

Steinbeis **Engineering** Studie

Leitfaden Additive Manufacturing

Wertschöpfungsszenarien für die erfolgreiche
Implementierung von Additive Manufacturing

Simon Hiller, Michelle Moisa, Dominik Morar, Kathrin Pfähler

Simon Hiller, Michelle Moisa, Dominik Morar, Kathrin Pfähler
Leitfaden Additive Manufacturing



Simon Hiller arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Ferdinand-Steinbeis-Institut, im Forschungsbereich Industrial Internet & Industrie 4.0 speziell im Themengebiet Additive Manufacturing. Er studierte Medizintechnik (B.Sc.) im Kooperationsstudiengang der Universität Stuttgart und der Universität Tübingen bis 2015. Anschließend absolvierte er den Studiengang Master of Business Engineering (MBE) an der Steinbeis-Hochschule Berlin und schloss diesen 2017 ab.



Michelle Moisa ist Doktorandin an der Graduate School of Excellence advanced Manufacturing Engineering (GSaME) der Universität Stuttgart in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik 1 zum Thema Capabilities im Kontext von Additive Manufacturing. Zuvor studierte sie Wirtschaftsinformatik an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg in Mosbach (B.Sc.) sowie an den Universitäten Hohenheim und Stuttgart (M.Sc.).



Dominik Morar studierte Wirtschaftsinformatik (B.Sc. und M.Sc.) an den Universitäten Stuttgart und Hohenheim bis 2013. Seit Oktober 2011 ist er akademischer Mitarbeiter am Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik 1 an der Universität Stuttgart und promoviert zum Informationsaustausch im Kontext des Additive-Manufacturing-Prozesses.



Kathrin Pfähler ist seit Mai 2017 Doktorandin der Graduate School of Excellence advanced Manufacturing Engineering (GSaME) der Universität Stuttgart in der Kooperation mit dem Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik 1 und promoviert zum Thema Geschäftsmodelle und Informationsmanagement für die Ersatzteilversorgung im Kontext von Additive Manufacturing. Zuvor studierte sie technisch orientierte BWL (B.Sc. und M.Sc.) an der Universität Stuttgart und schloss das Studium 2017 ab.

**Simon Hiller, Michelle Moisa,
Dominik Morar, Kathrin Pfähler**

Leitfaden Additive Manufacturing

**Wertschöpfungsszenarien für die erfolgreiche
Implementierung von Additive Manufacturing**



Lehrstuhl für ABWL und
Wirtschaftsinformatik 1
Universität Stuttgart



Ferdinand-
Steinbeis
-Institut

Impressum

© 2018 Steinbeis-Edition

Alle Rechte der Verbreitung, auch durch Film, Funk und Fernsehen, fotomechanische Wiedergabe, Tonträger jeder Art, auszugsweisen Nachdruck oder Einspeicherung und Rückgewinnung in Datenverarbeitungsanlagen aller Art, sind vorbehalten.

Simon Hiller, Michelle Moisa, Dominik Morar, Kathrin Pfähler
Leitfaden Additive Manufacturing
Wertschöpfungsszenarien für die erfolgreiche Implementierung von Additive Manufacturing

1. Auflage, 2018 | Steinbeis-Edition, Stuttgart
ISBN 978-3-95663-172-6

Satz: Steinbeis-Edition
Titelbild: Creative Mood/shutterstock.com
Druck: e.kurz+co druck und medientechnik gmbh, Stuttgart

Steinbeis ist mit seiner Plattform ein verlässlicher Partner für Unternehmensgründungen und Projekte. Wir unterstützen Menschen und Organisationen aus dem akademischen und wirtschaftlichen Umfeld, die ihr Know-how durch konkrete Projekte in Forschung, Entwicklung, Beratung und Qualifizierung unternehmerisch und praxisnah zur Anwendung bringen wollen. Über unsere Plattform wurden bereits über 2.000 Unternehmen gegründet. Entstanden ist ein Verbund aus mehr als 6.000 Experten in rund 1.100 Unternehmen, die jährlich mit mehr als 10.000 Kunden Projekte durchführen. So werden Unternehmen und Mitarbeiter professionell in der Kompetenzbildung und damit für den Erfolg im Wettbewerb unterstützt. Die Steinbeis-Edition verlegt ausgewählte Themen aus dem Steinbeis-Verbund.

194937-2018-07 | www.steinbeis-edition.de

Vorwort

Additive Manufacturing (AM), umgangssprachlich auch als 3D-Druck bekannt, bietet vielfältige Möglichkeiten im Kontext der industriellen Produktion. Der technische Fortschritt der Anlagen, die Breite an zur Verfügung stehenden Materialien sowie die Digitalisierung und Vernetzung von Prozessen geht in rasanten Schritten voran. Hierdurch entstehen vielfältige Chancen für neue Geschäftsprozesse und Geschäftsmodelle.

Additive Manufacturing befeuert daher auf der Geschäftsebene insbesondere Wertschöpfung in partnerschaftlichen Netzwerken: Unikate und Kleinserien können von externen Konstruktionsexperten entworfen und durch spezialisierte Druckdienstleister zeitnah produziert werden, Logistikketten oder das Ersatzteilgeschäft können weitgehend digitalisiert werden. Auch optimierte Versionen von Produkten lassen sich kostengünstig und in kurzen Zyklen realisieren. Diese Möglichkeiten stellen produzierende Unternehmen – insbesondere kleine und mittlere Unternehmen – vor zentrale Herausforderungen bei der strategischen Partnerwahl und der Gestaltung der Kooperation.

Im Rahmen dieser Studie wurden industrielle Anwendungsfälle in der Praxis untersucht und praxisnahe Handlungsempfehlungen zur AM-Implementierung abgeleitet. Sowohl die Szenarien als auch die Handlungsempfehlungen bilden eine solide Grundlage zur Analyse und (Weiter-)Entwicklung unternehmensindividueller AM-Wertschöpfungsstrukturen.

Stuttgart, im Juni 2018
Prof. Dr. Hans-Georg Kemper
Prof. Dr. Heiner Lasi

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	7
1 Wertschöpfung durch Additive Manufacturing	8
1.1 Additive Manufacturing als Chance für neue Wertschöpfung.....	8
1.2 Leitfragen.....	9
2 Additive Manufacturing in a Nutshell.....	10
2.1 Technologie – Was ist Additive Manufacturing?.....	10
2.2 Charakteristika – Was macht Additive Manufacturing besonders?.....	16
2.3 Potenziale – Welche Möglichkeiten bietet Additive Manufacturing? ...	17
2.4 Fakten – Welche wirtschaftliche Bedeutung hat Additive Manufacturing?	19
3 Additive Manufacturing erfolgreich einsetzen – Von Implementierungsvorschlägen zu Handlungsempfehlungen	22
3.1 Vier Vorschläge zur Implementierung.....	22
3.2 Betreibermodelle	31
3.3 Übersicht der Auswirkungen.....	33
4 Nächste Schritte: Von der Erprobung von Additive Manufacturing bis zum etablierten Einsatz.....	35
5 Methodisches Vorgehen – Wie kommen die Ergebnisse zustande?.....	36
Kontakt	37
Literatur.....	39

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Additive-Manufacturing-Prozess	12
Abbildung 2: Der schichtweise aufbauende Prozess von Additive Manufacturing anhand eines Beispiels.....	14
Abbildung 3: Marktwachstum (in Prozent) und Erlöse im Jahr 2014 (in \$) im Bereich Additive Manufacturing	20
Abbildung 4: Szenario „AM als Service“	22
Abbildung 5: Szenario „Interne Konstruktion, externe Produktion“	24
Abbildung 6: Szenario „Veredelung von AM-Produkten“	26
Abbildung 7: Szenario „AM-Wertschöpfungskette aus einer Hand“	27
Abbildung 8: Szenario-Matrix.....	29

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gegenüberstellung konventionelle Fertigung und Additive Manufacturing.....	11
Tabelle 2: Additive-Manufacturing-Verfahren und Anwendungsbereiche.....	15
Tabelle 3: Anzahl ausgestellter Patente und deren Anwendungsumsetzung.....	21
Tabelle 4: Anzahl der ausgestellten Patente und der veröffentlichten Anwendung.....	21
Tabelle 5: Auswirkungen der Szenarien	34

1 Wertschöpfung durch Additive Manufacturing

1.1 Additive Manufacturing als Chance für neue Wertschöpfung

Durch neue Technologien eröffnen sich vielfach beeindruckende Chancen zur Steigerung der Wertschöpfung in und außerhalb bestehender Geschäftsprozesse. Ein Beispiel hierfür ist die Senkung der Instandsetzungszeit von verschlissenen Gasturbinen um den Faktor 10 – von 44 Wochen auf vier Wochen (Siemens 2017, Navrotsky et al. 2015). Erreicht werden konnte dies durch den Einsatz von Additive Manufacturing (auch 3D-Druck) in bestehenden Wertschöpfungsprozessen. Hierdurch wurde einerseits eine schnellere und effizientere Wiederaufbereitung der Brennerkomponenten möglich und andererseits die dezentrale Bereitstellung der Fertigungskapazitäten am Ort des Bedarfs erreicht.

Additive Manufacturing (AM) ist eine faszinierende Technologie, da ein Bauteil beliebiger Geometrie schichtweise erzeugt wird und nicht aus dem Vollen gefräst oder unter Nutzung teurer Werkzeuge gegossen werden muss. Darüber hinaus verspricht AM die wirtschaftliche Fertigung nahezu beliebig komplexer und individueller Strukturen, da verschiedene Bauteile im selben Prozessdurchlauf einer Maschine gefertigt werden können (Gebhardt und Hötter 2016). Insbesondere diese Eigenschaft hat AM bereits in manchen Märkten nicht nur zum Durchbruch verholfen, sondern zum „Game Changer“ werden lassen. Beispielsweise setzen inzwischen die großen Hersteller für Hörgeräte – hochindividuelle Produkte – am US-amerikanischen Markt AM-Verfahren ein. Ein Wandel der sich übrigens innerhalb von 500 Tagen vollzogen hat (D’Aveni 2015).

Die genannten Beispiele lassen vermuten, dass AM derzeit nur in Nischen Anwendung findet. Hohe jährliche Wachstumsraten der Märkte von über 35 % (siehe Abschnitt 2.4) und die Ausweitung der Anwendungsfelder lassen jedoch Gegenteiliges vermuten: AM wird in unterschiedlichen Bereichen zunehmend auch für

die Serienfertigung relevant (Wohlers Associates 2017, KPMG 2015, Roland Berger 2016).

Für Industrieunternehmen, die sich in bestehenden Märkten etabliert haben, stellt sich daher die Frage, ob auch im eigenen Markt Chancen durch die Nutzung von AM resultieren. Hieraus ergibt sich auch die Frage wie, AM in bestehende Wertschöpfungsstrukturen zielführend integriert werden kann.

Im folgenden Leitfaden wird diese Fragestellung mittels der Darstellung unterschiedlicher Herangehensweisen zur Implementierung von AM beantwortet. Hierbei werden insbesondere die Rahmenbedingungen kleiner und mittlerer Unternehmen zugrunde gelegt. Die strategische Herangehensweise stellt dementsprechend den Kern dieses Leitfadens dar. Die zum Verständnis notwendigen technologischen Grundlagen werden komprimiert dargestellt.

1.2 Leitfragen

Neben den wesentlichen technologischen und ökonomischen Grundlagen wird im Rahmen dieses Leitfadens auf die folgenden Fragestellungen zu AM eingegangen:

- Unter welchen Rahmenbedingungen lassen sich die Eigenschaften von Additive Manufacturing in bestehenden Wertschöpfungsketten nutzen?
- Welche Herangehensweisen zur Implementierung von Additive Manufacturing existieren für produzierende Unternehmen?
- Welche Schlussfolgerungen lassen sich für Additive-Manufacturing-Betreibermodelle ziehen?

Letztlich sind diese Fragestellungen meist unternehmensindividuell zu beantworten. Allerdings können allgemeine Prinzipien zur Nutzung und Implementierung aufgezeigt werden, welche sich anschließend auf spezifische Fragestellungen im eigenen Unternehmen anwenden lassen.

2 Additive Manufacturing in a Nutshell

In diesem Kapitel werden die AM-Grundlagen kurz beschrieben. Damit die strategischen und ökonomischen Auswirkungen von AM nachvollziehbar sind, ist ein Verständnis der wesentlichen technologischen Grundlagen von AM notwendig. Zudem kann hierdurch Transparenz über die Einordnung der Auswirkungen der Technologie im Kontext der eigenen Wertschöpfung mit konkreten Produkten und unternehmensspezifischen Abläufen geschaffen werden. Deshalb werden ausgehend von technologischen Hintergründen und den zugrundeliegenden Abläufen zentrale Eigenschaften und ökonomische Potenziale dargelegt.

2.1 Technologie – Was ist Additive Manufacturing?

AM ist ein Sammelbegriff für unterschiedliche additive Fertigungsverfahren. Diese basieren alle auf demselben Prinzip des schichtweisen Aufbaus von Teilen.

Der Fertigungsprozess ist additiv (auftragend) und nicht – wie bei konventionellen Fertigungsverfahren wie Drehen und Fräsen – subtraktiv. Somit wird nur dort Material platziert, wo es auch benötigt wird. Der Ausgangspunkt von AM ist ein dreidimensionales digitales Produktmodell, oft als Computer-Aided-Design (CAD)-Modell bezeichnet, welches durch ein additives Verfahren im Fabrikator in ein physisches Produkt transformiert wird (Gebhardt und Hötter 2016).

AM wird in diesem Leitfaden vor einem industriellen Kontext verstanden und grenzt sich somit vom Consumer- und Home-Printingbereich ab. Des Weiteren wird zum Feld des Prototypenbaus, in dem der Ursprung der additiven Verfahren liegt, abgegrenzt. Betrachtet werden die Herstellung von fertigen Teilen (Direct Manufacturing) sowie Halbzeugen zur Weiterverarbeitung und das Fertigen von Werkzeugen (Rapid Tooling).

*Additive Manufacturing (AM):
Überführung eines digitalen Produktmodells in ein physisches Objekt,
durch automatisiertes Zusammenfügen einzelner Volumenelemente
(Schichten) im industriellen Kontext (Gebhardt und Hötter 2016).*

Beispiel Bauteil

Die Potenziale von AM werden nachfolgend anhand eines einfachen Beispiels dargestellt.

Ausgangspunkt ist ein klassisches Kreuzgelenk, das durch konventionelle Fertigung anhand eines Arbeitsplanes und einer Stückliste aus unterschiedlichen Bauteilen hergestellt und zusammengebaut wird. Tabelle 1 zeigt die Entwicklung von einem konventionell gefertigten Bauteil über ein Bauteil, das mittels AM gefertigt wurde, zu einem, das sowohl speziell für AM konstruiert, als auch damit gefertigt wurde.

Konventionelle Fertigung	Additive Manufacturing im konventionellen Design	Das volle Additive Manufacturing Potenzial
Es wird ein Arbeitsplan benötigt.	Es wird kein Arbeitsplan benötigt, da alle erforderlichen Daten aus dem digitalen Produktmodell kommen.	Es wird kein Arbeitsplan benötigt, da alle benötigten Daten aus dem digitalen Produktmodell kommen.
Verschiedene Bauteile	Verschiedene Bauteile	Ein Bauteil
Zusammenbau nötig	Kein Zusammenbau nötig	Kein Zusammenbau nötig
		

Tabelle 1: Gegenüberstellung konventionelle Fertigung und Additive Manufacturing (Bild 1: [sinelyov/shutterstock.com](https://www.shutterstock.com), Bild 2 und 3: Eigene Darstellung WI).

Additive-Manufacturing-Prozess

Es gibt eine Vielzahl von AM-Verfahren und Materialien, jedoch lässt sich der AM-Prozess generalisiert als Wertschöpfungskette wie folgt in fünf Phasen darstellen (vgl. Abbildung 1).



Abbildung 1: Additive-Manufacturing-Prozess (Hiller et al. 2016).

Konstruktion:

Die Konstruktionsphase erfolgt digital, indem mithilfe eines CAD-Programms ein digitales 3D-Modell des zu fertigenden Produktes konstruiert wird. Hierbei ist der Konstrukteur nicht an Herstellungsrestriktionen von konventionellen Fertigungsverfahren gebunden, sondern kann direkt auf die Anforderungen der Kunden eingehen. Bei der Weiterverarbeitung ist das gängige Datenformat eine STL-Datei. STL (STereoLithography) beschreibt die Oberfläche der geschlossenen, konstruierten CAD-Modell-Körper (Hiller et al. 2016, Gibson et al. 2015).

Pre-Processing:

Das fertige CAD-Modell im STL-Format ist der Start der Pre-Processing-Phase. Das Modell wird bei Bedarf auf Fehler überprüft und größer oder kleiner skaliert. Zusätzlich wird dem Modell eine Orientierung zur Herstellung vorgegeben. Alle Bauteile, die innerhalb des gleichen Bauprozesses hergestellt werden, sind im Bauraum des Fabrikators zu platzieren (sogenanntes Nesting).

Außerdem wird eine Kalibrierung und Parametrisierung (Materialzusammensetzung, Energieaufwand, Geschwindigkeit etc.) des Fabrikators durchgeführt (Gibson et al. 2015).

Processing (Druck):

Der eigentliche Herstellungsprozess startet mit dem Übertragen des Baujobs zum Fabrikator. Dieser generiert automatisiert die einzelnen, physischen Bauteilschichten. Wenn der Druckprozess abgeschlossen ist, muss je nach Verfahren das Bauteil von der Bauplattform, den Stützstrukturen oder dem überschüssigem Material (z. B. Pulver) befreit werden.

Post-Processing:

Je nach gewünschter Qualität und Anforderungen an das Produkt findet eine Nachbehandlung statt. Dies kann beispielsweise das Planfräsen für exakte Oberflächen oder eine Wärmebehandlung zur Festigkeitssteigerung sein. In dieser Phase wird üblicherweise auf konventionelle Fertigungsverfahren zurückgegriffen.

Montage / Kunde:

Das fertige Teil wird je nach Einsatz in ein Produkt verbaut oder direkt als fertiges Teil an den Kunden ausgeliefert.

Abbildung 2 zeigt den beschriebenen Prozess anhand des Gelenk-Beispiels. Das konstruierte CAD-Modell wird in ein Schichtenmodell überführt. Diese einzelnen Schichten werden nun im Fertigungsprozess vom Fabrikator aufgebaut, je nach Bauteil und Verfahren werden Stützstrukturen benötigt (vgl. Abbildung 2 weiße Stützstruktur im Bild Halbzeug). Sobald die Stützstruktur entfernt wurde, steht das Bauteil zur weiteren Montage bzw. zum direkten Einsatz bereit.

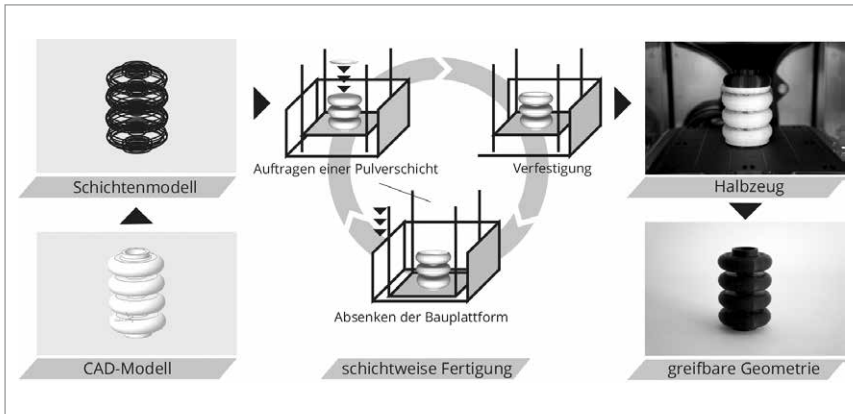


Abbildung 2: Der schichtweise aufbauende Prozess von Additive Manufacturing anhand eines Beispiels (Eigene Darstellung WI).

Verfahren, Materialien und Anwendungsbereiche

Die Auswahl an zu verarbeitenden Materialien hängt maßgeblich von den einzelnen AM-Verfahren ab. Tabelle 2 gibt einen Überblick über drei Verfahrensfamilien. Aufgrund einer Vielzahl an Verfahren, Herstellern, Maschinen und Materialien sowie der andauernden Weiterentwicklung der Verfahren ist diese Tabelle als gegenwärtiger Ausschnitt zu verstehen (Gebhardt und Hötter 2016). Sie hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit sowie auf Aktualität.

Familie	Verfahren	Funktionsweise	Materialien	Schichtdicke	Bauraum in mm (H/B/T)	Anwendungsbereich
Extrusion Fused Layer Modeling (FLM)	Fused Deposition Modeling (FDM)	Ein thermoplastisches Material wird über eine beheizte Düse viskos und somit schichtweise aufgetragen	Thermoplaste unter anderem: ABS, PC-ABS, PC, PC-ISO, PPSF	Ca. 0,1 mm bis 0,4 mm	Ca. 100 / 100 / 100 bis 900 / 600 / 900	Geometrische und funktionale Prototypen, Endprodukte
Sintering / Melting	Selective Laser Sintering (SLS) Selective Laser Melting (SLM) Selective Mask Sintering (SMS) Electron Beam Melting (EBM)	Über eine Energiequelle wird punktuell pulverförmiges Material schichtweise verschmolzen bzw. gesintert (unter Schutzgasatmosphäre)	Polyamide unter anderem: PA-11 (und Äquivalente) Metalllegierungen unter anderem: stainless steels 316L, Al-Si-12, Ti6Al4V Silica und Zircon Sand unter anderem: Ceramics 5.2	Ca. 20 µm bis 100 µm	Ca. 100 / 100 / 100 bis 600 / 400 / 500	Geometrische und funktionale Prototypen, Serienteile, Werkzeuge, Endprodukte
Polymerisation	Laser Stereolithography (SL) Polymer Printing / Jetting	Polymerisation durch Laser, Licht oder Wärme	Photopolymer	Bis zu ca. 1 µm	Ca. 300 / 300 / 200 bis 1500 / 800 / 600	Geometrische und funktionale Prototypen

Tabelle 2: Additive-Manufacturing-Verfahren und Anwendungsbereiche (Gebhardt und Hötter 2016).

Weitere Verfahrensfamilien von AM sind Layer Lamine Manufacturing (LLM), Powder Binder 3D Printing und Aerosol Printing. Eine ausführliche Übersicht über Verfahren und Materialien bieten Gebhardt und Hötter 2016 in ihrem Buch *Additive Manufacturing*.

2.2 Charakteristika – Was macht Additive Manufacturing besonders?

Auf einer generalisierten Ebene hat AM folgende Charakteristika (Gebhardt und Hötter 2016):

- Jede Geometrie der einzelnen Schichten kommt direkt aus dem digitalen Produktmodell (CAD-Modell), was bspw. eine digitale Lagerhaltung ermöglicht.
- Beim schichtweisen Aufbau von Bauteilen werden keine konventionellen Werkzeuge benötigt. Dadurch entfällt bspw. ein Werkzeugwechsel, wie beim Fräsen, oder die Investitionskosten in Formen, wie beim Gießen.
- Die Materialeigenschaften eines Teiles entstehen während des schichtweisen Bauprozesses.
- Durch das Prinzip des schichtweisen Aufbaus entstehen völlig neue Möglichkeiten und Freiheiten in der konstruktiven Bauart von Teilen (Freedom of Design) wie die Integration von funktionalen Elementen. In einigen Fällen sind jedoch Stützstrukturen erforderlich. Die Ausrichtung des Bauteils im Bauraum determiniert die Baurichtung und beeinflusst folglich auch die Bauteileigenschaften.
- Durch die große Verbreitung des STL-Datentyps können Probleme, die beim Datenaustausch bei konventionellen Fertigungsverfahren auftreten können, umgangen werden.

2.3 Potenziale – Welche Möglichkeiten bietet Additive Manufacturing?

Nach der Darstellung der Technologie und den charakterisierenden Merkmalen ergeben sich bei genauerer Betrachtung eine Vielzahl von Potenzialen auf die nachfolgend eingegangen wird.

Es kann durchaus davon gesprochen werden, dass AM das Potenzial besitzt eine neue industrielle Revolution einzuleiten und die damit verbundene industrielle Produktion zu verändern (Gebhardt und Hötter 2016).

Neben einem hohen Innovationspotenzial und den technischen Vorteilen, die sich durch Realisierung komplexer Geometrien und Einsatz mehrerer Materialien für unterschiedliche Bauteileigenschaften auszeichnen (Gebhardt und Hötter 2016, Westkämper und Löffler 2016), lassen sich Potenziale in Form einer Fertigung-on-demand und die damit verbundene Kundennähe erkennen.

Nachdem bei konventionellen Fertigungsverfahren die Konstruktionsphase und die eigentliche Fertigungsphase nicht getrennt voneinander betrachtet werden können und sich hier gegenseitige Abhängigkeiten erkennen lassen, ist dies bei AM nicht im selben Maße gegeben. Die Konstruktionsphase kann demnach losgelöst von der Fertigungskette betrachtet werden. Dies wird vor allem dann deutlich, wenn es um die Umsetzung individueller Kundenanforderungen geht. Hierbei kann der Kunde unterschiedlich stark in die Konstruktionsphase integriert werden (Gebhardt und Hötter 2016).

AM ermöglicht nicht nur verschiedene Materialien in einem Bauteil zu verarbeiten, sondern gleichzeitig auch unterschiedliche Funktionsmechanismen zu integrieren. Im Vergleich hierzu müssen bei anderen Fertigungsverfahren oftmals mehrere Prozessschritte durchlaufen und mehrere Bauteile einzeln gefertigt werden, um diese im Nachhinein zu einer Baugruppe zusammenzuführen. Diese zusätzlich anfallenden Prozessschritte führen dann zu höheren Kosten. Durch den Einsatz unterschiedlicher Materialien lassen sich darüber hinaus auch verschiedene physikalische Eigenschaften in einem Bauteil realisieren. Weitere Potenziale ergeben

sich bei der Herstellung von Mikro- und Makrostrukturen (10 μm - 100 μm) sowie der Erstellung von Leichtbaustrukturen (Gebhardt und Hötter 2016).

AM hat einen Einfluss auf den gegenwärtig weit verbreiteten Ansatz, Fertigungskosten durch Auslagerung der Fertigung in Niedriglohnländer einzusparen. Der Wandel äußert sich dadurch, dass bspw. Fabrikatoren dezentral an den benötigten Standorten stationiert werden, um nicht nur anfallende Logistikkosten einzusparen, sondern eine damit verbundene bedarfsgerechte Fertigung-on-demand zu ermöglichen (George et al. 2014 und Kostakis und Papachristou 2013).

Der steigende Bedarf der kundenindividuellen Anpassung der Produkte und die zusätzliche Reduzierung der Produktlebenszyklen hat eine ungewisse Marktnachfrage zur Folge (Sisca et al. 2016). Sich daraus ergebende Änderungen in der Produktgestaltung in Form von Anpassungen an neue Normen oder Vorgaben von bestimmten Märkten können durch AM regelmäßig, ohne zusätzliche Kosten vorgenommen werden (Gebhardt und Hötter 2016).

Damit den Kundenwünschen und -anforderungen in Form von innovativen, nachhaltigen Produkten nachgegangen werden kann, müssen die Kunden rechtzeitig in den Produktlebenszyklus einbezogen werden (Thymianidis et al. 2013 und Mellor et al. 2014). Eine frühzeitige Einbindung des Kunden ist demnach vorteilhaft und wird mithilfe von AM ermöglicht (Gebhardt und Hötter 2016).

Die zunehmende individuelle Produktgestaltung ist bei konventionellen Fertigungsverfahren oft mit hohen Kosten in der Werkzeugherstellung verbunden. Durch AM kann der Kunde bspw. in der Rolle des Designers direkt miteinbezogen werden. Hierbei kann die Produktentstehung vollständig in die Hand des Kunden übergehen, was bei konventionellen Fertigungsverfahren eher selten der Fall ist. Unterschiede ergeben sich hierbei im Grad der Einbeziehung bzw. der Integration des Kunden in den Produktentstehungsprozess. Prinzipiell kann der Kunde immer mit in die Konstruktionsphase integriert werden, allerdings gibt es Unterschiede hinsichtlich der anschließenden Herstellung. Diese wird entweder beim Hersteller oder beim Kunden selbst durchgeführt (Gebhardt und Hötter 2016).

In diesem Zusammenhang ermöglicht AM die Realisierung neuer Herstellerstrategien insbesondere mit Fokus auf Lagerhaltung, Organisation und Distribution. Fabrikatoren können standortunspezifisch zum Einsatz kommen und ermöglichen Flexibilität hinsichtlich Ort und Anzahl der zu produzierenden Teile. Die Bauteile werden demnach nicht mehr on-stock gefertigt. Hierbei ergeben sich Potenziale hinsichtlich der Ersatzteilversorgung on-demand, der Möglichkeit zur individuellen Reparatur sowie des Hinzufügens von Material zu semiproduzierten Produkten (Gebhardt und Hötter 2016).

2.4 Fakten – Welche wirtschaftliche Bedeutung hat Additive Manufacturing?

Bei der Betrachtung des gesamten AM-Markts ist innerhalb der letzten 28 Jahren ein Wachstum von 25,9% zu verzeichnen. Die Erlöse am gesamten AM-Markt betragen im Jahr 2016 6.063 Milliarden Dollar¹. Bei diesen Zahlen wird auch von der Compound Annual Growth Rate (CAGR) gesprochen. Die CAGR bezieht sich auf AM-Produkte und AM-Services. Unter AM-Services werden Seminare, Trainings, Ausstellungen, Konferenzen, Veröffentlichungen, Forschung und bspw. Beratung verstanden, während unter AM-Produkten wiederum AM-Systeme, Materialien und Software / Laser etc. gefasst werden. Eine Betrachtung der einzelnen CAGR der Jahre 2012–2014 zeigt einen eindeutigen Anstieg (2012: 32,7%, 2013: 33,4% und 2014: 35,2%). Die nachfolgende Abbildung 3 gibt einen Überblick über das Marktwachstum und die erzielten Erlöse mit einer Unterteilung in Produkte und Services im Bereich AM (Wohlers Associates 2017).

¹ Die Erlöse beziehen sich auf Fabrikatoren in der Industrie sowie den Einsatz von Desktop-Fabrikatoren (unter \$ 5.000).

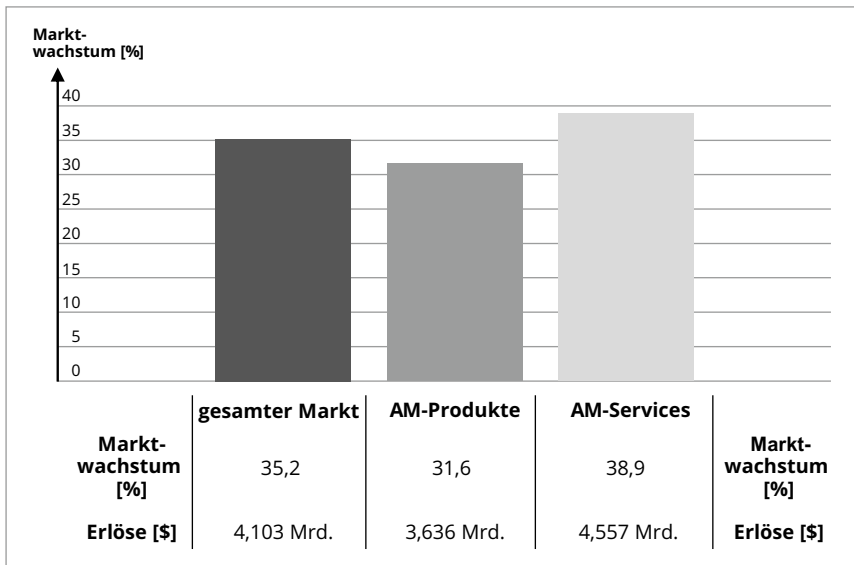


Abbildung 3: Marktwachstum (in Prozent) und Erlöse im Jahr 2014 (in \$) im Bereich Additive Manufacturing (Wohlers Associates 2017).

Bei einer näheren Betrachtung des europäischen Markts mit Fokus auf Deutschland lässt sich feststellen, dass AM eine Technologie ist, die sich mit den derzeitigen Auseinandersetzungen von Industrie 4.0 und der Digitalisierung vereinen lässt. Es ist zu erkennen, dass der Fokus der Unternehmen hier auf langfristig orientierten Lösungen in Form von Geschäftsmodellen liegt (Wohlers Associates 2017).

Ein deutlicher Anstieg ist auch im Bereich der Forschungsaktivitäten zu vernehmen, was u. a. auf das ansteigende Interesse der Öffentlichkeit und der Regierung zurückzuführen ist. Auf den weltweiten Konferenzen steigt die Anzahl der teilnehmenden Forschungsinstitutionen. Dabei stehen Themen wie Oberflächenbearbeitung, Einhaltung von Toleranzen sowie neue zu verarbeitende Materialien im Mittelpunkt.

In Hinblick auf Patente im Bereich AM ist zu erkennen, dass die Anzahl der ausgestellten Patente nahezu linear zunimmt, während bei deren Umsetzung in Form von Anwendungen seit dem Jahr 2009 ein rasantes Wachstum zu vernehmen ist (vgl. Tabelle 3).

Jahr	Anzahl der ausgestellten Patente	Anzahl der veröffentlichten Anwendungen
2014	336	505
2015	545	1340
2016	646	1842

Tabelle 3: Anzahl ausgestellter Patente und deren Anwendungsumsetzung (Wohlers Associates 2017).

Bei der Betrachtung der ausgestellten Patente variiert die Anzahl dieser in verschiedenen Sektoren. Im medizinischen Bereich ist der Anteil der ausgestellten Patente am höchsten, es folgen in genannter Reihenfolge Patente in der Produktion, in der Technologie, für Materialien, für Werkzeuge, für Software sowie für Business-Methoden. Tabelle 4 zeigt hier die Aufteilung der Patente auf die Sektoren sowie die Unterscheidung in Patentausstellung und eigentliche Anwendung im Jahr 2014.

Patent (Sektor)	Anteil der Ausstellungen [%]	Anteil der veröffentlichten Anwendungen [%]
Medizin	37	35
Produktion	34	34
Technologie	19	28
Materialien	7	6
Werkzeuge	2	2
Software	1	2
Business-Methoden	0	3

Tabelle 4: Anzahl der ausgestellten Patente und der veröffentlichten Anwendungen im Jahr 2014 (Wohlers Associates 2015).

Oftmals liegen mehr als zwei Jahre zwischen Ausstellung und Anwendung eines Patents. Unternehmen sind bei der Veröffentlichung der Patente die führende Kraft, gefolgt von Universitäten, Individuen und Laboren bzw. Non-Profit-Organisationen (Wohlers Associates 2017).

3 Additive Manufacturing erfolgreich einsetzen – Von Implementierungsvorschlägen zu Handlungsempfehlungen

Eine zentrale Herausforderung bei der Nutzung neuartiger Technologien in bestehenden Geschäftsmodellen ist der richtige Zeitpunkt des Wechsels. Hierbei ist der rechtzeitige Aufbau des notwendigen Know-hows entscheidend und damit eng verbunden die Fragestellung „Make or Buy“ (Eigenfertigung oder Fremdbezug). Diese lässt sich nicht pauschal beantworten, hängt die Antwort doch stark von unternehmensspezifischen Faktoren, wie der Unternehmensstrategie, dem Produktportfolio und der Risikobereitschaft ab. Dennoch lassen sich diese Faktoren beschreiben und somit verschiedene Szenarien ableiten, um die AM-Technologie im eigenen Wertschöpfungsprozess zu berücksichtigen. In Abschnitt 3.1 sind auf Grundlage der AM-Wertschöpfungskette vier Implementierungsszenarien beschrieben (vgl. Hiller et al. 2016).

3.1 Vier Vorschläge zur Implementierung

Szenario 1: „AM als Service“

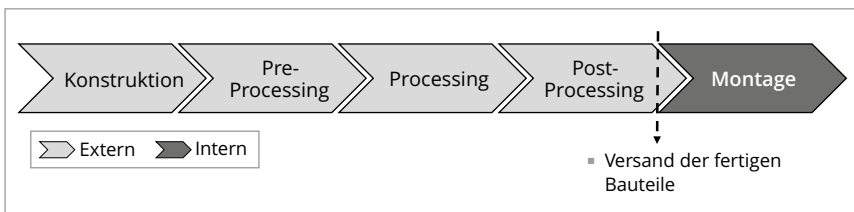


Abbildung 4: Szenario „AM als Service“ (Hiller et al. 2016).

Intern / Extern:

In diesem Szenario werden von der Konstruktion bis zum Post-Processing alle Phasen extern vergeben (siehe Abbildung 4). Nur die Montage wird intern durchgeführt, um den Point of Sale zum Kunden unternehmensintern zu halten.

AM-Wissen:

Aufgrund der externen Vergabe wird kein tiefgründiges AM-Wissen benötigt. Die Phasen, die ein fundiertes AM-Wissen voraussetzen, werden von externen Unternehmen bereitgestellt, wie zum Beispiel Konstruktionsbüros oder Auftragsfertigern.

Investition und Anteil an der Wertschöpfung:

Dieses Szenario erfordert keine Investitionen wie in Fabrikatoren oder Personal. Externe Partner stellen diese Ressourcen bereit. Dies wiederum bedeutet, dass ein Großteil der Wertschöpfung von diesen externen Partnern erbracht wird. Für das fokussierte Unternehmen ergeben sich lediglich am Ende der Prozesskette Wertschöpfungsanteile (Kontakt zum Kunden). Hierbei wird in Szenario 1 das fertige Teil dem Kunden bereitgestellt.

Integration:

Für eine Integration des ersten Szenarios ist die Kommunikation zum externen AM-Konstrukteur entscheidend. Innerhalb der Wertschöpfungskette wechselt die Beschaffung zwischen der Post-Processing- und Montage-Phase von extern auf intern. Um die Qualität der Bauteile sicherzustellen, müssen hierfür mit den externen Partnern Vereinbarungen getroffen werden. Diese können zum Beispiel besondere Fertigungsparameter für den Fabrikator beinhalten.

Beispiel:

Ein kleines oder mittleres Unternehmen (KMU) möchte sein mit konventionellen Verfahren hergestelltes Produkt gewichtsreduziert gestalten. Das CAD-Modell wird an einen externen Partner gegeben, der das Produkt mit besonderer Betrachtung auf den Leichtbau umkonstruiert. Dieser Partner stellt das Produkt additiv

her und übernimmt die Nachbearbeitung oder gibt die Processing-Phasen an ein Subunternehmen weiter. Dadurch kann das KMU sein Produktportfolio erweitern und zusätzlichen Kundennutzen generieren, ohne zusätzliches AM-Wissen zu benötigen oder AM-bedingte Investitionen zu tätigen.

Szenario 2: „Interne Konstruktion, externe Produktion“

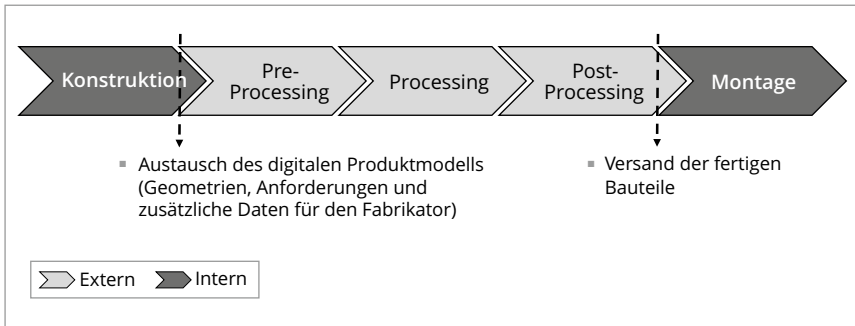


Abbildung 5: Szenario „Interne Konstruktion, externe Produktion“ (Hiller et al. 2016).

Intern / Extern:

Dieses Szenario zeichnet sich dadurch aus, dass die Konstruktionsphase und die Montage-Phase unternehmensintern durchlaufen werden. Pre-Processing, Processing und das Post-Processing werden extern vergeben.

AM-Wissen:

Aus Sicht eines KMU wird AM-Wissen in der Konstruktionsphase benötigt. Um das Potenzial von AM voll auszuschöpfen, muss das Bauteil AM-gerecht konstruiert werden. Hierzu ist entsprechendes Wissen über die additive Fertigung erforderlich.

Investition und Anteil an der Wertschöpfung:

Die benötigten Investitionen in diesem Szenario treten hauptsächlich in der Konstruktionsphase auf, bspw. in adäquate CAD-Software oder geschultes Personal. Die für das Unternehmen wertschöpfenden Phasen sind die Konstruktion und die Montage. Mit einer engen Kundenbindung kann ein hoher Grad an kundenindividuellen Produkten entstehen. Des Weiteren kann beispielsweise durch Leichtbaukonstruktion oder Funktionsintegration ein zusätzlicher Kundennutzen erbracht werden.

Integration:

Der erste Übergang von intern nach extern zwischen der Konstruktion und dem Pre-Processing ist hauptsächlich digital. Die CAD-Datei und weitere wichtige Parameter zur Fertigung werden digital übermittelt. Der zweite Wechsel, von extern nach intern zwischen dem Post-Processing und der Montage, ist ein physischer Vorgang. Das fertige Produkt wird als Lieferung verschickt und notwendige Produkt- oder Produktionsdaten werden übermittelt.

Beispiel:

Ein KMU konstruiert ein neues und kundenindividuelles Produkt. Dieses beinhaltet AM-Charakteristika, wie Leichtbau und Funktionsintegration. Ein externer Partner produziert dieses Produkt mit AM (inkl. Pre- und Post-Processing) und liefert es an das KMU, bei dem anschließend die Montage stattfindet.

Szenario 3: „Veredelung von AM-Produkten“

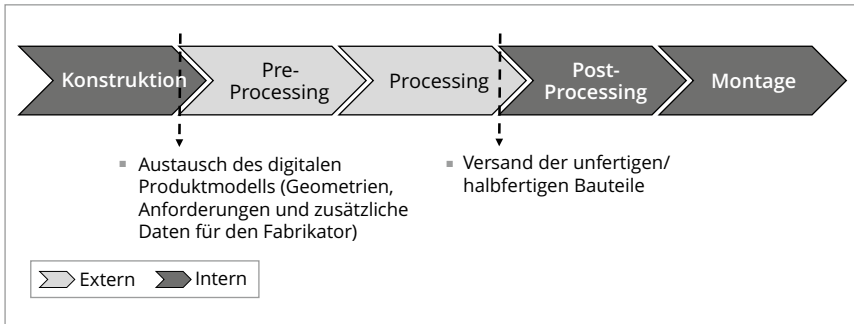


Abbildung 6: Szenario „Veredelung von AM-Produkten“ (Hiller et al. 2016).

Intern / Extern:

Im dritten Szenario wird – im Vergleich zum zweiten Szenario – zusätzlich zur Konstruktions- und Montage-Phase auch die Nachbearbeitungsphase, also das Post-Processing, intern durchlaufen. Die Pre-Processing- und Processing-Phase werden von externen Unternehmen übernommen.

AM-Wissen:

Ähnlich wie beim zweiten Szenario wird sowohl AM-Konstruktionswissen als auch Produktionswissen benötigt. Dazu kommt, dass Know-how zur AM-Nachbearbeitung aufgebaut werden muss. Die Nachbearbeitung unterscheidet sich je nach Material und Verfahren und nach gewünschter Qualität des fertigen Produktes.

Investition und Anteil an der Wertschöpfung:

Investitionen (in Software, Personal und passende Peripherie) werden für die Konstruktion von AM-Teilen benötigt (vgl. Szenario 2). Zusätzlich muss je nach Produkt und Veredelungsgrad in Maschinen und Personal investiert werden. Auf der einen Seite findet die Wertschöpfung in der Konstruktion durch beispielsweise kundenindividuelle Produkte, Leichtbaustrukturen und Funktionsintegration statt, auf der anderen Seite durch das Post-Processing, beispielsweise durch Wärmebehandlungen oder spezielle Beschichtungen. Vor allem bei der Nachbear-

beitung kann zumeist auf verfügbare Ressourcen und vorhandenes Wissen zurückgegriffen werden, da die Nachbearbeitung konventionell hergestellter Produkte ähnlich ist, wie der von mit AM hergestellten Produkten.

Integration:

Im dritte Szenario ist der erste Übergang von intern nach extern derselbe wie bei Szenario 2. Der zweite Wechsel, von extern nach intern, verschiebt sich um eine Phase in der Wertschöpfungskette nach vorne. Der Wechsel erfolgt zwischen den Phasen Processing und Post-Processing. Die halbfertigen Produkte werden verschickt und relevante Qualitätsinformationen übermittelt.

Beispiel:

Ein KMU entwickelt ein Produkt mit AM-Charakteristika (z. B. Leichtbau, Kundenindividualität oder Funktionsintegration). Ein externer Partner stellt das Produkt durch AM her (inkl. Pre-Processing und Processing) und verschickt das nicht veredelte Produkt zum KMU. Dort findet die Nachbearbeitung des Produktes statt (z. B. das Eindrehen von Gewinden). Hierfür kann das KMU vorhandene Maschinen nutzen.

Szenario 4: „AM-Wertschöpfungskette aus einer Hand“

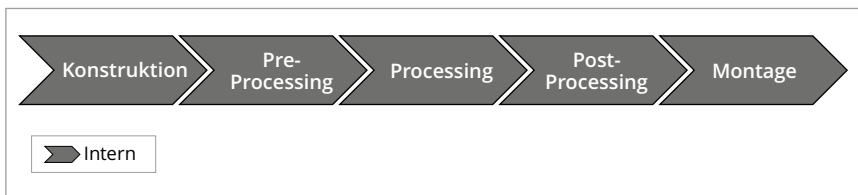


Abbildung 7: Szenario „AM-Wertschöpfungskette aus einer Hand“ (Hiller et al. 2016).

Intern / Extern:

Im vierten Szenario wird die ganze AM-Wertschöpfungskette unternehmensintern durchlaufen.

AM-Wissen:

Tiefgründiges AM-Wissen ist für alle Phasen, außer für die Montage, Voraussetzung. Das notwendige Know-how unterscheidet sich je nach Verfahren und Material. Zusätzlich muss AM-Wissen auch in anderen Abteilungen aufgebaut werden, beispielsweise in der bspw. oder dem Einkauf.

Investition und Anteil an der Wertschöpfung:

Investitionen müssen im vierten Szenario fast in jeder Phase des AM-Prozesses getätigt werden, zum Beispiel: Software, Personal, Fabrikator und ggf. Maschinen zur Nachbearbeitung. Die Wertschöpfung findet in allen Phasen der Kette unternehmensintern statt: in der Konstruktionsphase durch Individualisierung, Leichtbaustrukturen und Funktionsintegration, im Pre-Processing und Processing durch spezielle Parametrisierung und Maschinenkenntnisse. Im Post-Processing kann auf vorhandene Maschinen und Wissen aus der konventionellen Fertigung zurückgegriffen werden.

Integration:

Da alle Phasen intern durchlaufen werden, beschränkt sich die Integration auf unternehmensinterne Abläufe. Zusätzlich muss ein Qualitätssicherungssystem implementiert werden.

Beispiel:

Ein Beispiel für das Szenario „AM-Wertschöpfungskette aus einer Hand“ ist die Herstellung hochwertiger, hybrider Produkte. Durch AM wird ein in Masse, mit konventionellen Fertigungsverfahren hergestelltes Halbzeug kundenindividuell veredelt. Hierbei können die einzelnen Materialschichten direkt auf das schon vorhandene Massenprodukt aufgebracht werden. Diese hybriden Produkte sind nur mit sehr hohem Aufwand durch externe Partner herstellbar, weshalb sie in der Regel vollständig unternehmensintern umgesetzt werden. Dadurch wird die gesamte Wertschöpfungskette von einem Unternehmen gesteuert.

Szenario-Matrix

In der Szenario-Matrix werden die vier vorgestellten Szenarien verglichen. Auf wesentliche Unterschiede wird im Folgenden eingegangen.

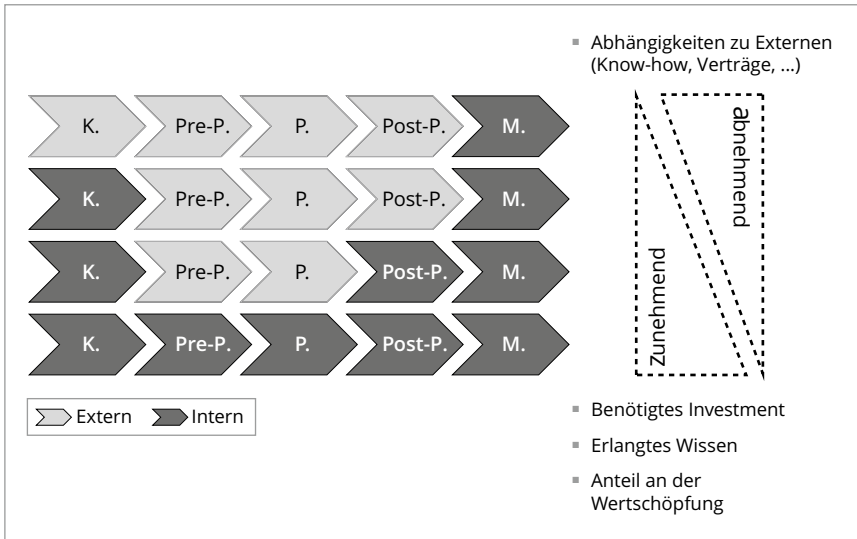


Abbildung 8: Szenario-Matrix (Hiller et al. 2016).

Intern / Extern:

Der größte Unterschied zwischen den Szenarien liegt im strategischen Ansatz, wonach entschieden wird, welche der Phasen intern durchlaufen werden und welche nach extern vergeben werden. Eine Besonderheit ist, dass die Phasen Pre-Processing und Processing entweder beide unternehmensintern oder beide nach extern vergeben werden, da ein enger technischer und verfahrenstechnischer Zusammenhang besteht. Zukünftig ist eine Trennung durch verbesserte Standardisierung denkbar.

Durch die Zusammenarbeit mit Partnern in den ersten Phasen entsteht eine hohe Abhängigkeit. Dies kann zu einer geringeren Flexibilität und weniger Einfluss in die eigentliche Produktion führen. Auf der anderen Seite bietet die externe Vergabe die Möglichkeit, die Produktion, wenn nötig, zu skalieren, speziell für die

Szenarien „Interne Konstruktion, externe Produktion“ (2) und „Veredelung von AM-Produkten“ (3), wenn die Bauteile unternehmensintern konstruiert werden.

AM-Konstruktionswissen ist einer der Schlüsselfähigkeiten, um sich von der Konkurrenz abzuheben und das volle Potenzial von AM zu nutzen. Momentan bedeutet die Nachbearbeitung in der Post-Processing-Phase häufig einen hohen manuellen und damit zeitintensiven Arbeitsaufwand. Mit Kenntnis und Personal auf diesem Gebiet kann ein echter Mehrwert geschaffen werden (vgl. Szenario 3 und 4).

Für KMU, die sehr drauf bedacht sind, ihr Wissen firmenintern zu halten, bietet sich das Szenario 4 an. Für andere Firmen ist ein Netzwerk von Partnern, wie es beispielsweise in „AM als Service“ (Szenario 1) möglich ist, von Interesse. Die Strategie kann sich mit der Zeit ändern, indem mehr und mehr Phasen nach intern bzw. extern verlagert werden.

AM-Wissen:

Je mehr Phasen des AM-Prozesses intern erarbeitet werden, desto mehr AM-Wissen ist erforderlich und desto mehr Wissen kann aufgebaut werden. Dies ist ein wichtiger Faktor für Unternehmen, die zukünftig auf eine interne Strategie setzen (vgl. Szenario 4). Zusätzlich begünstigt ein wachsendes AM-Wissen unternehmensinterne Flexibilität. Dies wird bspw. deutlich, wenn Unternehmen ihre Produkte selbst konstruieren oder bei notwendigen Veränderungen umkonstruieren können.

Investition und Anteil an der Wertschöpfung:

Von oben (Szenario 1) nach unten (Szenario 4) steigen die zu erbringenden Investitionskosten. Jedoch ist zu beachten, dass damit auch der Anteil der Wertschöpfung steigt. AM-Investitionen stehen in engem Zusammenhang mit dem Geschäftsmodell und den Zielen eines Unternehmens. KMU müssen sich deshalb unter Berücksichtigung der Wertschöpfungsanteile entscheiden, welches Szenario das kosteneffizienteste ist. Auch die Frage auf den Fokus der Wertschöpfung (zum Beispiel in der Konstruktion, der Produktentwicklung oder in der Produktion) ist

wichtig, da das Produzieren von AM-Teilen in manchen Fällen kein Alleinstellungsmerkmal mehr ist.

Integration:

Für einen erfolgreichen Einsatz von AM ist die Integration in Prozesse und Abläufe von Bedeutung. Die ersten drei Szenarien mit einem hohen Anteil an Bezug externer Leistungen führen zu einem großen Abstimmungsaufwand. Geheimhaltungsverträge, ein sicherer Datenaustausch und Dateneigentum müssen abgestimmt und verhandelt werden. Die interne Integration (vgl. Szenario 4) betrifft sowohl produktionsbedingte Prozesse als auch die Auftragsabwicklung, jedoch kann die Prozesssicherheit und Überwachung in Szenario „AM-Wertschöpfung aus einer Hand“ (Szenario 4) bedarfsgerechter umgesetzt werden.

3.2 Betreibermodelle

Drei mögliche Betreibermodelle werden im Folgenden aufgezeigt. Diese unterscheiden sich nach dem zugrundeliegenden AM-Produkt.

Vollständig additiv gefertigt:

Dieses Betreibermodell zielt darauf ab, dass die Produkte vollständig additiv hergestellt werden. Ein großer Vorteil liegt darin, dass ein hoher Grad an Funktionsintegration und eine hundertprozentige Individualisierung wirtschaftlich möglich sind. Bei Produkten, die in hoher Stückzahl gefertigt werden, kann dieses Modell zum Nachteil werden.

Hybride Fertigung:

Dieses Modell kombiniert die Vorteile von konventionellen Fertigungsverfahren und AM. Der Grundkörper der Produkte wird konventionell gefertigt und kann somit als Massenware hergestellt werden. Entscheidend ist der individuelle Zusatz durch AM. Der Grundkörper wird additiv ergänzt und somit sind konstruktive Freiheiten, Individualisierung und Funktionsintegration möglich. Durch dieses

Modell können die additiven Produktionskosten begrenzt werden und die für den Grundkörper vorhandenen Herstellungsprozesse mitgenutzt werden.

Lebenszyklusabhängige Fertigung:

Dieses Modell nutzt die einzelnen Vorteile von AM und einer konventionellen Fertigung über den Lebenszyklus eines Produktes aus. Das Vorgehen besteht darin, dass zu Beginn des Produktlebenszyklus, in der Einführungsphase von Produkten, additiv gefertigt wird, um schnell auf dem Markt zu sein und erste Erfahrungswerte zu sammeln. In den weiteren Phasen bzw. wenn das Produkt in hoher Stückzahl nachgefragt wird, erfolgt eine konventionelle Massenproduktion. Zum Ende des Lebenszyklus bzw. bei Nachlassen der Nachfrage und zunehmender Bereitstellung von Ersatzteilen wird aus Kostengründen wieder additiv gefertigt.

3.3 Übersicht der Auswirkungen

Szenario	„AM als Service“ (1)	„Interne Konstruktion, externe Produktion“ (2)	„Veredelung von AM-Produkten“ (3)	„AM-Wertschöpfung aus einer Hand“ (4)
Kunde				
Kundenintegration	Setzt eine Kooperation mit dem externen Dienstleister voraus	Eine Kundenintegration in der Konstruktionsphase ist möglich	Eine Kundenintegration in der Konstruktionsphase ist möglich	Eine Kundenintegration über den ganzen Prozess ist möglich
Kundenindividuelles Produkt	Setzt eine Kooperation mit dem externen Dienstleister voraus	Unternehmensintern (individuelle Konstruktion)	Unternehmensintern (individuelle Konstruktion)	Unternehmensintern (individuelle Konstruktion)
Mehrwert für Kunde	Verfügbarkeit von AM-Teilen (z. B. durch Leichtbau oder Verfügbarkeit geringer Stückzahlen)	Zusätzlich zu Szenario 1: Direkter Kundenkontakt bei der Konstruktion	Zusätzlich zu Szenario 1 & 2: Nachbearbeitung und Veredelung von Teilen	Zusätzlich zu Szenario 1, 2 & 3: Möglichkeit von hybriden Produkten
Produkt				
Komplexität	Für Produkte mit niedriger Komplexitätsgrad geeignet	Für Produkte mit niedriger Komplexitätsgrad geeignet	Für Produkte mit mittlerem Komplexitätsgrad geeignet, aber mit gewisser Nachbearbeitung	Für Produkte mit hohem Komplexitätsgrad geeignet (beispielsweise hybride Produkte)
Qualitätsmanagement	Ist ganz von den Informationen der externen Partner abhängig	Ist abhängig von den Produktionsinformationen der externen Partner	Ist abhängig von den Produktionsinformationen der externen Partner	Unternehmensinternes Qualitätsmanagement



Geistiges Eigentum	Zum Schutz ist eine Vereinbarung mit Dritten erforderlich	Zum Schutz sind Vereinbarungen und technische Maßnahmen erforderlich	Zum Schutz sind Vereinbarungen und technische Maßnahmen erforderlich	Zum Schutz ist eine interne Lenkung erforderlich
Designhoheit	Erfordert Vereinbarungen mit Dritten	Bleibt unternehmensintern	Bleibt unternehmensintern	Bleibt unternehmensintern
Ressourcen				
AM Know-how	Um die Produktanforderungen zu definieren, ist ein Grundverständnis nötig	Erweitertes Wissen ist nötig, um AM-gerecht zu konstruieren	Erweitertes Wissen ist für die Konstruktion und Nachbearbeitung von AM-Produkten nötig	Umfangreiches Wissen ist nötig, um AM-Produkte zu konstruieren und herzustellen
Investment	Niedrig	Niedrig: AM-spezifische Software (Engineering)	Niedrig: AM-spezifische Software (Engineering)	Hoch: AM-spezifische Software, Maschinen, Peripherie, Lieferantenverträge
Skalierbarkeit der Produktion	Möglich durch die Nutzung von Produktionsnetzwerken	Möglich durch die Nutzung von Produktionsnetzwerken	Möglich durch die Nutzung von Produktionsnetzwerken	Kaum möglich bedingt durch den Mangel an externen Partnern

Tabelle 5: Auswirkungen der Szenarien (Hiller et al. 2016).

4 Nächste Schritte: Von der Erprobung von Additive Manufacturing bis zum etablierten Einsatz

Es ist schwer vorherzusehen, wann und ob AM in bestimmten Branchen zum „Game Changer“ wird, wie in der eingangs erwähnten Hörgeräteindustrie. Deshalb sollte eine möglichst frühe und begleitende Nutzung der Technologie angestrebt werden, um marktverändernde Entwicklungen frühzeitig abschätzen zu können.

Die vier vorgestellten Implementierungsszenarien sollen produzierenden Unternehmen eine Hilfestellung bieten, um AM-Know-how für das eigene Geschäftsmodell aufzubauen. Dabei bilden die Szenarien unterschiedlich tiefgreifende Implementierungen der Technologie ab – vom Ausnutzen der konstruktiven Freiheiten für die Produkte in Kooperation mit Dienstleistern, bis hin zur komplett integrierten Anwendung mit eigener AM-Produktion. Welche Herangehensweise für das bestehende Geschäftsmodell geeignet ist, sollte letztendlich unternehmensindividuell entschieden werden.

Der vorgestellte Ansatz kann auch als Reifegradmodell verstanden werden. Als Einstieg in die Technologie kann mit wenig Aufwand und Risiko der Nutzen von AM am Markt getestet werden, indem für die Konstruktion und Produktion auf Dienstleister („AM as Service“) zurückgegriffen wird. Bei Bewährung und nachgewiesenem Nutzen können dann weitere Integrationschritte, wie der Aufbau von eigenem AM-Konstruktionswissen, einer eigenen AM-Produktion und einer eigenen Veredelung der Bauteile, angestrebt werden.

Deshalb lässt sich abschließend festhalten: Den Nutzen von AM in der eigenen Wertschöpfungsstruktur wird am besten durch Ausprobieren erfahren. Die Möglichkeit hierbei auf Dienstleister zurückzugreifen, vermindert das Risiko und erleichtert den Einstieg.

5 Methodisches Vorgehen – Wie kommen die Ergebnisse zustande?

Die Ergebnisse sind nach dem Leitgedanken „von der Praxis, für die Praxis“ entstanden und wurden daher in enger Zusammenarbeit mit industriellen Unternehmen erarbeitet. Aufgrund des neuartigen, teils disruptiven Charakters von AM wurde ein qualitativer Ansatz als methodisches Vorgehen gewählt (Lamnek 2010). Das Vorgehen umfasst folgende drei Schritte:

1. In einem initialen Workshop wurden gemeinsam mit vier Vertretern aus drei Industrieunternehmen mögliche AM-Einsatzfelder diskutiert. Bei den industriellen Workshopteilnehmern handelte es sich um einen AM-Auftragsfertiger, einen Automobilzulieferer und ein Maschinenbauunternehmen. Die Diskussion der Einsatzfelder basierte darauf, inwiefern *bestehende* oder *neue Produkte* mittels AM auf *bestehenden oder neuen Märkten* platziert werden können.
2. Im Anschluss an den Workshop wurden vier tiefgehende Experteninterviews geführt. Gesprächsgegenstand waren Einflussfaktoren, die aus Sicht der Unternehmen beim Einsatz von AM zu berücksichtigen sind. Bei den Befragten handelt es sich um einen AM-Auftragsfertiger, einen Automobilzulieferer, ein (AM-)Maschinenbauunternehmen und um einen Werkzeugmaschinenhersteller.
3. Die Evaluation der Ergebnisse erfolgte mit zwei Domänenexperten aus dem wissenschaftlichen Umfeld.

Kontakt



Lehrstuhl für ABWL und
Wirtschaftsinformatik 1
Universität Stuttgart

Der Lehrstuhl für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und Wirtschaftsinformatik 1 der Universität Stuttgart forscht an der Schnittstelle zwischen Betriebswirtschaftslehre, Informatik und Ingenieurwissenschaft. Die Forschungsschwerpunkte liegen in folgenden Bereichen:

- Business Intelligence & Analytics, insbesondere in industriellen Kontexten
- Geschäftsfähigkeiten und -modelle in Industrie 4.0
- Additive Manufacturing

Im Forschungsbereich „Additive Manufacturing“ werden Wertschöpfungsprozesse und die mit dem Einsatz von Additive Manufacturing einhergehenden Veränderungen hinsichtlich Geschäftsmodelle, betriebswirtschaftlicher Prozesse, Informationssysteme und Datenmodelle untersucht.

Die Forschungsphilosophie des Lehrstuhls ist „Forschung durch Entwicklung“, weshalb eine enge Kooperation mit industriellen Unternehmen, Verbänden, Softwareanbietern, Anwendern und Beratern gepflegt wird.

Dominik Morar

Lehrstuhl für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre
und Wirtschaftsinformatik 1 (Informationsmanagement)

Keplerstraße 17
70174 Stuttgart

+49 711 685-83559
dominik.morar@bwi.uni-stuttgart.de

Das Ferdinand-Steinbeis-Institut (FSTI) ist ein Forschungsinstitut für Digitalisierung und Vernetzung. Es ist Teil des internationalen Steinbeis-Verbundes, zu dem ein Netzwerk führender Forschungs- und Transfereinrichtungen gehört, und An-Institut der Steinbeis-Hochschule Berlin (SHB).

In transferorientierten Projekten adressiert das FSTI die sich durch die zunehmende Verschmelzung von physischen Objekten und eingebetteten IT-Systemen in Verbindung mit einer umfassenden, internetbasierten Vernetzung ergebenden Veränderungen von industriellen Ökosystemen und gesellschaftlichen Strukturen.

Das FSTI koordiniert Aktivitäten u. a. zu den folgenden Themenbereichen:

- Industrial Internet / Industrie 4.0
- Digitalisierung und Gesellschaft
- Innovations- und Transfermanagement

Simon Hiller

Ferdinand-Steinbeis-Institut der Steinbeis-Stiftung

Willi-Bleicher-Straße 19
70174 Stuttgart

+49 711 1839-637

simon.hiller@steinbeis.de

www.steinbeis-fsti.de

Literatur

- D'Aveni, R. (2015):** The 3-D Printing Revolution, Harward Business Review, 5, 2015.
- Gibson, I.; Rosen, D.; Stucker, B. (2015):** Additive Manufacturing Technologies. 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. 2nd ed. New York, NY 2015.
- Gebhardt, A. (2014):** 3D-Drucken, Grundlagen und Anwendungen des Additive Manufacturing, München 2014.
- Gebhardt, A.; Hötter, J.-S. (2016):** Additive Manufacturing, 3D Printing for Prototyping and Manufacturing, München 2016.
- George, K.; Ramaswamy, S.; Rasey, L. (2014):** Next Shoring: A CEO's guide. McKinsey Quarterly, aus den Seiten von McKinsey&Company, <http://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/next-shoring-a-ceos-guide>, Zugriff am 16.05.2017.
- Hiller, S.; Moisa, M.; Morar, D.; Kemper, H.-G.; Lasi, H. (2016):** Implementation Approaches for Additive Manufacturing Enabled Value Chains – An Exploration, in: Proceedings of the 6th International Conference on Additive Technologies, Nürnberg 2016, S. 396–404.
- Kostakis, V.; Pachristou, M. (2013):** Commons-based Peer Production and Digital Fabrication: The case of a RepRap-based, Lego-built 3D printing-milling machine, in: Telematics and Informatics, 31, 2014, S. 434–443.
- KPMG (2015):** Additive Manufacturing – Strategy & Operations Fokusanalyse, 2015, <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2016/04/ch-additive-manufacturing-de.pdf>, Zugriff am 20.06.2017.
- Lamnek, S. (2010):** Qualitative Sozialforschung, 5. Aufl., Weinheim und Basel 2010.

- Mellor, S.; Hao, L.; Zhang, D. (2014):** Additive Manufacturing: A framework for implementation, in: *International Journal of Production Economics*, 149, 2014, S. 194–201.
- Navrotsky, V.; Graichen, A.; Brodin, H. (2015):** Industrialisation of 3D printing (additive manufacturing) for gas turbine components repair and manufacturing, in: *VGB Power Tech* 12, 2015, S. 48–52.
- Siemens (2017):** Additive Manufacturing, <https://www.siemens.com/global/en/home/markets/machinebuilding/additive-manufacturing.html>, Zugriff am 08.08.2017.
- Roland Berger (2016):** Additive Manufacturing – next generation AMnx, 2016, verfügbar unter: https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_additive_manufacturing_next_generation_amnx_study_20160412.pdf, Zugriff am 20.6.2017.
- Sisca, F.G.; Angioletti, C.M.; Taisch, M.; Colwill, J.A. (2016):** Additive Manufacturing as a strategic tool for industrial competition, in: 2016 IEEE second International Forum on Research and Technologies for Society and Industry Leveraging a better tomorrow, Bologna 2016.
- Thymianidis, M.; Achillas, C.; Tzetzis, D.; Iakovu, E. (2013):** Modern Additive Manufacturing Technologies: An Up-to-Date Synthesis and Impact on Supply Chain Design, in: second Olympus International Conference on Supply Chains, Katerini 2013.
- Westkämper, E.; Löffler, C. (2016):** Strategien der Produktion – Technologien, Konzepte und Wege in die Praxis, Berlin und Heidelberg 2016.
- Wohlers Associates (2015):** Wohlers Report 2015 – 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry Annual Worldwide Progress Report, Fort Collins 2015.
- Wohlers Associates (2017):** Wohlers Report 2017 – 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry Annual Worldwide Progress Report, Fort Collins 2017.

Der Leitfaden Additive Manufacturing (AM) liefert Handlungsempfehlungen zur Implementierung von AM im industriellen Einsatz. Die additive Fertigung wird darin in Form von vier unterschiedlichen Wertschöpfungsszenarien dargestellt und in Betreibermodellen aufgezeigt. Eine Unterscheidung erfolgt in den unternehmensinternen oder -externen Wertschöpfungsphasen.

In diesem Leitfaden werden die folgenden Fragen zur Nutzung der additiven Fertigung beantwortet:

- Unter welchen Rahmenbedingungen lassen sich die Eigenschaften von Additive Manufacturing in bestehenden Wertschöpfungsketten nutzen?
- Welche Herangehensweisen zur Implementierung von Additive Manufacturing existieren für produzierende Unternehmen?
- Welche Schlussfolgerungen lassen sich für Additive-Manufacturing-Betreibermodelle ziehen?

Des Weiteren werden zum besseren Verständnis die Grundlagen des Additive Manufacturing dargelegt. Hierbei wird einführend ein Überblick über die verschiedenen Verfahren, deren Charakteristika sowie deren Potenziale gegeben.

ISBN 978-3-95663-172-6



 **Steinbeis-Edition**