

Roland Lachmayer  
Rene Bastian Lippert  
Thomas Fahlbusch *Hrsg.*

# 3D-Druck beleuchtet

Additive Manufacturing auf  
dem Weg in die Anwendung

---

3D-Druck beleuchtet



---

Roland Lachmayer • Rene Bastian Lippert  
Thomas Fahlbusch  
Herausgeber

# 3D-Druck beleuchtet

Additive Manufacturing auf dem Weg  
in die Anwendung

*Herausgeber*

Roland Lachmayer  
Institut f. Produktentwicklung und  
Gerätebau  
Leibniz Universität Hannover  
Hannover, Deutschland

Rene Bastian Lippert  
Institut f. Produktentwicklung und  
Gerätebau  
Leibniz Universität Hannover  
Hannover, Deutschland

Thomas Fahlbusch  
PhotonicNet GmbH  
Hannover, Deutschland

ISBN 978-3-662-49055-6

ISBN 978-3-662-49056-3 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-49056-3

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

Springer Vieweg

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

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 Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg

---

# Vorwort

Das vorliegende Buch entstammt der Veranstaltung *3D-Druck beleuchtet*, welche im Juni 2015 am Institut für Produktentwicklung und Gerätebau (IPeG) in Hannover durchgeführt wurde. Aufgrund der zahlreichen interessanten Vorträge sowie der positiven Resonanz auf die Veranstaltung haben wir uns dazu entschlossen die Veranstaltungsbeiträge zu ergänzen und schriftlich aufzubereiten. Im Folgenden wird das Additive Manufacturing unter den folgenden Aspekten beleuchtet:

- Megatrend 3D-Druck
- Chancen und Herausforderungen für die Produktentwicklung
- Laserbasierte Technologien
- Nachhaltigkeit und Business-Case
- Gestaltung von Bauteilen
- Rapid Repair
- Potential der Produktindividualisierung
- Eigenschaften und Validierung optischer Komponenten
- Potentiale im Produktdesign
- Sicherheitsaspekte

Neben den unterschiedlich thematisierten Beiträgen ist ein umfangreiches Glossar und Literaturverzeichnis dem Anhang beigelegt. Entsprechend der hohen Entwicklungsdynamik ist das vorliegende Buch weniger als Lehrbuch zu verstehen, sondern vielmehr als eine stetig wachsende Zusammenstellung unterschiedlicher Sichtweisen und Aspekte des Additive Manufacturing. Alle Autoren sind ausgewiesene Experten unterschiedlicher Forschungseinrichtungen der Leibniz Universität Hannover bzw. des Laserzentrums Hannover.

Wir danken der DFG für das bewilligte Großgerät, welches die zahlreichen Versuche ermöglicht hat, sowie dem Land Niedersachsen für die bereitgestellten finanziellen Mittel.

Wir, die Herausgeber, wünschen Ihnen viel Interessantes bei der Lektüre und Nützliches für Ihre Anwendung des Additive Manufacturing.

Hannover, November 2015

Roland Lachmayer  
Rene Bastian Lippert  
Thomas Fahlbusch

---

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> . . . . .	<b>1</b>
	Roland Lachmayer und Rene Bastian Lippert	
<b>2</b>	<b>Chancen und Herausforderungen für die Produktentwicklung</b> . . . . .	<b>5</b>
	Roland Lachmayer und Rene Bastian Lippert	
<b>3</b>	<b>Laserbasierte Technologien</b> . . . . .	<b>19</b>
	Matthias Gieseke, Daniel Albrecht, Christian Nölke, Stefan Kaieler, Oliver Suttman, und Ludger Overmeyer	
<b>4</b>	<b>Nachhaltigkeit und Business-Cases</b> . . . . .	<b>31</b>
	Florian Johannknecht und Rene Bastian Lippert	
<b>5</b>	<b>Gestaltung von Additive Manufacturing Bauteilen</b> . . . . .	<b>45</b>
	Rene Bastian Lippert	
<b>6</b>	<b>Rapid Repair hochwertiger Investitionsgüter</b> . . . . .	<b>57</b>
	Yousif Zghair	
<b>7</b>	<b>Das Potential der Produktindividualisierung</b> . . . . .	<b>71</b>
	Paul Christoph Gembarski	
<b>8</b>	<b>Eigenschaften und Validierung optischer Komponenten</b> . . . . .	<b>87</b>
	Gerolf Kloppenburg und Alexander Wolf	
<b>9</b>	<b>Potentiale im Produktdesign</b> . . . . .	<b>103</b>
	Robert Jan Wyszka	
<b>10</b>	<b>Sicherheitsaspekte – Ein Thema für die Aus- und Weiterbildung?!</b> . . . . .	<b>109</b>
	Ilka Zajons und Klaus Nowitzki	
	<b>Autorenverzeichnis</b> . . . . .	<b>115</b>
	<b>Glossar</b> . . . . .	<b>119</b>
	<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .	<b>121</b>



Roland Lachmayer und Rene Bastian Lippert

Seit Chuck Hull 1986 mit der *Stereolithografie* die erste 3D-Druck Technologie zum Patent anmeldete, entwickelte sich eine ganze Bandbreite von Anwendungsbereichen, welche sich unter dem Begriff des *Additive Manufacturing* zusammenfassen lassen. Bedingt durch die Vorteile gegenüber konventioneller Verfahren, wie beispielsweise der werkzeuglosen Formgebung oder der Möglichkeit zur Herstellung nahezu beliebiger Bauteilgeometrien, etablieren sich diese Verfahren in immer mehr Branchen. Neben der Heimanwendung kleiner Maschinen durch den Endkunden ist besonders in der industriellen Anwendung des Additive Manufacturing ein beachtlicher Entwicklungsfortschritt deutlich. So haben sich in jüngster Zeit die Baugeschwindigkeit, die Zuverlässigkeit und Genauigkeit, die Fertigungsqualität und die Anschaffungskosten von Additive Manufacturing Anlagen erheblich verbessert.

---

## 1.1 Megatrend 3D-Druck

Das *Additive Manufacturing (AM)*, als Überbegriff für das *Rapid Prototyping (RP)*, das *Rapid Tooling (RT)*, das *Direct Manufacturing (DM)* und das *Rapid Repair (RR)* basiert auf dem Prinzip des additiven Schichtaufbaus in x-, y- und z-Richtung zur maschinellen Herstellung einer (Near-) Net-Shape Geometrie [1]. Wie in Abb. 1.1 erkenntlich, lassen sich die verschiedenen Bereiche des AM in einen Endkundenbereich und einen professionellen Bereich unterscheiden.

Der *Endkundenbereich* umfasst zum einen die *Do-It-Yourself (DIY)* Anwendung, worunter man die Verwendung des AM durch den Endkunden versteht. Durch den Erwerb

---

R. Lachmayer (✉) • R.B. Lippert  
Institut für Produktentwicklung und Gerätebau (IPeG), Hannover, Deutschland  
E-Mail: [lachmayer@ipeg.uni-hannover.de](mailto:lachmayer@ipeg.uni-hannover.de); [lippert@ipeg.uni-hannover.de](mailto:lippert@ipeg.uni-hannover.de)

**Abb. 1.1** Anwendungsbereiche des Additive Manufacturing

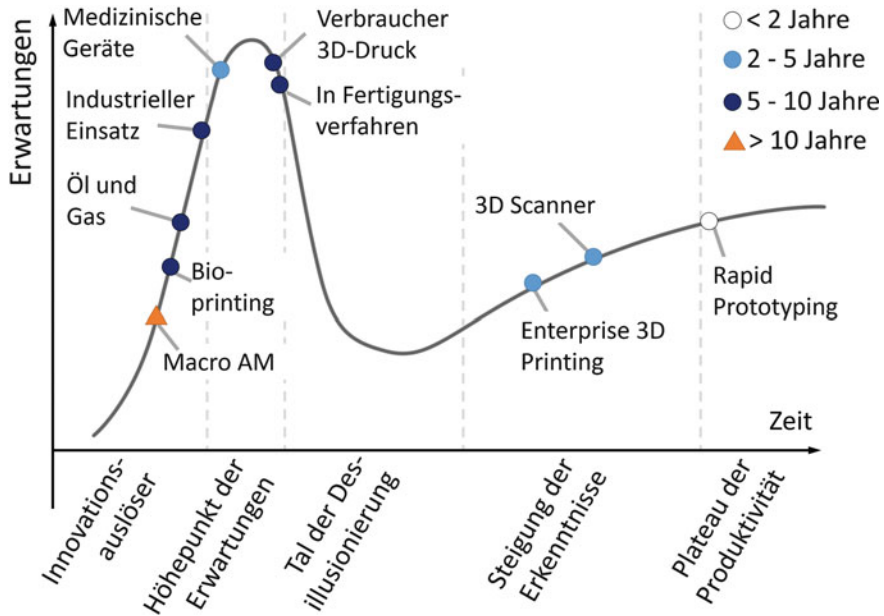


oder den Aufbau eines „3D-Druckers“ gelangt der Endkunde zunehmend in die Rolle des Produzenten. Im Rahmen einer Open-Source Bewegung erfolgt der Wissensaustausch unter Verwendung von beispielsweise Web-Foren oder Wiki-Systemen. Zum anderen gliedert sich die Anwendung des *Art & Design* in den Endkundenbereich ein. Durch den additiven Schichtaufbau können Modelle schnell und einfach gefertigt werden. Dabei erfolgt die Substitution von zeitaufwendiger Handarbeit, sodass organische Formen günstig hergestellt werden können. Die Anwendungen reichen dabei vom Modellbau, über die Personalisierung von Accessoires bis hin zum Produktdesign (Interieur Design, Instrumente, Kunst, etc.).

Dem gegenüber steht der *professionelle Bereich*. Dieser wiederum enthält zum einen die *industrielle Anwendung*. Hierunter versteht man die Herstellung von Komponenten, welche die Produktentwicklung unterstützen, sowie den Aufbau von Bauteilen, welche später als Produkt verwendet oder mit anderen Komponenten zu einer Baugruppe assembliert werden. Der industrielle Anwendungsbereich beschreibt ein großes Spektrum verschiedener Domänen, wie beispielsweise die Luft- und Raumfahrt, die Automobilbranche, den Anlagenbau oder die Medizintechnik. Andererseits enthält der professionelle Bereich *visionäre Anwendungsgebiete*, welche unter Verwendung des additiven Schichtaufbaus innovative Felder eröffnen. Beispielsweise werden im Nahrungsmittelbereich Mahlzeiten für die Raumfahrt additiv hergestellt. Durch das Verkleben von pulverisierten Komponenten, wie z. B. Zucker oder Kohlenhydraten, können so individualisierte „Menüs“ generiert werden. Ein weiterer innovativer Anwendungsbereich ist der Aufbau von menschlichen Organen. Durch den „Druck“ von organischen Zellen auf Gewebestrukturen, sollen patientenspezifische Organe hergestellt werden. Abstoßvorgänge und Unverträglichkeiten im Körper entfallen.

Eine maßgebliche Herausforderung für die erfolgreiche Etablierung des AM in den verschiedenen Anwendungsbereichen ist das Erlangen einer technologischen Reife zur Reproduzierbarkeit und Stabilität des Prozesses. Für die Identifizierung des Reifegrades einer AM Technologie beschreibt das US-Marktforschungsunternehmen Gartner den *Hype Cycle*, welcher die Erwartungen an eine Technologie durch einen zeitlichen Verlauf beschreibt. Wie in Abb. 1.2 dargestellt, werden 5 Phasen definiert, welche jede Technologie zum Erlangen der Marktreife durchläuft.

Die erste Phase, der sogenannte Innovationsauslöser, steigert die Erwartungen an eine Technologie. Der Höhepunkt der Erwartungen mündet in der zweiten Phase. Darauf folgt



**Abb. 1.2** Hype Cycle der anstrebenden Additive Manufacturing Technologien [2]

ein Abklingen der Erwartungen, im sogenannten Tal der Desillusionierung. In der vierten Phase, der Steigung der Erkenntnisse, sind die tatsächlichen Einsatzmöglichkeiten bekannt und die Erwartungen an eine Technologie können umgesetzt werden. Nach Durchlaufen dieser Phasen erlangt eine Technologie das Plateau der Produktivität, also der Markreife [2]. Als weitere Variable führt Gartner eine zeitliche Abhängigkeit für jede Technologie ein. So können diese den Hype Cycle innerhalb unterschiedlicher Zeitintervalle durchlaufen. Beispielsweise ist das RP bereits auf dem Plateau der Produktivität angesiedelt. Eine totale Durchdringung zur Markreife wird in weniger als zwei Jahren erwartet. Hingegen wird das DM, welches den direkten Einsatz eines additiv gefertigten Bauteils in einem Endprodukt beschreibt, derzeit auf dem Höhepunkt der Erwartungen eingeordnet [2].

## Literatur

1. Verein Deutscher Ingenieure e.V., Fachbereich Produktionstechnik und Fertigungsverfahren (2014) Additive Fertigungsverfahren. Statusreport. [www.vdi.de/statusadditiv](http://www.vdi.de/statusadditiv).
2. US Marktforschungsunternehmen Gartner (2014) Gartner's 2014 Hype cycle for emerging technologies maps the journey to digital business. [www.gartner.com](http://www.gartner.com).

Roland Lachmayer und Rene Bastian Lippert

Verglichen mit konventionellen Verfahren ist das Additive Manufacturing eine relativ junge Technologie. Bedingt durch die Möglichkeiten, welche aufgrund des werkzeuglosen Schichtaufbaus möglich sind, erlangt das Additive Manufacturing in jüngster Zeit eine zunehmende Verbreitung. Bereits in den 1980er-Jahren wurde das Additive Manufacturing als industrielle Technologie zur Herstellung von Musterbauteilen und Prototypen eingesetzt. Seitdem ist die Technologie weit vorangeschritten. So werden neben additiv gefertigten Werkzeugen bereits partiell Additive Manufacturing Bauteile direkt in Baugruppen montiert und so in der Praxis angewandt.

Durch die stetige Verbesserung der Additive Manufacturing Technologien, beispielsweise hinsichtlich einer höheren Baugeschwindigkeit, der verbesserten Zuverlässigkeit und Fertigungsqualität oder der Erhöhung der Genauigkeit, erfolgt eine zunehmende Etablierung in den verschiedensten Anwendungsgebieten. Neben der Verwendung im Endkundenbereich, unter Verwendung günstiger Maschinen, etablieren sich Additive Manufacturing Verfahren besonders im industriellen Kontext. Durch die Verarbeitung unterschiedlicher Materialien können viele Einsatzmöglichkeiten adressiert werden.

Zur Abschätzung der Chancen und Herausforderungen für das Additive Manufacturing in der Produktentwicklung, fokussieren sich die folgenden Untersuchungen auf den industriellen Anwendungsbereich. Nach der Betrachtung grundsätzlicher Einsatzmöglichkeiten im Produktentstehungsprozess werden unterschiedliche Additive Manufacturing Technologien untersucht, strukturiert dargestellt und deren Potenzial zur Eingliederung in die Produktentwicklung betrachtet. Anhand eines generalisierten Additive Manufacturing Prozesses werden unterschiedliche Demonstratorbauteile den verschiedenen Technologien zugeordnet.

---

R. Lachmayer (✉) • R.B. Lippert  
Institut für Produktentwicklung und Gerätebau (IPEG), Hannover, Deutschland  
E-Mail: [lachmayer@ipeg.uni-hannover.de](mailto:lachmayer@ipeg.uni-hannover.de); [lippert@ipeg.uni-hannover.de](mailto:lippert@ipeg.uni-hannover.de)