

Ralf Anderhofstadt  
Marcus Disselkamp

# Disruptiver 3D-Druck

Neue Geschäftsmodelle und  
Wertschöpfungsketten



HANSER

HANSER

Ralf Anderhofstadt  
Marcus Disselkamp

# **Disruptiver 3D-Druck**

Neue Geschäftsmodelle und Wertschöpfungsketten

Die Verfassenden:

*Ralf Anderhofstadt*, Leiter Center of Competence Additive Manufacturing – Daimler Truck, Neu-Ulm

*Marcus Disselkamp*, Business Coach, München

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen dargestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Darstellungen und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Die Verfassenden und der Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Darstellungen oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2022 Carl Hanser Verlag München

[www.hanser-fachbuch.de](http://www.hanser-fachbuch.de)

Lektorat: Mark Smith

Herstellung: Cornelia Speckmaier

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, [www.rebranding.de](http://www.rebranding.de), München

Titelmotiv: © Ralf Anderhofstadt, Marcus Disselkamp

Coverrealisierung: Max Kostopoulos

ISBN: 978-3-446-47020-0

E-Book-ISBN: 978-3-446-47021-7

ePub-ISBN: 978-3-446-47022-4

# Inhalt

## Titelei

## Impressum

## Inhalt

## Vorwort

## Autoren

## Erläuterung

# 1 Additive Fertigung – nächste Stufe der Industrialisierung

## 1.1 Einführung in die additive Fertigung

### 1.1.1 Wettbewerbsvorteile dank 3D-Druck

1.1.2 Vielzahl an Materialien

1.1.3 Normen und Richtlinien

1.1.4 Klassifizierung der Fertigungsverfahren

## **1.2 Übersicht über 3D-Druckverfahren**

1.2.1 Die wesentlichen additiven Herstellungsverfahren

1.2.2 Kombinierte 3D-Druckverfahren

1.2.3 Neue Verfahren

## **1.3 Vielzahl von Anwendungen und Branchen**

1.3.1 Automobil- und Luftfahrtindustrie

1.3.2 Maschinenbau

1.3.3 Medizintechnik

1.3.4 Konsumgüterindustrie

1.3.5 Lebensmitteltechnik

1.3.6 Immobilienwirtschaft

## **1.4 Ausblick Zukunft**

## **2 Disruptionen – neue Spielregeln für Unternehmen und Menschen**

### **2.1 Bruch mit heutigen Wertschöpfungsketten**

2.1.1 Dematerialisierung

2.1.2 Disaggregation

2.1.3 Disintermediation

2.1.4 Produktion „on Demand“

2.1.5 Dezentrale Produktion

2.1.6 Creator Economy (DIY<sup>2</sup>)

2.1.7 Neue Logistikketten

2.1.8 Durchgängigkeit interner Wertschöpfungsketten

2.1.9 Nachhaltigkeit

### **2.2 Mit Menschen Disruptionen entwickeln**

2.2.1 Barrieren gegen Veränderungen

2.2.2 Think Big, Start Small, Move Fast

## **3 Wettbewerbsfähigkeit dank 3D-Druck**

## **3.1 Kostenvorteile**

## **3.2 Mehrwerte**

3.2.1 Mehrwerte aus dem 3D-Druck

3.2.2 Mehrwerte (mit den Kunden) schaffen

## **3.3 Leistungsarchitektur**

3.3.1 Aufbau einer eigenen additiven Fertigung

3.3.2 Nutzung einer externen additiven Fertigung

3.3.3 Management der 3D-Druckdaten und -Druckprozesse

3.3.4 Schutz des geistigen Eigentums

3.3.5 Einbindung digitaler Plattformen

## **3.4 Ertragsmodell**

3.4.1 Kostenstruktur der additiven Fertigung

3.4.2 Einnahmequellen der additiven Fertigung

## **4 Fazit**

## **Literaturverzeichnis**

**Interviewpartner**

---

**Sammlung Paradigmenwechsel**

---

# Vorwort

Additive Fertigungsverfahren waren in den letzten drei Jahrzehnten zunächst eine Randerscheinung. Mittlerweile hat der Fortschritt im 3D-Druck aber für gewaltigen Auftrieb gesorgt. Hersteller der verschiedensten Waren und Händler der unterschiedlichsten Branchen zeigen mehr und mehr Akzeptanz und Interesse am Potenzial der neuen Technologien. Das Umdenken führt zu einer Vielzahl von Innovationen. Sparsamere und umweltfreundlichere Produktionsprozesse sind eine Seite, Flexibilität in der Produktion und die Digitalisierung der bestehenden Abläufe kommen hinzu. Der industrielle 3D-Druck bricht somit mit vielen bestehenden Konzepten: Unternehmen übernehmen im Sinne von „Do it yourself“ die Funktionen ihrer bisherigen Zulieferer, Intermediäre verlieren durch die sogenannte Disintermediation ihre Existenzgrundlage, Hersteller verlagern ihre Produktionen an dezentrale Standorte und (End-)Kunden werden zu viel intensiveren „Prosumern“, als es sich jemals das Marketing vorstellen konnte.

Die Geschäftsmodelle vieler Bestandsunternehmen aus ganz unterschiedlichen Branchen werden toxisch, also existenzgefährdend, wie in den Bereichen Logistik und Lagerwesen, Industrie, Dienstleistungen, Handel oder Service.

Umgekehrt ergeben sich auch viele Chancen für moderne, existenzsichernde Geschäftsmodelle, auf die die Publikation genauer eingehen wird. Gesteigerte Nachfrage in vielen Bereichen zeigen das Interesse des Marktes – nicht nur in Luft- und Raumfahrt, Automobilindustrie, Immobilienwirtschaft, Nahrungsmittelbranche oder Medizintechnik. Fortschreitende Digitalisierung und Standardisierung des 3D-Drucks sind derzeit Thema. Sie sind auch Voraussetzung für eine weitere Durchdringung der Serienfertigung mit additiven Fertigungsverfahren.

Aus diesem Grund gewinnt der 3D-Druck insbesondere in den letzten Jahren zunehmend an Aufmerksamkeit. Neben Forschung und Wissenschaft interessieren sich große und kleine Unternehmen für den Einsatz der additiven Fertigung im industriellen Umfeld. Globale Entwicklungen zeigen neue Trends und prognostizieren einen großen Umbruch im Bereich der industriellen Fertigung – und sogar darüber hinaus. Der 3D-Druck und die damit verbundenen Möglichkeiten sind disruptiv. Das heißt nichts anderes, als dass wir mit dem 3D-Druck in vielen Bereichen der Produktion bereits gravierende Veränderungen sehen und noch weitere erleben werden. Davon ist eine Vielzahl von Branchen betroffen: Nicht nur in der Automobil- oder Luftfahrtindustrie entstehen Bauteile aus dem 3D-Drucker. Dabei geht der Einsatz von additiven Fertigungstechnologien in der Zwischenzeit weit über den Bau von ein paar Prototypen hinaus – sie sind in der Serienproduktion angekommen. Mehr noch: Mittlerweile werden medizinische Prothesen individuell von spezialisierten Unternehmen gefertigt, entstehen Nahrungsmittel per Druckverfahren – sogar in Restaurants – und ganze Häuser kommen aus dem 3D-Drucker. In den folgenden Kapiteln finden Sie dazu einige interessante Beispiele.

Scheinbar grenzenlos sind die Möglichkeiten der additiven Fertigung. Nach Ausschöpfen der bisherigen Potenziale gibt es neue Ansätze zu langfristigen und nachhaltigen Strategien hinsichtlich weiterer Einsatzmöglichkeiten. Dazu gehören neben technologischen Trends auch neue Geschäftsmodelle. Lange bewährte Wertschöpfungsketten werden hinterfragt: Die bereits zitierte Digitalisierung führt in der Industrie zu einem massiven Umdenken. Klassische Fabriken, Maschinen und sogar Arbeitsplätze werden nicht mehr in uns bekannter Form und gewohntem Umfang benötigt. Die damit verbundene Dematerialisierung betrifft viele Bereiche, nicht nur die Produktion! Produkte werden „neu gedacht“: bestehende Funktionen mit neuen Angeboten kombiniert und daraus neue Geschäftsideen und Ertragsmöglichkeiten geschaffen. Nicht nur Kostenoptimierung steht im Mittelpunkt, sondern auch Mehrwerte für Kunde und Unternehmen stehen im Fokus – das Ziel: operative Excellence UND Customer Experience.

Die verschiedenen Kapitel dieses Buches bieten einen Überblick über additive Fertigungstechnologien und das gesamte Umfeld: zuerst vom Einblick in die aktuellen 3D-Druckverfahren über die breite Palette an verfügbaren Werkstoffen und damit den Einsatzmöglichkeiten des 3D-Drucks, gefolgt von den gravierenden, ja sogar disruptiven Effekten auf Unternehmen und ganze Wertschöpfungsketten sowie am Ende der Diskussion hin zu den für die additive Fertigung dringend notwendigen Geschäftsmodellen, ohne die der 3D-Druck nur eine neue Technologie bleibt, ohne neue Einkommensmöglichkeiten und Wettbewerbsvorteile zu generieren.

Noch ein Hinweis zu den im Text verwendeten Bezeichnungen. Hier werden synonym die Begriffe „additive Fertigung“ und „3D-Druck“ verwendet. Diese Parallelität ist auch weitverbreitet in

wissenschaftlichen und praxisorientierten Veröffentlichungen zu finden. Der eigentliche Unterschied liegt darin, dass mit der Bezeichnung „additive Fertigung“ im Wesentlichen die Methode der dahinterstehenden Fertigungsverfahren beschrieben wird. Mit additiven Fertigungsverfahren werden Objekte durch Aneinanderfügen von Volumenelementen hergestellt – in den meisten Fällen durch schichtweisen Aufbau der gewünschten Geometrie. Daher kann man ohne Einschränkungen feststellen, dass additive Fertigung und 3D-Druck für dasselbe stehen. Sie beschreiben ein und dieselbe Fertigungstechnologie – lediglich aus verschiedenen Perspektiven betrachtet.

Neu-Ulm und München, Juni 2022

# Autoren



**Ralf Anderhofstadt** ist Leiter des Center of Competence Additive Manufacturing und Projektleiter des crossfunktionalen 3D-Druck-Projekts innerhalb Daimler Truck. Seit mehreren Jahren gestaltet er federführend mit seinen Teams die Einführung des industriellen 3D-Drucks in die unterschiedlichen Prozesse bei Daimler Truck. Hierzu zählt die Steuerung und Integration von zahlreichen nationalen und internationalen Bereichen innerhalb des Konzerns mit dem Ziel zum Aufbau eines digitalen 3D-Druck-Geschäftsmodells. Parallel ist er im VDI Fachgremium „Rechtliche Rahmenbedingungen der Additiven Fertigung“ aktiv, arbeitet als Dozent mit dem Schwerpunkt 3D-Druck und ist als Trainer für

zahlreiche Schulungen innerhalb des Geschäftsfelds der Additiven Fertigung tätig.



**Dr. Marcus Disselkamp** ist ein anerkannter Experte für Unternehmensstrategien in Zeiten des digitalen Wandels und einer der TOP-100-Trainer im deutschsprachigen Raum. Seit Jahrzehnten begleitet er als Business Coach und Sparring Partner Firmen bei der unternehmerischen Wettbewerbsfähigkeit, modernen Geschäftsmodellen und der digitalen Transformation. Mehrere Tausend Teilnehmer von Strategie- und (digitalen) Innovationsprojekten sowie Managementtrainings überzeugte er schon mit seiner praxisnahen, methodisch ganzheitlichen und dynamischen Art und Weise. Er unterrichtet das Themenfeld „(digitale) Wettbewerbs- und Wachstumsstrategien“ an mehreren internationalen Hochschulen und Business Schools, ist Fachautor, Podcaster sowie Mitglied in mehreren Beirats- und Verwaltungsratsorganen ([www.disselkamp.com](http://www.disselkamp.com)).

# Erläuterung

In unserem Buch verwenden wir mehrere Typen von Hinweiskästen, die sich wie folgt charakterisieren:



## **Definitionen**

Erläuterung von Fachbegriffen, Technologien oder Methoden



## **Paradigmenwechsel**

Hier geht es um die Überprüfung etablierter Annahmen, Werte, Leitbilder und Regeln.



## **Hinweise**

Hervorhebung zentraler Aspekte



## **Praxisbeispiele**

mit Nennungen konkreter Beispiele und Tipps aus der Praxis für die Umsetzung des 3D-Drucks



## **Interviews**

Zu manchen Fachthemen konnten wir uns mit kompetenten Interviewpartnern austauschen.



## **CHECKLISTEN**

Auflistung von relevanten Anforderungen für bestimmte Sachthemen

Sie alle sollen den Lesern und Leserinnen dabei helfen, effizient und kompetent die zentralen Aspekte dieses Fachbuches zu identifizieren und für sich zu analysieren.

# 1 Additive Fertigung – nächste Stufe der Industrialisierung

In den letzten Jahren hat der Einsatz additiver Fertigungsverfahren in vielen Bereichen und darüber hinaus auch in vielen Branchen stark zugenommen. Der industrielle Einsatz begann allerdings schon in den 1980er-Jahren, als die Automobilindustrie die Methode für sich entdeckte, da sich damit besonders effizient Prototypen herstellen ließen. Im Vergleich zu bisherigen, konventionellen Fertigungsmethoden mussten Objekte nicht mehr in mehreren Schritten maschinell bearbeitet werden, sondern konnten schichtweise sozusagen „an einem Stück“ aufgebaut werden. So wurden Prototypen schneller und mit geringerem Werkstoffeinsatz hergestellt, jedoch waren diese ersten Objekte meist wenig stabil und in vielerlei Hinsicht empfindlich.

Mit zunehmender Digitalisierung wurden die Methoden und Verfahren der additiven Fertigung verbessert und weiterentwickelt. In der Folge konnten auch wichtige Qualitätsmerkmale und Eigenschaften der 3D-gedruckten

Objekte deutlich verbessert werden. Durch die höhere Qualität der Produkte erlangte die additive Fertigung auch wachsendes Interesse in anderen Bereichen – auch über den klassischen Maschinenbau hinaus. Weitere Branchen begannen nach und nach, die Vorteile des 3D-Drucks für sich zu entdecken und die Möglichkeiten der additiven Fertigung für ihre Produkte anzuwenden. Neue, weitere Technologien wurden entwickelt oder für branchenspezifische Belange angepasst. Die rasche Verbreitung des 3D-Drucks lässt sich unter anderem auch auf die immer schnellere Entwicklung und Anpassung von Verfahren zurückführen.

Hinzu kommt noch die ständig wachsende Zahl an Werkstoffen, die zum Einsatz gebracht werden können. Waren es zu Beginn nur Kunststoffe, die mit additiven Fertigungsverfahren verarbeitet werden konnten, so ist heute eine Vielzahl von Werkstoffen für unterschiedlichste Einsätze verfügbar. Metalle und Keramik finden ebenso Anwendung wie Gips – je nachdem in welcher Branche und was gefertigt werden muss. Viele Unternehmen arbeiten mittlerweile in ihren Forschungsbereichen mit Hochdruck daran, eigene Werkstoffe für spezifische Anwendungen zu entwickeln und zu optimieren – häufig auch in Zusammenarbeit mit Hochschulen.



## Interview EOS

„Wir glauben, dass Innovation und Technologie helfen kann eine bessere Welt für alle zu ermöglichen. Wir gestalten die Zukunft einer nachhaltigen Fertigung. Unser Ziel und Unternehmenszweck ist es, bahnbrechende digitale Innovationen im industriellen 3D-Druck mit nachhaltigen Praktiken zu verbinden.“



Björn Hannappel, Head of Sustainability EOS GROUP  
(Quelle: EOS)

Um bei der wachsenden Zahl von Verfahren und Werkstoffen einen Überblick zu behalten – oder auch um Interessierten einen ersten Einblick in Methoden und Möglichkeiten zu geben – wurden mittlerweile von nationalen und internationalen Gremien Normen und Richtlinien verfasst. Der Verein Deutscher Ingenieure hat beispielsweise eine ganze Richtlinienfamilie verfasst. In dieser Richtlinie VDI 3405 sind beispielsweise die

gängigsten Verfahren oder Kenndaten für Werkstoffe erfasst. Eines der Ziele bei der Erstellung war, Unternehmen bei der Wahl sowohl des bestgeeigneten Verfahrens als auch des „optimalen“ Werkstoffs in Bezug auf den spezifischen Einsatz zu unterstützen.



**3D-Druck** stellt den **Oberbegriff für eine wachsende Anzahl verschiedenster Fertigungstechnologien** dar. Die Verfahren unterscheiden sich nicht nur hinsichtlich der verwendeten Werkstoffe, sondern im Wesentlichen durch die Art und Weise, wie Objekte aus den Werkstoffen aufgebaut werden.

Hier kommen mittlerweile unterschiedlichste Ansätze zur Anwendung, die in den folgenden Kapiteln detaillierter beschrieben und dargestellt werden.



Eins haben alle Verfahren der additiven Fertigung zunächst gemeinsam: Bei allen wird **mithilfe von CAD-Programmen ein digitales Modell eines dreidimensionalen Objektes erstellt**. Diese 3D-Datenmodelle werden wiederum mittels geeigneter Software in maschinenlesbare Datensätze umgewandelt und dann an ein 3D-Drucksystem übertragen. Dort werden die Objekte dann Schicht für Schicht – additiv – aufgebaut.

Damit unterscheidet sich der 3D-Druck ganz wesentlich von herkömmlichen – als „subtraktive Fertigung“ bezeichneten –

spanabhebenden Fertigungsverfahren.

Beim 3D-Druck handelt es sich zwar um junge Fertigungsverfahren – jedoch lassen sich viele Gründe für das ständig wachsende Interesse finden. Das liegt an vielen Vorteilen, die die Herstellung von Teilen und Objekten mit einem 3D-Drucker mit sich bringt. Es sind beispielsweise keine Formen oder Werkzeuge erforderlich und der Materialverbrauch ist im Vergleich zu herkömmlichen Fertigungsverfahren deutlich geringer. 3D-Druck ermöglicht eine wirtschaftliche Anwendung – besonders auch bei kleinsten Fertigungstückzahlen (bis hin zu Losgröße 1) – und macht additive Fertigungsverfahren ökologisch nachhaltig und kosteneffizient. Darüber hinaus ermöglicht 3D-Druck die Fertigung von komplexen Objekten in einem Schritt, die mit herkömmlichen Methoden aus mehreren Teilen gefertigt und dann montiert werden müssten. Ausgehend von Anwendungen in der Industrie haben 3D-Drucker in der Zwischenzeit auch viele Felder des privaten Umfelds erobert.



## Interview Messe Frankfurt

**Additive Manufacturing (AM) ist mehr als reine Technologie.** AM wird nicht nur unsere industrielle Zukunft, sondern unser künftiges Leben maßgeblich beeinflussen. Warum ist das so? Wenn ich als Messeveranstalter der Formnext als bedeutendster Messe für den industriellen 3D-Druck die letzten Jahre Revue passieren lasse, hat sich alleine seit 2015 in der Anwendung des Additive Manufacturing und den AM-Technologien unglaublich viel getan. Noch vor wenigen Jahren wurde der „3D-Druck“ vor allem in der Tages- und Wirtschaftspresse noch in der Form dargestellt, dass wir als Konsumenten in naher Zukunft bald jeder einen eigenen Drucker zu Hause stehen haben und uns die wundersamsten Dinge daraus selbst drucken. Diese etwas sehr verklärte Vorstellung hat sich nicht bewahrheitet. Vielmehr hat sich das aufs „ $\mu$ “ berechnete additive Zusammenfügen kleiner und kleinster Materialteilchen, ob nun aus Kunststoff, Metall, Keramik, CFK, und weiterer wie Glas oder Holz samt teilweise Mischungen derselbigen plus eingedruckter elektronischer Bauteile oder gar organischer Zellen zu einer – wenn nicht sogar der – Zukunftstechnologie industrieller Fertigung schlechthin entwickelt.

Aus den Erfahrungswerten von Sascha Wenzler sind in den vielfältigsten Anwendungsgebieten, seien es Automotive, Maschinenbau, Luft- und Raumfahrt, Medizintechnik, Dentaltechnik über Schmuck, Schiffsbau, Schienenverkehr, Elektroindustrie, Verpackungen, Werkzeugbau bis zu Nischen wie Offshore oder Oil and

Gas Exploration und vielen mehr, sind Designs, Produkte und Anwendungen entstanden, die noch vor wenigen Jahren schlichtweg nicht vorstellbar waren. Ein neues Denken entsteht durch AM. Vom Produktdesigner über den Entwicklungsingenieur bis zum Fertigungsverantwortlichen und CEO werden die Freiheiten und Möglichkeiten des Drucks in der dritten Dimension entdeckt. Für mich besonders faszinierend bleibt die Medizintechnik, hier ist besonders greifbar, wie Additive Manufacturing dem Menschen als Patienten hilft und echten Lebenswert schafft. In der Großindustrie, aber auch mehr und mehr im Mittelstand entstehen zudem knallhart kalkulierte Business Cases. Der industrielle 3D-Druck ist zudem in der Lage Lieferketten auf den Kopf zu stellen und Resilienz zu schaffen. Additive Manufacturing ist längst auf dem Weg zu einer regulären Fertigungstechnologie in Ergänzung, aber auch im Wettbewerb mit den traditionellen Verfahren. Serienreife wird bereits erreicht und wir stehen trotzdem erst am Anfang der Reise. Mir persönlich bleibt es eine besondere Freude, diese Reise mit der Formnext mitzugestalten und zu begleiten.



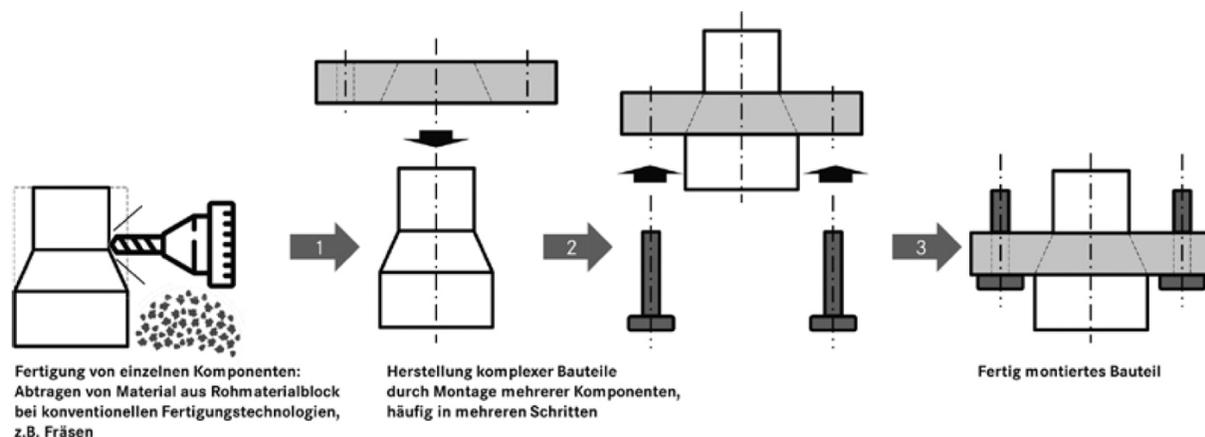
Sascha F. Wenzler, Vice President Mesago Messe Frankfurt GmbH

## 1.1 Einführung in die additive Fertigung

Seit Urzeiten stellen Menschen Dinge für den täglichen Bedarf her, die das Leben vereinfachen sollen. Es begann mit einfachen Werkzeugen, die sich unsere Vorfahren aus Holz und Stein bastelten. Im Lauf der Zeit – genauer gesagt mit der Entdeckung von Metallen und neuen Werkstoffen – wurden die Werkzeuge und Werkstücke vielfältiger und komplexer, und mit ihnen wurden auch die Methoden und Verfahren zur Herstellung immer komplexer. Die klassischen Fertigungstechnologien haben dabei in der Regel einen gemeinsamen großen Nachteil: Die Werkstücke (oder Komponenten davon) werden aus massiven

Blöcken von Rohmaterial herausgeschnitten. Man spricht bei diesen Verfahren auch von einer **subtraktiven Fertigung**. Häufig geht den herkömmlichen Fertigungsverfahren ein großer Anteil des Rohmaterials als Abfall verloren. Bei komplexen Werkstücken fallen manchmal sogar bis zu 90 Prozent des eingesetzten Materials der Zerspanung zum Opfer! Zudem müssen komplexe Bauteile häufig aus mehreren Einzelteilen aufgebaut werden, was zusätzliche Zeit für Montage erfordert.

[Bild 1.1](#) zeigt schematisch die Fertigung eines Bauteils mithilfe konventioneller Fertigungsverfahren: Der Aufbau komplexer Bauteile erfolgte bisher in der Regel aus einzelnen Komponenten. Zunächst werden diese Komponenten des zu fertigenden Bauteils als Einzelteile gefertigt. In den meisten Fällen geht bei der Herstellung dieser Einzelteile ein häufig ganz erheblicher Anteil des Werkstoffs als Abfall durch spanabhebende Verfahren verloren.

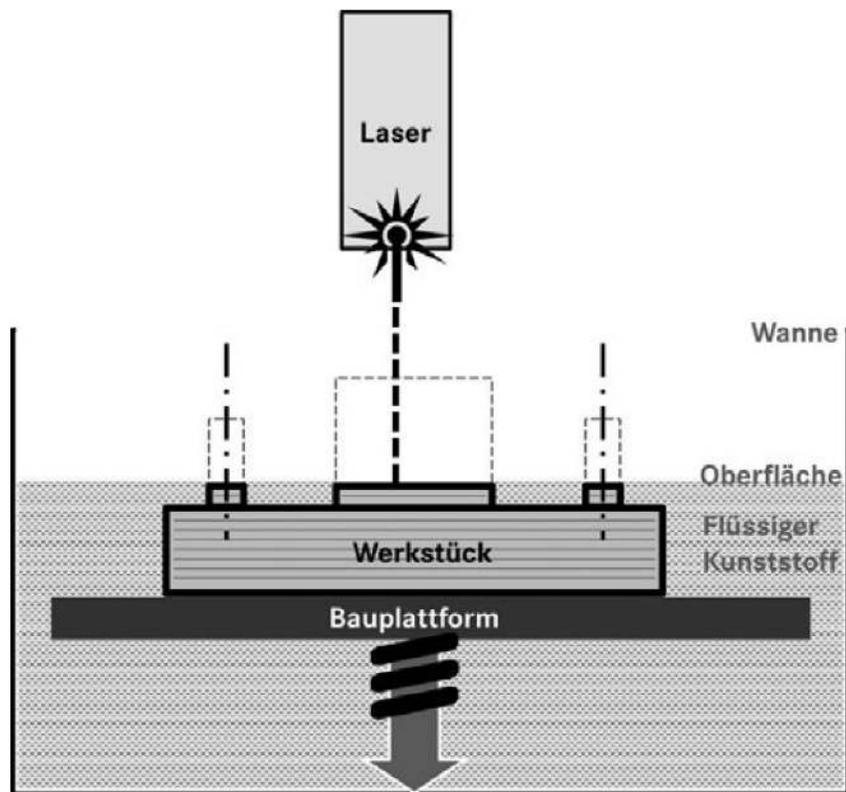


**Bild 1.1** Konventionelle Fertigungsmethoden

Doch dank der additiven Fertigungsverfahren geht es mittlerweile auch anders. Bereits in den 1970er-Jahren hatte der belgische Komikautor Hergé eine Vision: In einem seiner Comics

beschreibt er, wie seine Comic-Helden Tim und Struppi den Professor Bienlein besuchen und dessen neueste Erfindung – eine 3D-Kopiermaschine – bestaunen. Mit dieser Maschine ist der Professor in der Lage, einen Gegenstand in einem Arbeitsgang nachzubilden – durch den Aufbau aus Rohmaterial. Das Besondere dabei ist, dass das alles ohne die bisher notwendigen Bearbeitungsvorgänge wie Drehen, Fräsen oder Bohren funktioniert. Nur eine Fantasiewelt des Comics? Oder wurde hier tatsächlich schon der Grundgedanke der additiven Fertigung – auch „Additive Manufacturing“ genannt – sichtbar gemacht. Das käme einer Revolution gleich, wie in Urzeiten die Erfindung des Rads.

Es dauerte dann noch etwa zehn Jahre, dann gelang es Chuck Hull – einem amerikanischen Ingenieur –, das erste Verfahren des 3D-Drucks in die Tat umzusetzen. Im Jahr 1986 wurde dieses als Stereolithografie bezeichnete Verfahren als erste additive Fertigungstechnologie patentiert. Das Besondere und Neue an diesem Verfahren von Hull war, dass er Werkstücke mithilfe von 3D-Konstruktionsprogrammen in einzelnen Schichten aufbaute, indem es ihm gelang, gezielt Punkte im Raum zu materialisieren.



**Bild 1.2** Stereolithografie

[Bild 1.2](#) zeigt das Prinzip der von Chuck Hull patentierten Lösung. Bei dieser sogenannten Stereolithografie erfolgt eine punktweise Materialisierung von Kunststoff (Polymer) aus einem Flüssigkeitsbad durch gezielte Bestrahlung mit einem Laser. Nach Fertigstellung einer Schicht wird die Bauplattform um eine Schichtdicke nach unten abgesenkt und die nächste Schicht aufgetragen.

In den folgenden Jahren nahm die Entwicklung der additiven Fertigung – besser bekannt als 3D-Druck – dann deutlich an Fahrt auf. Innerhalb von wenigen Jahren wurde dabei zunächst Rapid Prototyping als neues Fertigungsverfahren bekannt. Mit Rapid Prototyping konnte man zum ersten Mal Musterteile ohne manuellen Aufwand herstellen. Dazu benötigte man lediglich die

CAD-Daten (Computer-Aided-Design) des Objekts, die für 3D-Druck in Maschinensprache umgesetzt werden und dann an den 3D-Drucker übertragen werden mussten. Rapid Prototyping repräsentiert somit den Beginn des 3D-Drucks in der industriellen Anwendung.

Produktentwicklung und Prototypenbau waren demnach auch die ersten Bereiche, in denen die neue Technologie zur Anwendung kam. Entscheidend dafür war, dass der Zeitaufwand von Entwicklung und Konstruktion eines Produktes bis zu dessen Markteinführung deutlich reduziert werden konnte. Und so ist es auch mit den Kosten: Mit Rapid Prototyping können Konstruktionen abgesichert werden, bevor in Werkzeuge investiert werden muss.

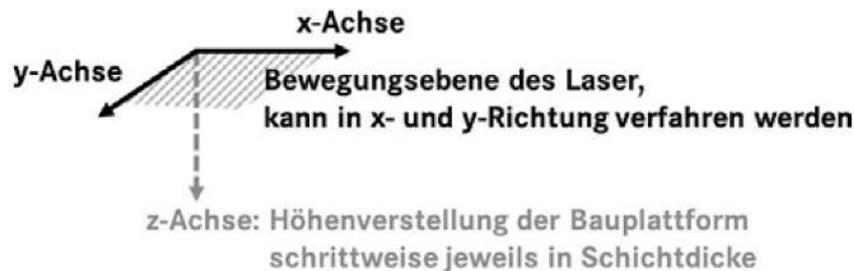
Mittlerweile ist ein durchaus positiver weiterer Effekt der wachsenden Verbreitung des 3D-Drucks erkennbar: Mit der zunehmenden Entwicklung und Reife von Technologien und Werkstoffen sinken auch die Kosten des 3D-Drucks – und das ermöglicht in der Folge wiederum einen wirtschaftlichen Einsatz der additiven Fertigung in der Serienproduktion und eine weitere Ausbreitung der Technologie in die Produktion von Endprodukten.



## 1. Paradigmenwechsel

Am Anfang nutze man den 3D-Druck vorwiegend für die Fertigung von kleinen Losgrößen sowie für Prototypen. In der Zwischenzeit gibt es bereits viele Anwendungen in der **Serienproduktion**.

Wie die bisher klassisch gefertigten Endprodukte entsprechen in 3D gedruckte Objekte in ihren Eigenschaften und Funktionen genau den Vorgaben, die im Produktentwicklungsprozess spezifiziert wurden. Diese neue Art der Herstellung eines Produktes wird als **Direct Manufacturing** bezeichnet. Direct Manufacturing hat zum Ziel, von Kunden benötigte oder gewünschte Teile innerhalb kurzer Zeit bereitzustellen – selbstverständlich in gewohnt qualitativ hochwertiger und wettbewerbsfähiger Ausführung. Diese Methode unterstützt eine aktuelle Tendenz des Marktes: Objekte können mit geringem Aufwand individualisiert und in geringen Stückzahlen gefertigt werden. Der Umsetzung einer wachsenden Nachfrage nach personalisierten Produkten steht nichts mehr im Wege!



**Bild 1.3** Erzeugung dreidimensionaler Bauteile im 3D-Druck

Wie der dreidimensionale Aufbau eines Objektes erfolgt, zeigt die Darstellung in [Bild 1.3](#): Bleiben wir zunächst am Beispiel Stereolithografie. Der Laser wird hierbei anhand der Geometriedaten des Objekts in der x-y-Ebene bewegt und initiiert dabei eine gezielte Materialisierung des Werkstoffs an der Oberfläche des Kunststoffbades. Ist eine Ebene (Schicht) abgearbeitet, wird die Bauplattform in z-Richtung (nach unten) um eine Schichtdicke abgesenkt und die Bearbeitung der nächsten Ebene erfolgt. Durch schrittweise Höhenverstellung der