gussformen, hergestellt. Das Rapid Tooling kann je nach Bauteil den Ebenen des RP und RM zugeordnet werden. Aufgrund der schichtweisen Herstellung von Bauteilen können beispielsweise Hohlstrukturen in Werkzeugen erzeugt werden, die als werkzeuginterne Kühlkanäle dienen [5, 6].

Als letzte Anwendungsebene ist das Rapid Repair zu nennen. Es dient zur Instandhaltung und Reparatur von verschlissenen Bauteilen. RR wird nach der eigentlichen Produktentwicklung in der Anwendung genutzt. Wirtschaftlichkeit wird in Form von Service-Leistungen zur flexiblen Instandhaltung ohne Lieferzeiten oder Lagerhaltung bei komplexen und teuren Bauteilen erzielt [5, 6].

Abbildung 4: Einordnung der Anwendungsfelder.



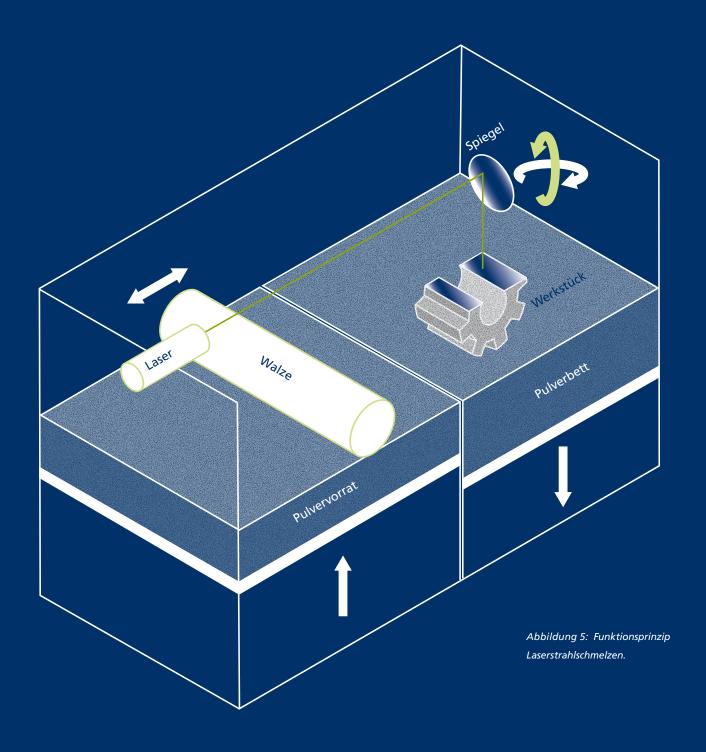
In Abbildung 4 ist eine grobe Einordnung der verschiedenen Anwendungsfelder entlang des Produktlebenszyklus zu sehen. Dabei sind jeweils spezifische Anwendungen aufgeführt.

3.2 ÜBERBLICK ÜBER DIE TECHNOLOGIEN UND ZUGEHÖRIGE VERFAHREN

Unter additiven Fertigungsverfahren versteht man Prozesse bei denen Material schichtweise zugeführt wird und nicht wie beim Fräsen oder Drehen aus einem massiven Körper abgetragen wird. Durch Hinzufügen von Ausgangsmaterial und Ausnutzen des Phasenübergangs eines Materials von flüssigem oder pulverförmigen in einen festen Zustand, werden Bauteile ohne Verwendung von Formen und Werkzeugen gefertigt. Die Technologien lassen sich durch die Art des Aufbaus voneinander unterscheiden. Es gibt den Aufbau durch Polymerisation, durch Verkleben und durch Verschmelzen bzw. Versintern [7].

Checkliste für die Fertigbarkeit additiver Bauteile:

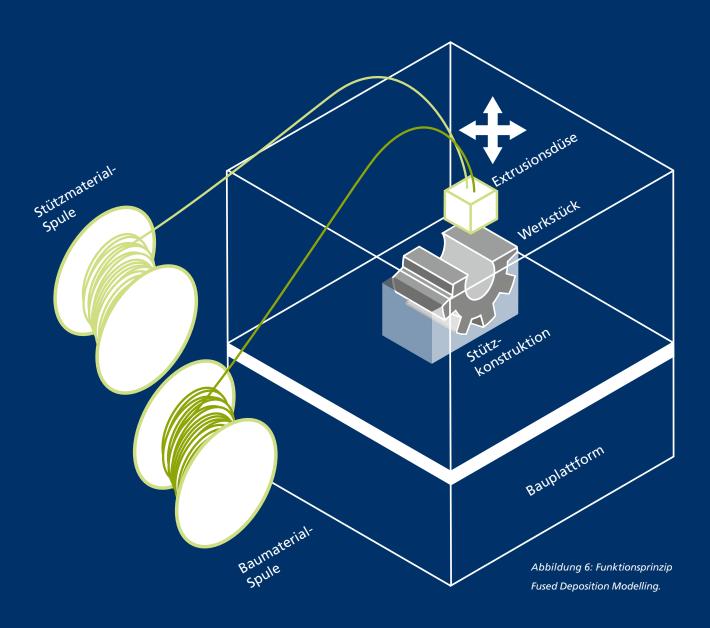
- Bauteilgröße vs. Bauraum
- Toleranzen vs. Detailgenauigkeit
- Bauteilanforderungen vs. verfügbare Materialien
- Oberflächenbeschaffenheit vs.
 Schichtstärke
- Durchlaufzeit vs. Druckgeschwindigkeit

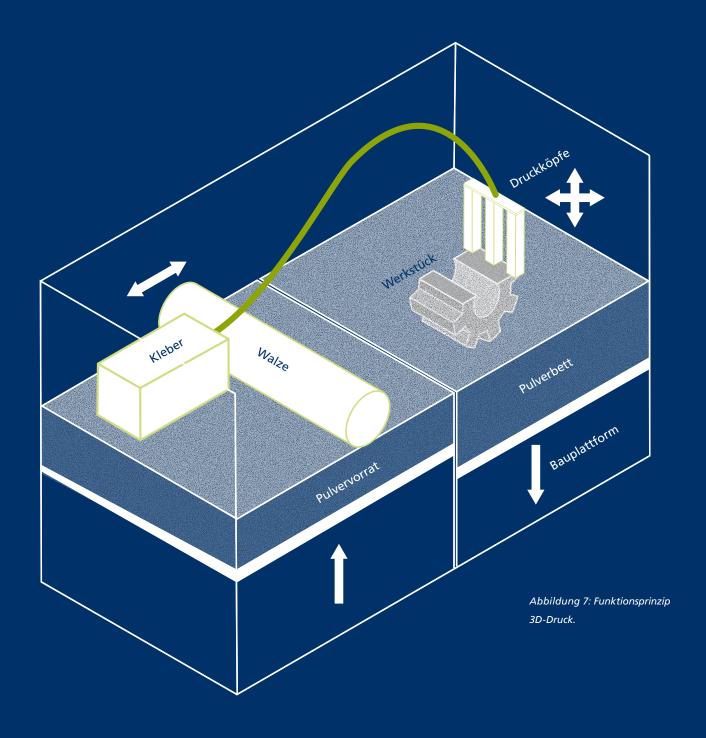


3.2.1 Aufbau durch Verschmelzen bzw. Sintern

Beim Aufbau durch Verschmelzen bzw. Sintern erfolgt die Konturierung durch punktuell gezieltes Aufschmelzen von Ausgangsmaterial, also durch lokale Einbringung von Wärme [8]. Beim Lasterstrahlschmelzen (LBM) und Elektronenstrahlschmelzen (EBM) wird das Pulver Schicht-für-Schicht lokal zum Schmelzen gebracht. Anschließend wird eine neue Schicht Pulver aufgetragen. Der Unterschied der beiden Verfahren liegt in der Wärmequelle. Beim LBM erfolgt das Aufschmelzen durch einen Laserstrahl, beim EBM mithilfe eines Elektronenstrahls. Beim LBM und EBM werden überwiegend pulverförmige Metalle verwendet [7].

Beim Fused Deposition Modelling (FDM) wird Schicht-für-Schicht erweichtes thermoplastisches strang- oder filamentförmiges Ausgangsmaterial aufgetragen, welches durch eine beheizte Düse erhitzt wurde. Das extrudierte Material härtet unmittelbar nach dem Auftragen aus. Das Ausgangsmaterial beim FDM ist ein schnurförmig aufgerolltes Polymer wie Feingusswachs, Kunststoff Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer (ABS) oder Methylmethacrylat-Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer (MABS) [7].

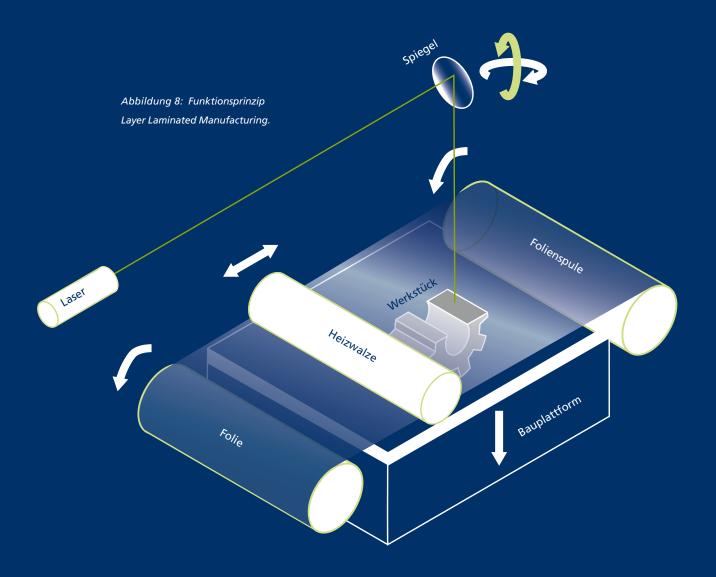


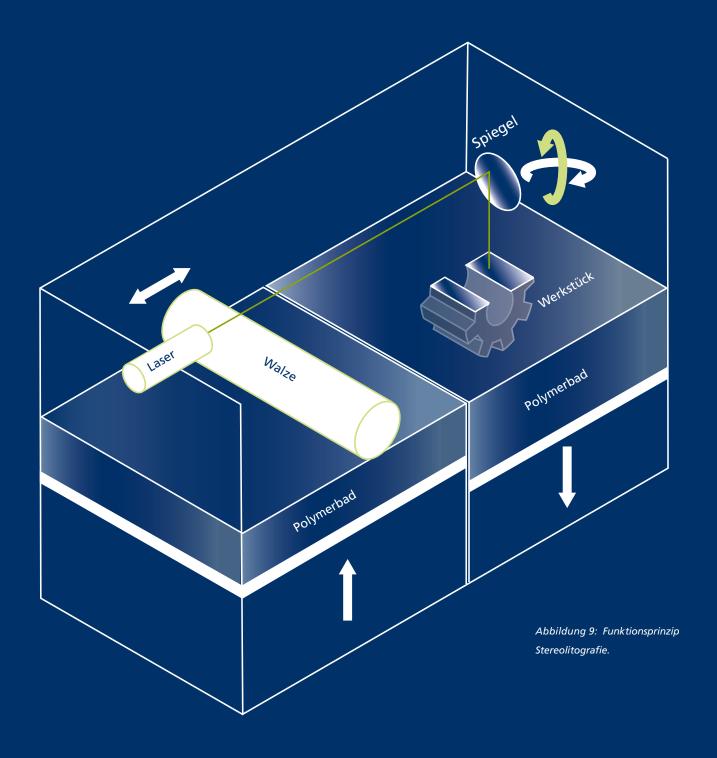


3.2.2 Aufbau durch Verkleben

Beim Aufbau durch Verkleben erfolgt die Formgebung durch das gezielte Verkleben von Material entlang der Bauteilkonturen [8]. Beim klassischen 3D-Druck (3DP) -Verfahren wird das Bauteil durch punktuelles Auftragen eines Binders oder einer Copolymerisation von pulverförmigem Material gefertigt. Als Ausgangsmaterialien werden meist Pulvergemische (Gips, Polymere, Metalle, Keramiken) oder flüssige Binder verwendet [7].

Beim Layer Laminated Manufacturing (LLM) Verfahren werden einzelne Folien aufeinander geklebt und anschließend die Konturzüge mittels eines Lasers, Messers oder Wasserstrahls ausgeschnitten. Die verwendeten Ausgangsmaterialien sind Papier-, Kunststoff-, Glasfieberkeramik- und Metallfolien [7].





3.2.3 Aufbau durch Polymerisation

Beim Aufbau durch Polymerisation wird ein flüssiges monomeres Harz (des Epoxid-, Acryl- oder Vinylether Typs) durch ultraviolette (UV-) Strahlung selektiv verfestigt. Dabei gibt es mehrere Prozesse, die sich in der Art der Erzeugung der UV-Strahlung und der Art der Konturierung unterscheiden. Die drei gängigen Verfahren der Polymerisation sind die Stereolithografie (SL), das Digital Light Processing (DLP) und das Polymerdruckverfahren, auch Polymerjetting genannt (PJ) [8].

Bei der Stereolithografie (SL) wird ein anfangs flüssiges Monomer mittels eines UV-Lasers lokal durch Polymerisation ausgehärtet. Dabei ist die Wellenlänge des Lasers auf das Kunstharz abgestimmt. Bei den verwendeten Ausgangsmaterialien handelt es sich um flüssige bis pastöse Foto-Prepolymere-Kunstharze (Prepolymere mit Fotoaktivatoren), wie Acrylat-, Vinylether- und Epoxyharze [7].

3.3 AKTUELLE PRODUKTIONSGRENZEN

Um ein geeignetes Verfahren für die Herstellung von additiven Bauteilen auszuwählen, ist es erforderlich die jeweiligen Fertigungsparameter genauer zu betrachten. In der folgenden Tabelle sind die derzeitigen Produktionsgrenzen verschiedener additiver Fertigungsverfahren aufgelistet. Dabei handelt es sich um Herstellerangaben.

Verfahren	SL	3DP	FDM (Kunststoff)	LBM (Metall)
Druckgeschwindigkeit	5,3-21 mm/h	60-85 l/h	10-150 mm/s (horizontal)	1 cm ³ /h - 171 cm ³ /h
Maximale Bauraum- größe [cm x cm x cm]	150 x 75 x 65	220 x 120 x 70	100 x 100 x 100	42 x 42 x 42
Minimale Schichtstärke [mm]	0,03	0,15	0,02	0,01
Detailgenauigkeit/ Abweichung [mm]	+/- 0,2 % +/- 0,150 - 0,60	0,1	XY: 0,010 - 0,5 Z: 0,1	0,04 - 0,2
Minimale Wandstärke [mm]	1	0,1	0,4	0,5

Tabelle 1: Aktuelle Produktionsparameter.

Insbesondere bei der Druckgeschwindigkeit sind große Abweichungen zwischen den Verfahren festzustellen. Jedoch schwankt diese auch innerhalb der Verfahren. Bedingt durch die genutzte Technologie gibt es zahlreiche Einflussfaktoren, welche die Geschwindigkeit beeinflussen. Bei der SL ist beispielsweise die Leistung des Lasers mitentscheidend, während beim FDM die Temperatur der Düse und die gewünschte Schichtdicke mitausschlaggebend sind. Einen der größten Einflüsse hat jedoch bei allen Verfahren der verwendete Werkstoff.

In folgender Tabelle sind die grundsätzlich je Verfahren anwendbaren Werkstoffe aufgeführt [7].

Verfahren		Werkstoff					
Abkürzung	Bezeichnung	Papier	Kunststoff	Formsand	Metall	Keramik	
SL	Stereolitographie		х			х	
LBM	Laser-Strahl- schmelzen				Х		
EBM	Elektronen- Strahlschmelzen				x		
FDM	Fused Deposition Modelling		х		X		
LLM	Layer Laminated Manufacturing	X	х		Х	x	
3DP	3D-Drucken		X	X	Х	X	

Tabelle 2: Übersicht der Werkstoffe pro Verfahren.

4 INTEGRATION DER ADDITIVEN FERTIGUNG IN UNTERNEHMENSPROZESSE

Komplexe Bauteile, dezentrale Fertigung und kundenindividuelle Produkte lassen in immer weiteren Bereichen einen wirtschaftlich darstellbaren Einsatz von additiver Fertigung als Alternative zu etablierten Fertigungsverfahren zu. Allerdings werden an additiv gefertigte Bauteile zur Nutzung als industriell eingesetzte Komponenten hohe Anforderungen in Bezug auf Qualität und Sicherheit gestellt. Diese Anforderungen wurden in der Norm DIN SPEC 17071 festgeschrieben. Gleichzeitig ergeben sich neue Anforderung an Unternehmensprozesse, um die genannten Potenziale effizient nutzen zu können.

4.1 DIGITALISIERUNG DER PROZESSKETTE

Abbildung 10 zeigt eine mögliche Prozesskette der additiven Fertigung vom CAD-Modell bis hin zum gedruckten Bauteil.

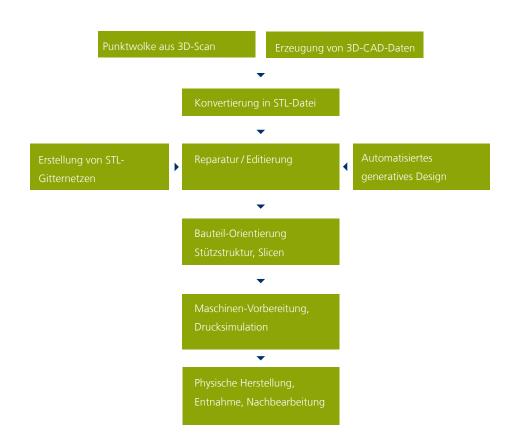


Abbildung 10: Prozesskette der additiven Fertigung.

An der Prozesskette sind zahlreiche Software-Tools beteiligt, die oftmals nicht vom gleichen Hersteller stammen. Während sich viele Tools auf native Datenformate stützen, etablieren sich auch zunehmend neutrale Datenformate, welche den Austausch zwischen den Programmen erleichtern. Diese sind jedoch oftmals verlustbehaftet, sodass durch die Konvertierung Informationen über die Bauteile verloren geht. Folglich ist es von großer Bedeutung, sich auf standardisierte Tools und Dateiformate zu einigen, damit ein fehlerfreier Dateiaustausch über sämtliche Prozessschritte von Arbeitsvorbereitung bis zur Nachbereitung möglich ist.

Mögliche Anforderungen an die Entwicklung durch die Einführung additiver Fertigung:

- 3D-Modell als führendes Informationsmedium
- Unternehmensübergreifender Datentransfer
- Einheitliche Verwendung von Dateiformaten
- Fehlerfreie Daten
- Offenheit für die Verwendung neuer unterstützender Software-Tools

Derzeit gibt es für den Austausch von Geometriedaten unterschiedliche Dateiformate, die abhängig von der Designsoftware, dem 3D-Scanner und dem 3D-Drucker sind. Der Austausch von Geometriedaten zwischen 3D-CAD Tools erfolgt hauptsächlich über die Formate STEP , JT oder IGES, wobei letzteres hauptsächlich bei Hobbyanwendungen verwendet wird.

Als Importformat für 3D-Drucker hat sich STL (Surface Tesselation Language) etabliert. Nahezu alle Drucker aus dem Hobby-Bereich bis hin zur großen Industriemaschine arbeiten mit diesem Dateiformat. Dabei handelt es sich um ein Mesh-Format, in dem die Objektdaten als Gitternetz hinterlegt sind. Das 3D-Modell wird hier durch aneinandergefügte Dreiecke angenähert.

Immer größere Bedeutung bekommt das Dateiformat AMF, welches zur Beschreibung von 3D-Objekten dient. Es beinhaltet Informationen über die Form und Zusammensetzung des Objekts (Farbe, Material, Gitternetzlinien) und ist ein offener, auf XML basierender Standard. Da es stark komprimierbar ist und im Vergleich zum STL-Format weitere Objekteigenschaften enthält, soll es dieses künftig ersetzen. Eine Umwandlung zwischen STL und AML ist in der Regel ohne Datenverlust durchführbar [10].

Neben den Dateiformaten etablieren sich zunehmend Software-Tools, die die Prozesskette an ausgewählten Stellen digital unterstützen sollen. Insbesondere für die digitale Aufbereitung der 3D-Daten gibt es zahlreiche Lösungen. Beispielsweise kann die Generierung von Füllstrukturen im Bauteilinnerem automatisiert erfolgen. Dies bringt neue Möglichkeiten zur Designoptimierung mit sich. Weiterhin lassen sich automatisiert Supportstrukturen für den Druckprozess erstellen. Allerdings lässt sich in aktuell etablierten Dateiformaten dieses Stützmaterial nicht als solches klassifizieren. Die Konsequenz ist, dass im Anschluss an den Fertigungsprozess händisch nachgearbeitet werden muss. Solche Objekteigenschaften lassen sich in Zukunft in den Konstruktionsdaten hinterlegen [11]. Durch diese neuen Möglichkeiten lassen sich automatisierte Nachbearbeitungsschritte direkt an die Fertigungsprozessschritte anhängen.

Ebenso lässt sich im Voraus die optimale Orientierung und Platzierung des Bauteils im Bauraum der Maschine planen. Es lassen sich durch Temperaturverläufe Prognosen über Bauteilverformungen, Eigenspannungen und das Materialverhalten erstellen. Damit können beispielsweise auch Druckfehler vermieden werden. Alles in allem lässt sich die konventionelle Prozesskette vereinfachen, optimieren und digitalisieren.



Abbildung 11: Füllstruktur im Bauteilinneren. © kool99 – iStock.de

4.2 ANFORDERUNGEN AN DIE PRODUKTIONSPROZESSE

Die DIN SPEC 17071 hat das Ziel ganzheitlich Anforderungen darzustellen, die als Basis für die Gestaltung des Produktionsprozesses additiv gefertigter Bauteile erforderlich sind. Dadurch und mittels prozesskettenbezogener Maßnahmen kann wiederholbare Qualität von additiv gefertigten Bauteilen sichergestellt werden.

Anforderungen an die Produktion durch die Einführung additiver Fertigung:

- Generierung von Stützen und Schichtdaten erforderlich
- 2. Korrekte Lagerung des Ausgangswerkstoffes
- 3. Regelmäßige Reinigung der Maschine nach Herstellervorgabe
- 4. Kontinuierliche Maschinenüberwachung
- 5. Protokollierung der Maschinendaten und Nachbearbeitung

Ein relevanter Bereich der Prozesskette ist die Datenvorbereitung, in der die digitalen Abläufe vor der additiven Fertigung stattfinden. Generell soll für additive Fertigung eine einheitliche Daten- und Informationsstruktur nach DIN EN IS 17296-4 verwendet werden. Zunächst sollen sämtlich Daten auf fehlerfreie, prozessuale Abbildbarkeit der 3D-Daten geprüft werden. Des Weiteren sind fertigungsbedingte Anpassungen der Geometrie, die eine konstruktive Veränderung der 3D-Daten als Folge haben, nur zulässig, wenn nach Rücksprache und Freigabe eine fertigungsgerechte Gestaltung angestrebt wird. Sämtliche Anpassungen müssen nachvollziehbar und nachprüfbar dokumentiert werden. Zwei weitere Anforderungen in diesem Bereich sind die Generierung von Stützen und Schichtdaten (falls erforderlich). Zusätzlich ist die korrekte Archivierung der Daten ein wichtiger Faktor. Die Archivierungsdauer muss der Vorgabe der jeweiligen Applikation/Branche entsprechen [12].

Der zweite wichtige Bereich der Prozesskette ist das Ausgangsmaterialmanagement. Für das Ausgangsmaterial (Ausgangswerkstoff) sind wesentliche Parameter festzulegen und gegebenenfalls zugehörige Prüfverfahren zur Eignung eines Ausgangsmaterials zu definieren. Zusätzlich ist eine regelmäßige Kontrolle des Ausgangsmaterials vorzusehen. Zur Lagerung müssen geeignete Lagerkonditionen gewählt werden.

Dabei sollen mindestens Temperatur und Feuchte überwacht werden. Zusätzlich soll der Transport des Ausgangsmaterials in und aus der Maschine gewissenhaft durchgeführt und kontrolliert werden, um beispielsweise Querkontamination zu vermeiden [12].

Ein weiterer Bereich der Prozesskette ist die anlagenbezogene Prozessvorbereitung. Die Anforderungen in diesem Bereich beziehen sich auf den Umgang mit den Maschinen, vor allem beim Be- und Entladen. Bei der Vorbereitung der Anlage muss der Ausgangszustand für den folgenden Produktionsdurchlauf wiederhergestellt werden. Dazu zählt die Reinigung der Maschine, die nach Herstellerangaben durchgeführt werden muss. Des Weiteren sind regelmäßige Entsorgung von Restbeständen und eine vollständige Entleerung des Überlaufschachtes notwendig [12].

An den Bereich der Prozessdurchführung werden weitere Anforderungen gestellt. Hierbei spielt die Systemüberwachung während des Betriebs eine wichtige Rolle. Generell sollten sämtliche vom Hersteller angegebenen Betriebsschritte beachtet werden. Während des Produktionsdurchlaufs wird nahe gelegt den Datensatz des Fertigungsloses (Geometrie, Schichtstärke), sämtliche Prozessparameter (z. B. Vorschubgeschwindigkeit, Spülvorgänge und Schichtauftrag), der Status der Komponenten (Laserstrom, Förderrate, Filterstatus) sowie Werkstoff und Maschinendaten (wie z. B. Betriebstemperatur, Seriennummer, Schutzgas) zu protokollieren [12].

Im Bereich der anlagenbedingten Prozessnachbereitung sollten angewandte Verfahren eindeutig einem Bauteil zuordenbar archiviert werden. Arbeitsschritte, wie die Konditionierung der Baukammer, Entnahme des Bauteils und Nachbereitung der Anlage sind zu spezifizieren und deren Prüfung und Dokumentation zu definieren. Falls notwendig müssen anlagenbedingte Folgeprozesse durchgeführt werden und eine Einzelbehandlung und Nachbereitung von Bauteilen möglich sein. Zusätzlich zur anlagenbedingten Prozessnachbereitung gibt es Anforderungen an die bauteilbezogene Nachbereitung. Dazu sollten übliche Verfahren angewendet werden, die zum größten Teil spezifisch genormt sind [12].

5 IHRE POTENZIALANALYSE ZUM EINSATZ ADDITIVER FERTIGUNG

Um die Potenziale und Auswirkungen für Ihre Firma richtig einschätzen zu können bietet das Fraunhofer IAO seine Unterstützung an. Über das BIEC ist zusätzlich auch eine geförderte Unterstützung möglich: vom ersten Impulsvortrag oder einem Workshop bis hin zu einem mehrwöchigen Projekt. In Abbildung 12 ist die Vorgehensweise bei der Potenzialanalyse zum Einsatz additiver Fertigung dargestellt. Neben einer umfassenden Analyse können je nach Bedarf und Reifegrad Ihres Unternehmens Teilschritte ausgewählt und bearbeitet werden.



Abbildung 12: Vorgehensweise Potenzialanalyse 3D-Druck.

Schritt 1: Identifikation der Einsatzmöglichkeiten für additive Fertigung bei Ihnen

Die Identifikationsphase führen wir bei Ihnen im Betrieb zielgerichtet mit Hilfe unseres erprobten Analysesets und moderierten Kleingruppenworkshops durch. Durch die Aufnahme verschiedentlicher Sichten ermitteln wir eine belastbare "Landkarte" zu möglichen Nutzungsszenarien in Ihrem Unternehmen. Dabei arbeiten wir als neutrale Instanz konkrete Einsatzmöglichkeiten für die additive Fertigung passend zu Ihren betrieblichen Prozessen heraus.

Schritt 2: Detaillierte Analyse der identifizierten Einsatzmöglichkeiten

Die in Schritt 1 identifizierten Einsatzmöglichkeiten bewerten wir auf Basis der aktuellen technologischen Grenzen additiver Verfahren. Dabei binden wir die relevanten Stakeholder mithilfe von Workshops direkt in den Prozess ein. So schaffen wir bei Ihren Mitarbeitern Verständnis für realistische Möglichkeiten der additiven Fertigung. Wichtiger Bestandteil dieses Verständnisses ist auch die Kenntnis eventueller Hindernisse und notwendiger Prozessanpassungen für die Nutzung der jeweiligen Verfahren.

Schritt 3: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und Potenzialanalyse

Um den Nutzen durch die Einführung von 3D-Druck für Sie zu quantifizieren, bewerten wir unter Berücksichtigung von Aspekten wie Ökonomie, Ökologie und Technologie Ihre unternehmensspezifischen Einsatzmöglichkeiten. So entsteht für Ihr Management eine strukturierte Entscheidungsvorlage zur Einführung additiver Fertigung.

Schritt 4: Erarbeitung Ihrer Roadmap zum Einsatz additiver Fertigung

Aufbauend auf der aktuellen Situation Ihres Unternehmens in Kombination mit Ihrem angestrebten leiten wir Ihre maßgeschneiderten Handlungsbedarfe ab. Diese Handlungsbedarfe beinhalten unter anderem technische, organisatorische und kompetenzbezogene Anforderungen. Ergebnis ist eine strukturierte Roadmap mit allen relevanten Maßnahmen, den erforderlichen Anpassungen in Ihrem Unternehmen zur Anwendung von additiver Fertigung.

Neben der Roadmap mit Ihren ersten Schritten zur Umsetzung, unterstützen wir Sie darüber hinaus gezielt bei der Umsetzung Ihrer prioritären Einsatzmöglichkeiten.

6 LITERATUR

- [1] H. A. Richard, B. Schramm und T. Zipsner, Hg., Additive Fertigung von Bauteilen und Strukturen. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.
- [2] IPH Institut für Integrierte Produktion Hannover, Additive Fertigung als zukunftsweisendes Fertigungsverfahren. [Online]. Verfügbar unter: https://www.iph-hannover.de/de/dienstleistungen/fertigungsverfahren/additive-fertigung/. Zugriff am: 15. 12. 2020.
- [3] TRUMPF GmbH + Co. KG, Additive Fertigung. [Online]. Verfügbar unter: https://www.trumpf.com/de_DE/anwendungen/additive-fertigung/. Zugriff am: 15. 12. 2020.
- [4] Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg, Additive Fertigung: Wissenswertes rund um den Technologietrend 3D-Druck. [Online]. Verfügbar unter: https://www.wirtschaft-digital-bw.de/themen/thema-des-monats/additive-fertigung/. Zugriff am: 15. 12. 2020.
- [5] R. Lachmayer, R. B. Lippert und T. Fahlbusch, Hg., 3D-Druck beleuchtet: Additive Manufacturing auf dem Weg in die Anwendung. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2016. [Online]. Verfügbar unter: http://gbv.eblib.com/patron/FullRecord.aspx?p=4518931
- [6] A. Gebhardt, Additive Fertigungsverfahren: Additive Manufacturing und 3D-Drucken für Prototyping Tooling Produktion, 5. Aufl. München: Hanser, 2016.
- [7] Additive Fertigungsverfahren Grundlagen, Begriffe, Verfahrensbeschreibungen, VDI 3405, 2014.
- [8] A. Gebhardt, J. Kessler und L. Thurn, 3D-Drucken: Grundlagen und Anwendungen des Additive Manufacturing (AM), 2. Aufl. München: Hanser, 2016.
- [9] C. Feldmann, C. Schulz und S. Fernströning, Digitale Geschäftsmodell-Innovationen mit 3D-Druck: Erfolgreich entwickeln und umsetzen, 2019.
- [10] 3Faktur GmbH, Übersicht über die häufigsten 3D-Druck Dateiformate. [Online]. Verfügbar unter: https://3faktur.com/uebersicht-ueber-die-haeufigsten-3d-druck-dateiformate/. Zugriff am: 15. 12. 2020.
- [11] Additive Innovation GmbH, Game Changer für die Additive Fertigung. [Online]. Verfügbar unter: https://additive-innovation.com/software/4d-additive.html.
 Zugriff am: 15. 12. 2020.

- [12] Additive Fertigung Anforderungen an qualitätsgesicherte Prozesse für additive, DIN SPEC 17071, 2019.
- [13] KPMG, "Die Potenziale von Additive Manufacturing effektiv nutzen: Richtig auf Veränderungen und Auswirkungen in Geschäftsmodell, Supply Chain und Recht reagieren.", München, 2015.
- [14] M. Attaran, "Additive Manufacturing: The Most Promising Technology to Alter the Supply Chain and Logistics", Journal of Service Science and Management, Jg. 10, 2017, doi: 10.4236/jssm.2017.103017.
- [15] EOS GmbH, Additive Fertigung mit Metallen. [Online]. Verfügbar unter: https://www.eos.info/de/additive-fertigung/3d-druck-metall. Zugriff am: 15. 12. 2020.

Impressum

Kontaktadresse:

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO, Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart www.iao.fraunhofer.de

Nikolas Zimmermann

Telefon +49 711 970-2140 nikolas.zimmermann@iao.fraunhofer.de

urn:nbn:de:0011-n-6214585 http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-621458.html

Layout und Grafiken: Lilian Ruchay, IAO

Titelbild: @ Phuchit-stock.adobe.com, Fraunhofer IAO

© Fraunhofer IAO, 01/2021



