

SCHRIFTENREIHE 3D@KMU

Herausgeber:

Prof. Dr. Heiko Schinzer

ARBEITSBERICHT 5

METASTUDIE ADDITIVE MANUFACTURING

Alexandra Fiedler

Dieses Arbeitspapier hat zum Ziel, einen Überblick über verschiedene neuere Studien zum Thema Additive Manufacturing (AM) zu geben. Insbesondere liegt hierbei der Fokus auf die Auswirkungen der additiven Fertigung auf die klein- und mittelständischen Unternehmen sowie auf den Marktperspektiven für deren Anwendung.

Merseburg, Mai 2015



Inhalt

1. Einleitung	2
2. Analyse	6
3. Studien.....	10
3.1. Additive Manufacturing – Revolutioniert der 3D-Druck die Supply Chain und das Geschäftsmodell der Unternehmen?.....	10
3.2. Dezentrale Produktion, 3D-Druck und Nachhaltigkeit.....	12
3.3. Megatrends Research - Industrial Manufacturing	14
3.4. Costs and Cost Effectiveness of Additive Manufacturing	15
3.5. Statusreport – Additive Fertigungsverfahren	19
3.6. Thinking ahead the Future of Additive Manufacturing - Exploring the Research Landscape	22
3.7. Gemeinsame Studie „Life Cycle Cooperation“ von EADS IW und EOS	25
3.8. Abschlussbericht - Marktperspektiven von 3D in industriellen Anwendungen	27
3.9. Additive Manufacturing - A game changer for the manufacturing industry?	29
3.10. Additive Manufacturing: Status and Opportunities	33
4. Fazit.....	34
Literaturverzeichnis	36

1. EINLEITUNG

Dieses Arbeitspapier hat zum Ziel, einen Überblick über verschiedene neuere Studien zum Thema Additive Manufacturing (AM) zu geben. Insbesondere liegt hierbei der Fokus auf die Auswirkungen der additiven Fertigung auf die klein- und mittelständischen Unternehmen sowie auf den Marktperspektiven für deren Anwendung.

In diesen Arbeitsbericht sind frei zugängliche Studien eingeflossen, die mit gezielter Schlagwortsuche bei der Internetrecherche auf einschlägigen Publikationsorganen wie beispielsweise BASE (Bielefeld Academic Search Engine), Google Scholar, Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft oder WISO als relevante Ergebnisse identifiziert wurden.

Schlagworte	<p>Study-, Survey-, Research - Additive Manufacturing, 3D-Printing, Rapid Prototyping</p> <p>Studie-, Umfrage-, Untersuchung - Additive Fertigung, Generative Fertigung, Rapid Prototyping</p>
--------------------	--

Tabelle 1: Verwendete Schlagworte

Um aktuelle Trends und Entwicklungen untersuchen zu können, wurde der Untersuchungszeitraum auf die Jahre 2012-2015 beschränkt. Nachfolgend aufgeführte Veröffentlichungen sind in die Analyse eingegangen. Wobei jeder in den Kurzprofilen beschriebenen Studie im Anschluss an die Analyse ein eigenes Kapitel gewidmet wird.

Tabelle 2: Kurzprofile der Studien

Kapitel 3.1
KPMG AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (2015). Additive Manufacturing – Revolutioniert der 3D-Druck die Supply Chain und das Geschäftsmodell der Unternehmen?
Inhalt
Befragungsbasierte Fokusanalyse zu den Auswirkungen des 3D-Drucks auf die eigene Branche, das Geschäftsmodell und auf die Liefer- und Wertschöpfungskette sowie Beleuchtung der rechtlichen Risiken.
Ergebnisse

- > AM verändert Güterproduktion entscheidend
- > AM beeinflusst Liefer- und Wertschöpfungskette stark
- > AM verändert die Geschäftsmodelle
- > AM stellt Unternehmen vor neue Herausforderungen hinsichtlich rechtlicher Regelungen, Datenschutz und IT-Sicherheit

Kapitel 3.2

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) (2014). *Dezentrale Produktion, 3D-Druck und Nachhaltigkeit*

Inhalt

Bewertung der ökologischen Effekte der AM-Technologien anhand einer Analyse zum Stand der Forschung in Bezug auf die Umweltwirkungen und zwei eigenen Fallstudien.

Ergebnisse

- > Zunahme der Dezentralisierung führt nicht zwangsläufig zur Umweltentlastung, entscheidend sind eingesetzte Technologien und die Art des Transportes
- > Anforderungen an Unternehmen wie Adaptivität, Flexibilität, Nachhaltigkeit und Kundennähe steigen

Kapitel 3.3

KPMG AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft (2014). *Megatrends Research - Industrial Manufacturing*

Inhalt

Zehn identifizierte Megatrends werden in Hinblick auf die Auswirkungen für die Industrie beleuchtet.

Ergebnisse

1. Fabrik der Zukunft (Automatisierung, Vernetzung)
2. Nearshoring (Verlagerung von betrieblichen Tätigkeiten in das nahe gelegene Ausland)
3. Nachfrageverlagerung nach Asien
4. Clusterbildung im Bereich der Fertigung (Innovations- und Forschungszentren)
5. Energie- und Ressourceneffizienz
6. Wettbewerb um Talente (steigende Nachfrage nach Spezialisten aus dem MINT-Bereich)
7. Nanotechnologie (Auswirkungen von Nanopartikeln, Nachhaltigkeit der Nanotechnologie)
8. Serviceorientierte Geschäftsmodelle
9. Sourcing Governance (Steuerung der Beschaffung auf der ganzen Wertschöpfungskette, Unternehmensverantwortung)
10. Additive Fertigung (neue Geschäftsmodelle, Auswirkungen auf Unternehmen und Gesellschaft)

Kapitel 3.4

National Institute of Standards and Technology (NIST) (2014). *Costs and Cost Effectiveness of Additive Manufacturing*

Inhalt

Der Bericht befasst sich mit den Kosten von AM. Konventionelle Fertigung wird dabei mit AM verglichen und analysiert unter welchen Bedingungen AM kosteneffizient eingesetzt werden kann.

Ergebnisse

- > AM kostengünstig bei der Herstellung von Kleinserien mit zentraler Fertigung
- > Materialkosten signifikante Größe bei den Kosten für ein additiv gefertigtes Produkt
- > Einsatz von AM komplementär zu konventionellen Technologien ist effizienter als Verfahren ganz abzulösen
- > AM-Systeme stellen bei den Gesamtkosten für ein additiv gefertigtes Produkt einen bedeutenden Kostenfaktor dar

Kapitel 3.5

Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (2014). *Statusreport – Additive Fertigungsverfahren*

Inhalt

Der Statusreport hat speziell die mittelständische Industrie in Deutschland zur Zielgruppe und möchte diesen den praktischen Nutzen von AM in der Produktion nahe bringen.

Ergebnisse

- > Technischer Reifegrad noch nicht mit konventionellen Verfahren vergleichbar
- > Identifikation typischer Einsatzgebiete und Branchen
- > Handlungsbedarf für FuE offengelegt
- > Rechtliche Rahmenbedingungen unzureichend
- > Additive Fertigungsverfahren fördern den Wirtschaftsstandort Deutschland und sichern Arbeitsplätze

Kapitel 3.6

Direct Manufacturing Research Center (DMRC) und Heinz Nixdorf Institute (2013). *Thinking ahead the Future of Additive Manufacturing - Exploring the Research Landscape*

Inhalt

Die Studie zeigt die Forschungslandkarte international im Bereich AM auf.

Ergebnisse

Auflistung relevanter Forschungsinstitute mit Kurzprofilen und Beleuchtung der jeweiligen Forschungsaktivitäten, zur Aufdeckung von Forschungslücken.

Kapitel 3.7
EOS GmbH (2013). <i>Gemeinsame Studie „Life Cycle Cooperation“ von EADS IW und EOS</i>
Inhalt
In den Rollen „Kunde“ und „Technologielieferant“ wurden die Einsatzpotentiale von AM unter den Aspekten Nachhaltigkeit und Ökologie entlang des Produkt-Lebenszyklus untersucht.
Ergebnisse
> optimiertes Design führt zu Gewichtseinsparung > Reduktion der CO2-Emissionen und des Verbrauchs an Rohmaterialien im Vergleich zur traditionellen Fertigung

Kapitel 3.8
Prognos AG, Fraunhofer Institut für Graphische Datenverarbeitung (IGD) und MC Marketing Consulting (2013). <i>Abschlussbericht - Marktperspektiven von 3D in industriellen Anwendungen</i>
Inhalt
Untersucht werden die Marktperspektiven des gesamten 3D-Spektrums von der 3D-Messtechnik / 3D-Scanner, 3D-CAD / CAE, 3D-Simulation, Medical Imaging / Bildgebende Verfahren über Virtual, Augmented und Mixed Reality bis hin zu 3D-Drucker / Rapid Prototyping.
Ergebnisse
> die größten Hersteller für 3D-Drucker stammen aus den USA > Deutschland führend im Bereich der Lasersinter-Verfahren > Markt für spezialisierte Rapid Prototyping-Dienstleistungsunternehmen in Deutschland wächst > starkes Wachstum des Weltmarktes für AM wird erwartet

Kapitel 3.9
Roland Berger Strategy Consultants GmbH (2013). <i>Additive Manufacturing - A game changer for the manufacturing industry?</i>
Inhalt
Die Studie beleuchtet die Wettbewerbsfähigkeit sowie die Kostenaspekte der additiven Fertigung, wobei im Fokus die Fertigung von Metall-Komponenten für die Industrie und entsprechende Verfahren stehen.
Ergebnisse

- > AM wird sich zu einer Kerntechnologie der Industrie entwickeln
- > Kosten für AM werden kontinuierlich weiter fallen
- > AM ermöglicht Gewichtsreduktion durch optimierte Designs
- > Stückkosten bleiben auch mit zunehmender Komplexität der Teile konstant
- > im Dental-Bereich und in der personalisierten Medizintechnik wird AM die konventionellen Verfahren verdrängen
- > AM Produktionskosten verhältnismäßig hoch; erhebliche Kostensenkungen durch technische Weiterentwicklungen werden innerhalb von fünf Jahren erwartet

Kapitel 3.10

Science and Technology Policy Institute (2012). *Additive Manufacturing: Status and Opportunities*

Inhalt

Untersucht werden der Status und die Möglichkeiten von AM in den Vereinigten Staaten.

Ergebnisse

- > Empfehlung an die Regierung in FuE zu investieren und ein nationales Forschungszentrum aufzubauen
- > Anregung zur Entwicklung einer Material-Datenbank

2. ANALYSE

Die zehn identifizierten Veröffentlichungen wurden in Hinblick auf folgende Fragen untersucht:

- 1) Wer sind die Autoren/Herausgeber der Studie?
- 2) Welche inhaltlichen Schwerpunkte werden betrachtet?
- 3) Welche Zielgruppen werden adressiert?

Nachfolgende Tabellen zeigen die Auswertung der Analyse im Detail. Zusätzlich zu den drei Kernfragen wurde die angewandte Methodik untersucht. Hier bleibt festzustellen, dass selten nur eine Methode zur Anwendung kommt, häufig werden Umfragen durch Expertenbefragungen und/oder Fallstudien ergänzt. Insgesamt haben vier Arbeiten auf Fallstudien zurückgegriffen, zwei evaluieren dabei primär die ökologischen Aspekte der Additiven Fertigung und die anderen beiden untersuchen die Kosten und mögliche Anwendungsszenarien.

Kapitel-Nr.	Autoren/Herausgeber				Schwerpunkte			
	Beratungshaus	Forschungsinstitut	Verein/Verband	Industrie	Technik	Betriebswirtschaft	Umwelt	Forschung
3.1	x					x		
3.2		x					x	
3.3	x					x		
3.4		x				x		
3.5				x	x	x		
3.6		x						x
3.7				x	x	x	x	
3.8	x	x			x	x		
3.9	x					x		
3.10	x	x			x	x		x

Tabelle 3: Auswertung nach Autor/Herausgeber und Schwerpunkte

Kapitel-Nr.	Zielgruppe				Methodik			
	Industrie	KMU	Politik	Wissenschaft	Umfrage	Experten	Desk Research	Fallstudie
3.1	x				x			
3.2	x						x	x
3.3	x					x		
3.4	x			x			x	
3.5	x	x				x		
3.6				x	x	x		
3.7	x							x
3.8	x	x	x	x	x	x	x	x
3.9	x				x			x
3.10			x			x	x	

Tabelle 4: Auswertung nach Zielgruppe und Methodik

zu 1): Der Anteil der Studien von Beratungshäusern und Forschungsinstituten ist gleich groß und liegt bei 30 Prozent. Die Untersuchungen, die einzig von Beratungshäusern stammen, befassen sich alle mit den betriebswirtschaftlichen Auswirkungen der additiven Fertigung und richten sich in erster Linie an die Industrie, was den Tätigkeitsschwerpunkt und die Zielgruppe solcher Häuser widerspiegelt. Lediglich je eine Studie stammt von der Industrie selbst bzw. einer Interessenvereinigung. Die Zahl der Studien zur additiven Fertigung, die seitens der Beratungshäuser und Forschungsinstitute veröffentlicht wird, überwiegt demnach deutlich. Daran ist erkennbar, dass die Forschungsaktivitäten im Bereich AM hoch sind und

Anstrengungen unternommen werden diese Erkenntnisse und das Technologie-Know-how in die Wirtschaft zu transferieren.

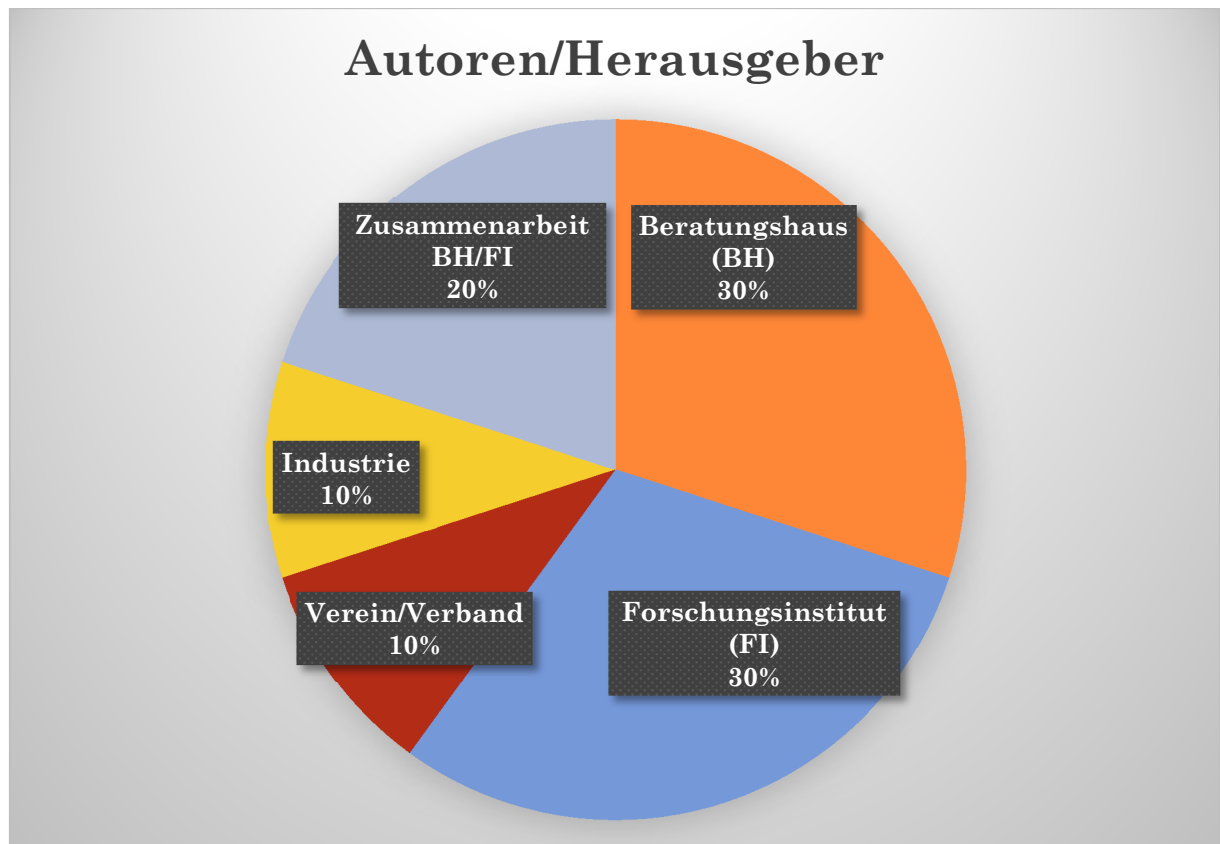


Abbildung 1: Autorenanalyse

zu 2): Mit betriebswirtschaftlichen Fragestellungen befassen sich 40 Prozent der untersuchten Studien. Die technischen Aspekte von AM wurden von ebenso vielen Arbeiten beleuchtet, allerdings in Verbindung mit Themen wie Forschung und Umwelt sowie unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Anzumerken ist, dass technisch orientierte Studien nicht im Fokus dieses Papiers stehen. Diese Metastudie analysiert solche Untersuchungen, die die wirtschaftlichen Auswirkungen, Potentiale und Marktperspektiven von AM erforschen. Es gibt zahlreiche Veröffentlichungen, die sich beispielsweise mit Werkstoffeigenschaften oder mit den 3D Druck-Anlagen befassen, diese sind hier bewusst außen vor geblieben.

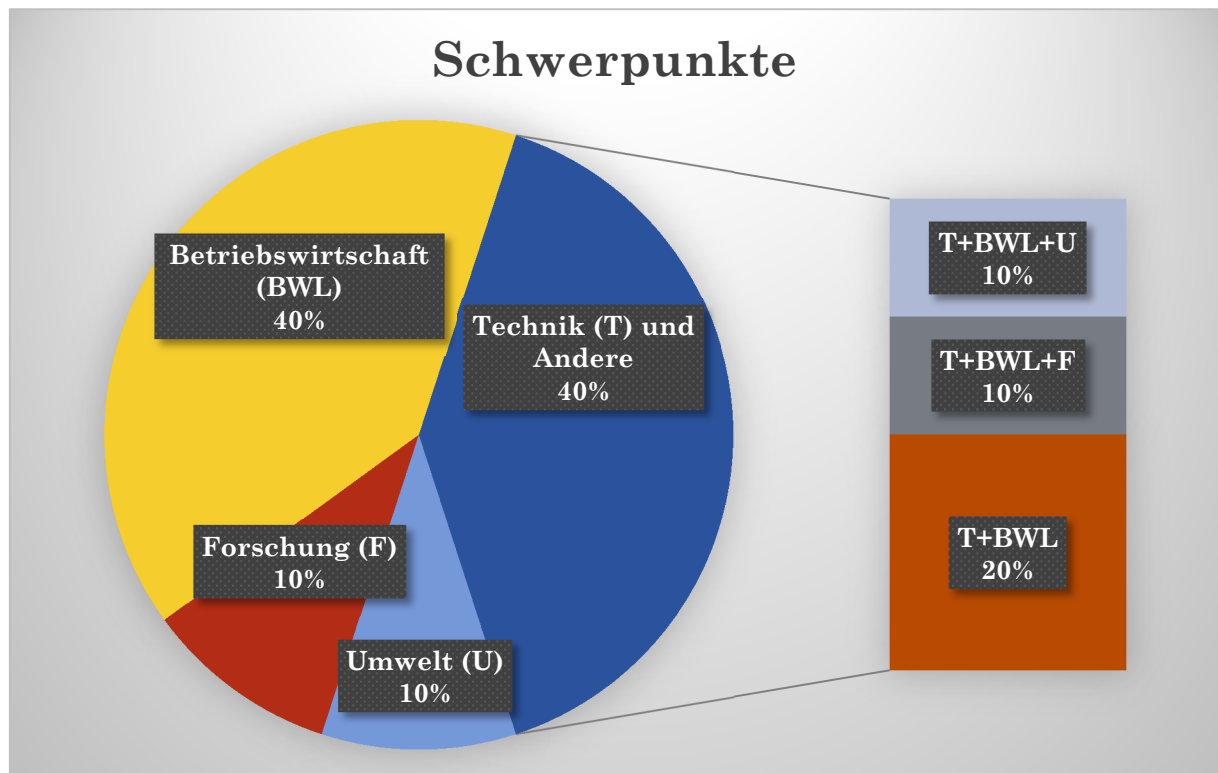


Abbildung 2: Analyse der Schwerpunkte

zu 3): Die Hälfte der berücksichtigten Studien adressiert mit ihren Arbeiten die Industrie. Völlig unterrepräsentiert sind nach Meinung der Autorin KMU. Lediglich zwei Studien sehen diese neben anderen auch als Zielgruppe für ihre Erkenntnisse. Gerade in der Industrie ist AM aber bereits angekommen und wird von vielen Branchen (vgl. Kapitel 3.1 und 3.5) erfolgreich eingesetzt, dagegen gibt es bei vielen kleineren und mittleren Unternehmen Informationsbedarf und Lücken im Wissenstransfer - hier herrscht Handlungsbedarf.

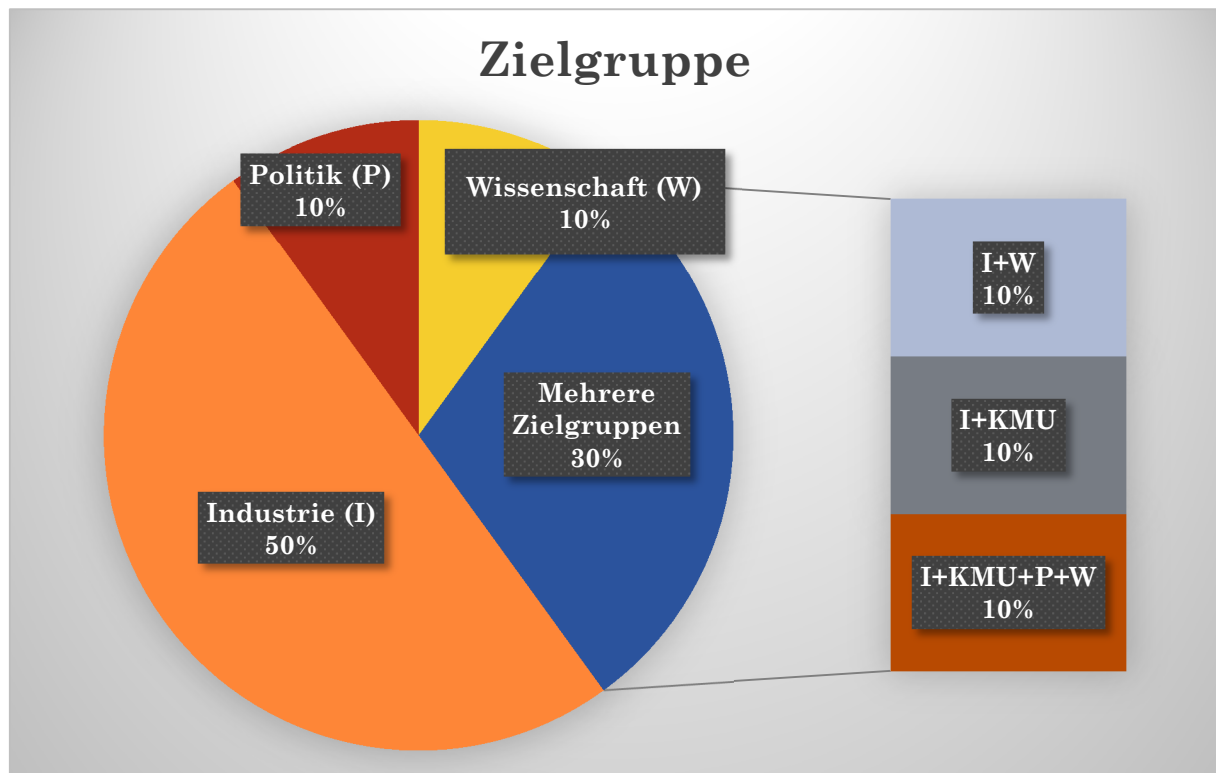


Abbildung 3: Analyse der Zielgruppen

3. STUDIEN

In diesem Kapitel werden alle wesentlichen Inhalte und Ergebnisse der einzelnen Veröffentlichungen mit Blick auf die additive Fertigung zusammengefasst.

3.1. Additive Manufacturing – Revolutioniert der 3D-Druck die Supply Chain und das Geschäftsmodell der Unternehmen?

Das Beratungshaus KPMG hat bei 350 Entscheidern verschiedener Branchen, darunter u.a. die Automobilindustrie, die Logistik und der Maschinen- und Anlagenbau eine Onlinebefragung zum Thema durchgeführt¹. Dabei ging es vor allen Dingen um die Auswirkungen von Additive Manufacturing (AM) und wie die Unternehmen konkret darauf reagieren. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

¹ vgl. (KPMG AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, 2015, S. 3)

Herausforderungen

- Bedeutung von AM wächst
- Großer Informationsbedarf
- Verankerung von AM in die Unternehmensstrategie noch nicht vollzogen

Potentiale

- Uneinigkeit, ob AM die konventionelle Fertigung verdrängt oder ergänzt
- Mehrheit glaubt an Etablierung von AM in der Fertigung
- hohe Investitionskosten, mangelnde Qualität, geringe Produktivität sind Hemmnisse
- Mehrheit erwartet durch AM Zunahme des Marktpotentials

Geschäftsmodelle

- Geschäftsmodelle werden sich durch Substitution oder Verlagerung wandeln
- neue Geschäftsmodelle erwartet
- Auswirkungen auf Liefer- und Wertschöpfungsketten sowie auf das Produktportfolio erwartet

Folgen

- Wandel in Produktion und Vertrieb
- Anteil der mit AM gefertigten Produkte unter 10% in den nächsten drei Jahren erwartet
- und unter 5% bei Zulieferprodukten

Außerdem wurde nach der Bedeutung zum Schutz von geistigen Eigentum im Zusammenhang mit AM gefragt. Die Mehrheit hält dieses Thema für wichtig und erkennt Regelungsbedarf, sieht darin aber keinen Hinderungsgrund für die Einführung von AM ins Unternehmen. Die Autoren stellen fest, das aufgrund mangelnder Informationen zu AM bei der Mehrheit der Befragten sich auch nur schwer Aussagen zu rechtlichen Konsequenzen treffen lassen².

Als Erfolgsfaktoren der AM wurden die Anpassungsfähigkeit, die Konstruktionsfähigkeit, die Reduzierung der Lagerbestände und die Fertigung kundenindividueller Produkte identifiziert.

² vgl. (KPMG AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, 2015, S. 11)

3.2. Dezentrale Produktion, 3D-Druck und Nachhaltigkeit

Das Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) hat in Fallstudien die ökologischen Effekte dezentralisierter Wertschöpfungsmuster unter Verwendung von 3D-Druck untersucht. Zunächst haben die Autoren den Stand der Forschung zu den ökologischen Effekten des 3D-Drucks untersucht und dabei festgestellt, dass diesbezüglich Unklarheiten bzw. Mehrdeutigkeiten existieren. Es ist keine eindeutige Haltung zwischen Nachhaltigkeitsversprechen und –bedenken wahrzunehmen. Handlungsfelder sehen die Autoren in der Verbesserung der Materialeffizienz, der Erhöhung der Energieeffizienz und in der Weiterentwicklung von Wiedernutzungs- und Recyclingansätzen³.

Ergänzend zu den teils ambivalenten Ergebnissen der Literaturanalyse zu den ökologischen Aspekten des 3D-Drucks hat das IÖW eigene Fallstudien zu diesem Thema durchgeführt. Betrachtet wurde dazu zum einen die Herstellung einer Handyschale und zum anderen die Herstellung eines Flugzeugersatzteils, im Vordergrund standen dabei die logistischen und ökobilanziellen Aspekte. Am Beispiel der Handyschale wurden dabei fünf unterschiedliche Produktionsszenarien berücksichtigt:⁴

- *Szenario 1:* „klassische Massenproduktion“
 - Fertigung auf Lager durch einen Produzenten in China (make-to-stock)
 - Distribution aus Produktionslager in China
 - Versand an Endkunden durch KEP-Dienstleister⁵
- *Szenario 2:* Mass Customization - Produktion
 - Produktion und Transporte innerhalb Europas
 - Standardisierte Schalen als Halbware in Frankreich gefertigt
 - Französischer Customizer bedruckt Handyschale kunden-individuell und versendet an den Endkunden
- *Szenario 3:* Produktion in einem 3D-Druckzentrum („Factory shop“)
 - Nach Eingang der Endkunden-Bestellung erfolgt individueller Druck in den Niederlanden
 - Gebündelter Transport mit LKW nach Deutschland

³ vgl. (Petschow, et al., 2014, S. 27)

⁴ vgl. (Petschow, et al., 2014, S. 32 ff.)

⁵ Kurier, Express und Paketdienste

- Versand an Endkunden durch KEP-Dienstleister
- *Szenario 4:* Produktion in einem dezentralisierten 3D-Druckzentrum
 - Produktion in einem regionalen Druckzentrum
 - Abholung durch Endkunden nach individueller Fertigung
- *Szenario 5:* Produktion im heimischen 3D-Drucker.

Die nachfolgende Abbildung fasst die gewonnenen Erkenntnisse zusammen.

	Massen- produktion (H1)	Mass- Customization (H2)	3D-Druck Shapeways (H3)	3D-Druck Regionales Druckzentrum (H4)	3D-Druck zu Hause (H5)
Produktions- strategie	Make to Stock	Customize to Order	Make to Order	Make to Order	Make to Stock / Make to Order
Postponement	geografisch	geografisch und fertigungs- technisch	geografisch und fertigungs- technisch	fertigungs- technisch	fertigungstech- nisch
Ziel der Steuerung in der Transport- kette	Senkung der Durchlaufzeit	Kapazitätsaus- lastung und Senkung der Durchlaufzeit	Kapazitätsaus- lastung und Senkung der Durchlaufzeit	Kapazitäts- auslastung	Kapazitätsaus- lastung
Anzahl Stufen in Supply Chain	2	3	3	3	4
Anzahl logisti- scher Knoten	7	8	6	4	8
Transportorga- nisation	indirekt	indirekt	direkt/indirekt	direkt	Indirekt
Transport- entfernung _{ges}	hoch	mittel	mittel	niedrig	Hoch
Ø % Rück- transporte für nicht verkaufte Waren	hoch	mittel	niedrig	niedrig	Keine

Abbildung 4: Herstellungs-Szenarien Handyschale [Quelle: (Petschow, et al., 2014, S. 37)]

Die Autoren bestätigen den Übergang von zentralen, industriellen zu radikal dezentralisierten Wertschöpfungsmustern. Dabei wurden in erster Linie Veränderungen in der Wertschöpfungs- bzw. Transportkette festgestellt. Entgegen den Erwartungen zeigt die Studie aber auch, dass sich durch AM die Ökobilanz der Produkte (Bsp. Handyschale) nicht automatisch verbessert. Eine Verminderung der

Ressourcenverbräuche und der Umweltbelastung, allein durch additive Fertigung, konnte unabhängig von der Dezentralisierungsform nicht festgestellt werden. Vielmehr spielen die eingesetzten Technologien und die Art des Transportes eine entscheidende Rolle. Generative Fertigung wirkt sich dann vorteilhaft auf die Umwelt aus, wenn die Rahmenbedingungen, wie der Grad der Dezentralisierung, die Wahl der Ausgangsmaterialien und die Einbettung in die Wertschöpfungskette, bewusst für diese Art der Fertigung gestaltet werden.

3.3. Megatrends Research - Industrial Manufacturing

Diese Studie sieht sich als Leitfaden für Unternehmen, so wurden primär relevante Ursachen für die Trends und deren Auswirkungen auf die Wirtschaft betrachtet. Experten für industrielle Fertigung der Wirtschaftsprüfungsgesellschaft KPMG AG haben vor dem Hintergrund der jüngsten wirtschaftlichen Turbulenzen, denen sich Unternehmen ausgesetzt sahen, zehn Megatrends identifiziert, die die Unternehmen bei Ihrer Entwicklung berücksichtigen sollten:⁶

- 1) Factory of the Future
- 2) Near-Shoring
- 3) Demand shift to the east
- 4) Cluster Manufacturing
- 5) Energy / Resource Efficiency
- 6) Talent Challenge
- 7) Nanotechnology / Nanomanufacturing
- 8) Service driven Business Models
- 9) Sourcing Governance
- 10) Additive Manufacturing / 3D Printing.

Im Rahmen dieser Arbeit wird nur der Trend zehn, Additive Manufacturing genauer beleuchtet, da dies das Kernthema dieses Papiers darstellt.

Als Treiber, die die rasante Entwicklung der Additiven Fertigung in den letzten Jahren beflügelt haben, sehen die Autoren eine zunehmende Verkürzung des Produktlebenszyklus („time to market“), die Notwendigkeit ressourcenschonend und nachhaltig zu produzieren („near sourcing“), die wachsende Nachfrage nach

⁶ vgl. (KPMG AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, 2014, S. 2 f.)

individualisierten, personalisierten Produkten („mass customization“) sowie die zunehmende Wettbewerbsfähigkeit der Additiven Fertigung gegenüber traditionellen Technologien.⁷

Ähnlich wie bereits das IÖW in seiner Studie feststellte, postulieren auch die Autoren dieser Studie, dass AM zu einer Neugestaltung der Liefer- und Wertschöpfungsketten einzelner Branchen führen wird. Eine Entwicklung von neuen Geschäftsmodellen wie beispielsweise kleine, flexible und spezialisierte 3D-Produktionseinheiten („fabbing companies“) wird vorhergesagt. Durch eine voranschreitende Dezentralisierung der Produktion und der Verlagerung der Ersatzteilproduktion von der konventionellen Fertigung hin zur Fertigung mit AM („print on demand“) erwarten die Autoren zudem eine Änderung der Logistikketten. Es wird davon ausgegangen, dass die Arbeitsteilung wie sie momentan in der industriellen Fertigung stattfindet neu definiert werden muss, da sie die Produktion zum Kunden hin verschiebt und auch der Anteil der Kosten für Arbeit an den Herstellungskosten durch den Einsatz von AM verringert. Als Risiko für die Unternehmen sehen die Experten die mangelnde Rechtssicherheit in Bezug auf geistiges Eigentum. Fragen wie „Wer hat das Recht zu „drucken?“, „Wie sieht es mit Lizenzgebühren aus?“ und andere mehr, müssen dringend rechtlich geregelt werden.⁸

Als Handlungsempfehlung raten die Autoren den betroffenen Unternehmen ihre derzeitige Strategie zu überprüfen, die Bedrohung und die Vorteile der neuen Technologien zu analysieren und fordern auf, jetzt mit der Integration von AM in bestehende Liefer- und Wertschöpfungsketten zu beginnen.

3.4. Costs and Cost Effectiveness of Additive Manufacturing

Diese Arbeit des National Institute of Standards and Technology (NIST) stellt die Kostenaspekte von AM in den Mittelpunkt. Zu diesem Zweck wurden Veröffentlichungen zum Thema gesichtet und analysiert. Dabei kristallisierten die Autoren zwei Kategorien für die Motivation zur Untersuchung von Kosten der AM heraus. So geht es einerseits um einen Vergleich vom konventionellen und additiven Verfahren, um zu klären unter welchen Umständen AM kosteneffektiv eingesetzt werden kann und andererseits um eine Untersuchung des Ressourcenverbrauchs, um mögliche Potentiale zur Verringerung der Ressourcennutzung auszumachen.

⁷ vgl. (KPMG AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, 2014, S. 23)

⁸ vgl. (KPMG AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, 2014, S. 23)

Zur detaillierten Analyse der Beiträge unterscheiden die Autoren, wie in der Literatur vorgefunden, nach „well-structured costs“ wie Material-, Personal- und Maschinenkosten und „ill-structured costs“ wie Lagerhaltungskosten, Rüstkosten und Kosten für Ausschuss.⁹

In Bezug auf die „ill-structured costs“ sehen die Autoren durch den Einsatz von AM Kostenersparnisse im Bereich der Lagerhaltung und des Transports, getrieben durch Effekte wie „print on demand“, „near sourcing“ und local-content Optimierung. Die Tatsache, dass die Produktion näher an den Kunden rückt, d.h. eine Dezentralisierung stattfindet, wirkt sich positiv auf die Kosten aus und spricht somit für AM in der Fertigung. Für deren Einsatz sind laut den Autoren drei Szenarien denkbar:

- 1) Der 3D-Drucker steht beim Verbraucher und dieser druckt das Produkt selbst.
- 2) Der 3D-Drucker steht bei einem 3D-Druck Dienstleister, der Verbraucher reicht seinen Entwurf ein und der Dienstleister druckt das Produkt.
- 3) Additive Fertigung wird in die kommerzielle Fertigungsindustrie aufgenommen und verändert dort die Prozesse.¹⁰

Um diese Szenarien kosteneffizient zu machen, bedarf es einer Erhöhung des Automatisierungsgrades bei AM und die (Profi-)Maschinenkosten müssen, um mit der konventionellen Fertigung konkurrieren zu können, weiter sinken. Positiv wirkt sich zudem die Komplexität eines Bauteils aus. In der konventionellen Fertigung müssen häufig mehrere unterschiedliche Komponenten zum Teil an verschiedenen Standorten produziert und später zu einer Baugruppe montiert werden. Mit Hilfe von AM ist es möglich, komplexe Bauteile mit integrierten Funktionalitäten im Ganzen oder aber wenigstens in nur wenigen Komponenten an einer Stelle zu fertigen. Dies führt zu einer Defragmentierung der Lieferkette und verringert somit die Anfälligkeit dieser für Versorgungsengpässe. Nachfolgende Darstellung zeigt diesen Zusammenhang.

⁹ vgl. (Thomas & Gilbert, 2014, S. 11 f.)

¹⁰ vgl. (Thomas & Gilbert, 2014, S. 12 ff.)

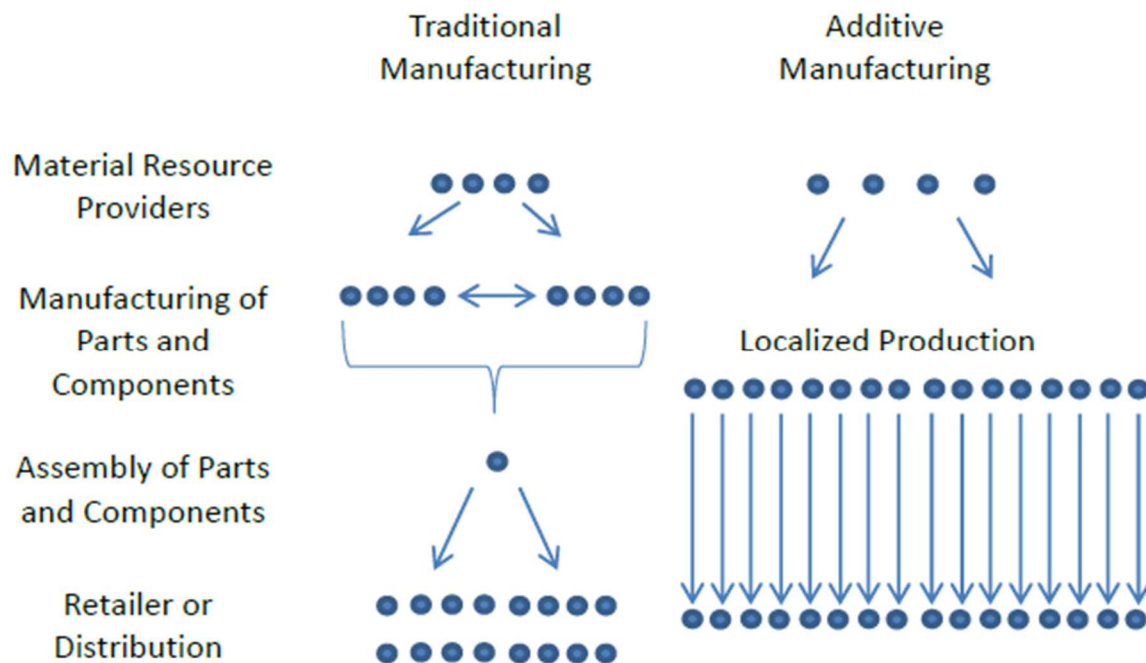
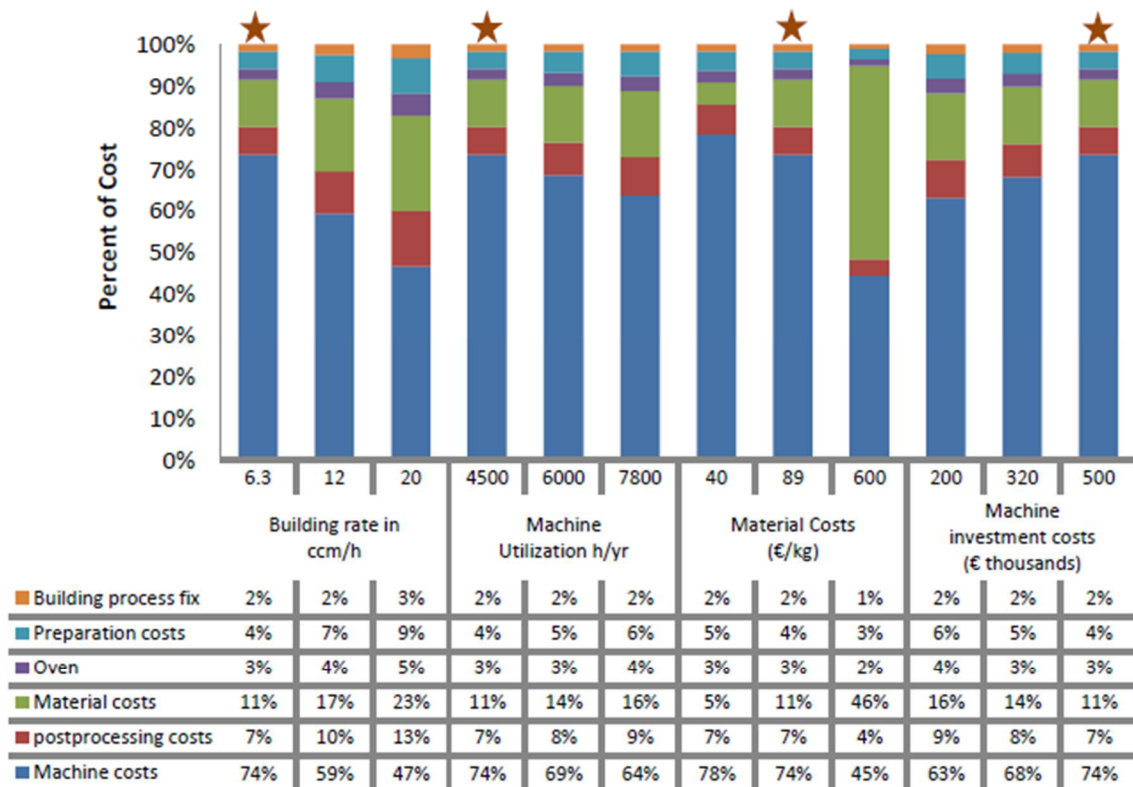


Abbildung 5: Vergleich konventionelle und AM-Supply Chain [Quelle: (Thomas & Gilbert, 2014, S. 15)]

Zu den „well-structured costs“ zählen u.a. die Materialkosten, die zu den größten Kostentreibern bei AM gehören. So wurde zum Beispiel festgestellt, dass zur Fertigung eines Bauteils aus einer Aluminium-Legierung das Material für die additive Fertigung fast zehnmal teurer war als für die traditionelle Fertigung. Bei einer Untersuchung zur Identifizierung der Kostentreiber von AM wurde, wie im unteren Bild ablesbar deutlich, dass wenn die Materialkosten konstant bleiben sie zwischen 11% und 23%, je nach Randbedingung, vom kompletten Fertigungsprozess ausmachen. Damit sind sie aber nur der zweitgrößte Posten, den höchsten Kostenanteil mit durchschnittlich 62,9% stellen die Maschinenkosten dar und zwar weitgehend unbeeinflusst von denen sich verändernden Faktoren in den verschiedenen Szenarien.¹¹

¹¹ vgl. (Thomas & Gilbert, 2014, S. 15 ff.)



Source: Lindemann C., U. Jahnke, M. Moi, and R. Koch. "Analyzing Product Lifecycle Costs for a Better Understanding of Cost Drivers in Additive Manufacturing." Proceedings of the 2012 Solid Freeform Fabrication Symposium.

<<http://utwired.engr.utexas.edu/lff/symposium/proceedingsArchive/pubs/Manuscripts/2012/2012-12-Lindemann.pdf>>

Note: The orange star indicates the base model.

Abbildung 6: Kostenverteilung bei Fertigung eines Metallteils mittels AM mit variierenden Faktoren [Quelle: (Thomas & Gilbert, 2014, S. 16)]

Im Verhältnis zu den Maschinen- und Materialkosten sind die Kosten für Personal bei AM gering. Den Autoren begegneten in zwei unterschiedlichen Studien ähnliche Aussagen zu diesem Thema, so betragen danach die Kosten für Arbeit zwischen 2% und 3% an den Gesamtkosten von AM.

Die Analysten resümieren, dass AM bei der Herstellung von Kleinserien, mit weiterhin zentraler Fertigung, kostengünstig ist. Die Attraktivität von dezentralen Modellen nimmt mit wachsenden Automatisierungsgrad zu. Der Nutzen von AM ist größer, wenn die Technologie komplementär zu etablierten Verfahren eingesetzt wird. Das additive Fertigungssystem ist zwar ein wesentlicher Kostenfaktor aber diese Kosten sind in den letzten Jahren kontinuierlich gesunken, zwischen 2001 und 2011 um etwa 51%¹², so die Autoren.

¹² vgl. (Thomas & Gilbert, 2014, S. 19)

3.5. Statusreport – Additive Fertigungsverfahren

Der Statusreport der Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI) hat speziell die mittelständische Industrie in Deutschland zur Zielgruppe und möchte diesen den praktischen Nutzen von AM in der Produktion nahe bringen. Nach einer kurzen Einführung in die Thematik und den Stand der Technik fragen die Autoren zunächst nach dem technischen Reifegrad. Übereinstimmend mit anderen Studien stellen sie fest, dass der momentane Stand der Technik eine starke Interaktion des Bedieners während des additiven Fertigungsprozesses erfordert. Es wird dabei angemerkt das es starke Bemühungen gibt, die jeweiligen Prozessschritte (siehe Abbildung 7) zu vereinfachen oder ganz zu automatisieren, eine vergleichbare Automatisierung wie bei herkömmlichen Fertigungsverfahren aber noch in weiter Ferne liegt¹³.



Abbildung 7: Prozesskette AM - vereinfachte Darstellung

Diese Tatsache macht es notwendig hoch qualifiziertes Personal einzusetzen, um das Potential von AM voll auszunutzen. Daher ist es heute noch schwierig Bauteile mit gleich hoher Qualität zu reproduzieren, so die Autoren vom VDI-Fachausschuss „Additive Manufacturing“.

AM ermöglicht eine neue Designfreiheit, d.h. es gibt nahezu keine Konstruktionsrestriktionen, für die Fertigung werden keine speziellen Werkzeuge benötigt und Funktionalitäten können direkt integriert werden. Aufgrund dieser vorteilhaften Merkmale von AM sind typische Einsatzgebiete dieser Technologie:¹⁴

- Kleine Stückzahlen und/oder kundenspezifisch angepasste Produkte
- Fertigung nach Bedarf
- Fertigung vor Ort
- Fertigung von Ersatzteilen für ältere Serienprodukte
- Verkürzung der Iterationszyklen bei der Produktentwicklung
- Leichtbau

¹³ vgl. (Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2014, S. 5 f.)

¹⁴ vgl. (Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2014, S. 6)

Als typische Branchen für diese Einsatzgebiete werden die Luft- und Raumfahrtindustrie, die Rüstungsindustrie, die Automotive-Industrie, der Werkzeug- und Formenbau, die Automatisierungstechnik, der Maschinen- und Anlagenbau, die Medizintechnik, die Elektronik, die Möbelindustrie, die Nahrungsmittelindustrie, die Sportgeräteindustrie, die Bekleidungsindustrie, die Spielwarenindustrie und die Fertigung von Sammlerstücken genannt.¹⁵

Trotz der rasanten Entwicklung der additiven Fertigungstechnologie in den vergangenen Jahren besteht noch Handlungsbedarf die Technologie weiterzuentwickeln. Insbesondere muss die Auswahl an geeigneten Werkstoffen für AM erweitert und deren Eigenschaften verbessert werden. Bezüglich der Fertigungsmaschinen muss eine Erhöhung der Prozessgeschwindigkeit und die Vergrößerung der möglichen Bauteildimensionierung angestrebt werden. Zudem bedarf es insgesamt einer höheren Prozessstabilität, um eine Reproduzierbarkeit von Produktqualität und -eigenschaften zu ermöglichen. Bei vielen Konstrukteuren und Produktionsplanern besteht noch ein Informationsbedarf zum Thema AM. Eine fertigungsgerechte Konstruktion ist die Voraussetzung für den wirtschaftlichen Einsatz von additiven Fertigungsverfahren. Fortschritte müssen außerdem bei der Prozessintegration gemacht werden, lassen sich additive Fertigungsverfahren frei mit anderen Verfahren kombinieren, ergeben sich neue und wirtschaftlichere Lösungen.

Als verhältnismäßig neue Technologie werfen die additiven Fertigungsverfahren rechtliche Fragen auf. Produkte können nur dann wirtschaftlich vertrieben werden, wenn Rechtssicherheit bezüglich des Patent- und Urheberrechts gibt. Hier müssen dringend Regelungen gefunden werden, die den besonderen Anforderungen der Technologie gerecht werden.¹⁶

Die Individualisierung der Produkte ist eines der Treiber für die Initiative Industrie 4.0. Um diese Individualisierung flexibler gestalten zu können, kann AM einen Beitrag leisten, so der Report. Auch hier wurden die Vorteile wie Losgröße eins, Ressourcenschonung, Verkürzung der Transportwege, Fertigung nach Bedarf und die Möglichkeit die additive Fertigung als Dienstleistung anzubieten (Entwicklung neuer

¹⁵ vgl. (Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2014, S. 8)

¹⁶ vgl. (Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2014, S. 11 ff.)

Geschäftsmodelle), die AM für den Wirtschaftsstandort Deutschland mit sich bringt aufgezeigt.¹⁷

Internationale Aktivitäten zum Thema additive Fertigungsverfahren wurden ebenso beleuchtet. Seitens der Europäischen Kommission wurde dem Thema im Rahmen des Forschungsprogramms Horizont 2020 Rechnung getragen. AM findet international große Beachtung und einige Länder haben diesbezüglich Förderprogramme aufgelegt wie nachfolgender Tabelle zu entnehmen:

Land	Fördersumme	Förderbereich
Großbritannien	8,4 Mio. GBP (ca. 12,6 Mio. USD)	Öffentliche Förderung für Projekte im Bereich additive Fertigung
Vereinigte Staaten	70 Mio. USD	Anschubfinanzierung für die Gründung eines zweiten nationalen Forschungslabors mit Schwerpunkt AM
China	245 Mio. USD	Förderung additiver Technik
Singapur	500 Mio. USD	Investition in fortschrittliche Fertigungsverfahren

Tabelle 5: Überblick internationaler Investitionen [vgl. (Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2014, S. 19 f.)]

Trotz der großen internationalen Etats zur staatlichen Förderung der additiven Technologien ist Deutschland nach wie vor bei der Verarbeitung metallischer Werkstoffe Marktführer. Firmen wie EOS, Concept Laser und SLM Solutions sind führende Anlagenhersteller für das Laser-Strahlschmelzen und das Laser-Sintern. Das Unternehmen Voxeljet, welches auf Binderverfahren spezialisiert ist, ist ein weiterer bedeutender deutscher Player am Markt. Bei den professionellen Fertigungsmaschinen für Extrusionsverfahren sind Firmen wie Stratasys aus den USA dominierend. Weltweit stoßen in diesem Bereich eine große Anzahl von Anbietern hinzu, die allerdings primär den Markt mit günstigen Anlagen für Endanwender bedienen.¹⁸

¹⁷ vgl. (Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2014, S. 17 f.)

¹⁸ vgl. (Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2014, S. 20)

3.6. Thinking ahead the Future of Additive Manufacturing - Exploring the Research Landscape

Das Direct Manufacturing Research Center (DMRC), Universität Paderborn und das Heinz Nixdorf Institute zeigen in diesem Papier die Forschungslandkarte im Bereich AM auf.

Zunächst wird der State of the Art im Bereich der AM-Technologie beschrieben. So ist in den letzten 10 Jahren der AM-Markt jährlich um etwa 18% gewachsen, weiteres Wachstum wird erwartet. Als führende Branchen bei dem industriellen Einsatz von AM wurden die Luft- und Raumfahrt und die medizinische Sektor identifiziert. Als Hauptindikatoren für zukünftiges Wachstum wurden in Übereinstimmung mit anderen Studien (Vergleich Kapitel 3.5 und 3.7) die folgenden postuliert: die Möglichkeit zur Integration von Funktionalität, zur Herstellung von Leichtbau-Bauteilen, zur nachhaltigen Produktion, zur Erhöhung der Energieeffizienz und den Anforderungen der zunehmenden Individualisierung (mass customization) gerecht werden zu können. Hinzu kommen die Möglichkeiten die hochspezialisierte sich noch in der Forschungs- und Entwicklungsphase befindlichen Verfahren wie Bio-printing, Food Printing und Nano-Printing mit sich bringen.¹⁹

Anschließend wurden die Chancen und die Hemmnisse in Bezug auf AM betrachtet. Ausgehend von der stetigen Weiterentwicklung der Technologien, der Materialien und der Prozesse und der damit einhergehenden Kostensenkung wird eine Ausweitung von AM über Branchen wie die Luft- und Raumfahrt oder die Automobilindustrie hinaus erwartet. Die Erwartung, dass viele Anbieter und Anwender in den AM-Markt drängen werden, macht die Erarbeitung von Regeln/Standards in Bezug auf Konstruktion, Recht und Prozesse notwendig. Als Forschungsfelder, um die heutigen und zukünftigen Anforderungen an AM erfüllen zu können, wurden folgende genannt:

- Materialforschung
 - Entwicklung neuer Materialien
 - Verbesserung der Materialeigenschaften
- Forschung nach neuen/erweiterten AM-Technologien
 - Verbesserung der Baugeschwindigkeit

¹⁹ vgl. (Gausemeier, Wall, & Peter, 2013, S. 18 ff.)

- Erhöhung der Ausbringungsmenge
- Verwendung mehrerer Materialien auf einer Maschine
- Vereinfachung der Prozessparametereinstellung
- Prozessoptimierung
 - Robustheit
 - Reproduzierbarkeit
 - Zuverlässigkeit
 - Senkung der Kosten
 - Automatisierung
 - Optimierung der Datenaufbereitung
 - Echtzeit Prozessüberwachung
- Prozessintegration
 - Integration in konventionelle Fertigungsprozesse
- Ökonomische (Prozess-) Effizienz
 - Kostenreduktion
 - bei Beseitigung von Hemmnissen
 - bei Produktveredelung
 - bei Material- und Servicekosten
- Konstruktionsregeln
 - AM-fertigungsgerechtes Design
- Bauteileigenschaften
 - Homogene Temperaturverteilung
 - Integrative, funktionale Leichtbaustrukturen in Multi-Material-Design
 - Vorhersage und Verringerung von Deformationen
- Ökonomische Folgen der „Design-Optimierung“
 - Entscheidungshilfen zwischen konventionellen Verfahren und AM-Technologie
 - Kostenmodellierungswerkzeuge
 - Berechnung der Lebenszykluskosten
- Neue Veredelungstechniken
 - Automatische Veredelungstechniken
 - Reproduzierbarkeit von „ready to use“ AM-Teilen
- Qualitätssicherung
 - Verbesserung der Oberflächenqualität

- Maßhaltigkeit
- Gefüge-Analyse
- Störungsfreie Prüfung und Qualitätskontrolle
- Software Lösungen
 - Verbindung zwischen CAD-Modellen und Analyse Werkzeugen
- Standardisierung und Zertifizierung
 - Einheitliche Standards für AM über die gesamte Wertschöpfungskette
 - Zertifizierung neuer Werkstoffe
- Beschaffungsgrundlagen
 - Ausbau der Infrastruktur
 - Steigerung der Markttransparenz
- Bildung
 - Wissenstransfer zwischen Industrie und Forschung
- Open Innovation
 - Open Source für Konstruktion, Entwicklung und Herstellung
 - Cloud-Lösungen
 - Entwicklung eines „App-Store“ für Software und Konstruktionsentwürfe und für den Austausch von Prozessparameter-Apps und Dateien
- Zukünftige Forschung und Interessen
 - Entwicklung bestehender und neuer Geschäftsmodelle
 - Makrotests für elektronische Bauteile (MEMS - Micro-Electro-Mechanical Systems)
 - Recyclingfähigkeit von AM-Produkten
 - AM-Technologien für Mikro- und Nanobereich.

Die Auflistung der relevanten Forschungsfelder resultiert aus einer Expertenbefragung und kann die Grundlage zukünftiger Forschungsstrategien sein.²⁰

Im Rahmen der Studie wurde eine Forschungslandkarte entwickelt, die einen Überblick über die Forschungsaktivitäten gibt und aus der weiterer Forschungsbedarf abgeleitet werden kann. Abbildung 8 zeigt einen Überblick, der berücksichtigten Institute. Die Studie enthält für Interessierte zudem Profile der analysierten Institute.

²⁰ vgl. (Gausemeier, Wall, & Peter, 2013, S. 30 ff.)

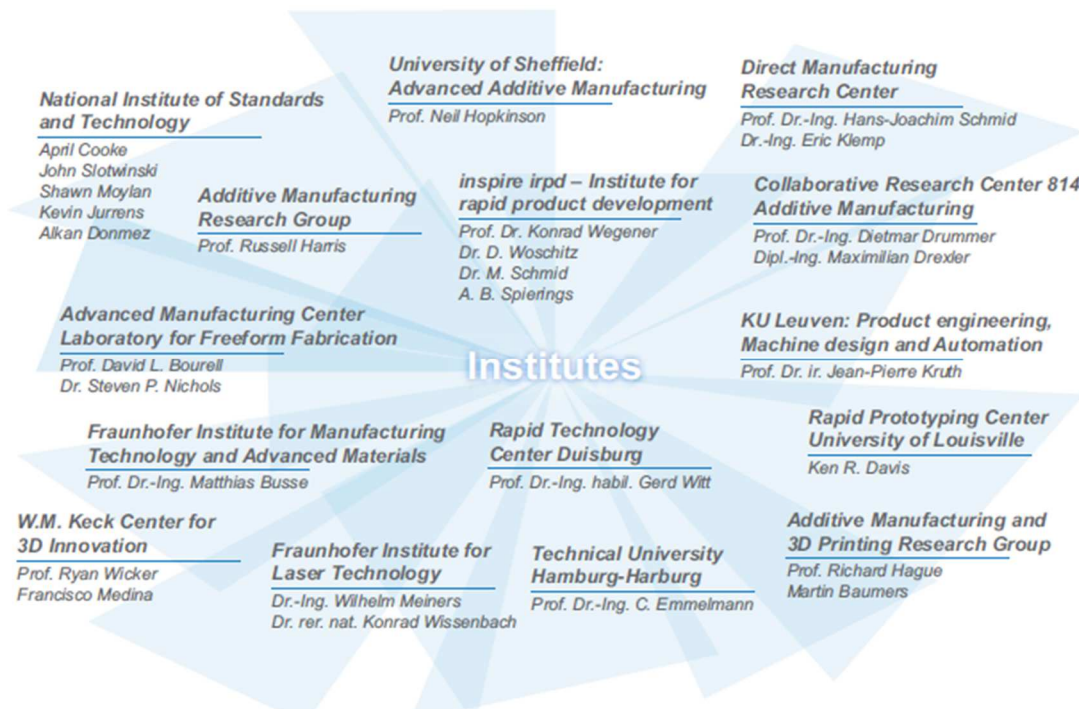


Abbildung 8: Forschungsinstitute im Bereich AM [(Gausemeier, Wall, & Peter, 2013, S. 39)]

Als Ergebnis der Untersuchung der Forschungsaktivitäten ergaben sich unterschiedlich stark ausgeprägte Intensitäten in verschiedenen Forschungsbereichen. So gibt es sehr intensive Bemühungen in der Materialforschung, weniger Beachtung finden dagegen die Forschungsfelder Optimierung der Supply Chain, die Prozessautomatisierung oder auch die Kostensenkung. Innerhalb der Technologien sind die Forschungsaktivitäten für das Fused Layer Modeling und Polymerisation Verfahren gering, bei den Powder Bed Fusion Verfahren sowohl für Metall als auch Kunststoff dagegen ausgeprägt.²¹

3.7. Gemeinsame Studie „Life Cycle Cooperation“ von EADS IW und EOS

Der Weltmarktführer im Bereich Luft- und Raumfahrt EADS IW (European Aeronautic Defence and Space Company Innovation Works) hat zusammen mit dem weltweit führenden Hersteller von Laser-Sinter-Anlagen, der EOS GmbH eine Studie durchgeführt. In den Rollen „Kunde“ (EADS) und „Technologielieferant“ (EOS) wurden dabei die Einsatzpotentiale von AM unter den Aspekten Nachhaltigkeit und Ökologie entlang des Produkt-Lebenszyklus untersucht. Im Rahmen einer Fallstudie erfolgte dabei die Analyse am Beispiel eines Landeklappenscharniers, wobei das herkömmlich

²¹ vgl. (Gausemeier, Wall, & Peter, 2013, S. 89)

gefertigte Bauteil aus Stahlguss mit dem speziell für AM designte Landeklappenscharnier (Bauteil eines Flugzeuges) aus Titan verglichen wurde (Vergleich Abbildung 9). Es stehen sich somit das klassische Gussverfahren und das additive Verfahren „Direktes Metall-Laser-Sintern“ (DMLS) gegenüber.



Abbildung 9: Landeklappenscharnier konventionell (links) und mit AM gefertigt (rechts) [Quelle: (EOS GmbH & EADS IW, 2013, S. 3)]

Zur Untersuchung, ob Erwartungen an den Einsatz von AM wie Verringerung der CO₂-Emissionen, höhere Energie- und Rohstoffeffizienz und eine Optimierung beim Recycling erfüllt werden, führte EADS IW ein sogenanntes „Streamline Life Cycle Assessment“ (SLCA) durch. Hierbei handelt es sich um eine vereinfachte Ökobilanz bei der die Umweltwirkungen von Produkten über die gesamte Lebenszeit hinweg betrachtet werden. Im Mittelpunkt der Betrachtung stehen die fünf Phasen Rohstoffgewinnung und -versorgung, Transport, Fertigung und Montage, Nutzung und Entsorgung des Produktlebenszyklus.

Folgende Ergebnisse wurden in Hinblick auf die Umweltauswirkungen im Rahmen der SLCA-Studie ermittelt:²²

- Erhöhung des Gesamtmaterialausnutzungsgrades durch optimiertes Design
 - Verringerung des Rohstoffverbrauchs
 - weniger Abfall
- 10 kg Gewichtseinsparung pro Flugzeug
 - Kosteneinsparungen bei Treibstoff und CO₂-Steuer
- Energieeinsparung in der Nutzungsphase

²² vgl. (EOS GmbH & EADS IW, 2013, S. 5 ff.)

- höherer Energieverbrauch von AM in der Herstellungsphase wird durch signifikante Einsparungen in der Nutzungsphase aufgewogen
- Recycling in Bezug auf Stützmaterial problematisch
 - Trägerpulver gilt als Gefahrenstoff (ist nicht Bestandteil des Bauteils)

Diese Ergebnisse wurden von EADS IW also dem Kunden ermittelt, die die Nutzungsphase und ihre Bedeutung für die Ökobilanz im Fokus hatte. Der Lieferant EOS hat seinerseits eine zweite Studie zur Ermittlung des CO₂-Fußabdruck (PCF)²³ durchgeführt, wo nochmals die Herstellungsphasen Rohstoffgewinnung und -versorgung, Transport und Fertigung untersucht wurden. Die Resultate von EADS IW bestätigten sich. Obwohl der Energieverbrauch von der Bauteilgeometrie und anderen Faktoren abhängig ist, ist der AM-Prozess sehr energieintensiv. Somit bestätigte sich der ganzheitliche Ansatz, Betrachtung der statischen Phasen (EOS) und der Nutzungsphase (EADS), um eine realistische Bilanz der Umweltauswirkungen zu erhalten.

3.8. Abschlussbericht - Marktperspektiven von 3D in industriellen Anwendungen

Ein Konsortium bestehend aus Prognos AG, Fraunhofer Institut für Graphische Datenverarbeitung (IGD) und MC Marketing Consulting wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie beauftragt eine Studie zum Thema „Marktperspektiven von 3D in industriellen Anwendungen“ durchzuführen. Untersucht wurde dabei das gesamte 3D-Spektrum von der 3D-Messtechnik / 3D-Scanner, 3D-CAD / CAE, 3D-Simulation, Medical Imaging / Bildgebende Verfahren über Virtual, Augmented und Mixed Reality bis hin zu 3D-Drucker / Rapid Prototyping.²⁴ Für diese Metastudie wurde sich auf die Analysen und Ergebnisse mit AM-Relevanz beschränkt. □

Zur näheren Untersuchung der 3D-Thematik haben die Autoren eine Klassifizierung in die drei Teilbereiche 3D-Technologie, 3D-Angebot und 3D-Anwendungen vorgenommen (siehe Abbildung 10).

²³ Product Carbon Footprint

²⁴ vgl. (Prognos AG, Fraunhofer IGD, & MC Marketing Consulting, 2013, S. 18)



Abbildung 10: Einteilung in Teilbereiche [Quelle: vgl. (Prognos AG, Fraunhofer IGD, & MC Marketing Consulting, 2013, S. 11)]

Grundlage für die Untersuchung des Teilbereichs 3D-Technologie bildet die ebenfalls vom Fraunhofer IGD entwickelte 3D-Prozesskette, die nur grob in die drei Stufen Aufnahme der Daten, Aufbereitung und Ausgabe unterteilt ist. Diese Einteilung bildet einen ausreichend weiten Rahmen zur Analyse der Kernbereiche der 3D-Technologien.

Eine Untersuchung der Anbieter im Bereich AM ergab, dass die wichtigsten Hersteller für 3D-Drucker mit Firmen wie Stratasys, 3D System und Huntsman aus den USA kommen. Wobei Stratasys führend im Fused Deposition Modeling Verfahren ist und die beiden anderen Anbieter von Stereolithografie-Systemen sind. Auch auf dem deutschen Markt ist Stratasys ein Top Player und hat einen Marktanteil von 44%, vertrieben werden die Anlagen in Deutschland durch die Fa. Alphacam. Bei den Lasersinter-Verfahren sind deutsche Unternehmen wie EOS (globaler Marktanteil 2010 von 40%), Concept Laser, ReaLizer und SLM Solutions sowie voxeljet weltweit spitze.²⁵ Insgesamt wird ein starkes Wachstum im Bereich der 3D-Drucktechnologien erwartet.

²⁵ vgl. (Prognos AG, Fraunhofer IGD, & MC Marketing Consulting, 2013, S. 39 f.)

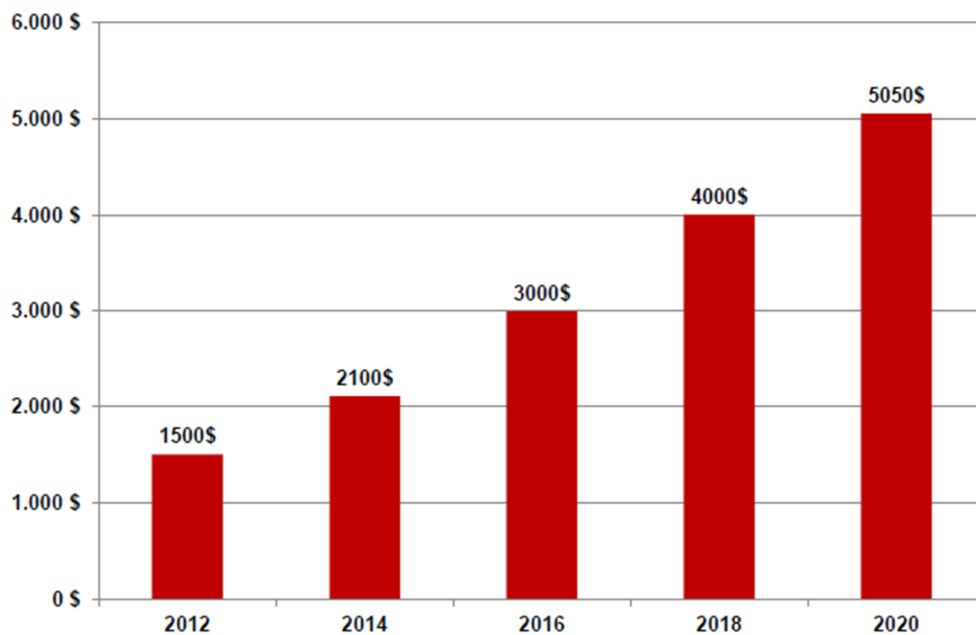


Abbildung 11: weltweit erwartete Rapid Prototyping Marktentwicklung (Umsatz in Mio. USD) [Quelle: (Prognos AG, Fraunhofer IGD, & MC Marketing Consulting, 2013, S. 42)]

Nach Recherchen der Autoren wächst vor allen die Bedeutung von Erbringung von 3D-Dienstleistungen für die deutsche Industrie, hier insbesondere die Fertigung von Prototypen und Kleinserien. Gegenwärtig sind in diesem Bereich deutschlandweit 150 Unternehmen aktiv. Über Deutschland hinaus, europaweit ist die Fa. Alphaform AG, ein Spin Off der Fa. EOS, führend im Dienstleistungsmarkt tätig. Sie hat 2010 mit knapp 230 Mitarbeitern ein Umsatz von ca. 20 Mio. Euro generiert.²⁶

Gleichwohl die 3D-Drucker-Industrie in Deutschland wächst, war laut Prognos im Jahr 2012 ein Importüberschuss bei 3D-Druckern von 5,2 Mio. USD zu verzeichnen.²⁷ Was nicht zuletzt auf die Spezialisierung deutscher Unternehmen auf Laser-Sinter-Verfahren und die Dominanz von amerikanischen Herstellern bei fast allen anderen AM-Verfahren (z.B. FDM) zurückzuführen ist.

3.9. Additive Manufacturing - A game changer for the manufacturing industry?

Die Studie der Unternehmensberatung Roland Berger beleuchtet die Wettbewerbsfähigkeit sowie die Kostenaspekte der additiven Fertigung, wobei im Fokus die Fertigung von Metall-Komponenten für die Industrie und entsprechende Verfahren stehen. Analysiert wurden die Fragestellungen mit Hilfe von

²⁶ vgl. (Prognos AG, Fraunhofer IGD, & MC Marketing Consulting, 2013, S. 41)

²⁷ vgl. (Prognos AG, Fraunhofer IGD, & MC Marketing Consulting, 2013, S. 110 f.)

Experteninterviews und durch die Simulation verschiedener Entwicklungsszenarien bezüglich AM.

Die Autoren erwarten, dass die Kosten für AM weiter fallen werden und somit der Markt für Anlagen, Dienstleistungen und Materialien für AM in den nächsten zehn Jahren um das Vierfache wächst (2012 lag das Marktvolumen dafür bei EUR 1,7 Mrd.). Insbesondere die nahezu grenzenlose Gestaltungsmöglichkeit der Objekte, die werkzeuglose Fertigung und die kosteneffiziente Möglichkeit der Herstellung von Losgröße eins sowie die Entwicklung neuer Materialien wie beispielsweise hochfeste Legierungen werden als Treiber für diese Entwicklung genannt.

Fertigungsmaschinen für AM machen etwa 1% des Werkzeugmaschinen-Marktes aus. Bezogen auf die metallverarbeitenden additiven Fertigungsmaschinen dominieren deutsche Hersteller.

Im Dentalbereich oder bei der Fertigung von Design-Objekten hat AM bereits Produktionsreife erreicht. In vielen anderen Branchen wird dagegen noch Entwicklungspotential gesehen, wenngleich schon in der Luft- und Raumfahrt und Turbinenindustrie, Prozessentwicklung und komplexe Feldtests laufen. Aktuell sind die Herstellungskosten für AM signifikant höher als für konventionelle Fertigungsverfahren. Es wird jedoch ein Kostensenkungspotential in den nächsten fünf Jahren von 60% und weitere 30% in den nächsten zehn Jahren erwartet. Dies verspricht ein deutliches Wachstum auf dem Markt für metallverarbeitende additive Fertigungsverfahren.²⁸

Die Studie stellt fest, dass der Anteil von AM an der gesamten Fertigung noch sehr gering ist. Abbildung 12 zeigt den Ertrag, den einige Branchen durch die additive Fertigung erwirtschaften. Insbesondere die Automobil- sowie die Luft- und Raumfahrtindustrie haben die Möglichkeiten von AM bereits erkannt, die Autoren sehen AM am Rande der Reife zur industriellen Fertigung.

²⁸ vgl. (Roland Berger Strategy Consultants GmbH, 2013, S. 5)

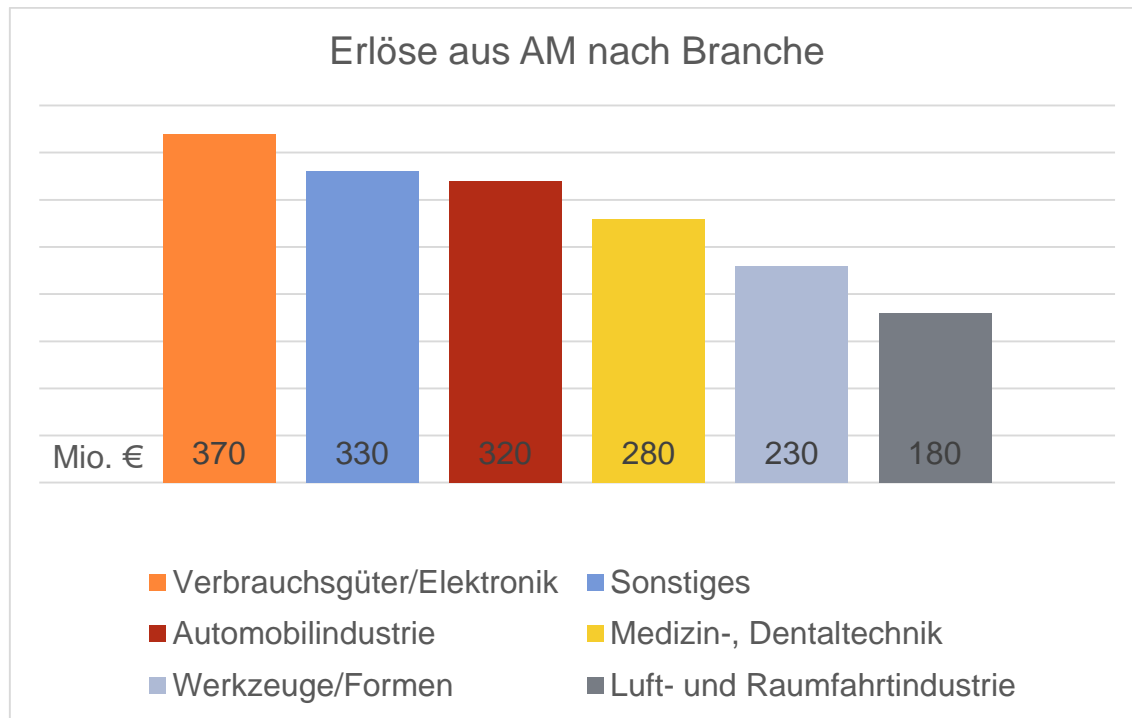


Abbildung 12: Branchenvergleich Erlöse AM [vgl. (Roland Berger Strategy Consultants GmbH, 2013, S. 9)]

Wie auch schon die Experten vom VDI (siehe Kapitel 3.5) sehen die Autoren dieses Papiers ganz ähnliche positive Argumente für den Einsatz von AM in der industriellen Fertigung. Ebenso zeigen sie Handlungsfelder auf, wo es einer Weiterentwicklung der Technologie bedarf. Die Vor- und Nachteile von AM sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

Vorteile	Nachteile
Gestaltungsfreiheit - Objekte nahezu jeder Form können hergestellt werden	Geringe Baugeschwindigkeit
Komplexität kostet nichts - steigende Komplexität wirkt sich nur geringfügig auf Produktionskosten aus	Hohe Produktionskosten - durch hohe Materialkosten und geringe Baugeschwindigkeit
Fertigung ohne Werkzeuge - Zeit- und Kostenersparnis	Hohe Anforderung an die Erstellung des Designs und die Einstellung der Prozessparameter - Auswahl aus verschiedenen Materialien und Verfahren
Leichtbau - Gewichtsreduktion, Materialeinsparung durch topologische Optimierung	Herstellungsverfahren - mangelnde Qualität bei der Oberflächengüte und der Maßhaltigkeit erfordern evtl. Nacharbeiten
Reduzierung der Bauteile - Fertigung als einzelne Komponente auch mit beweglichen Teilen	Diskontinuierlicher Produktionsprozess – mangelnde Integration von AM verhindert Skaleneffekte

Weniger Produktionsschritte - Herstellung auch komplexer Objekte in einem Verfahrensschritt	Begrenzte Bauteilgröße - Größe der Objekte durch Bauraumgröße beschränkt
---	--

Tabelle 6: Vor- und Nachteile von AM [vgl. (Roland Berger Strategy Consultants GmbH, 2013, S. 18)]

Bezogen auf die metallverarbeitenden additiven Fertigungsverfahren wurde die AM-Wertschöpfungskette untersucht und die größten Spieler auf dem jeweiligen Markt identifiziert. Die Wertschöpfungskette wurde demnach in die fünf Glieder Material, System, Software, Konstruktionsentwurf und Produktion unterteilt. In der folgenden Grafik sind die einzelnen Glieder und die Marktteilnehmer abgebildet.

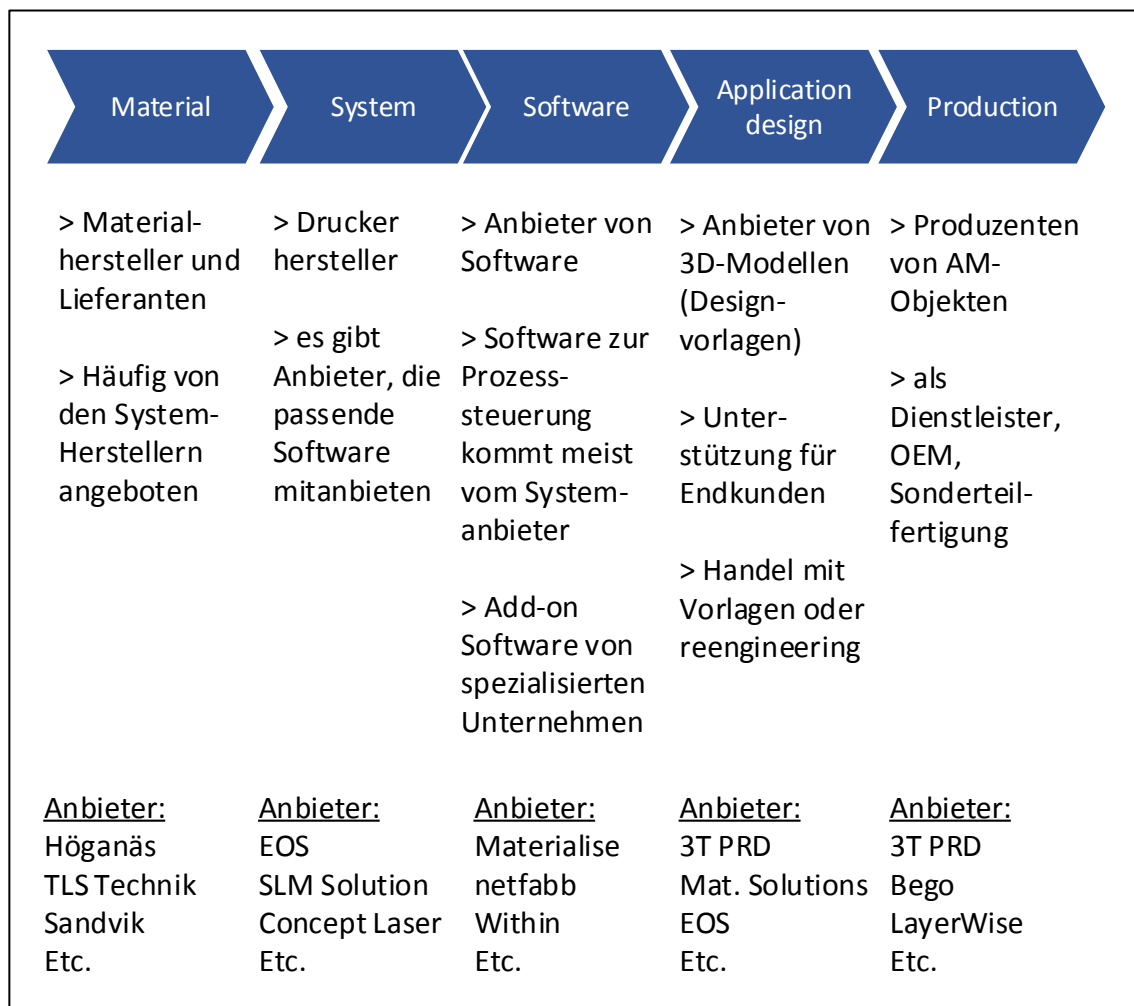


Abbildung 13: AM-Wertschöpfungskette [vgl. (Roland Berger Strategy Consultants GmbH, 2013, S. 20)]

Es wird festgestellt, dass es viele kleine Anbieter am Markt gibt und keiner in allen Segmenten vertreten ist. Die Systemanbieter sind am breitesten aufgestellt, Firmen wie EOS bieten sowohl Hardware als auch Software und Dienstleistungen an.

Eingangs wurde erwähnt, dass die Herstellungskosten der additiven Fertigung im Vergleich zu den konventionellen Verfahren sehr hoch sind. Die Studie hat Kosten von

3,14 €/cm³ für ein aus Metall additiv gefertigtes Bauteil errechnet. In den Kosten enthalten sind direkte Kosten (Material, Energie), Maschinenkosten, Personal- sowie anteilige Verwaltungs- und Mietkosten. Die direkten Kosten machen einen Anteil von 26% der Gesamtkosten aus. Der größte Teil der indirekten Kosten (74% Gesamt) fallen mit 73% auf die Maschinenkosten.²⁹ Durch Weiterentwicklung der Technologie, beispielsweise durch Erhöhung der Baugeschwindigkeit und/oder des Automatisierungsgrades sowie den zu

erwartenden Markteintritt weiterer Anbieter, ist zu erwarten, dass die Herstellungskosten signifikant sinken werden. Zudem argumentieren die Autoren, gleichen schon heute in bestimmten Bereichen die Einsparungen wie z.B. geringe Entwicklungskosten und Materialeinsparungen die höheren Herstellungskosten teilweise aus.

Eckdaten Fallbeispiel



- Anschaffungskosten: 500 TEUR
- Laufzeit: 8 Jahre
- Auslastung: 83%
- Baugeschwindigkeit: 10 cm³/h
- Material: rostfreier Stahl
- Materialpreis (Pulver): 89 €/kg

3.10. Additive Manufacturing: Status and Opportunities

Das Science and Technology Policy Institute, welches zum Institute for Defense Analyses (IDA) mit Sitz in Washington, DC (USA) gehört, hat unter der Mitarbeit von u.a. Terry Wohlers von Wohlers Associates, Inc. den Status und die Möglichkeiten von AM in den Vereinigten Staaten analysiert.

Sie empfehlen der Regierung in die Forschung und Entwicklung von AM zu investieren und Wettbewerbe und Prämierungen auszuloben, um ein breites Interesse bei jungen Forschern und Interessierten zu wecken. Zudem wird angeregt eine Datenbank zu entwickeln, die für die vielen verschiedenen zur Verfügung stehenden Materialien die Materialeigenschaften enthält. Der Regierung wird geraten eine Plattform („maker faire“) zu schaffen, wo Repräsentanten von Regierung und OEMs sowie Dienstleister

²⁹ Vgl. (Roland Berger Strategy Consultants GmbH, 2013, S. 27 f.)

und Akademiker Erfahrungen und Erkenntnisse austauschen können und ein nationales Versuchscenter aufgebaut wird.³⁰

Die Analyse und Empfehlungen stammen aus dem Jahre 2012. Zwei Jahre später, im Februar 2014 hat Präsident Obama eine Initiative zur Förderung von AM und die Gründung eines zweiten nationalen Forschungslabors angekündigt. Mit Geldern der Regierung und mit Hilfe privatwirtschaftlicher Investoren wurden so für die Forschung und Entwicklung von AM in den USA 320 Mio. USD als Anschubfinanzierung bereitgestellt³¹.

4. FAZIT

Über alle Studien hinweg herrscht Einigkeit über das Potential von AM. Das spiegelt sich auch in der Vielzahl staatlicher Förderprogramme wider, die die additive Fertigung als Zukunftstechnologie vorantreiben sollen. Nicht zuletzt vor dem Hintergrund einer sich vernetzenden Welt spielt AM eine Schlüsselrolle. Bei dieser Fertigungstechnologie finden alle notwendigen Schritte von der Idee zum physischen Objekt, bis auf den eigentlichen Druckvorgang, virtuell statt. Das bedeutet alle Änderungen (z. B. individuelle Kundenwünsche) werden digital vorgenommen. Somit ist AM prädestiniert den wachsenden Anforderungen des Marktes (mass customization, on demand Fertigung, time to market, usw.) gerecht zu werden.

Häufig werden die technischen Herausforderungen, die mit einer Umstellung/Erweiterung der konventionellen Fertigung durch additive Fertigung verbunden sind betrachtet. Was die Genauigkeit und die Komplexität der Bauteile betrifft sind immense Fortschritte zu verzeichnen, aber vor allen im Bereich der Materialien bedarf es weiterer Forschung, sowohl was die Neuentwicklung als auch die Weiterentwicklung betrifft. Die Fertigungssysteme selber müssen einen höheren Automatisierungsgrad erreichen, um in bestehende Prozessketten integriert werden zu können. Zudem ist es notwendig die Herstellungskosten weiter zu senken, um die Technologie im Vergleich zu herkömmlichen Fertigungsverfahren nicht nur für die Fertigung von Prototypen und Losgröße eins wirtschaftlich zu machen.

³⁰ vgl. (Scott, et al., 2012, S. 25 f.)

³¹ vgl. (President Obama to Announce New Efforts to Support Manufacturing Innovation, Encourage Insourcing, 2015) und (President Obama Announces Two New Advanced Manufacturing Hubs, 2015)

Sehr wenig findet bisher in der Forschung der Aspekt der Auswirkung auf die Prozesse und Geschäftsmodelle vor allen bei klein- und mittelständischen Unternehmen (KMU) Beachtung. Die Frage, welche Veränderungen bringt es mit sich, wenn AM substitutiv oder komplementär zur herkömmlichen Fertigung in KMU eingesetzt wird, bleibt weitestgehend unbeantwortet. Hier besteht eine Forschungslücke, die es zu schließen gilt.

LITERATURVERZEICHNIS

- EOS GmbH, & EADS IW. (2013). *Gemeinsame Studie „Life Cycle Cooperation“ von EADS IW und EOS*. Whitepaper. Abgerufen am 30. April 2015 von http://www.eos.info/eos_airbusinnovationgroup_gemeinsame_studie_am
- Gausemeier, J., Wall, M., & Peter, S. (2013). *Thinking ahead the Future of Additive Manufacturing – Exploring the Research Landscape*. University of Paderborn, Direct Manufacturing Research Center (DMRC), Paderborn.
- KPMG AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft. (2014). *Megatrends Research*. Studie. Abgerufen am 20. April 2015 von <http://www.kpmg.com/de/de/bibliothek/2014/seiten/industrial-manufacturing-megatrends-research.aspx>
- KPMG AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft. (2015). *Additive Manufacturing - Revolutioniert der 3D-Druck die Supply Chain und das Geschäftsmodell der Unternehmen? Fokusanalyse*. Abgerufen am 25. April 2015 von <http://www.kpmg.com/de/de/bibliothek/2015/seiten/fokusanalyse-additive-manufacturing.aspx>
- Petschow, U., Ferdinand, J.-P., Dickel, S., Flämig, H., Steinfeldt, M., & Worobei, A. (2014). *Dezentrale Produktion, 3D-Druck und Nachhaltigkeit*. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW).
- President Obama Announces Two New Advanced Manufacturing Hubs*. (08. Mai 2015). Von <http://3dprintingindustry.com/2014/03/03/president-obama-advanced-manufacturing-hubs/> abgerufen
- President Obama to Announce New Efforts to Support Manufacturing Innovation, Encourage Insourcing*. (08. Mai 2015). Von <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2012/03/09/president-obama-announce-new-efforts-support-manufacturing-innovation-en> abgerufen
- Prognos AG, Fraunhofer IGD, & MC Marketing Consulting. (2013). *Marktperspektiven von 3D in industriellen Anwendungen*. Abschlussbericht, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Berlin.
- Roland Berger Strategy Consultants GmbH. (2013). *Additive manufacturing - A game changer for the manufacturing industry?* München. Abgerufen am 30. April 2015 von http://www.rolandberger.com/media/publications/2013-11-29-rbsc-pub-Additive_manufacturing.html

Scott, J., Gupta, N., Weber, C., Newsome, S., Wohlers, T., & Caffrey, T. (2012). *Additive Manufacturing: Status and Opportunities*. IDA, Science and Technology Policy Institute. Abgerufen am 25. April 2015 von https://cgsr.llnl.gov/content/assets/docs/IDA_AdditiveM3D_33012_Final.pdf

Thomas, D., & Gilbert, S. (2014). *Costs and Cost Effectiveness of Additive Manufacturing*. Special Publication, National Institute of Standards and Technology (NIST). Abgerufen am 20. April 2015 von <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.1176>

Verein Deutscher Ingenieure e.V. (2014). *Additive Fertigungsverfahren*. Statusreport. Abgerufen am 25. April 2015 von www.vdi.de/statusadditiv