

ADDITIVE MANUFACTURING IM LEICHTBAU –

STRATEGISCHE UND BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHE
HERAUSFORDERUNGEN UND PERSPEKTIVEN

Wolfgang Seeliger

INHALT

VORWORT	03
KERNBOTSCHAFT UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN	04
KAPITEL 1 ADDITIVE MANUFACTURING IM INDUSTRIELLEN EINSATZ	05
1.1. Grundlagen zu Additive Manufacturing	05
1.2. Veränderung von Geschäftsmodellen und -prozessen	06
KAPITEL 2 STAND UND PERSPEKTIVEN VON ADDITIVE MANUFACTURING	08
2.1. Auswirkungen von Additive Manufacturing auf Kostenstrukturen	08
2.2. Veränderung der Wertschöpfungsstruktur	10
2.3. Darstellung und Nutzen Additive-Manufacturing-basierter Kernkompetenzen	14
KAPITEL 3 FAZIT	17
ANHANG	18
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	18
LITERATUR	19
IMPRESSUM	20



Lehrstuhl für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre und
Wirtschaftsinformatik I (Informationsmanagement)

VORWORT

Additive Fertigung bringt der verarbeitenden Industrie eine Reihe von Chancen und Herausforderungen:

1. Für den Leichtbau ergeben sich mit additiver Fertigung enorme Potentiale für bislang nicht realisierbares Produktdesign. Das gilt auch für den Werkzeug- und Formenbau.

2. Die Kosten für die Fertigung werden marginal sein. Wertschöpfung findet konsequenterweise immer weniger in der Fertigung und immer mehr in der Konzeption sowie Konstruktion statt.

3. Laut einer McKinsey-Studie werden im Jahr 2025 industrielle Wertschöpfungsströme von bis zu 550 Milliarden US-Dollar von additiver Fertigung verändert werden. Diese und andere Aspekte möchte die vorliegende Kurztabelle beleuchten und Anregungen geben, über zukünftige Geschäftsmodelle sowie Strategien im Umfeld der generativen oder 3D-Verfahren nachzudenken.



Wolfgang Seeliger
DR. WOLFGANG SEELIGER
Geschäftsführer der
Leichtbau BW GmbH



KERNBOTSCHAFT UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Additive Manufacturing wird in dieser Studie als zusätzliche Fertigungstechnologie verstanden, die im Vergleich zu herkömmlichen Fertigungsverfahren auf anderen Prinzipien beruht. Um die damit einhergehenden Potenziale nutzen zu können, sind grundlegend andere Rahmenbedingungen sicherzustellen. Diese Studie fokussiert sich auf betriebswirtschaftliche und strategische Rahmenbedingungen. Wie stark sich Additive Manufacturing auf Unternehmen auswirkt – ob von einer revolutionären Technologie oder einer Ergänzung gesprochen werden kann – ist letztlich von konkreten unternehmensspezifischen Faktoren abhängig: Branche, Produkte, Unternehmensgröße, Komplementärgebieter, Wettbewerber etc.

Additive Manufacturing nimmt weitreichenden Einfluss auf Geschäftsprozesse und wird die Wertschöpfung maßgeblich verändern.

Aus dieser Studie kann basierend auf den Herausforderungen weiterer Handlungsbedarf hinsichtlich betriebswirtschaftlicher und strategischer Aspekte abgeleitet werden. Zukünftige Aktivitäten sollten sich zunehmend auch mit diesen Gesichtspunkten befassen, um Additive Manufacturing ganzheitlich – nicht nur aus der techno-

Ziel dieser Studie ist es, die strategischen und betriebswirtschaftlichen Herausforderungen und Perspektiven beim industriellen Einsatz von Additive Manufacturing aufzuzeigen. Es soll ein Verständnis dafür geschaffen werden, dass Additive Manufacturing weit mehr als nur eine technologische Änderung in der Produktionshalle bedeutet. Obschon die Technologie im Leichtbau bereits auf dieser Ebene Wettbewerbsvorteile verspricht, können zusätzlich erhebliche Potenziale durch einen unternehmensweiten Ansatz der Geschäftsprozesse und -modelle berücksichtigt, realisiert werden. Die Erkenntnisse beruhen auf Gesprächen mit Experten und stellen erste Annahmen für weitere wissenschaftliche Untersuchungen dar.

logischen Sicht – in die Unternehmensabläufe erfolgreich integrieren zu können. Vier Handlungsempfehlungen für Unternehmen sind im Folgenden zusammenfassend aufgelistet und werden in den folgenden Kapiteln erläutert:

- Die Wertschöpfung verschiebt sich beim Einsatz von Additive Manufacturing vornehmlich in die Erstellung des digitalen Produktmodells. Deshalb müssen Unternehmen den Fokus auf die Konstruktion legen.
- Um möglichst viele Potenziale von Additive Manufacturing nutzen zu können, müssen Geschäftsmodelle und Geschäftsprozesse verändert werden.
- Zur Sicherung von Wettbewerbsvorteilen müssen unternehmensspezifische Kernkompetenzen angepasst und entwickelt werden.
- Dem Schutz geistigen Eigentums kommt insbesondere im Kontext einer dezentralen Fertigung mit Additive Manufacturing eine besondere Bedeutung zu und ist mit adäquaten Konzepten zu gewährleisten.

Additive Manufacturing im Leichtbau – Strategische und betriebswirtschaftliche Herausforderungen und Perspektiven



HOHE DESIGNFREIHEIT

Die Konstruktion wird bei AM nicht durch das Fertigungsverfahren determiniert und bietet daher eine hohe Designfreiheit. Hierdurch können im Rahmen des Leichtbaus bionische Strukturen sowie wabenartige Füllstrukturen erstellt werden.

Weitere wesentliche Eigenschaften von AM sind die folgenden (vgl. Gebhardt 2013, Gibson et al. 2010 und Hopkinson et al. 2009):

- Orts- und zeitunabhängige Fertigung**
Bedingt durch investitionsintensive Maschinenparks erfolgt die Produktion mit konventionellen Verfahren oftmals an nur wenigen Standorten. AM bietet hingegen das Potential, die Fertigung dezentral und damit nahe am Kunden zu platzieren. Aufgrund der Kundennähe lohnt daher eine bedarfs- statt einer vorrathsbestimmten Produktion. Des Weiteren eröffnet AM die Möglichkeit, die Produktion an „Print-Center“ auszulagern, deren globale Verfügbarkeit zu erwarten ist.
- Funktionsintegration**
Bereits während des Bauprozesses können Funktionalitäten in das Produkt integriert werden (z. B. Scharniere oder innenliegende Kühlkanäle). Die Fertigung erfolgt an einem Stück, sodass diese Funktionalitäten nicht im Nachgang bspw. durch Fräsen, Bohren oder Montageprozesse entstehen.
- Customization**
Basierend auf den zuvor genannten Eigenschaften sowie der hier stattfindenden werkzeuglosen Fertigung, bietet AM ein hohes Potential, individualisierte Produkte herzustellen.

1.2

VERÄNDERUNG VON GESCHÄFTSMODELLEN UND -PROZESSEN

PRODUKTLEBENSZYKLUS

Obwohl der Einsatz von AM auf den ersten Blick nur als Technologieaustausch erscheint, sind hiermit weitreichende Auswirkungen auf den gesamten Produktlebenszyklus verbunden. In Abbildung 2 ist dieser Prozess anhand seiner typischen Phasen dargestellt – von der Vorphase bis zum Recycling.

Die nachfolgend aufgezeigten Auswirkungen lassen sich im Wesentlichen auf die spezifischen Charakteristika von AM (vgl. Kapitel 3.1) zurückführen (vgl. u.a. Lasi et al. 2014, Huang et al. 2013, Siemens 2014):

1. VORPHASE

- Aufgrund der Möglichkeit zur Herstellung kundenindividueller Produkte entsteht der Bedarf, dass Kunden bereits in frühen Phasen der Produktentstehung involviert werden, wie etwa als Ideenlieferant in der Vorphase (z. B. in Form von Crowdsourcing-Projekten).

2. PRODUKT- / PRODUKTIONSPROZESSENTWICKLUNG

- Der Einsatz von AM führt zum Paradigmenwechsel in der Konstruktionsphase. Aufgrund der hohen Designfreiheit kann die Leichtbauweise, bspw. bionische Strukturen oder wabenartige Füllungen, berücksichtigt werden. „Design for Function“ löst „Design for Manufacturing“ oder „Design for Assembly“ ab.
- Es gilt allerdings bereits in der Konstruktion, Fertigungs-Know-how zu integrieren (z. B. durch Hinterlegung der Baurichtung im Produktmodell).
- Der Kunde kann als Co-Designer in die Produktgestaltung involviert werden. Voraussetzung hierfür ist ein nicht vollständig determiniertes Produktmodell.
- Mit geht AM eine Reduzierung der Komplexität von der Produktionsprogramm-, Materialbedarfs- und Produktionsprozessplanung einher.

ADDITIVE MANUFACTURING IM INDUSTRIELLEN EINSATZ

1.1

GRUNDLAGEN ZU ADDITIVE MANUFACTURING

Globalisierung, Individualisierung und Nachhaltigkeit sind nur einige der Trends, die Unternehmen vor neue Herausforderungen stellen. Hinzu kommt der zunehmende Grad an Digitalisierung und der Trend zu einer wissens- und informationsdominierten Gesellschaft (vgl. Westkämper 2013).

Die Leichtbauweise ist ein treibender Faktor zur Nachhaltigkeit und profitiert heute wie auch in Zukunft von technologischen Entwicklungen und deren Nutzenpotenzialen (vgl. Leichtbau BW 2014). Einer dieser Technologien ist Additive Manufacturing (AM), was weitläufig unter dem Begriff „3D-Druck“ bekannt ist. Während die eigentliche Technologie bereits seit über 20 Jahren im Prototypenbau eingesetzt wird, ist der Einsatz in der industriellen Fertigung erst in den letzten Jahren populär geworden.

AM ermöglicht eine werkzeuglose Fertigung, bei der die Produkte direkt aus 3D-CAD-Dateien durch schichtweises Auftragen von Material erstellt werden. Hinter dem generischen Begriff AM verbergen sich verschiedene konkrete Verfahren, z. B. Selective Laser Melting (SLM), Selective Laser Sintering (SLS), Fused Deposition Modeling (FDM).

Wesentliche Unterscheidungsmerkmale der Verfahren sind:

- Material** (z. B. Metalle, Kunststoffe, Keramiken bzw. pulverbasiert, drahtförmig, flüssig)
- Bauraumgröße**
- Oberflächengüte** (z. B. rau, fein, mit Poren – abhängig auch von der Schichtstärke)
- Geschwindigkeit**
- Kosten** (z. B. für die Maschine und das Material)

Unabhängig von den zuvor genannten Unterscheidungskriterien ist den verschiedenen Verfahren eines gemeinsam: der generi-

sche AM-Prozess. Abbildung 1 zeigt einen einfachen Prozess zur Herstellung eines Teils mittels AM. Hierbei handelt es sich um einen vorwiegend digitalen Prozess (vgl. Gibson et al. 2010, VDI 3404).

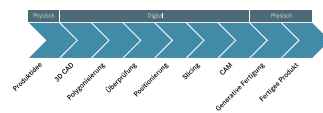


Abbildung 1: Additive Manufacturing Prozess

- Produktidee:** Ausgangspunkt ist ein Entwurf, der das zu erstellende Produkt skizziert.
- 3D CAD:** Die Idee wird in eine digitale Konstruktion – ein 3D-CAD-Modell – überführt.
- Polygonisierung:** Das CAD-Modell wird in ein Oberflächen-Modell überführt.
- Überprüfung:** Mögliche Fehler im Modell (bspw. nicht verbundene Kanten) müssen vor der Fertigung korrigiert werden.
- Positionierung:** Das Bauteil wird im Bauraum platziert. Es können mehrere Bauteile in einem Druckjob hergestellt werden, um den Bauraum bestmöglich auszunutzen.
- Slicing:** Das Modell wird anschließend digital in einzelne Schichten geschnitten („slice“).
- CAM:** Der Maschinensteuerungscode wird ausgehend von den einzelnen Schichten berechnet und ein „Druckjob“ erstellt.
- Additive Manufacturing:** Die Teile werden schichtweise gefertigt (Ausführung des „Druckjobs“).
- Fertiges Produkt:** Die fertigen Teile können aus der Maschine genommen werden. Oftmals schließen sich Nachbearbeitungsprozesse (Post-Processing) an.

AM verfügt über charakteristische Eigenschaften, die gerade für den Leichtbau Anwendungspotentiale mit sich bringen. Neben dem eingesetzten Material ist vor allem die hohe Designfreiheit von Bedeutung.

Additive Manufacturing im Leichtbau – Strategische und betriebswirtschaftliche Herausforderungen und Perspektiven



3. PRODUKTION

- AM ist eine Technologie, bei der die Fertigung werkzeuglos erfolgt (z. B. ohne Einsatz von Gussformen).
- Der Kunde kann als Co-Producer in den Produktionsprozess eingebunden werden (z. B. wird eine Basiskomponente firmenseitig hergestellt, während der Kunde ein ergänzendes Teil zur Basis fertigt).
- Da das wesentliche Fertigungswissen bereits in der Konstruktionsphase in das digitale Produktmodell eingeflossen ist, stellt die „Herstellung“ des physischen Modells ein Service dar, der ausgelagert werden kann. Auf diese Weise ist eine dezentrale und somit kundennahe Fertigung wirtschaftlich möglich.

4. ABSATZ / VERTRIEB

- Die konventionelle Kostenkalkulation basiert oftmals auf Stücklisten. Die Stückliste eines AM-gefertigten Produkts fällt jedoch wesentlich weniger komplex aus und kann im Extremfall vollständig wegfallen – wenn das Produkt nur aus genau diesem einen Teil besteht. Der Kostenkalkulationsansatz ist daher zu überdenken, insbesondere vor dem Hintergrund der an Wert gewinnenden Konstruktion.

5. PRODUKTNUTZUNG / SERVICE

- Gerade in der Ersatzteilbeschaffung lässt AM ein hohes Potential vermuten. Ersatzteile könnten zeit- und ortsunabhängig am Ort des Gebrauchs hergestellt werden (z. B. auf einem Flugzeugträger). Damit reduzieren sich u.a. Aufwände für Lagerhaltung und Logistik.
- Anstelle ein Produkt vollständig auszutauschen, können Verschleißteile sukzessiv wieder aufgebaut werden.

6. RECYCLING

- Die meisten AM-Produkte sind gut recycelbar, da sie i. d. R. aus einem Material gefertigt sind. Für hybride Materialien gilt das nicht zwingend.

Aufbauend auf diesen Grundlagen zur AM-Technologie wird nachfolgend auf die Verlagerung der Wertschöpfung und ökonomische Fragestellungen eingegangen. Hierbei spielen unterschiedliche Rahmenbedingungen eine Rolle.

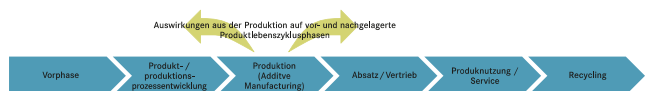


Abbildung 2: Produktlebenszyklus

Additive Manufacturing im Leichtbau – Strategische und betriebswirtschaftliche Herausforderungen und Perspektiven

Additive Manufacturing im Leichtbau – Strategische und betriebswirtschaftliche Herausforderungen und Perspektiven



KAPITEL 2

STAND UND PERSPEKTIVEN VON ADDITIVE MANUFACTURING

Die Massenproduktion von Bauteilen und Produkten mit AM wird vermutlich auch zukünftig nicht aus primär wirtschaftlichen Gründen erwogen werden. Der Einsatz dieser Produktionsart führt vielmehr zu Vorteilen bei anderen Erfolgsfaktoren. Der Leichtbau ist hierfür ein prädestiniertes Anwendungsgebiet.

2.1

AUSWIRKUNGEN VON ADDITIVE MANUFACTURING AUF KOSTENSTRUKTUREN

AM kann in einer kostenseitigen Betrachtung mit herkömmlichen Fertigungsverfahren (bspw. Kunststoffspritzguss) konkurrieren – bis hin zu Stückzahlen von über 10.000 Stück. Ähnliches gilt für metallverarbeitende AM-Verfahren. Diese Erkenntnisse zeigen, dass sich die Grenzkosten (variable Stückkosten) bei AM im Grunde unabhängig von der Stückzahl konstant entwickeln, während die Grenzkosten bei konventionellen (Serien-) Produktionsverfahren mit zunehmender Stückzahl abnehmen (siehe Abbildung 3). In diesen Beispielen wurden wohlgeordnet ausschließlich Produktionskosten für bestehende Bauteile verglichen, mögliche Zusatzkosten, wie durch für AM optimierte Konstruktionen, wurden außer Acht gelassen (vgl. Atzeni u. Salmi 2012 und Hopkinson u. Dickens 2003).

Die Berücksichtigung dieser Unterschiede in der Entwicklung der Grenzkosten führt dazu, dass variable Produktionskosten von AM-Produkten linear steigen und somit Skaleneffekte über die Erhöhung der Ausbringungsmenge schwer zu erreichen sind (vgl. Abbildung 4).

Grenzkosten (variable Stückkosten)

„Kosten die bei einer bestimmten Ausbringungsmenge für eine zusätzliche Ausbringungseinheit anfallen.“ (Friedl et al. 2013) Diese setzen sich in der Regel einerseits aus Einzelkosten wie Material oder Fertigungslöhnen zusammen, andererseits enthalten diese auch Sondereinzelkosten wie einmalige oder intervallartige Aufwände für Werkzeuge (bspw. Gussformen).

Die Erzielung von Skaleneffekten beruht im Grundsatz darauf, dass die Grenzkosten mit jedem zusätzlichen Stück fallen.

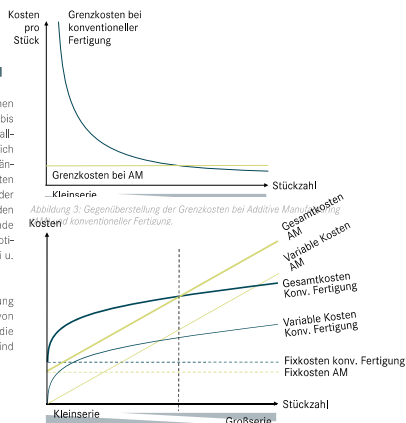


Abbildung 4: Gegenüberstellung der Kostenstruktur von Additive Manufacturing (AM) und konventioneller Fertigung.

Es ist zu erwarten, dass die Weiterentwicklung bei AM-Verfahren und Materialien die AM-Technologie zunehmend konkurrenzfähiger werden lässt und der Verlauf der variablen Kosten künftig flacher verläuft. In der Folge werden auch größere Serien von Produkten wirtschaftlich mit AM herstellbar sein. Die in Abbildung 5 und Abbildung 6 schematisch dargestellten qualitativen Veränderungen der Fixkosten und variablen Kosten einer AM-Produktion im Vergleich zur konventionellen Fertigung ergeben sich aus unterschiedlichen Gründen (vgl. Tabelle 1). Zudem ist eine Verlagerung der Aufwände aus der Produktion und der Wartungsphase in Richtung der Konstruktion zu erwarten. Die größten Treiber hierfür sind (vgl. auch Huang et al. 2013, Tuck et al. 2007):

- Digitalisierung von Prozessen und Logistik
- Reduktion der Komplexität in der Produktion

Insbesondere die Digitalisierung von Prozessen erfordert höhere Aufwände im Bereich der Konstruktion. Um sicherzustellen, dass ein Produkt in gleicher Qualität auf AM-Fabrikatoren an unterschiedlichen Orten gefertigt werden kann, muss im Zuge der Konstruktion möglichst viel Wissen aus der Fertigung berücksichtigt werden (z.B. Ausrichtung und Position des Bauteils im Bauraum oder Prozessparameter bestimmter Materialien).

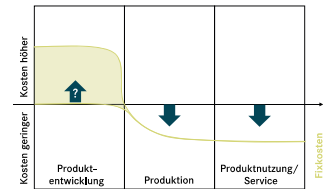
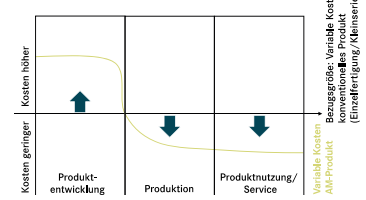


Abbildung 5: Entwicklung der Fixkosten in der AM-Produktion

Zudem ist durch zunehmend individualisierte Produkte ein Anstieg der variablen Kosten im Bereich der Konstruktion zu erwarten, da die Individualisierung von Produkten, Teilprodukten oder Bauteilen zusätzlichen, individuellen Aufwand erzeugt. Die zu erwartenden Auswirkungen von AM auf variable und fixe Kosten sind in Tabelle 1 in Abschnitt 2.2 aufgeführt.



DIE FOLGEN:

- Potentiale der dezentralen Fertigung sind am effizientesten nutzbar, wenn die Komplexität der Produktion abnimmt (Standardsierung).
- Variable Kosten von AM-Produkten (Produktion) steigen tendenziell linear. Skaleneffekte über die Erhöhung der Ausbringungsmenge sind mit AM schwer zu erreichen.
- Durch zunehmende Einzelfertigung werden Konstruktionsaufwände vermehrt zu variablen Kosten. Hier kann eine verstärkte Modularisierung im Rahmen der Konstruktion von Vorteil sein.
- Im Zusammenhang mit steigenden Konstruktionsaufwänden durch Bauteilindividualisierung wächst die Bedeutung von Modularisierung und Standardsierung von Konstruktionen.
- Die Supply-Chain wird übersichtlicher, da für ein reines AM-Produkt außer dem Rohmaterial keine Vorprodukte benötigt werden.

2.2

VERÄNDERUNG DER WERTSCHÖPFUNGS-STRUKTUR

WOMIT VERDIENT IN ZUKUNFT DIE PRODUZIERENDE INDUSTRIE IHR GELD?

Ein vereinfachtes Beispiel eines Metallbauteils – Fahrwerk eines Kleinflugzeugs – zeigt die derzeitige Verteilung von AM-Kostentreibern (vgl. Atzeni u. Salmi 2012), ergänzt um Konstruktionskosten eines durchschnittlichen Bauteils (vgl. Abbildung 7).

ANTEIL DER STÜCKKOSTEN IN DER ADDITIVE-MANUFACTURING-EINZELFERTIGUNG

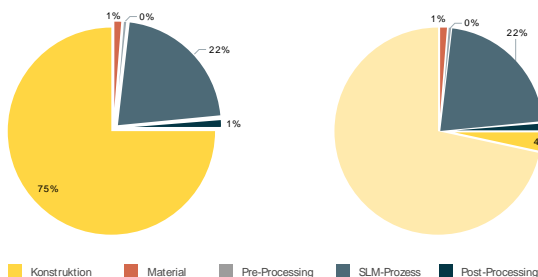


Abbildung 7: Beispiel zur Kostenverteilung im Kontext eines Additive-Manufacturing-Metalbauteils.

Die Konstruktion stellt einen der bedeutendsten Kostentreiber dar, insbesondere bei der Einzelfertigung, aber auch bei Kleinserien.¹ Das Beispiel zeigt, dass durch AM die Wertschöpfung langfristig stärker in der Produktentwicklung generiert wird. Gründe hierfür sind:

- Die Stückkosten in der Fertigung bleiben unabhängig von der Produktionsmenge nahezu konstant und spielen insbesondere bei Individualanfertigungen eine eher untergeordnete Rolle.
- Sobald der AM-Fertigungsprozess beherrscht ist, determiniert die Qualität der Konstruktion zunehmend die Qualität des Produkts. Individuelle oder leichte Produkte sind durch Exzellenz im Konstruktionsprozess und weniger durch Fertigungsexzellenz wettbewerbsfähig.
- Die Produktionskompetenz wird austauschbar. Ein Produktmodell lässt sich auf unterschiedlichen Fertigungseinheiten herstellen.
- Mit zunehmender Weiterentwicklung der Verfahren werden die Kostenanteile (im Beispiel SLM-Prozess) abnehmen.

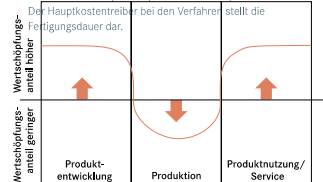


Abbildung 8: Verlagerung der Wertschöpfungsanteile durch Additive Manufacturing (AM) im Vergleich zur konventionellen Produktion

¹ Die Abschätzung der Konstruktionskosten basiert auf einer durchschnittlichen Konstruktionsdauer von 36 Stunden für ein Schmiedeteil (vgl. Herbertz et al. 1996). Die Aufwände für neuartige Konstruktionsmethoden (bionisch, ...) und Einsparungspotentiale sind unberücksichtigt.



ABSCHNITT DES PRODUKTLEBENSZYKLUS	AUSWIRKUNGEN	WERTSCHÖPFUNGSSEITIG		
		KOSTENSEITIG		
Produktentwicklung	Infrastruktur zur Entwicklung individueller Produkte (Kundenintegration, ...)	fix	↑	↑
	Konstruktion kundenspezifischer Produkte / Teilprodukte	variabel	↑	↑
	Berücksichtigung von Fertigungswissen	variabel	↑	↑
	Ausführichere Simulation, um Qualität individueller Produkte sicherzustellen	variabel/fix	↑	↑
	Funktionsintegration in Bauteile (Reduzierung von Montage)	-	-	↑
Produktion	Wenige, vielseitig einsetzbare werkzeuglose Maschinen (Standardisierung)	fix	↓	↓
	Geringe Komplexität der Produktionsplanung	variabel	↓	-
	Geringe Komplexität der Materialplanung	variabel	↓	-
	Geringe Komplexität der Produktionsprozessplanung	variabel	↓	-
	Aufwändige Qualitätssicherung (insb. bei Serienprodukten)	variabel	↑	↓
Produktnutzung / Service	Keine Lagerhaltung von Ersatzteilen	fix	↓	↑
	Geringer Logistikaufwand	variabel	↓	↑
	Nutzung bestehender Produktionsmaschinen	fix	↓	-

Tabelle 1: Aus Anwendungsfällen abgeleitete Annahmen zu Auswirkungen durch den Einsatz von Additive Manufacturing im qualitativen Vergleich zur konventionellen Fertigung.

↑ steigend ↓ tendenziell steigend ↕ fallend

BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHE BEWERTUNGSMÖGLICHKEITEN UND ADDITIVE-MANUFACTURING-KPIS

Wissenschaftliche Untersuchungen zur Ableitung von KPI (Key Performance Indicator) im Kontext von AM existieren noch nicht, doch lassen sich durch Fallbeispiele bereits Kostentreiber identifizieren. Die folgende Betrachtung (Abbildung 9) in Verbindung mit dem vorangegangenen Beispiel in Abschnitt 2.2 soll eine erste Einschätzung geben.

Variable Kosten	Material	Polymid-Polymer (SLM): 60 – 10 €/kg AlSi10Mg-Legierung (DMLS): ca. 380 €/kg Metallpulver (SLM): ca. 150 €/kg (Aluminium)
	Fertigungslöhne	Arbeitskosten (Fertigung): 28 – 38 €/h bei 1000 h/Tag (2000 h/Woche) 28.000 – 38.000 €
	Sonderanfertigungskosten	Energiekosten, HVS- und Bohreranfertigung Laser (Lebensdauer ca. 10.000 h), Prozessgasen, ...
	Personalkosten	Arbeitskosten (Konstruktion): 38 – 51 €/h nach 1000 h/Tag (2000 h/Woche) 38.000 – 51.000 €
Fixkosten	Investitionskosten	FDM-Fabrikatoren: ca. 30.000 – 120.000 € SLM-Fabrikatoren: ca. 120.000 – 500.000 €
	Wartung und Instandhaltung	Computer, Softwarelizenzierung, Geräte zur Nachbearbeitung, Bauteile Maßnahmen, Klimatisierung, ...
	...	Wartung und Instandhaltung: ca. 20% des Anschaffungspreises

Abbildung 9: Beispielhafte Kostenstruktur (Quelle: Gebhardt 2013)

Generisch betrachtet, beeinflusst AM wichtige industrielle Erfolgsfaktoren und ist insbesondere für den Leichtbau von Interesse (vgl. Abbildung 10) (vgl. Gebhardt 2013, Gibson et al. 2010, Huang et al. 2013):

- Die hohe Designfreiheit ermöglicht optimierte Leichtbaulösungen, die mit konventionellen Fertigungsverfahren nicht möglich sind, bei gleichzeitig sparsamen Ressourceneinsatz, da nur dort Material aufgetragen werden kann, wo es aus Funktionsgründen benötigt wird.
- Die losgrößenunabhängigen Fertigungskosten führen dazu, dass die zunehmende Nachfrage nach kundenspezifischen Produkten durch den Einsatz von AM begegnet werden kann. Hierbei ist zu beachten, dass der Konstruktionsaufwand steigen kann, da Produkt(telle) konstruktiv individualisiert werden müssen.

- Die zunehmende Digitalisierung von Prozessen und Logistik wird durch AM zusätzlich getrieben, da die Produktentwicklung und die Produktion einfach räumlich getrennt werden kann und in der Folge die Time to Customer verringert wird.

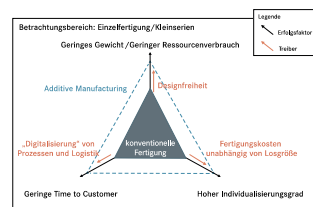


Abbildung 10: Einfluss von Additive Manufacturing auf Erfolgsfaktoren

KONSTRUKTION UND KONZEPTION EXISTIEREN IN EINER NICHT-MATERIELLEN IDEENWELT, SIND „KNOWLEDGE“ UND „KNOW-HOW“. WELCHE PREISE KÖNNEN HIERFÜR ANGESETZT WERDEN?

Die Verlagerung der Wertschöpfung in die frühen Phasen der Produktentstehung wirft im Weiteren die Frage auf, inwieweit sich dies auch auf finanzielle Gesichtspunkte niederschlägt. AM bietet eine hohe Designfreiheit, die gerade im Leichtbau hohes Potential bietet. Gewichtsreduktion ist Leitmotiv der Leichtbauweise und bestimmt den maßgeblichen Nutzen eines Produkts und damit auch die Zahlungsbereitschaft der Kunden.

Die AM-spezifische Konstruktion zuzugunsten des Leichtbaus nimmt daher eine besondere Stellung ein. Die Konstruktion selbst existiert allerdings in einer nicht-materiellen Ideenwelt und ist folglich ein bedeutsames Wissensgut, sog. „Knowledge“ und „Know-how“. Dies führt zu folgender Frage:

Wie kann der Mehrwert bzw. der Kundennutzen monetär beziffert werden, der durch die AM-spezifische Leichtbaukonstruktion entsteht?



Eine Herangehensweise ist das sog. Target Costing aus der strategisch-orientierten Kostenrechnung. Hierbei erfolgen die Kostenbestimmung und damit auch die Preisfestlegung am Markt und orientiert sich folglich an der Zahlungsbereitschaft des Kunden. Es wird ermittelt, welcher Preis am Markt erzielbar ist und welche Produktkomponente anschließend wie viel kosten darf. Die Kosten werden dadurch maßgeblich in der Produktentwicklungsphase (inkl. Konstruktion) bestimmt (vgl. Coenenberg et al. 2012).

Die Bedeutung der Konstruktion für die Wertschöpfung im Kontext von AM führt dazu, dass sich die Konstruktion perspektivisch zum eigentlichen Kerngeschäft entwickelt, während die Produktion als „Dienstleistung“ erfolgt. Das digitale Produktmodell (Artefakt der Konstruktion) steht im Vordergrund, sodass in diesem Zusammenhang Preisbildungsstrategien der Softwarebranche zitiert werden können. U. a. beeinflussen folgende Rahmenbedingungen die Preisbildungsstrategie (vgl. Lehmann u. Buxmann 2009):

- Einmalzahlung oder regelmäßige Zahlung ggf. ergänzt um Wartungsverträge
- Preisdifferenzierung (bspw. leistungsbezogen) und/oder Preisbündelung
- Preissensitivität des Marktes > nach dem Ansatz der kostenorientierten Marktsegmentierung > Preisstrukturen, insbesondere Preiszügel
- Kunden- und projektspezifische Preisfindung > kostenbasiert > nachfragerorientiert bzw. wertorientiert > wettbewerbsorientiert

2.3

DARSTELLUNG UND NUTZEN ADDITIVE-MANUFACTURING-BASIERTER KERNKOMPETENZEN

DARSTELLUNG UND NUTZEN ADDITIVE-MANUFACTURING-BASIERTER KERNKOMPETENZEN UND FÄHIGKEITEN

Aus den vorangegangenen Kapiteln lassen sich Fähigkeiten und Kernkompetenzen zum erfolgreichen Einsatz von AM ableiten. Diese sind in Abbildung 11 beispielhaft veranschaulicht. Im Gegensatz zu unternehmerischen Ressourcen sind Kernkompetenzen eine Zusammensetzung einer prozessualen, personellen und informations-technologischen Komponente. Sie sind stark an dem Unternehmen, dessen Kultur und Historie verankert und sind demnach schwerer zu imitieren. Damit stellen sie das Alleinstellungsmerkmal eines Unternehmens dar.

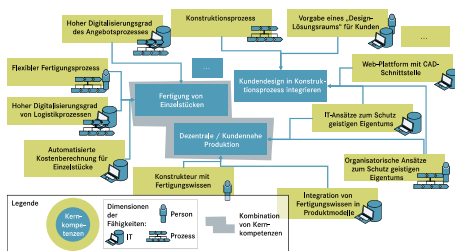


Abbildung 11: Beispiel für Kernkompetenzen und Abhängigkeiten

KUNDENDESIGN IN KONSTRUKTIONSPROZESSEN

Im Rahmen des Konstruktionsprozesses wird dem Kunden die Möglichkeit geboten, sein eigenes Design in der Produktentstehung einzubringen. Voraussetzung ist ein entsprechendes Produktmodell, das diesen Freiraum gewährleistet und die korrekte Herstellung sicherstellt. Wichtig ist hierbei, dass sowohl organisatorische als auch informationstechnische Maßnahmen zum Schutz geistigen Eigentums vorhanden sind.

FERTIGUNG VON EINZELSTÜCKEN

Diese Kernkompetenz ist durch einen Fertigungsprozess geprägt, der flexibel auf die Kundenbedürfnisse reagieren kann. Da jedes Produkt ein Unikat ist, bedarf es einer adäquaten Kosten- und damit auch Preisberechnung. Die Digitalisierung von Logistik- und Angebotsprozessen verkürzt Durchlaufzeiten und verringert Aufwände. Bauteile können bspw. nach Bedarf gefertigt werden und müssen nicht auf Lager gehalten werden.

DEZENTRALE / KUNDENNAHE PRODUKTION

Damit Bauteile dezentral und damit auch kundennah hergestellt werden können, sind die relevanten Fertigungsparameter in das digitale Produktmodell zu integrieren. Das heißt jedoch auch, dass der Konstrukteur über das erforderliche Fertigungswissen verfügen muss. Mit diesen Voraussetzungen ist es durchaus denkbar, die Produktion als „Dienstleistung“ in Kundennähe einzukaufen. Auch hier sind organisatorische und informationstechnische Maßnahmen zum Schutz geistigen Eigentums notwendig.

Die Kombination von Kernkompetenzen spiegelt sich in den Erfolgsfaktoren (vgl. Abbildung 10) wider und führt zum eigentlichen Wettbewerbsvorteil. Beispielsweise die Fertigung von Einzelstücken, wie Ersatzteilen, in Kundennähe schafft erhebliche Kostenvorteile für das Unternehmen und zusätzlichen Nutzen für den Kunden.

Wie kann in einer digitalisierten Wertschöpfung geistiges Eigentum geschützt werden?

Wie bereits eingangs dargestellt, hat der AM-Prozess einen hohen digitalen Anteil. Geht man über diesen Prozess i. e. S. hinaus und betrachtet ganze Wertschöpfungsnetzwerke, nimmt die Bedeutung der Digitalisierung noch weiter zu. Bereits in den frühen Phasen solcher Technologieentwicklungen stellt sich daher die zentrale Frage: Wie kann in einer digitalisierten Wertschöpfung geistiges Eigentum geschützt werden?

Die nachfolgenden Szenarien zeigen beispielhaft einige Fragen auf, die durch den Einsatz von AM aufgeworfen werden.

SCENARIO 1:

Während in der Vergangenheit ein Produkt hergestellt und verkauft wurde, wird zukünftig primär noch die Konstruktion verkauft, in der die maßgebliche Wertschöpfung steckt. Diese enthält bereits alle wichtigen Parameter (z. B. Baurichtung des Teils, Maschinenparameter etc.) und besitzt damit auch das Fertigungs-Know-how, um das Teil auf einer AM-Maschine orts- und zeitunabhängig herzustellen. Ein Kunde zahlt bspw. für jede Vervielfältigung dieser Konstruktion.

Herausforderungen:

- Wie kann gewährleistet werden, dass das Bauteil der Konstruktion nur so oft hergestellt wird, wie ein Kunde dafür bezahlt hat?
- Wie schützt man die Konstruktion vor Piraterie, Nachahmung und Manipulation?



SCENARIO 2:

AM bietet die Möglichkeit zur interorganisationalen Wertschöpfung – hierbei sind verschiedene Stakeholder während der Produktentstehung, aber auch während des gesamten Produktlebenszyklus involviert.

Herausforderungen:

- Wie kann eine interorganisational Wertschöpfung organisiert werden?
- Wer haftet für Produkte, die auf diese Weise hergestellt wurden: Konstrukteure / Designer / die Firma, die das Produkt (oder Komponenten) ausgedruckt hat / der Kunde, der das Produkt (oder Komponenten) selbst ausgedruckt hat / der Hersteller der AM-Maschine etc.?

Etablierte, AM-spezifische Lösungen gibt es hierfür bisher nicht. Ein erster Ansatzpunkt könnte hierzu die Betrachtung existierender Regelwerke sein, die sich dieser oder ähnlicher Herausforderung widmen. Zukünftige Aktivitäten könnten sich mit den folgenden Ansätzen im Zusammenhang mit AM befassen (vgl. u. a. Abele et al. 2010, Abele et al. 2011, Hanschke 2010, Müller 2014, Schulte-Zurhausen 2010).

ORGANISATORISCHE ANSÄTZE

- Service-Level-Agreement: Hierbei handelt es sich um Vereinbarungen zwischen einem Auftraggeber und einem Auftragnehmer über qualitative und quantitative Aspekte hinsichtlich einer Leistung. Die einzelnen messbaren Größen werden Service Level genannt.
- Total Cost of Ownership (TCO): Dies ist ein Ansatz zur ganzheitlichen Kostenbetrachtung über den gesamten Produktlebenszyklus – u. a. Anschaffungskosten, Wartung, Instandhaltung, Entsorgung. Hierbei kann eine gezielte Produkt-Service-Kombination als Schutzkonzept vor Plagiaten dienen. In einer TCO-Vereinbarung wird bspw. festgehalten, dass der Hersteller für bestimmte Kosten während des Lebenszyklus aufkommt, vorausgesetzt dass Originalteile verwendet wurden.

Virtuelle Organisationen: Es handelt sich hierbei um einen Zusammenschluss mehrerer physischer Partner im Sinne eines Netzwerks zur gemeinsamen Generierung eines Kundennutzen. Für vertrauensvolles Zusammenarbeiten sind Regelungsstrukturen zu etablieren, bei denen u. a. festgelegt wird, wie kooperiert und koordiniert wird.

TECHNISCHE ANSÄTZE

Digitale Rechtsverwaltung: Dieses Konzept ist auch unter Digital Rights Management (DRM) bekannt und dient Urhebern zur Nutzungskontrolle ihrer digitalen Inhalte, Daten oder Dokumenten. Hierbei kommen u. a. Authentifizierungs- und Authentizitätskonzepte sowie Zugriffsbeschränkungen zum Einsatz. Mittels Verschlüsselung werden außerdem Lizenzvereinbarungen überprüft (z. B. wie häufig oder wie lange etwas genutzt wird und ob diese Nutzung vereinbarungskonform ist). Denkbar wäre eine Art Zähler im Produktmodell, der mitzählt, wie oft ein Teil durch AM hergestellt wurde.

Tokens: In eine ähnliche Richtung geht die Verwendung von sogenannten Tokens. Benutzer können sich hiermit identifizieren und authentifizieren (z. B. zur Anmeldung an einem Computer oder zur Nutzung von Onlinebanking).

Verschlüsselungen: Grundsätzlich können etablierte Verfahren der Informations- und Kommunikationstechnik zur Verschlüsselung von Dateien einerseits und Kommunikationswegen andererseits bei diesem Thema angewendet werden.

RECHTLICHE ANSÄTZE

Intellectual Property: Eigentumsrecht (z. D.) ist ein umfassendes Gebiet in den Rechtswissenschaften, zu denen vor allem sogenannte Schutzrechte zählen. Zu nennen sind hierbei auch das Urheberrecht und Patente.

Produkthaftung: Im Produkthaftungsgesetz (ProdHaftG) ist die Haftung bei fehlerhaften Produkten geregelt. Besonders interessant ist die Haftung, wenn an der Produktentstehung mehrere verschiedene Parteien mitgewirkt haben.

KAPITEL 3

FAZIT

Die Studie zeigt, dass der Einsatz von Additive Manufacturing weit aus mehr ist als nur eine technologische Änderung auf Shop-Floor-Ebene. Basierend auf grundlegenden Charakteristika von Additive Manufacturing wurden Auswirkungen auf den gesamten Produktlebenszyklus und auf Geschäftsmodelle aufgezeigt sowie die Additive-Manufacturing-spezifische Kostenstruktur erläutert. Gerade für die frühen und späten Phasen bietet Additive Manufacturing hohes Potential, sodass von einer Verlagerung der Wertschöpfung – aus der Produktionsphase hin in die Produktentwicklung und dem Service – ausgegangen werden kann. Die Konstruktion wird mit Additive Manufacturing nicht mehr als Vorleistung zur Produktion verstanden. Sie nimmt stattdessen einen ganz neuen Stellenwert ein, was sich auch in der Preisbildung und im Schutzbedürfnis niederschlägt.

Viele Unternehmen betreiben Wertschöpfung vor allem durch exzellente Produktion, da hier viele investitionsintensive Fertigungsanlagen sowie Spezialmaschinen zum Einsatz kommen. Über solche kapitalbindenden Investitionen sowie durch die Bewältigung komplexer Auftragssteuerung und Ablaufplanung konnte über Jahre hinweg ein Alleinstellungsmerkmal aufgebaut werden. Mit dem Einsatz von Additive Manufacturing nimmt die Komplexität der Produktion, der Auftragssteuerung und der Ablaufplanung allerdings bedeutsam ab. Bereits mit Besitz eines Additive-Manufacturing-Fabrikators und eines digitalen Produktmodells (3D-CAD-Daten) inkl. der spezifischen Fertigungsparameter kann ein Produkt mit dieser flexiblen, werkzeugfreien Technologie hergestellt werden.

Eine Integration von Additive Manufacturing muss deswegen behutsam und vorausschauend erfolgen und bestehende Kernkompetenzen des Unternehmens sinnvoll erweitern. Die Technologie kann auf diese Weise vielen industriellen Unternehmen wichtige Wettbewerbsvorteile verschaffen, insbesondere hinsichtlich der Erfolgsfaktoren Gewicht und Ressourcerverbrauch, Produktindividualisierung sowie Time to Customer. Interdisziplinäre Zusammenarbeit scheint hierbei der notwendige Lösungsansatz zu sein, der Additive Manufacturing den Einzug in die industrielle Praxis – hier vor allem dem Leichtbau – vereinfacht und den erfolgreichen Einsatz auch auf lange Sicht sicherstellt.

Unter Berücksichtigung dieser Aspekte stellt Additive Manufacturing, wenn es frühzeitig ganzheitlich betrachtet wird, eine Chance für Unternehmen im Kontext des Leichtbaus dar.



ANHANG GRUNDLEGENDE GRÖSSEN IM KOSTENTREIBERMODELL

ZUORDNUNG	BESCHREIBUNG	AUSPRÄGUNG
Konstruktion	Durchschnittliche Konstruktionsdauer pro Teil (vgl. Herberitz et al. 1996)	36 h
	Durchschnittlicher Konstrukteurslohn (nach IG Metall TV 2014 BW für TG 7-12, Annahme 30% Lohnnebenkosten)	44,50 EUR
Material (vgl. Atzeni u. Salmi 2012)	Materialkosten pro Teil	25,81 EUR
Pre-Processing (vgl. Atzeni u. Salmi 2012)	Set-up-Zeit pro Fertigungsjob	1,2 h
	Durchschnittlicher Fertigungslohn (nach IG Metall TV 2014 BW für TG 12-17, Annahme 30% Lohnnebenkosten)	33,00 EUR
	Pre-Processing-Kosten pro Teil (4 Teile je Baujob)	9,90 EUR
SLM-Prozess (vgl. Atzeni u. Salmi 2012)	SLM-Verfahrenskosten pro Teil (35 EUR Maschinenstundensatz, 54 h Bauzeit, 4 Teile pro Baujob)	472,50 EUR
Post-Processing (vgl. Atzeni u. Salmi 2012)	Nachbearbeitungszeit je Baujob	3 h
	Durchschnittlicher Fertigungslohn (nach IG Metall TV 2014 BW für TG 12-17, Annahme 30% Lohnnebenkosten)	33,00 EUR
	Wärmebehandlung pro Baujob	20,00 EUR
	Post-Processing-Kosten pro Teil (4 Teile je Baujob)	29,75 EUR

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Additive Manufacturing Prozess	05
Abbildung 2: Produktlebenszyklus	07
Abbildung 3: Gegenüberstellung der Grenzkosten bei Additive Manufacturing (AM) und konventioneller Fertigung	08
Abbildung 4: Gegenüberstellung der Kostenstruktur von Additive Manufacturing (AM) und konventioneller Fertigung	08
Abbildung 5: Entwicklung der Fixkosten in der AM-Produktion	09
Abbildung 6: Entwicklung der variablen Kosten in der AM-Produktion	09
Abbildung 7: Beispiel zur Kostenverteilung im Kontext eines Additive-Manufacturing-Metallbauteils	10
Abbildung 8: Verlagerung der Wertschöpfungsanteile durch Additive Manufacturing (AM) im Vergleich zur konventionellen Produktion	11
Abbildung 9: Beispielhafte Kostenstruktur (Quelle: Gebhardt 2013)	13
Abbildung 10: Einfluss von Additive Manufacturing auf Erfolgsfaktoren	13
Abbildung 11: Beispiel für Kernkompetenzen und Abhängigkeiten	14

LITERATUR

- Abele E. und Reinhart, G. (2011): Zukunft der Produktion, München 2011
- Abele, E., Kuske, P., Renger, U., Lang, H., Pruschek, P. und Pulawski, R. (2010): Plagiatenschutz durch Total Cost of Ownership, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF), 2010, 3, S. 231-236
- Atzeni, E. und Salmi, A. (2012): Economics of additive manufacturing for end-useable metal parts, Int. Journal of Advanced Manufacturing Technologies, 2012, 62, S. 1147-1155
- Coenenberg, A.G., Fischer, T.M. und Günther, T. (2012): T. M. und Günther, T. (2012), Kostenrechnung und Kostenanalyse, 8. Aufl., Stuttgart 2012.
- Gebhardt, A. (2013): Generative Fertigungsverfahren, 4. Aufl., München 2013
- Gibson, I., Rosen, D.W. und Stucker, B. (2010): Additive Manufacturing Technologies, New York, Heidelberg, Dordrecht, u.a. 2010
- Hanschke, I. (2010): Strategisches Management der IT-Landschaft, Ein praktischer Leitfaden für das Enterprise Architecture Management, München 2010
- Herberitz, R., Labs, J. und Labs, R. (1996): Zeit- und Kostenkalkulation für 3D-CAD-Modelle im Werkzeug- und Formenbau, VDI-Z: Integrierte Produktion, 138, 1996, 5, S. 52-55.
- Hopkinson, N. und Dickens, P.M. (2003): Analysis of rapid manufacturing – using layer manufacturing processes for production, Proc. Inst. of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 217, 2003, 1, S. 31-39
- Hopkinson, N., Hague, R.J.M. und Dickens, P.M. (2006): Rapid Manufacturing, Chichester 2006
- Huang, S. H., Peng, L., Mokasdar, A. und Hou, L. (2013): Additive manufacturing and its social impact: a literature review, Int. Journal for Advanced Manufacturing Technologies, 67, 2013, S. 1191-1203
- Kittlaus, H.-B., Rau, C. und Schulz, J. (2004): Software-Produkt-Management, Berlin u. Heidelberg 2004
- Lasi, H., Morar, D. und Kemper, H.-G. (2014): Additive Manufacturing – Herausforderungen für die gestaltungsorientierte Wirtschaftsinformatik, Tagungsband der Multikonferenz Wirtschaftsinformatik (MKWI) 2014, S. 417-428, Paderborn 2014
- Lehmann, I. und Buxmann, P. (2009): Preisstrategien von Softwareanbietern, Wirtschaftsinformatik, 2009, 6, S. 519-529
- Leichtbau BW (Hrsg., 2014): Leichtbau – Trends und Zukunftsmärkte und deren Bedeutung für Baden-Württemberg, Stuttgart 2014
- Müller, K.-R. (2014): IT-Sicherheit mit System, 5. Aufl., Wiesbaden 2014
- Schulte-Zurhausen, M. (2010): Organisation, 5. Auflage, München 2010
- Siemens (2014): 3D-Druck: Ersatzteile aus der Laserkammer, auf den Seiten der Siemens AG, <http://www.siemens.com/press/de/feature/2014/corporate/2014-03-3d-druck.php>, Zugriff am 19.01.2015
- VDI 3404: Generative Fertigungsverfahren: Rapid-Technologien (Rapid Prototyping) – Grundlagen, Begriffe, Qualitätskenngrößen, Liefervereinbarungen, Richtlinie Verein Deutscher Ingenieure (VDI) Nr. 3404, Berlin 2009
- Westkämper, E. (2013): Struktureller Wandel durch Megatrends, S. 7-9, in: Westkämper, E., Spath, D., Constantinescu, C. und Lenties, J. (Hrsg., 2013), Digitale Produktion, Berlin und Heidelberg 2013





Leichtbau BW GmbH
Breitscheidstraße 4 – 70774 Stuttgart
T 0711 128988-40 – E info@leichtbau-bw.de
www.leichtbau-bw.de

HERAUSGEBER

ERSCHEINUNGSJAHR 2015

© Copyright liegt bei den Herausgebern.

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Werk ist ausschließlich seiner Form und seinem Inhalt geschützt. Nachdruck, Verbreitung, die sonst die Rechte des Herausgebers verletzen, ist ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers ausdrücklich untersagt.

Es ist nicht zulässig, das Werk oder Teile davon in irgendeiner Form zu reproduzieren, zu verbreiten oder in irgendeiner Weise öffentlich zugänglich zu machen, insbesondere durch elektronische Mittel.

Die Herausgeber übernehmen keine Haftung für die Richtigkeit der Angaben.

LAYOUT & SATZ

FOTOS